

Cartografias do Ontem, Hoje e Amanhã

Paulo Márcio Leal de Menezes
Manoel do Couto Fernandes
Carla Bernadete Madureira Cruz
organizadores



**CARTOGRAFIAS DO ONTEM,
HOJE E AMANHÃ**

Editora Appris Ltda.

1ª Edição - Copyright© 2021 dos autores

Direitos de Edição Reservados à Editora Appris Ltda.

Nenhuma parte desta obra poderá ser utilizada indevidamente, sem estar de acordo com a Lei nº 9.610/98. Se incorreções forem encontradas, serão de exclusiva responsabilidade de seus organizadores. Foi realizado o Depósito Legal na Fundação Biblioteca Nacional, de acordo com as Leis nºs 10.994, de 14/12/2004, e 12.192, de 14/01/2010.

Catálogo na Fonte

Elaborado por: Josefina A. S. Guedes

Bibliotecária CRB 9/870

C249c
2021 Cartografias do ontem, hoje e amanhã / Paulo Márcio Leal de Menezes,
Manoel do Couto Fernandes, Carla Bernadete Madureira Cruz (org.).
- 1. ed. - Curitiba: Appris, 2021.
529 p. ; 23 cm - (Coleção geral).

Inclui bibliografia.
ISBN 978-65-250-1919-2

1. Cartografia. 2. Sistema de informação histórico-geográfica.
3. Sistema de banco de dados geográficos. 4. Sensoriamento remoto.
I. Menezes, Paulo Márcio Leal de II. Fernandes, Manoel do Couto.
III. Cruz, Carla Bernadete Madureira. IV. Título. V. Série.

CDD - 910.28

Livro de acordo com a normalização técnica da ABNT

Appris
editora

Editora e Livraria Appris Ltda.
Av. Manoel Ribas, 2265 - Mercês
Curitiba/PR - CEP: 80810-002
Tel. (41) 3156 - 4731
www.editoraappris.com.br

Printed in Brazil
Impresso no Brasil

Paulo Márcio Leal de Menezes
Manoel do Couto Fernandes
Carla Bernadete Madureira Cruz
(orgs.)

**CARTOGRAFIAS DO ONTEM,
HOJE E AMANHÃ**

Appris
editora

FICHA TÉCNICA

EDITORIAL	Augusto V. de A. Coelho Marli Caetano Sara C. de Andrade Coelho
COMITÊ EDITORIAL	Andréa Barbosa Gouveia (UFPR) Jacques de Lima Ferreira (UP) Marilda Aparecida Behrens (PUCPR) Ana El Achkar (UNIVERSO/RJ) Conrado Moreira Mendes (PUC-MG) Eliete Correia dos Santos (UEPB) Fabiano Santos (UERJ/IESP) Francinete Fernandes de Sousa (UEPB) Francisco Carlos Duarte (PUCPR) Francisco de Assis (Fiam-Faam, SP, Brasil) Juliana Reichert Assunção Tonelli (UEL) Maria Aparecida Barbosa (USP) Maria Helena Zamora (PUC-Rio) Maria Margarida de Andrade (Umack) Roque Ismael da Costa Güllich (UFFS) Toni Reis (UFPR) Valdomiro de Oliveira (UFPR) Valério Brusamolin (IFPR) Paulo Márcio Leal de Menezes (UFRJ) Manoel do Couto Fernandes (UFRJ) Carla Bernadete Madureira Cruz (UFRJ) Luiz Henrique G. Castiglione (UERJ) Adryane Gorayeb (UFC) Angelica Carvalho Di Maio (UFF) Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza (UFRJ) Gustavo Mota de Sousa (UFRJ) Isabel Cristina Moraes (UFRB) Márcia Maria Duarte dos Santos (UFMG) Monika Richter (UFF-IEAR) Rafael Silva de Barros (UFRJ) Raúl Sánchez Vicens (UFF) Vinicius da Silva Seabra (FFP-UERJ) Vivian Castilho da Costa (UERJ)
ASSESSORIA EDITORIAL	Natalia Lotz Mendes
REVISÃO	Camila Dias Manoel
REVISÃO PARTICULAR	Raquel Dezidério Souto
PRODUÇÃO EDITORIAL	Bruna Holmen
DIAGRAMAÇÃO	Juliana Adami Santos
CAPA	Carlos Alberto Sanchez
COMUNICAÇÃO	Carlos Eduardo Pereira Karla Pipolo Olegário
LIVRARIAS E EVENTOS	Estevão Misael
GERÊNCIA DE FINANÇAS	Selma Maria Fernandes do Valle

*A todos aqueles que nos precederam
no entendimento da geoinformação e das suas representações
e ao sucesso daqueles que nos sucederão, nos desafios que virão!*

PREFÁCIO

EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA GEOINFORMAÇÃO

Há sentido na intenção de analisar a evolução histórica da geoinformação? Pela extensão temporal, diversidade e densidade de significados que tem a geoinformação, de imediato, coloca-se a questão de que será necessário um imenso exercício de síntese. E, ainda, de que o exercício se constituirá apenas num sobrevoo investigativo, que precisa de um fito muito claro e relevante para orientar seu plano de voo.

Se a reflexão se volta para as cartografias de ontem, hoje e amanhã, a orientação do plano de voo pode se concentrar na ambição de unir, de tentar pôr em evidência os fios condutores que ligam essas cartografias, não apenas num fluir histórico, mas, principalmente, no sentido da existência da geoinformação. Como identificar esses fios condutores? Que olhar, com que perspectivas, de que pontos de vista se devem firmar as miradas durante esse sobrevoo histórico sobre a geoinformação?

A primeira decisão envolve o período a analisar, em especial, no que diz respeito ao ontem. Se a ideia se conduz pela tentativa de identificar os fios condutores das transformações das geoinformações ao longo do tempo, o olhar sobre a História da Cartografia deve recuar ao início, com o objetivo de identificar não apenas a gênese dos processos de transformação, mas também a razão subjacente desses processos, de forma a que se possa tentar melhor compreender as transformações de hoje e a sinalização que estas dão em relação às transformações futuras.

A partir do recuo maior possível no tempo, a análise deve avançar num moto contínuo, tentando lançar luz nas transformações que parecem evidenciar o processo construtivo da geoinformação, como um instrumento social, como um artefato que tem uma função social, que justifique sua existência. Nesse sentido, parece inalienável que, sendo informação, a geoinformação associe-se àquilo de onde emerge e para onde se destina: o conhecimento, que se encontra nos dois polos, origem e destino, do processo informacional. Há, portanto, na análise das transformações que conectam as cartografias de ontem, hoje e amanhã, a associação da observação histórica com a perscrutação epistemológica, vale dizer, a tentativa de explorar as

razões que levam o conhecimento a se servir da geoinformação, tanto no polo da construção e emissão da informação quanto no polo da recepção e decodificação ou interpretação. História e epistemologia juntas, a sobrevoar o processo transformacional da geoinformação, porque as duas são enfoques virtualmente indissociáveis, no âmbito de uma disciplina científica. A historiografia de uma área científica encontra na epistemologia referências que indicam o sentido de certos processos de desenvolvimento, enquanto que, para a epistemologia, a historiografia pode ser fundamental à configuração dos processos de transformação e desenvolvimento que, quando analisados no longo prazo, permitem a mais profunda compreensão do sentido das transformações epistemológicas que estão em sua infraestrutura.

Com efeito, para planejar e cumprir a viagem, é necessário estabelecer, à partida, que a viagem terá de ser rápida, a despeito de ser o território histórico a percorrer por demais extenso. Deve-se, portanto, selecionar eventos e lugares temporais que serão priorizados na viagem, em face da percepção, subjetiva, inevitavelmente, de que são eles os lugares temporais paradigmáticos à caracterização do processo transformacional das geoinformações ou, em outras palavras, são eles os lugares que evidenciaram a gênese e a consolidação dos princípios epistemológicos, os fios condutores que subjazem à geoinformação. Esses lugares temporais são períodos, são eras, sendo sete os períodos considerados paradigmáticos. O primeiro período, chamado de **Tempo do não saber**, retroage à Pré-História e inicia-se com os hipotéticos primeiros registros geoinformacionais, para encerrar-se durante o terceiro milênio a.C. O período seguinte, intitulado **Mundo Antigo**, abrange cerca de 3 mil anos e estende-se desde os anos 2500 a.C. até o início da Idade Média, no século V. O terceiro período, em consonância com a História e, por isso, chamado de **Idade Média**, inicia-se na desintegração do Império Romano, por volta do século V, e vai até o fim do século XV. O período subsequente, o quarto, destaca o **Renascimento** e concentra-se especialmente no século XVI, tendo em vista que o período seguinte, o quinto, para as geoinformações, caracteriza uma época muito fértil para sua evolução, que abrange os séculos XVII ao XIX e é nomeada de **Era dos Levantamentos Terrestres**. Os dois últimos períodos já podem ser considerados contemporâneos ou familiares ao nosso tempo, pois caracterizam o século XX, na aqui chamada **Era do Sensoriamento Remoto**, e o século XXI, marcado, nesta análise das transformações da geoinformação, como **Era da Desmaterialização**.

TEMPO DO NÃO SABER

O *tempo do não saber* é essencialmente uma era pré-histórica, da qual não se esperava a existência remanescente de mapas nem de nenhuma teorização de como fazê-los. A rigor, o que se pode considerar como registros geoinformacionais são pictogramas que reportam a configuração territorial de uma comunidade. Constituem-se de gravuras em paredes de cavernas que resistiram à passagem do tempo e que parecem evidenciar que os humanos desse tempo já viam sentido na extensão representacional de seus processos mentais de análise territorial. São figurativas e podem decorrer da simples intenção de elaborar arte representativa ou, mais utilitariamente, da motivação de transmitir e compartilhar conhecimento.

A pintura rupestre, aproximadamente datada em 6200 a.C. (DELANO SMITH, 1987, p. 96), encontrada em Çatal Hüyük, na Turquia, é paradigmática do tipo de geoinformação pré-histórica que caracteriza essa era de gênese da representação. Os estudos arqueológicos permitem a especulação de que a gravura alude a um tipo de representação em planta-perfil, com a visão em planta sendo um mapa cadastral da comunidade e a visão em perfil, um vulcão relevante à vida naquele tempo.

Outro pictograma representativo é de Valcamonica, Itália, chamado *Mapa de Bedolina*, aproximadamente datado entre 1900 e 1200 a.C. Catherine Delano Smith (1987, p. 79) considera o *Mapa de Bedolina* um mapa topográfico complexo e observa que foi sugerido por mais de um arqueólogo que o mapa fora produzido como uma representação exata de parte da paisagem cultivada do terreno do vale, durante a Idade do Bronze.

Não parecia haver nenhum princípio técnico consciente ou formalizado para a construção dessas representações, que poderiam, assim, ser consideradas intuitivas. No entanto, a observação do *Mapa de Bedolina* evidencia a presença de uma semiologia gráfica, uma espécie de protolinguagem de representação gráfica. A posição do ponto de vista é equivalente à de uma projeção ortográfica, de resto também presente na visão em planta de Çatal Hüyük. Essa perspectiva, absolutamente predominante na produção cartográfica de todas as eras e, com efeito, quase naturalizada na geração de mapas, talvez tenha resultado de um longo processo de ação inteligente no qual se constatou que outras perspectivas produzem a oclusão de uns objetos por outros, bem como a ruptura da proporcionalidade da representação, que, muito à frente no tempo, constituirá o estabelecimento de uma escala para

os mapas. Fica a impressão de que, intuitivamente, sem nenhuma teorização prévia que os sustentasse, os cartógrafos de Çatal Hüyük e Valcamonica já haviam percebido que, sem a projeção ortográfica, a representação se torna desproporcional e deformada em relação à configuração territorial que se deseja representar.

Não menos importante ao sobrevoo em relação à produção geoinformacional do período é a percepção de como as noções topológicas elementares estão no ponto de partida da compreensão cognitiva geoespacial e da elaboração mental da representação do território, que, ao fim e ao cabo, constitui-se numa prótese intelectual ao raciocínio espacial. Ainda que as representações sejam rudimentares, porque apenas intuitivas, parece razoável considerar que a base da representação geoinformacional está, desde sempre, referenciada a uma estruturação primordialmente topológica, que contempla relações espaciais entre objetos concretos e processos hipotéticos de interesse subjetivo, como o aprisionamento de animais. Os pictogramas aqui citados podem ser considerados as formas mais primitivas que sobreviveram daquilo que se poderia considerar como sendo um conjunto de geoinformações.

MUNDO ANTIGO

O Mundo Antigo contextualiza-se na região que alcança do oeste do continente europeu até o Golfo Pérsico, abrangendo Itália, Grécia, Turquia, Egito e Mesopotâmia. A emergência de sociedades estruturadas e em crescente diversificação inicia um processo efetivo de instrumentalização da formalização e transmissão de conhecimentos. Por volta do ano 2500 a.C., os babilônios já registram seus conhecimentos sobre os caminhos de sua movimentação, mais recorrentemente na forma de itinerários, que são essencialmente descritivos, e não gráficos.

Nessa época, surgem os desenvolvimentos egípcios na demarcação topográfica de terras e na gênese das geoinformações cadastrais. A geometrização das geoinformações iniciou-se nos babilônios, e Dilke (1987a, p. 105) observa que se sabe, por meio de Heródoto, que a experiência do Egito em registrar os limites dos campos cultivados, cobertos a cada ano pelos transbordamentos do Rio Nilo, exerceu grande influência no mapeamento da posse de terras na Grécia. Millard (1987, p. 109) destaca que as medições babilônicas já podiam ser bastante exatas e que uma geometria essencial às medições e aos cálculos dos levantamentos topográficos das pequenas

áreas já exercia papel estruturante nas medições locais. Os primeiros sinais formais da ideia de uma representação preocupada em manter a proporção das medidas entre o mundo concreto e a representação por geoinformações manifestam-se na *Planta de Nippur* (centro religioso dos sumérios na Babilônia), desenhada aproximadamente na época de 1500 a.C., e que já contemplaria uma escala, ou seja, uma proporcionalidade matemática entre os objetos do terreno e seus correspondentes na planta.

No que tange à produção de geoinformações mais orientada às demandas locais e específicas, os romanos tiveram um papel mais destacado do que os gregos, que se orientavam mais à construção do conhecimento voltado à cosmovisão. Geoinformações para o planejamento de campanhas militares, para o estabelecimento de colônias, para a demarcação de terras, para apoio a obras de engenharia, para regularização e avaliação legal de propriedades (DILKE, 1987b, p. 201), entre outras, fizeram parte da infraestrutura de geoinformação de que se serviram os romanos na gestão e expansão de seu território.

O *Forma Urbis Romae* é um admirável registro geoinformacional à grande escala do território urbano, imprescindível àquela época, como hoje, para a gestão tanto dos equipamentos urbanos quanto da própria ocupação do solo urbano. A escala era de aproximadamente 1:250, e a qualidade da estruturação geométrica e da representação em escala, verificadas séculos depois em áreas remanescentes, mostrou-se excelente (DILKE, 1987c, p. 227).

Os gregos, por serem mais fortemente caracterizados por uma dinâmica de intercomunicação interna aos seus domínios pela navegação, tinham uma preocupação geoinformacional mais orientada à cosmovisão. Na Antiguidade, já começava a haver uma demanda pela descrição e representação da relação espacial entre locais distantes, separados entre si por distâncias expressivas (MILLARD, 1987, p. 111). Isso coloca muito mais complexidade à representação do que a simples geometrização local, impondo a demanda por uma referência ao absoluto, de modo a encontrar uma solução para o estabelecimento de uma estruturação topológica que descreva os relacionamentos espaciais entre locais distantes.

Os processos físicos naturais, em especial os celestes, eram os que melhor se apresentavam como solução possível para o referenciamento ao absoluto. O próprio termo *orientação* seria decorrente do direcionamento das representações ao nascer do sol, ao oriente, remontando os registros mais antigos a 2300 a.C., na Babilônia (MILLARD, 1987, p. 113). A necessidade

de uma referência absoluta justificaria a gênese de uma das mais poderosas estruturas formais e conceituais dos sistemas de geoinformação: a Astronomia de Posição, que viabilizou a determinação de uma posição na Terra com base no posicionamento pelas estrelas ou pelo Sol.

A complexificação social, a necessidade da referência ao absoluto, a expansão das fronteiras com as conquistas de Alexandre, o Grande, e mesmo a consagração de Alexandria como um centro cultural, reforçam o estudo da forma da Terra e o mapeamento do ecúmeno. Em termos teóricos, Dicaearchus (aproximadamente 326-296 a.C.) inova ao introduzir num mapa duas linhas que implementam a ideia de referenciar o ecúmeno a paralelos e meridianos, num embrião do sistema de coordenadas e referências que, ainda hoje, serve como sistema global de georreferenciamento. Quase um século depois, Eratóstenes desenvolve a ideia e melhor a ajusta à gênese de um sistema de referência global para toda a Terra (HARLEY; WOODWARD, 1987, p. 152). Eratóstenes (275-194 a.C.) apontava a necessidade de se produzir um sistema de coordenadas coerente e que fosse capaz de referenciar absolutamente todos os objetos e fenômenos do espaço, por meio de uma referência direta de todos a um sistema absoluto, único. A ideia do georreferenciamento a um sistema absoluto de coordenadas ganha, pela primeira vez, densidade que justifique a consideração de sua importância estruturante à análise espacial. Com efeito, dois desenvolvimentos de Eratóstenes foram fundamentais: o primeiro foi a determinação das características geométricas dimensionais da Terra, pela apuração de seu raio; o segundo foi a elaboração de um mapa-múndi estruturado em relação a um sistema absoluto de coordenadas, sob a forma de meridianos e paralelos. No entanto, ao empreender a constituição de seu mapa do ecúmeno, Eratóstenes enfrenta um dos mais clássicos e complexos problemas da geoinformação: a representação fidedigna no plano, o mapa desenhado, da geometria de objetos situados sobre uma esfera, a Terra, num movimento epistêmico que prepara o terreno para o desenvolvimento das projeções cartográficas, levado a cabo, depois de Eratóstenes, por Hipparchus, Marinus e Ptolomeu (CORTESÃO, 1969 *apud* HARLEY; WOODWARD, 1987, p. 157).

As transformações geoinformacionais desse período, entretanto, não ficariam completas sem uma referência ao fato de que o conhecimento dessa era ficou profundamente marcado pela obra de Claudio Ptolomeu (90-168 d.C.), que fusionou as influências gregas e romanas em uma única tradição geoinformacional (DILKE, 1987d, p. 177). Como exemplo da amplitude da obra de Ptolomeu, merece destaque sua preocupação com

uma questão fundamental às geoinformações, que é a que trata dos erros inerentes ao processo. Ptolomeu comenta em sua obra que a transferência constante de dados de bases antigas para bases mais recentes implica uma gradual modificação da posição original, o que acaba por se traduzir em erros expressivos no posicionamento dos elementos representados (DILKE, 1987d, p. 180). Além dos estudos, Ptolomeu deixa o mapa do ecúmeno da época até mesmo em forma de uma lista de coordenadas dos pontos formadores do mapa, que se poderia dizer que antecipa a forma de registro que a Cartografia terá quando se digitalizar, no século XX. Dessa forma, o que restou de resultado mais significativo da Antiguidade para os séculos que se seguiram foi a grande síntese estabelecida por Claudio Ptolomeu, que consolidou o grande ciclo de construção epistemológica progressiva, que caracterizou a evolução da geoinformação no Mundo Antigo.

IDADE MÉDIA

O período referente à Idade Média parece evidenciar que o conhecimento não necessariamente apenas evolui. A espiral do conhecimento não tem um moto predeterminado, sempre ascendente. Muitas vezes há retrocessos, e a espiral torna-se declinante, não apenas desconstruindo, mas, antes até, destruindo o conhecimento que havia resultado de uma longa e importante construção anterior. Por que o conhecimento construído na Antiguidade, formalizado pela síntese de Ptolomeu, se perdeu na Idade Média? Por que esse conhecimento perdeu importância social?

Não são necessárias grandes digressões à História geral para reportar que a Idade Média se caracteriza pela implantação de um modo feudal de organização social, formando um tecido social submetido à ação de forças que Norbert Elias (1993, p. 33) chama, muito propriamente, de centrífugas, no âmbito do qual não fazia muito sentido a demanda social por uma cosmovisão, em termos geoinformacionais. Numa sociedade de caráter extremamente local, fragmentada e muito pouco interdependente, bastariam representações locais, à moda daquelas exclusivamente topológicas, como as da Pré-História.

Não é razoável afirmar que aos humanos da Idade Média não ocorressem preocupações com a cosmovisão. Por certo, ao pensar em termos desta, eles precisavam construir uma visão de mundo. Essa visão, entretanto, não precisava ser mais do que esquemática; não precisava ter a sofisticação das cosmovisões estruturadas e construídas pelos gregos. Afinal, numa

ambiência em que as questões locais são dominantes, a cosmovisão pode perfeitamente ser construída sob um dogma. A rigor, para uma sociedade que não tinha nenhuma evidência inquestionável acerca da forma da Terra, a definição da cosmovisão tanto poderia vir de um dogma científico quanto de um dogma transcendente.

Nesse contexto, parece fazer sentido a grande disseminação dos chamados *mapas T-O* como cosmovisão medieval, ao menos em grande parte da Idade Média. Não apenas é compreensível que sua visão se origine de dogmas, como também é compreensível que as representações T-O sejam esquemáticas. Em ambos os casos, reflete-se a não necessidade de que a idealização construída se ajuste bem, adequadamente, ao mundo concreto.

Entretanto, à medida que as demandas sociais se sofisticam e alcançam questões mais complexas, como o apoio à navegação ou a representação de extensos territórios, passa a existir a necessidade de um conhecimento mais congruente, mais adequado ao objeto concreto — a Terra. Aos poucos, num processo que Norbert Elias (1993) chama de civilizatório, começa a haver a formação de reinos importantes, a sociedade vai se tornando mais complexa, e as demandas pelas integrações sociais de longa distância vão se tornando cada vez mais relevantes. Começam a se formar, então, condições sociais de natureza muito similar àquelas que, na Antiguidade, motivaram a necessidade de estabelecer relações topológicas de natureza continental e a consequente construção de uma cosmovisão bem ajustada ao Mundo real.

A necessidade de deixar a navegação menos dependente da observação astronômica enseja a instrumentalização do uso conjunto da bússola, com utilização iniciada no século XIII, e dos registros geoinformacionais descritivos, como livros ou cadernos, chamados de *Portolani* (THROWER, 1999, p. 51). A orientação da navegação era, até o advento da bússola, profundamente dependente da orientação astronômica ou de outras técnicas rudimentares. Com a bússola, a navegação liberta-se das restrições às atividades marítimas nos dias e noites nublados e ganha imenso impulso, num momento em que a sociedade já intensificava suas demandas pelo aumento do comércio e das trocas entre locais distantes. Esse instrumento viabiliza uma navegação mais sofisticada e diversificada e, definitivamente, estabelece a direção norte-sul como orientação mais adequada às bases geoinformacionais (WILFORD, 2000, p. 62).

Outra manifestação da mudança nas demandas à cosmovisão é a retomada gradual do conhecimento da Antiguidade. A questão da estru-

turação geométrica orienta-se pelo óbvio, que é a retomada do processo de construção do conhecimento, a partir de sua interrupção no Mundo Antigo, e até mesmo pela retomada da elaboração dos *mapa-múndi*. Como na Antiguidade, os principais insumos à produção de mapas cada vez mais abrangentes vinham das viagens exploratórias às terras incógnitas, dos mapas deixados por Ptolomeu. Para os gregos do Mundo Antigo, grandes insumos vieram de Píteas e de suas viagens às terras do norte da Europa, assim como das incursões de Alexandre, o Grande, ao oriente. Agora, ao fim da Idade Média, a lógica repetia-se. A diversidade de fontes informacionais em uma sociedade mais diversificada e complexa ensejou a solução metodológica da compilação de mapas com base em diferentes fontes de dados que fluíam das viagens exploratórias. Os mapas-múndi de Fra Mauro e Abraham Cresques constituem bons exemplos dessa solução metodológica.

Novamente aqui, como em todas as transições entre períodos históricos, não há uma ruptura clara entre épocas distintas, mas uma fase na qual algumas características mais típicas da época que se encerra vão se extinguindo, assim como outras vão anunciando a nova época que está em gestação. Na transição da Idade Média para o Renascimento, novas explorações e a descrição integral do Mundo já refletem uma demanda social muito grande, pela expansão do Mundo conhecido e pela integração global que, deste tempo em diante, apenas avança.

RENASCIMENTO

Por volta do fim do século XV e do início do século XVI, a sociedade havia se transformado bastante em relação àquela de características feudais da Alta Idade Média. Os reinos constituíam-se já em sociedades e proto-estados bastante diversificados e complexos. Proto-estados que tinham uma dinâmica social tão ou mais complexa que aquela da sociedade greco-romana, que tantas demandas trazia à produção de geoinformações, tanto as afetas à cosmovisão quanto aquelas de natureza local.

A qualidade da base cartográfica deixada por Ptolomeu era tão dominante à época que, durante muito tempo, sua obra *Geographia* foi a principal referência sobre a qual trabalhavam os cartógrafos de então. Todavia, de cada nova investida exploratória, resultavam geoinformações que, apostas à representação anterior, permitiriam um desenho e uma imagem cada vez aprimorados do mundo concreto. A integração ao conhecimento já existente, todavia, podia trazer à luz inconsistências antes não manifestas. Os

erros grosseiros cometidos por Cristóvão Colombo ilustram bem a questão. Colombo partiu de uma já alongada representação da Eurásia e foi operando cognitivamente até concluir equivocadamente que o Oriente se situava a 68° de seu ponto de partida, evidenciando as dificuldades que a carência de mapas-múndi produzia. Os portugueses, que tinham no infante D. Henrique uma figura proeminente em face de sua capacidade organizacional para planejar e gerenciar a grande empresa exploratória, sabiam bem disso. Na empresa exploratória, as bases de informações geográficas atualizadas pelas expedições anteriores orientavam e potencializavam as expedições seguintes, implantando uma espiral ascendente de conhecimento que permitia a expansão das fronteiras do mundo conhecido, como também possibilitava a posse, em primeiro lugar, de eventuais locais de interesse. Nesse sentido, as informações que resultavam dos empreendimentos exploratórios eram tão estratégicas que D. João II impôs segredo absoluto acerca das cartas que mostravam as descobertas portuguesas no Novo Mundo. A traição desse segredo deixaria o traidor suscetível a pena de morte (LEFORT, 2004, p. 93).

No que tange à forma da Terra, a década de 1520 contempla uma viagem exploratória, que dará um forte equilíbrio a uma construção cognitiva nunca antes comprovada de forma efetiva. Em 1522, Juan Sebastián Elcano retorna a Sevilha, encerrando a expedição exploratória chefiada até 1521 por Fernão de Magalhães, completando pela primeira vez a circum-navegação daquele planeta que, desde a Antiguidade, afora os dogmas, se considerava esférico (THROWER, 1999, p. 75).

Nesse tempo de exploração e descobertas, firma-se a formação dos *mapas bidimensionais em folhas de papel*, por conta da disseminação das soluções da impressão de mapas, viáveis a partir da invenção da imprensa. O primeiro mapa impresso na Europa é produzido na década de 1470 (THROWER, 1999, p. 59). A partir daí, o crescente interesse por um mundo em permanente transformação e a possibilidade de produzir inúmeras vias idênticas de um mesmo original gravado (THROWER, 1999, p. 59) fazem florescer um mercado de mapas que gradualmente dissemina uma cultura de relevância da geoinformação.

Nesse contexto de adensamento no conhecimento geográfico do mundo, assiste-se a um processo cujo termo que o melhor expressa parece ser o de complexificação, tornando ainda mais importante a necessidade de se apresentarem soluções adequadas à projeção matemática de áreas extensas em planos bidimensionais, os *mapas*. O problema epistemológico

das projeções cartográficas ganha maior complexidade, e, nas circunstâncias dessas novas demandas, Gerardus Mercator destaca-se com uma obra conjunta que parece sinalizar a gênese e a direção de uma espécie de convergência entre as representações geoinformacionais de pequena escala — as cosmovisões, como os mapas-múndi — e as representações de grande escala, locais — os levantamentos topográficos, entre os quais os *Forma Urbis Romae* eram paradigmáticos. Na Antiguidade, a diferenciação entre essas duas abordagens geoinformacionais parecia bem mais clara, porque cada uma delas se originava de um tipo de conhecimento e de uma prática bem diferente da outra. Agora, entretanto, com a complexificação do território e com a necessidade de se produzir bases geoinformacionais intermediárias, entre uma abordagem local e outra global, que são os mapeamentos provinciais e nacionais, passa a haver a demanda por uma fertilização de conceitos entre essas abordagens extremas. Há indícios interessantes desse fenômeno na produção intelectual de Mercator e de seu mestre Gemma Frisius, que era astrônomo, matemático e cartógrafo. A Frisius, credita-se o desenvolvimento de uma das mais importantes estruturas metodológicas dos levantamentos de campo: a determinação de pontos por triangulação (THROWER, 1999, p. 76). Ou seja, em termos simplificados, a operacionalização do cálculo de triângulos, para a determinação da posição de um novo ponto, com base em dois pontos já existentes. Com efeito, tanto Frisius quanto Mercator tinham formação teórica para as questões da estruturação geométrica das representações à pequena escala e tinham reflexão teórica e prática de levantamentos em maior escala, com os quais se engajaram até mesmo de forma profissional. Mercator, quando elaborou mapas da Europa com o emprego de projeções cônicas, por certo fez convergir os dois conhecimentos, o dos levantamentos à grande escala e o das teorias ptolomaicas, para poder dar uma solução que atendesse a uma representatividade geoinformacional mais minuciosa, como as locais, mas que tinha, entretanto, em face de suas extensões regionais, demandas de estruturação geométrica mais afetas aos quadros teóricos globais, razão mais provável para o uso da projeção cônica.

O mesmo casamento epistemológico profícuo entre fundamentação teórica e exercício e conhecimento práticos havia também em Oronce Fine, França. Também no caso de Fine, o seu método de compilação da *Carte de France*, bem como seu desenvolvimento de soluções de projeções cartográficas e de determinação de latitudes e longitudes, parece sinalizar

a gênese de uma dimensão de mapeamento provincial, à média escala, que vem se interpor à dicotomia entre os mapas-múndi e as plantas locais.

Mudaram, portanto, nesse período, as condições sociais de demanda e de disseminação das geoinformações. Com a importância social das viagens exploratórias e da rápida expansão das fronteiras do mundo conhecido, com as demandas pelos mapeamentos à média escala e, mais ainda, com as possibilidades de produção, edição e disseminação de geoinformações, criadas pela gravação e impressão de mapas, decorrentes da invenção da imprensa, diversos mapeamentos importantes resultaram dessas circunstâncias históricas. Havia ainda, entretanto, certa limitação prática na execução do levantamento intensivo de dados, limitação que instalaria os desenvolvimentos importantes do tempo a seguir.

ERA DOS LEVANTAMENTOS TERRESTRES

A ideia central ao período que se caracteriza pelos séculos XVII ao XIX é a do levantamento terrestre intensivo. A ideia de levantamento em si não é nova, não surge nesse período. Ela encontrava-se presente desde os babilônios, tendo alcançado seu ápice com os levantamentos cadastrais que os romanos faziam para o *Forma Urbis Romae* e com os levantamentos astronômicos que os gregos empreendiam, para a determinação das coordenadas das cidades e outros objetos a constar nos mapas-múndi.

No início do século XVII, segue a crescente complexificação do território a representar. Em âmbito local, as cidades adensam-se e sofisticam-se em termos da diversidade de seus equipamentos urbanos e de suas construções. Em termos regionais, assiste-se a uma configuração nacional que consolida a formação de regiões com características próprias, configurando o que são os reinos absolutistas à época e o que serão, nos séculos seguintes, os Estados da era moderna.

Nesse contexto, tornam-se insuficientes as soluções ainda predominantes de levantamentos indiretos, muito dependentes de dados preexistentes, o que caracterizava a compilação ou o que os franceses chamam de *cartographie de cabinet* (PELLETIER, 2001, p. 92).

A gestão do território já não podia se fazer de forma eficaz sem mapas que contemplassem os detalhes, ou seja, todos os objetos que constassem no território e que fossem importantes às ações e às intervenções do Estado. Essa demanda social motiva e desenvolve o levantamento terrestre do

cadastro em grande escala como método essencial de levantamento de dados geoespaciais, substituindo gradualmente a compilação, que era, em especial para as representações não cadastrais, o método predominante até então.

Com efeito, surgiu a demanda por novas metodologias e equipamentos que viabilizassem a determinação mais intensiva e detalhada da posição dos objetos de interesse ao mapeamento, bem como a definição mais precisa da relação espacial entre estes.

Em termos metodológicos, a determinação de posição por triangulação inicia nesse período uma longa história de importância dos levantamentos terrestres. A operação em campo dá-se por medição de lados (denominados bases) e de ângulos de um triângulo, por meio da qual é possível calcular a posição de um novo ponto, com base em outros dois já conhecidos. Isso foi decisivo não apenas para determinar pontos caracterizadores de objetos do território, a serem representados nos mapas, como também para expandir a disponibilidade de pontos já conhecidos, ou seja, pontos que pudessem ser usados como referência à determinação de novos pontos, num efeito multiplicador imprescindível, como a geração da *Carte de Cassini* (ou *Carte Générale et Particulière de la France*), primeiro mapeamento sistemático nacional, cujos levantamentos terrestres se estenderam por praticamente todos os 50 anos da segunda metade do século XVIII, em plena era da Revolução Francesa.

Como solução técnica, a triangulação guarda ainda a vantagem de viabilizar o encadeamento de triângulos, o que possibilita sua extensão por grandes áreas. Diversos desenvolvimentos científicos e tecnológicos do período apoiaram a solução. O desenvolvimento matemático das tábuas de logaritmos, no século XVII, reduziu muito o tempo gasto no cálculo das medições de campo (WILFORD, 2000, p. 118), assim como a associação da luneta telescópica ao teodolito viabilizou a visão de pontos a longa distância e permitiu uma pontaria e uma medição mais precisa dos ângulos.

Os desenvolvimentos metodológicos das triangulações no apoio à *Carte de Cassini* possibilitaram que se estabelecesse na França uma cadeia ininterrupta de 400 triângulos e de 18 bases fundamentais (WILFORD, 2000, p. 138). No entanto, tal encadeamento produz uma propagação de erros de medição que passa a constituir um problema muito sério à nova modalidade de produção. Novamente, os desenvolvimentos científicos da época tornam-se decisivos, porque o matemático alemão Johann Carl Friedrich Gauss, instado em 1818 a conduzir a conexão da rede geodésica de trian-

gulação de Hanover, com a rede já existente da Dinamarca (O'CONNOR; ROBERTSON, 1996), aplica estruturas matemáticas formais, as quais serão decisivas no tratamento dos erros em todas as etapas do processo geoinformacional: o método dos mínimos quadrados, ainda hoje decisivo às soluções de levantamento e processamento dos dados e informações geoespaciais.

Em termos da evolução dos instrumentos, é também paradigmático o desenvolvimento dos cronômetros de marinha (WILFORD, 2000, p. 160), no século XVIII, que equacionou em definitivo o problema da longitude, para cuja determinação mais precisa o controle do tempo é um dado muito importante. A latitude já contemplava métodos astronômicos de precisa determinação. A determinação precisa da longitude, no entanto ainda era um desafio à elaboração de mapas e um óbice à navegação precisa das embarcações, cada vez mais sofisticadas desse tempo (WILFORD, 2000, p. 153).

Em 1875, com a convenção do metro e com a virtual universalização do sistema decimal, passa a haver certa facilitação em relação às escalas dos mapas, que passam a ter razões mais diretas em base decimal, como as escalas de 1:5.000, 1:10.000 etc. Vale lembrar que a *Carte de France*, em 1793, tinha a escala de 1:86.400. Nessa mesma toada de aperfeiçoamento das estruturas de georreferenciamento, a convenção de Washington de 1884 aprovou a resolução de adoção do meridiano de Greenwich, em Londres, como o meridiano de referência para o estabelecimento das longitudes, no sistema mundial de coordenadas geográficas.

Ainda em face da demanda crescente por maior rigor na estruturação geométrica, a questão da forma geométrica rigorosa da Terra e de seus parâmetros matemáticos volta à baila. Expedições científicas são empreendidas, com o objetivo de medir o comprimento dos arcos de meridiano de 1°, em diversas posições da Terra, para poder inferir com maior precisão a geometria real do planeta. Como consequência, na década de 1730, a estrutura geométrica afirmada desde a Antiguidade e medida por Eratóstenes, a Terra esférica, resulta inadequada. A nova estrutura inferida é um esferoide, denominado elipsoide de revolução, com raio equatorial maior que o raio polar e, por consequência, com um discreto achatamento nos polos.

Entretanto, as evoluções epistemológicas são tão intensas que, em meados do século XIX, durante os trabalhos de medição e cálculo da cadeia de triangulação da Índia, que incluiu o Himalaia, alguns erros de medição, decorrentes do desenvolvimento da triangulação por sobre as grandes cadeias de montanhas, colocaram novamente em suspeição a forma da

Terra. As importantes anomalias da força gravitacional encontradas ao longo dessas medições, associadas a estudos geofísicos, acabaram por confirmar que também o elipsoide não descrevia a forma real da Terra. Ao final do século XIX, já havia referências a uma figura fisicamente descrita, o geoide, que não tem forma geométrica rigorosa e que é mais bem descrita por seus atributos físicos. O elipsoide segue como forma matemática para a constituição de representações horizontais, e o geoide torna-se a figura de referência à altitude.

Nesses férteis três séculos, assiste-se também ao primeiro equacionamento da representação do relevo. Modos de determinação relativa de desníveis, ou seja, de determinação da diferença de altitude entre um ponto e outro, por certo sempre existiram. Os romanos tinham, certamente, formas rigorosas de determinar esses desníveis e de avaliar perfis das suas obras, principalmente aquelas de engenharia hidráulica. Nos mapas usados para representar grandes áreas, entretanto, as únicas formas de representação encontradas eram de natureza mais figurativa, simbólica, mais indicativa da existência de um relevo, do que propriamente qualitativa ou quantitativa. Thrower (1999, p. 113) observa que mesmo a *Carte de France*, editada em 1793, que contemplava uma representação do terreno e que indicava apenas dois ou três níveis de superfícies, era, como representação altimétrica, uma base insatisfatória.

As dificuldades para uma mais precisa determinação e representação altimétrica começavam no levantamento. O único método capaz de gerar pontos com praticidade, para além do âmbito local, era o baseado no nivelamento de pontos com barômetro, que, no entanto, além das dificuldades operacionais, contemplava uma precisão insatisfatória. Além disso, o alto nível de abstração necessário à geração, à interpretação e ao uso das curvas de nível deve ter criado as resistências que fizeram com que apenas em meados do século XIX essa representação conseguisse suplantiar o método de simbolização do relevo por hachuras, o qual era usado até então (THROWER, 1999, p. 114). Desde sua adoção, contudo, as curvas de nível tornaram-se o método mais usual para a representação do relevo, ao menos até o século XXI, quando se encontram desafiadas pelos modelos digitais de elevação.

Quanto à expansão da descrição precisa do mundo conhecido, as expedições de James Cook à Austrália e à Nova Zelândia são paradigmáticas da sofisticação crescente da navegação e das demandas por cartas náuticas

cada vez mais precisas. Os levantamentos hidrográficos sofisticam-se e passam a servir-se também de técnicas desenvolvidas para os levantamentos terrestres, denotando a fluida capilaridade do conhecimento nessa era.

Com o território cada vez melhor e mais detalhadamente descrito pelas geoinformações, as interpretações e análises operadas sobre aquelas orientam-se no sentido da compreensão da dimensão espacial dos fenômenos e do aprofundamento das análises e dos estudos, que identificam no espaço um aspecto decisivo à apreensão dos fenômenos. Em 1752, por exemplo, Philippe Buache apresenta à Académie des Sciences da França um *Ensaio de Geografia Física*, no qual ele sugere uma distinção entre a Geografia Física, exterior, que trata das terras, das montanhas, dos rios e do mar; e a Geografia interior, que se ocuparia dos minerais, da origem das fontes, enfim, dos fenômenos que se ocultam no interior da terra e do mar (PELLETIER, 2001, p. 96-97). Até esse período, Geografia significava essencialmente a descrição e a representação da superfície da Terra. Cada vez mais, a partir do trabalho de geógrafos mais orientados no sentido da compreensão do fenômeno espacial, como Humboldt e Karl Ritter, a Geografia deixa, para a então denominada Cartografia, a descrição do *geo* e passa a cuidar do conhecimento mais qualitativo, mais substancial, acerca da dimensão geoespacial dos fenômenos. Afinal, como disse Milton Santos (1997, p. 16), “descrição e explicação são inseparáveis. O que deve estar no alicerce da descrição é a vontade de explicação”. A disseminação e a diversificação das geoinformações parecem ter sido um dos fatores que ensejaram a investigação científica e o desenvolvimento metodológico, que resultaram no adensamento do conhecimento geográfico, como o conhecemos hoje. Descrição instilando explicação.

Muito provavelmente, foram também essas as razões que levaram Edmond Halley a produzir o que teria sido um dos primeiros mapas temáticos com enfoque científico, ao final do século XVII. Como destaca Thrower (1999, p. 95), desde o século XVI, e talvez até antes, já havia geoinformação construída para a representação de temas específicos, como no caso do *Theatrum de Ortelius* e dos *Mapas Biblicos* de Oronce Fine. No entanto, estes seriam diferentes dos mapas temáticos, como os de Halley, elaborados para que o cientista expusesse a dimensão espacial dos seus objetos de pesquisa (THROWER, 1999, p. 95).

Desse hipotético marco inicial, que aqui se ancora à cartografia temática de Halley, iniciar-se-á um sofisticado processo de constituição

e implementação da análise geográfica, que se sofisticará, no futuro, com o emprego dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como ferramenta. O espaço geográfico está se complexificando progressivamente. Os sistemas de objetos e os sistemas de ações, para usar um constructo de Milton Santos (1997, p. 50), são cada vez mais complexos, ensejando que as análises qualitativas da dimensão geográfica dos fenômenos se tornem cada vez mais imprescindíveis à adequada compreensão destes.

O episódio envolvendo a disseminação do vírus da cólera em Londres, em 1855, representa bem o reconhecimento crescente da importância da dimensão geoespacial. O que fez John Snow foi um mapeamento temático em saúde pública que pudesse instrumentalizar suas análises geoespaciais acerca da questão da cólera (THROWER, 1999, p. 150-151). Snow parece ter intuído que a análise poderia se tornar mais poderosa, se expandida por uma prótese intelectual na qual ele pudesse representar meticulosamente os elementos em jogo no espaço. Thrower (1999, p. 152) observa, com propriedade, em outros termos, que o mapa do Dr. Snow ilustra um alto nível de instrumentalização das geoinformações, ou seja, o seu uso para a identificação de fenômenos que, de outra forma, dificilmente poderiam ser bem perscrutados, em face da determinante importância da sua dimensão geoespacial.

Quanto à linguagem gráfica das geoinformações, há grande desenvolvimento nesse período, em função das crescentes demandas pela representação de detalhes na cartografia, como no caso da *Carte de France*, e pelas demandas trazidas pela cartografia temática. O *Mapa de Uso do Solo de Londres*, em 1800, com 17 categorias diferentes de uso, representadas em cores e letras indicativas, bem como os *Mapas Geológicos dos Séculos XVIII e XIX* (THROWER, 1999, p. 126) refletem bem as maiores demandas à semiologia gráfica.

Esse longo período de mudanças estruturais encerra-se com a consolidação do método de levantamento terrestre como o método essencial da produção de geoinformações. Entretanto, a despeito dos excelentes resultados por toda parte, o método ainda carece de uma estruturação conjuntiva, em especial para as áreas de dimensões muito grandes. Para a elaboração da *Carte de France*, uma das principais dificuldades dos Cassinis, ao longo de mais de um século de trabalho, foi a de fazer o mapeamento contínuo, consistente como conjunto, para todo o país. A representação do relevo também ainda se fazia insuficiente à compreensão conjuntiva das áreas, principalmente em

relação à adequada percepção das bacias hidrográficas. Nos levantamentos exploratórios que foram empreendidos na expansão norte-americana para o oeste, a bidimensionalidade dos levantamentos dificultava a compreensão mais precisa da configuração das bacias e do caminho das águas (WILFORD, 2000, p. 233). Em outras palavras, os métodos já existiam para a execução dos levantamentos e de seus produtos, mas sua implementação ainda era muito trabalhosa e lenta; e as áreas desconhecidas, principalmente aquelas interiores às novas terras, ainda muito grandes.

Tornar os levantamentos mais poderosos, mais capazes de representar detalhadamente extensos territórios, entretanto, parecia ser o sentido de todos os desenvolvimentos que passaram desse período para o seguinte. O valor da geoinformação e da compreensão da dimensão espacial dos fenômenos havia-se afirmado em termos científicos em diversas áreas, bem como na gestão territorial em níveis diversos da administração pública, dos levantamentos urbanos aos mapeamentos nacionais. Não faltavam motivações de natureza social para que a geoinformação aprofundasse cada vez mais sua capacidade de descrever o espaço e de permitir sua melhor compreensão. No entanto, os levantamentos terrestres eram muito trabalhosos e demandantes de tempo para a representação dos territórios de interesse de uma terra não mais incógnita, como na definição de Ptolomeu, mas ainda muito inexplorada e carente de mapeamento. Uma nova geotecnologia surgirá, todavia, para romper as amarras dos levantamentos, potencializar imensamente o trabalho de produção geoinformacional e marcar o espírito do tempo que virá a seguir.

ERA DO SENSORIAMENTO REMOTO

A principal transformação que marcará e caracterizará o conhecimento em geoinformação no século XX anuncia-se ainda no século XIX, mas apenas começa a ganhar maior desenvoltura na década de 1920. Em linhas gerais, essa transformação caracteriza-se pelas possibilidades criadas pela utilização de diversos tipos de imagens na geração de geoinformações, caracterizando aquilo que hoje se conhece como sensoriamento remoto. Nessa era, a utilização de sensores na produção de geoinformações inicia-se pelo emprego da câmera fotográfica, um sensor passivo; e expande-se por diversos tipos de dispositivos, incluindo os chamados sensores ativos, ou seja, aqueles que emitem sua própria energia, como no caso dos sensores a *laser* e de radar. O posicionamento dos sensores em relação ao território de

interesse pode variar de um ponto de vista do terreno (no caso da fotografia e do *laser* terrestre), até o ponto de vista espacial (com o sensor posicionado dentro de um satélite), passando pelo posicionamento aéreo (a bordo de um avião ou helicóptero); em todos os casos, entretanto, a posição do sensor é remota em relação ao objeto de interesse.

O elemento indutor da principal transformação desse período é a invenção da fotografia. A capacidade de registrar uma imagem, antes da câmera fotográfica, apenas podia se viabilizar por meio de uma representação gráfica gravada ou desenhada, fosse ela um desenho técnico, fosse uma pintura artística. No caso das geoinformações, essa necessidade de reter uma imagem podia ser percebida pelas representações chamadas de *bird's-eye view* e de *portrait de ville*, que, nos séculos anteriores, já anunciavam a demanda por imagens de um território em complexificação. A ideia por trás do registro imagético parece sustentar-se pela intenção de reter os aspectos aparentes de uma dada paisagem, de modo a poder analisá-los melhor, a poder perscrutá-los, mesmo quando não se está mais imerso naquele ambiente. Parece tratar-se, portanto, de uma tentativa de extensão da capacidade natural de reter imagens, que tem a inteligência representativa e a memória, que a assiste no armazenamento dessas imagens.

Como parece compreensível, a gênese do sensoriamento remoto dá-se de forma muito associada ao levantamento terrestre, que era, em meados do século XIX, o método por excelência de obtenção de dados geoespaciais sobre certo território. O levantamento por meio de uma triangulação fotografada, em realidade, reproduzia o método de determinação da posição de elementos do espaço, por meio da medição de triângulos, com a diferença de que a visada, dada pelo operador de cada uma das duas estações era registrada fotograficamente. Pouco tempo depois, ainda na mesma década, esse elemento transformador associa-se a outro elemento, não menos transformador: o balão, que agora possibilitava ao observador flunar sobre o terreno; ou seja, a possibilidade de os humanos descolarem-se do chão e flutuarem sobre o território de interesse, para ter uma outra perspectiva, mais abrangente e conjuntiva. As primeiras fotos aéreas foram tomadas de balões, antes mesmo da invenção do avião, mas não tinham ainda uma estruturação de processo de levantamento aéreo que possibilitasse sua utilização como meio de extração da geometria dos objetos que compõem o território. Com efeito, nessas primeiras missões aéreas, sua função era de mero imageamento do território, circunstância que se repete no século XXI, nas primeiras utilizações dos veículos aéreos não tripulados (Vants).

Interessante observar ainda que, tal como a cartografia em seus primórdios, a utilização embrionária da fotografia aérea, como meio geoinformacional, apenas poderia expressar as relações topológicas, uma vez que ela ainda não havia alcançado o nível de desenvolvimento de uma estruturação geométrica, tampouco o de vínculo a um sistema de coordenadas.

A estruturação geométrica da fotografia aérea, imprescindível para que se pudesse extrair a geometria de configurações territoriais com base em sua imagem, foi construída de forma gradual, do embrião que Laussedat trouxe à luz ao associar a câmera fotográfica ao processo de triangulação. O processo fotogramétrico essencial é, como em Laussedat, composto por duas imagens que se associam segundo uma dada razão geométrica, para poder determinar a posição de um elemento que conste nas duas imagens. O princípio básico é o mesmo, tanto na fotogrametria terrestre quanto na aerofotogrametria. Além do desenvolvimento teórico complexo das primeiras empreitadas de Laussedat, para que o método de levantamento fotogramétrico pudesse se consolidar, seria necessário desenvolver equipamentos capazes de instrumentalizar a extração sistemática de formas das fotografias, para retracá-las em cartas ou mapas (COLLIER, 2000, p. 157). Portanto, para que a fotogrametria se consolidasse como método de levantamento, muitos desenvolvimentos tiveram de ser levados a cabo. Foi preciso desenvolver a estrutura geométrica do processo de medição, chamado de estereoscópico, porque necessariamente vinculado a duas imagens que fotografam o mesmo espaço, de duas posições diferentes; assim como havia que desenvolver todos os equipamentos, da tomada de fotos métricas (uma câmara especial, com geometria interna precisamente determinada) até os instrumentos que permitissem a extração da geometria dos objetos de interesse (levantamento indireto, o desenho do mapa com base em um par de fotos), de maneira mais simples e produtiva.

Em termos históricos, Collier (2000, p. 155) descreve que, nos anos 1920, houve o desenvolvimento do instrumental fotogramétrico e houve os primeiros usos da fotogrametria para a produção de mapas civis, e que, na década de 1930, já se instaurava uma produção em larga escala de mapas topográficos, com base na aerofotogrametria. Começa a haver, nesse momento, ao menos nos países em que a técnica mais se desenvolveu, uma substituição dos levantamentos terrestres pelos levantamentos aerofotogramétricos. No Brasil, Allyrio Huguency de Mattos, do Conselho Nacional de Geografia, órgão do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (CNG/IBGE), defende enfaticamente em 1954 a solução fotogramétrica para o

mapeamento civil sistemático do país; e, à mesma época, Placidino Machado Fagundes gerencia tecnicamente o levantamento aerofotogramétrico dos cinco sítios potenciais para a instalação da nova capital do Brasil, objetos do mapeamento e dos estudos de fotointerpretação, que apoiaram a escolha do local onde hoje se encontra Brasília.

A evolução dos equipamentos foi tão importante que o método fotogramétrico, inicialmente restrito às escalas pequenas e médias dos mapeamentos nacionais e regionais, acabou sendo estendido às grandes escalas e aos levantamentos locais mais precisos.

A produção dos mapas dava-se por meio da interpretação de um par de fotografias aéreas, visualizado nos equipamentos de forma tridimensional. Houve ganhos de qualidade, portanto, tanto na perscrutação e interpretação dos objetos e da estruturação topológica a representar quanto na extração da geometria, para além da representação qualitativa e quantitativa do relevo, por meio da restituição, que identifica e traça as curvas de nível.

A riqueza informacional da fotografia métrica aérea, entretanto, não se restringia ao suporte à produção de mapeamentos por estereorrestituição. A sua interpretação, chamada de fotointerpretação, era muito rica a outras atividades de análise ambiental e foi largamente usada em diversas áreas, como na Geologia e na Pedologia, entre outras.

Aprimorando as soluções de produção geoinformacional por meio da fotogrametria, vem a público, na década de 1950, o *orthophotoscope*, um protótipo de projetor, que poderia viabilizar as transformações da imagem e a produção de uma nova imagem ortorretificada, ou seja, transformando a perspectiva central da fotografia em uma perspectiva ortográfica, mais adequada à manutenção da proporcionalidade (escala) da imagem. Os primeiros equipamentos realmente produtivos em escala comercial começam a operar na década de 1970 (WILFORD, 2000, p. 278). Nestes equipamentos, já começa a haver uma assistência computacional à operação, iniciando a crescente participação da computação na fotogrametria, que resultará na sua completa digitalização, já no século XXI, com as câmeras aéreas digitais, em substituição às câmeras em base filme. As ortoimagens disseminaram-se como produtos geoinformacionais, por diversas razões. Em termos produtivos, são de geração mais rápida e de custo inferior aos mapas semióticos produzidos por restituição. No que diz respeito ao uso, principalmente para usuários não frequentes das bases cartográficas convencionais, a base imágica torna-se de uso mais intuitivo. Nos ambientes digitais, sua qualidade

de imagem aumentou muito, e a possibilidade de extração geométrica de elementos tornou-se bastante poderosa. E ainda, com a crescente dinâmica espacial de certas áreas, considerada a relativa rapidez de sua produção, é mais viável manter bases geoinformacionais atualizadas com o uso da ortoimagem do que com a carta tradicional, semiótica.

O sensoriamento remoto expande-se, ainda, da sua restrição inicial a aviões, para uma crescente adequação às plataformas satelitais, tornando o remoto ainda mais remoto. Como observa Wilford (2000, p. 282), havia uma crescente capacidade de perceber, de ver para além da restrita sensibilidade do olho humano, com a incorporação às plataformas satelitais de sensores multiespectrais, entre outras diversas possibilidades de sensoriamento.

Ainda na década de 1970, o programa *Landsat* (a princípio, chamado de *Earth Resources Technology Satellite, ERTS*) iniciou seu imageamento permanente da Terra, com revisitas a toda parte do planeta, a cada nove dias (THROWER, 1999, p. 186). Essas imagens satelitais, a despeito de não contemplarem geometria rigorosa, como a fotogrametria, tornaram-se importantes por seu papel no monitoramento de fenômenos ambientais. A recorrência temporal das imagens, nesse contexto de monitoramento, também é muito importante, porque disponibiliza dados que permitem acompanhar a dinâmica de certos fenômenos. De forma equivalente, o sensoriamento remoto, aplicado ao monitoramento climático e atmosférico, tem permitido uma compreensão mais holística dos fenômenos, que, sem esse monitoramento, seriam de mais difícil apreensão, em face da velocidade e da complexidade de seu dinamismo.

A extensão da prótese perceptiva do sensoriamento remoto vai, até mesmo, no sentido da criação de sensores ativos (WILFORD, 2000, p. 283), ou seja, sensores que não simplesmente registram a energia refletida pela Terra, mas que também emitem sua própria energia, de forma a permitir a análise de como a superfície a reflete, viabilizando a modelagem para identificação de certos fenômenos, pelo tipo de sua resposta.

O século XX presencia ainda uma quebra de paradigma em relação aos milênios que separam os humanos do início do uso consistente, racional, geométrico da Astronomia de Posição como solução para determinação do seu posicionamento sobre a Terra, construída à custa de muita observação sistemática e abstração geométrica de alto nível pelos humanos na Antiguidade. Os humanos criam, em termos metafóricos, seu próprio sistema astronômico, com astros ativos, os satélites de posicionamento,

que não precisavam mais ser vistos, mas que ativamente se faziam vistos pelos sinais que emitiam, sempre com desenvolvimentos no sentido de aprimorar o sistema, de fazê-lo cada vez mais preciso. O desenvolvimento científico buscava o estabelecimento final, global, absoluto de um sistema de coordenadas único, que a tudo referencie. A rigor, esse sistema já existia na Astronomia de Posição. Agora, entretanto, os humanos subordinam o sistema a si, e não mais aos astros naturais e à sua visualização.

Quanto aos levantamentos terrestres, com a crescente importância da fotogrametria no mapeamento de áreas de grande ou média extensões, eles se desenvolveram mais em duas grandes tendências: o aperfeiçoamento crescente de seu papel de estabelecedor da infraestrutura geodésica nacional de apoio de georreferenciamento, a todos os levantamentos a executar, até os fotogramétricos; e, no levantamento de pequenas áreas, a crescente melhoria de seus níveis de precisão fez com que ele se estabelecesse como a solução a adotar, sempre que houvesse demanda por grande precisão, como no caso dos projetos de engenharia.

A diversidade cada vez maior de elementos a representar ganha impulso com novas tecnologias disponíveis de gravação e impressão de mapas, permitindo que a apresentação final seja mais rica e pormenorizada (THROWER, 1999, p. 177). O nível de detalhamento das representações, em áreas urbanas, por exemplo, é tão grande que precisa haver seleção dos elementos a representar, pela impossibilidade de superposição de todos os elementos pertinentes. Engendra-se aqui um dos grandes estímulos à desmaterialização definitiva das bases geoinformacionais, a qual se consolidará no século XXI.

A geoinformação descritora das configurações territoriais potencializou-se muito pelos novos métodos e pelo desenvolvimento das técnicas de sensoriamento remoto. Por outro lado, havia a potencialização crescente de uma cartografia analítica, de uma cartografia voltada muito mais ao conhecimento da dimensão espacial dos fenômenos (dos temas) do que à descrição da configuração territorial. Essa geoinformação, cuja expressão exemplar é a chamada cartografia temática, tinha seu enfoque mais na expressão do conhecimento e buscava, portanto, desenvolvimentos teóricos que a aproximavam das expressões discursivas de qualidade (bem representar um conhecimento). Com efeito, a linguagem, a semiologia da representação gráfica, era uma questão importante à configuração de um discurso de qualidade sobre o conhecimento da dimensão geográfica dos fenômenos. Na consolidação teórica de um movimento de expansão das

capacidades representativas da semiologia gráfica, Jacques Bertin lança seu tratado referencial sobre o assunto, que trata das variáveis gráficas e explora toda a potencialidade semiológica do uso das cores, dos símbolos, das texturas, enfim, pela exploração ao limite das chamadas variáveis gráficas da imagem, que foram sistematizadas em sua obra *Semiologie Graphique* (BERTIN, 1967), que segue basilar aos SIG do século XXI.

Três dinâmicas geoinformacionais desse período desenvolviam os embriões das grandes transformações que ocorreriam no período seguinte, que, em realidade, começa nas últimas décadas do século XX: i) as primeiras iniciativas de automatização da produção cartográfica (cartografia básica); ii) a necessidade crescente da implementação de análises geoespaciais (cartografia temática); e iii) o desenvolvimento da aplicação da eletrônica aos métodos de levantamento, que potencializava os levantamentos terrestres (medição eletrônica de distâncias) e viabilizava os métodos de posicionamento por satélites artificiais (sistema *Transit*, pelo método *Doppler*). Cartografia digital, SIG e *Global Positioning System* (GPS), em seus estados embrionários.

Com efeito, na transição do século XX ao XXI, as geoinformações estavam se potencializando imensamente, a despeito das representações ainda guardarem o mesmo aspecto dos mapas convencionais em papel. Extrair medidas rápida e precisamente, superpor, combinar e comparar mapas e fazer variar a escala, entre outras funcionalidades, eram tarefas cuja execução era muito trabalhosa na base gráfica, exigindo até certa habilidade ou experiência prévia para seu desempenho. Na transição do século XX para o XXI, a espiral ascendente da desmaterialização ampla começa a mudar o jogo de tal forma que, no século XXI, parecem ter sido desamarradas as camisas de força que limitavam a incorporação e disseminação da prótese intelectual da geoinformação, na interação dos humanos com seu território de estudo e ação.

ERA DA DESMATERIALIZAÇÃO

A evolução vai chegando ao tempo presente e àquele que pode ser considerado como um dos períodos de mais intensas e marcantes transformações na representação por geoinformações. Por certo, é muito difícil, se não impróprio, tratar do tempo presente em termos históricos. As transformações, entretanto, em alguns casos, já subvertem alguns aspectos da representação por geoinformações, os quais se encontravam inalterados por séculos (como a representação bidimensional), bem como consolidam

como exequíveis, questões que demandaram um longo tempo para se viabilizar, como o levantamento e a representação precisos e detalhados da terceira dimensão e a determinação rápida e precisa da referência ao sistema de coordenadas absoluto, que, pelo posicionamento por satélites (*Global Navigation Satellite System* – GNSS), deixa a Astronomia de Posição como estrutura geométrica referencial apenas para estudos científicos. O *GPS*, que é paradigmático e antecede aos demais sistemas que compõem o GNSS, é engendrado no Pentágono e, já em 1978, tem o seu primeiro satélite posto em órbita.

A tecnologia, em desenvolvimento acelerado desde o século XX, com a instrumentalização da eletrônica e do processamento computacional de dados, viabilizou dois tipos de levantamentos terrestres que eram virtualmente impraticáveis. O primeiro diz respeito à caracterização volumétrica rápida e precisa de objetos tridimensionais, iniciada pela fotogrametria com o uso de fotos terrestres, para medir e caracterizar volumes em objetos fotografados; mas revolucionada no século XXI, com o desenvolvimento da varredura *laser* e de suas densas nuvens de pontos tridimensionais, capazes de caracterizar, com precisão e detalhamento, objetos que antes eram de trabalhosa modelagem, por meio da fotogrametria terrestre. Essa técnica virá instrumentalizar ainda mais a capacidade dos ambientes geoinformacionais em construir representações tridimensionais e dinâmicas de ambientes de grande complexidade e de objetos de todo tipo, desde áreas florestadas a territórios urbanos.

Também no século XXI, o GNSS, o processamento e armazenamento computacional de dados e a comunicação por radiofrequência trazem às geoinformações algo que, na prática, não existia: a caracterização espacial precisa de fenômenos dinâmicos ou de recorrência relativamente frequente, como trajetórias, por exemplo. Esse tipo de levantamento não foi criado neste período, mas foi, acima de tudo, instrumentalizado e viabilizado em velocidade e larga escala, neste século. A representação da configuração territorial estática já não basta. Se é possível produzir dados sobre a dinâmica geoespacial dos fenômenos, naturalmente, passa a se fazer necessária a existência de sistemas que possibilitem a construção de informação com base nesses dados, representando os movimentos que os dados reportam. A representação geoespacial sofisticada e incorpora cada vez mais a representação de processos dinâmicos. As representações climáticas são exemplos disso.

Esse maior poder de representação e análise incorporou diversas disciplinas ao conjunto daquelas que se servem da análise geoespacial como uma das suas dimensões de análise. Diversas manifestações desse fenômeno podem ser identificadas nas muitas ciências que se ocupam, em articulação com a Geografia, do estudo da dimensão espacial de diversas temáticas, tanto nas chamadas Ciências da Terra quanto nas Ciências Sociais.

O sensoriamento remoto, consolidando o movimento iniciado no século XX, afirma-se como o método, por excelência, da produção de bases geoinformacionais para os sistemas de informações geográficas. A aerofotogrametria torna-se inteiramente digital nesse período. Essa valorização do sensoriamento remoto e da representação imagética ensejou diversificação e riqueza da produção e disponibilização de imagens acerca da Terra. Satélites equipados com sensores de alta resolução foram lançados nesse período e aumentaram significativamente a diversidade e a qualidade do imageamento, pelo espaço, de grandes áreas. O sensoriamento remoto foi uma revolução geoinformacional no século XX, e agora, no século XXI, a completa desmaterialização das imagens é uma exponenciação da revolução, pelo imenso poder que dá à geração e ao consumo de imagens dos cada vez mais diversos tipos.

Outra mudança paradigmática que decorre da desmaterialização completa das geoinformações é a possibilidade de o usuário movimentar o ponto de vista pelo qual ele observa a representação. Em termos metafóricos, o processo é similar à situação em que o observador se posiciona em frente a uma maquete tridimensional concreta. Ele pode olhá-la por todos os lados, até da perspectiva ortográfica, que sempre foi preferencial, assim como pode percorrê-la com os olhos, de um lado a outro, movimentando-se à sua volta, aproximando-se e afastando-se, conforme o objetivo de sua perspectiva observacional. A geoinformação liberta-se no ambiente virtual, finalmente, da camisa de força da representação bidimensional material, que tinha sua forma predominante, por séculos, nas folhas de mapa. Nesse sentido, o termo *desmaterialização*, que reporta o efeito prático, parece ser mais próprio para sintetizar a principal transformação desse período do que o termo *digitalização*, mais tecnicista, porque alude à transformação da constituição das bases de dados que subjazem à representação. As imagens, os dados de levantamentos, as visualizações das geoinformações, tudo se tornou digital, imaterial, em base computacional, mas o impacto efetivo no uso deu-se pela desmaterialização, que viabilizou a disseminação da utilização da geoinformação a que se assiste hoje, em suas múltiplas plataformas de uso, até mesmo na cartografia colaborativa e em aplicativos agora vitais,

como o *Waze*[®], para quem vive em urbes densas e caóticas, que aproxima e até funde produtor e consumidor de geoinformação num mesmo sujeito. Vale lembrar que a fotogrametria, por exemplo, já fazia amplo uso dos ambientes computacionais desde os anos 1970. No entanto, a efetiva transformação da fotogrametria e de suas representações ocorre apenas quando a imagem, efetivamente, se desmaterializa, da tomada de fotos à geração de ortoimagens.

Voltando o olhar ao século XXI, após cumprir o sobrevoo histórico que, pretensamente, descreve a evolução das cartografias de ontem até os dias atuais, parece importante lembrar e ponderar que, em realidade, tanto o produtor quanto o usuário de geoinformações buscam a compreensão da dimensão geoespacial de um ou vários fenômenos de interesse por meio não apenas da sua interação territorial com o fenômeno (que, muitas vezes, é impraticável), mas principalmente mediante a representação do espaço numa formatação tal que o usuário possa perscrutar, intervir e simular a espacialidade do fenômeno, sem as impossibilidades, os entraves, os riscos e os custos que ele teria, se o fizesse no espaço do mundo concreto. Tanto para o produtor quanto para o usuário, a representação geoinformacional é uma extensão, uma prótese intelectual, do teatro de operações representacional da mente, para o qual a dimensão territorial da vida é inalienável.

A epistemologia genética ou construtivista, que teve em Jean Piaget um vértice intelectual muito importante, considera, na generalidade, que gênese e evolução do conhecimento, mesmo daquele científico em alto nível, compartilham similaridades em seus processos constitutivos, tanto na psicogênese (subjéctiva individual) quanto na sociogênese dos processos científicos mais complexos, paralelismo esse que levou Piaget, muitas vezes, a ser mais considerado como pedagogo do que como epistemólogo.

Na psicogênese da representação do espaço, que Jean Piaget e Barbel Inhelder (1997) estudaram na criança, identifica-se um percurso de equilíbrio das questões topológicas, seguida pela equilíbrio das questões da geometria euclidiana e projetiva. O amadurecimento final, que conclui a psicogênese, dá conta da formação dos sistemas de coordenadas absolutos, vertical e horizontal, que passam a instrumentalizar a ação perceptiva que move a relação da criança com o espaço.

Se a abordagem se move da psicogênese da criança para a sociogênese do conhecimento em geoinformação, não parece haver insensatez na observação de que, na Pré-História, a geoinformação principia por representações que meramente descrevem a topologia, ou seja, as relações espaciais entre os obje-

tos de interesse, sem ainda uma geometrização que dê rigor à representação. É ainda curioso observar que, em vários momentos da evolução, esse moto contínuo da estruturação topológica, que se complexifica e demanda a estruturação geométrica, se repete. A geometrização da demarcação de terras no Nilo, a geometrização da cosmovisão na Grécia, a geometrização dos levantamentos terrestres, a geometrização da fotografia aérea, a geometrização do sensoriamento remoto satelital e, mais recentemente, o início não métrico dos experimentos em veículos autônomos não tripulados (ou Vants), que evoluem cada vez mais para a geometrização, por meio do uso da técnica da visão computacional, parecem referendar um recorrente sentido do processo evolutivo das geoinformações e geotecnologias e, ao que parece, descartam a ideia de que a busca por processos cada vez mais precisos de representação seja um simples fetiche tecnicista. Não parece um simples deslumbramento tecnológico com a qualidade, mas sim a necessidade de refinar a análise espacial, substancialmente topológica, valendo-se de uma geometrização cada vez mais precisa. Praticamente, todas as geotecnologias, para além da automatização e robotização, buscam o aperfeiçoamento de suas precisões de levantamento de dados ou de representação de geoinformações, e parece estar aqui um dos fios condutores mais relevantes e que resulta do sobrevoo histórico que aqui se apresentou.

No início do sobrevoo, no tempo do não saber, os humanos possuíam tanto capacidade cognitiva quanto habilidades manuais para traduzir imagens mentais por meio de pictogramas, de representação mais permanente do que as imagens mentais que eles, provavelmente, ao se fixarem a um lugar, desejavam reter ou registrar. Não há razões para nenhuma pressuposição que diferencie esses humanos (e suas potencialidades cognoscíveis inatas) dos humanos contemporâneos ao século XXI; a diferença entre uns e outros é que, enquanto aqueles se situam à base da espiral ascendente da construção social do conhecimento em geoinformações, estes se situam em seu ponto mais elevado, ou seja, no estado atual de desenvolvimento do conhecimento. O que diferencia muito uns dos outros é o fato de que, aos humanos do século XXI, é facultado percorrer, pelo aprendizado e pela transmissão cultural, todo o percurso de desenvolvimento dos conhecimentos que a sociogênese percorreu lentamente; até mesmo, com marchas e contramarchas, estes cerca de 8 mil anos que os separam. Aos humanos pré-históricos, construir representações como Çatal Hüyük é uma tarefa tão ou mais complexa do que aquela, referente à construção dos mais complexos sistemas de informações geográficas, para os humanos do século XXI.

Ainda em face do fio condutor estabelecido pela topologia, seja qual for a intenção da análise da dimensão espacial de um dado fenômeno, esta análise parte de uma tentativa de apreensão e compreensão das relações entre objetos no espaço geográfico, no sentido estático; e na compreensão dos processos e de sua interação com os objetos, que se incorpora à análise da dinâmica dos processos e, eventualmente, dos objetos. A rigor, não importa se a análise busca uma compreensão simplesmente operacional, como no caso da avaliação da rota de um veículo, ou se a análise colima a compreensão da dinâmica geoespacial de um fenômeno ambientalmente complexo. Em ambos os casos, é a estruturação topológica construída pela representação que vai instrumentalizar a análise. Nesse sentido, a desmaterialização das representações, contextualizadas tridimensionalmente em poderosos sistemas de geoinformação, que, até mesmo, podem representar o movimento de processos tangíveis e intangíveis, potencializou muito a instrumentalização das análises.

Outro fio condutor que é inalienável da representação geoinformacional é o da semiologia gráfica, a linguagem gráfica das representações. A natureza relativamente rudimentar das representações na Pré-História não esconde sua tendência intuitiva à figuração do objeto ou do processo a representar. Desses rudimentos, como toda linguagem, sofisticase, à medida que se sofisticava o objeto a representar ou a representação que se constrói acerca do objeto. Já na Antiguidade, em face das demandas informacionais dos romanos, bastante diversificadas, inicia-se um processo de complexificação que chega continuamente aos tempos atuais. Destaca-se, dessa evolução continuada, a Idade Média, quando a representação se tornou mais simbólica do que semiótica. Os séculos finais, XX e XXI, assistem a uma transformação que não contempla propriamente a semiologia, mas sim seu objeto de representação. Com a importante substituição da representação semiótica pela representação imagética, na descrição da configuração territorial, assiste-se crescentemente ao emprego da semiologia gráfica, para a descrição não do território, senão do conhecimento e das análises que se constroem acerca da dimensão espacial dos fenômenos de interesse. Isso, longe de ter desanuviado a semiologia gráfica de um encargo (a descrição do território), a rigor, abriu a ela um desafio mais sério, uma vez que as representações de conhecimento têm uma complexidade virtualmente inesgotável, para além de contemplarem alto grau de abstração, o que, sem dúvida, lhe trará desafios sempre crescentes.

Parece sensato observar que há um fio condutor da geometria euclidiana, que se mantém ao longo de todo o sobrevoo histórico. Sua função,

que parece muito bem definida, é responder pelo rigor e pela consistência da estruturação topológica, que fundamenta as análises que constroem o conhecimento sobre a dimensão espacial de um fenômeno. Uma apreciação mais amíu-de de suas transformações ao longo do tempo reporta como seus adensamentos estiveram quase sempre subordinados a demandas pela melhora da precisão de sua função estrutural. As demais transformações, principalmente quando da implementação dos levantamentos terrestres e depois dos fotogramétricos, foram operacionais, no sentido da potencialização da abstração das formas geométricas. Essa toada adentra pelo século XXI, com a convergência de todos os métodos de levantamentos geodésicos, topográficos e por sensoriamento remoto, num processo integrado e potencializado, cuja função, entretanto, essencialmente permanece: a abstração das formas e dimensões dos objetos e processos de interesse da análise geográfica, cada vez mais complexa, porque tridimensional e dinâmica.

Naquilo que diz respeito ao fio condutor da geometria projetiva, as transformações contemplam interessantes e importantes variações ao longo da História. Inicia-se, há cerca de 8 mil anos, com a interessante solução em planta e perfil da representação de Çatal Hüyük. Consolida-se, desde os primórdios, a perspectiva elevada, de cima para baixo, ortogonal, como a predominante nas representações cartográficas. Sinaliza-se um embrião de descentração, de reconhecimento do interesse pela variação da perspectiva, quando surgem os *portrait de ville* e os *bird's-eye view*. Ainda assim, apenas nos últimos dois séculos já encerrados, o XIX e o XX, começam a se tornar mais consistentes as representações do relevo, que se tornam mesmo exequíveis em grandes áreas somente no século XX, com a solução das curvas de nível para a representação e da aerofotogrametria para os levantamentos. As grandes transformações, entretanto, estão em aberto e sinalizam aqui, talvez, a mais expressiva das mudanças epistemológicas das geoinformações. Novos métodos de levantamento, especialmente os relacionados aos sensores ativos em base *laser*, possibilitam uma consistente e abundante modelagem tridimensional de objetos, como até então nenhum processo, nem mesmo a fotogrametria, tinha conseguido fazer de forma tão prática e intensiva. Na contraparte representacional, ambientes computacionais poderosos permitem a representação dinâmica tridimensional da paisagem e até a representação dinâmica de processos intangíveis, como a movimentação de massas de ar, por exemplo. E permite ao intérprete variar, à sua vontade, o ponto de vista, a perspectiva pela qual aquele observa o objeto. Como no conceito de realidade virtual, é como

se o intérprete estivesse deambulando ou flanando pelo território a tentar entender a dimensão geográfica de algum fenômeno de seu interesse. Há aqui a efetiva condição para que se dê o processo de análise e formação de uma perspectiva íntegra do objeto, pela coordenação construtiva dos muitos pontos de vista, que Jean Piaget chamava, em termos epistemológicos, de descentração. Essa parece ser a mais importante transformação que se apresenta no século XXI; afinal, a bidimensionalidade do mapa, que é prótese intelectual, não se coaduna perfeitamente com o teatro de operações representacionais da mente que apoia, que é tridimensional e dinâmico, como um ambiente de realidade virtual.

Outro fio condutor que parece emergir do sobrevoo é o da georreferência, que cumpre uma trajetória histórica interessante de gradual adensamento e parece ter alcançado uma importante posição de acabamento, nas operações geoinformacionais de hoje e de amanhã, por conta da crescente utilização do posicionamento por satélites, via GNSS. Aqui, como já se abordou ao longo da análise, o processo em curso parece ser o da incorporação da dimensão espaço à vida cotidiana, da mesma forma que a dimensão tempo, que foi naturalizada por medidas como a implantação do calendário global único e da *Coordinated Universal Time* (UTC), a hora universal, no século XIX. O tempo é linear, o que tornou menos complexa a modelagem de uma solução de tempo universal, a despeito de ela ter se consolidado apenas no século XIX. O espaço, global e tridimensional, é bastante mais complexo para universalizar. Esse, no entanto, em especial em função da importância do GNSS, parece ser o movimento inalienável que se faz com os sistemas de referência, que sinalizam uma universalização futura, à similaridade do que ocorreu com o calendário e a hora.

Finalmente, o último dos fios condutores, que se poderia dizer analítico, inicia-se com a gênese epistemológica da Geografia e com a cartografia temática no século XVII e vem se adensando de modo consistente, num processo que ainda parece guardar, no século XXI, uma dinâmica acelerada. Trata-se da utilização da geoinformação na instrumentalização da análise geoespacial ou da análise da dimensão espacial de uma série de fenômenos. Em termos geoinformacionais, a cartografia temática inicia esse movimento, e os sistemas de informações geográficas prolongam-no e potencializam-no, sinalizando muitos desenvolvimentos na exploração da dimensão espacial de fenômenos que, até há algum tempo, eram virtualmente inapreensíveis em termos geoinformacionais, principalmente, por conta de seu dinamismo intrínseco.

Encerra-se o sobrevoo com a impressão de que as geoinformações se potencializam muito em direção às cartografias de amanhã. Todavia, nunca é demais enfatizar que fonte e destino de toda informação é o conhecimento, e que, sem conhecimento congruente com seu objeto, todos os dados e informações são nada ou, pior, ilusão.

Luiz Henrique G. Castiglione

*Professor do Departamento de Engenharia Cartográfica da
Universidade do Estado do Rio de Janeiro*

REFERÊNCIAS

BERTIN, J. [1967]. *Sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Paris: Éditions de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, 1998.

COLLIER, P. The impact on topographic mapping of developments in land and air survey: 1900-1939. *Cartography and geographic information science*, Albuquerque, v. 29, n. 3, p. 155-174, 1 jul. 2002.

DELANO SMITH, C. Cartography in the prehistoric period in the old world: Europe, the Middle East, and North Africa. In: HARLEY, J. B.; WOODWARD, D. (ed.). *The Historyhistory of Cartography: cartography in prehistoric, ancient, and medieval Europe and the Mediterranean*. Chicago: The University of Chicago Press, v. 1, 1987. v. 1, p. 54-101.

DILKE, O. A. W. Cartography in the Ancient World: an introduction. In: HARLEY, J. B.; WOODWARD, D. (ed.). *The history of Cartography: cartography in prehistoric, ancient, and medieval Europe and the Mediterranean*. Chicago: The University of Chicago Press, 1987a. v. 1, 1987a, p. 105-106.

DILKE, O. A. W. Maps in the service of the state: Roman Cartographycartography to the end of the Augustan Eraera. In: HARLEY, J. B.; WOODWARD, D. (ed.). *The Historyhistory of Cartography: cartography in prehistoric, ancient, and medieval Europe and the Mediterranean*. Chicago: The University of Chicago Press, 1987b. v. 1, 1987c, p. 201-211.

DILKE, O. A. W. Roman large-scale mapping in the Early Empire. In: HARLEY, J. B. &. WOODWARD, D. (ed.). *The Historyhistory of Cartography: cartography in prehistoric, ancient, and medieval Europe and the Mediterranean*. Chicago: The University of Chicago Press, 1987c. v. 1, 1987d, p. 212-233.

DILKE, O. A. W. The culmination of Greek Cartography in Ptolemy. With additional material supplied by editors. In: HARLEY, J. B. &. WOODWARD, D. (ed.). *The History of Cartography: cartography in prehistoric, ancient, and medieval Europe and the Mediterranean*. Chicago: The University of Chicago Press, 1987. v. 1, 1987b, p. 177-200.

ELIAS, N. *O processo civilizador: formação do estado e civilização*. v. 2. Rio de Janeiro: Jorge Zahar ed., 1993. v. 2.

HARLEY, J. B.; WOODWARD, D. The growth of an empirical cartography in Hellenistic Greece. Prepared from materials supplied by Germaine Aujac. In: HARLEY, J. B. &. WOODWARD, D. (ed.). *The history of cartography: cartography in prehistoric, ancient, and medieval Europe and the Mediterranean*. Chicago: The University of Chicago Press, 1987. v. 1, 1987b, p. 148-160.

LEFORT, J. *L'aventure cartographique*. Paris: Belin, 2004.

MILLARD, A. R. Cartography in the Ancient Near East. In: HARLEY, J. B.; WOODWARD, D. (ed.). *The History of Cartography: cartography in prehistoric, ancient, and medieval Europe and the Mediterranean*. Chicago: The University of Chicago Press, v. 1, 1987. v. 1, p. 109-116.

O'CONNOR, J. J.; ROBERTSON, E. F. Johann Carl Friedrich Gauss. *MacTutor History of Mathematics*, 1996. Disponível em: <https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Gauss/> Acesso em: 20 abr. 2021.

PELLETIER, M. *Cartographie de la France et du monde de la Renaissance au Siècle des Lumières*. Paris: Bibliothèque Nationale de France, 2001.

PIAGET, J.; INHELDER, B. *A representação do espaço na criança*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1993.

SANTOS, M. *A natureza do espaço: técnica e tempo; razão e emoção*. São Paulo: Hucitec, 1997.

THROWER, N. J. W. *Maps & civilization: cartography in culture and society*. Chicago: University of Chicago Press, 1999.

WILFORD, J. N. *The mapmakers*. New York: Vintage Books, 2000.

APRESENTAÇÃO

Ser ao mesmo tempo apresentador, coorganizador, autor e coautor em um mesmo livro pode soar, no mínimo, estranho para quem não conhece um pouco da história de como nasceu este livro: *Cartografias do Ontem, Hoje e Amanhã*.

Inicialmente, este livro está ligado ao projeto desenvolvido na chamada MCTIC/CNPq/Brics-STI n.º 18/2016 (“Projeto Brics”), com o título *Monitoramento da Cobertura e da Dinâmica do Uso para um Sistema de Apoio à Decisão baseado em Conhecimento, com a Utilização de Tecnologias Geoespaciais*. Essa chamada visava envolver uma pesquisa conjunta, com organizações de pesquisa de países do Brics (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul).

Em meados de 2016, fui procurado pelo Prof. Dr. Wladimir Tikunov, da Universidade de Moscou, que sondara nossa participação em um projeto de pesquisa, com a ISR Aerocosmos, da Federação da Rússia; e o The Institute of Remote Sensing and Digital Earth (Radi), da República Popular da China, constando de pesquisas conjuntas, que seriam desenvolvidas pelas três organizações, bem como de pesquisas em áreas de interesse específico, que seriam desenvolvidas em conjunto ou não. A temática comum a todas as organizações envolvidas, caracterizando a área conjunta de pesquisa geral, foi definida pelos tópicos: análise, uso e validação de dados de vários satélites de sensoriamento remoto para o monitoramento do uso da terra e da dinâmica de ocupação do solo; desenvolvimento de algoritmos e módulos de *software* para processamento e análise de dados geoespaciais e utilização de soluções de geoportal, para fornecimento de dados geoespaciais e de apoio a tomada de decisão baseada no conhecimento.

O projeto foi aprovado em agosto de 2017, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Porém, o termo de concessão apenas foi disponibilizado em 14 de julho de 2018. Os demais participantes já desenvolviam o projeto desde janeiro de 2017. Nesse meio tempo, não tivemos como acompanhar o projeto nem participar das reuniões entre a ISR Aerocosmos e a Radi. No entanto, em junho de 2018, aproveitando a participação em um Simpósio da União Geográfica Internacional realizado em Moscou, tive um encontro com o Acadêmico Valery G. Bondur, vice-presidente da Academia de Ciências da Federação Russa e diretor da

ISR Aerocosmos, ficando agendada uma reunião entre as três organizações, entre os dias 30 de agosto e 5 de setembro de 2018. Nessa reunião, presentes eu e a Prof.^a Dr.^a Carla Bernadete Madureira Cruz, foram apresentadas as temáticas em desenvolvimento por cada organização, bem como o progresso das pesquisas. Nessa reunião, foi frisado o essencial intercâmbio de ideias e pesquisas com a ISR Aerocosmos e Radi. Porém, em meados de 2019, recebemos a informação de que as duas organizações estavam encerrando os trabalhos e não mais participariam do projeto. Diga-se aqui que os dois principais laboratórios da UFRJ envolvidos no Projeto Brics, o Laboratório de Cartografia (GeoCart) e o Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, já tinham alocado suas equipes, incluindo três estudantes de pós-graduação, que estiveram desenvolvendo pesquisas sobre essas temáticas, no curso de mestrado em Geografia, parte do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG-UFRJ). Nesse primeiro momento, houve a necessidade de reformular novamente toda a pesquisa (agora, para temas apenas de nosso interesse), quando irrompeu a pandemia da COVID-19. Assim, o ano de 2020 foi praticamente perdido, devido ao inusitado dessa situação e pelas adaptações a que toda a sociedade acadêmica teve que se submeter, não só a parte de pesquisa — uma vez que grande parte das fontes de pesquisa estão em nossos laboratórios (os quais não são acessados desde março de 2020) — como também a estrutura *online*, aulas e reuniões remotas, muito pouco utilizadas anteriormente à pandemia.

No entanto, ao se iniciar 2021, em face da previsão de encerramento de nossa parte no Projeto Brics, em 30 de junho de 2021, o grupo como um todo decidiu juntar-se e, num esforço hercúleo, mostrar em um livro, que fosse disponibilizado para toda a sociedade, um acervo de pesquisa inédito, com trabalhos que caracterizam as principais linhas de pesquisas desenvolvidas por cada laboratório. A ideia inicial seria a distribuição dos volumes impressos entre organizadores, autores e bibliotecas e, sendo possível, a sua disponibilização *online* e gratuitamente. A decisão para a elaboração do livro ocorreu em janeiro do presente ano e, em razão do pouco tempo disponível, consistiu em um desafio expressivo. Em contrapartida, no entanto, estar-se-ia disponibilizando à comunidade científica da Cartografia e da geoinformação um documento preciso e precioso, reunindo o que de melhor tinha sido pesquisado em ambos os laboratórios.

Os pesquisadores envolvidos diretamente no Projeto Brics são: Prof. Dr. Paulo Márcio Leal de Menezes (GeoCart-UFRJ); Prof. Dr. Manoel do Couto Fernandes (GeoCart-UFRJ); Prof.^a Dr.^a Carla Bernadete Madureira

Cruz (Espaço-UFRJ); Prof. Dr. Rafael Silva de Barros (Espaço-UFRJ); Prof.^a Dr.^a Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza (Espaço-UFRJ); Prof. Dr. Raúl Sánchez Vicens, Departamento de Geografia (LAGEF-UFF); Prof. Dr. Gustavo Mota de Sousa (LiGA-UFRJ). A essa equipe, constituída por cientistas que atuam em diferentes universidades e laboratórios de pesquisa e que têm ligações fortes em sua formação com o GeoCart e o Espaço, foi incorporado um grupo de pesquisadores bastante diversificado em sua formação, o que ressalta o caráter multidisciplinar da Cartografia e da geoinformação e elucida a capilaridade da rede que compõe as linhas de pesquisa desses laboratórios. Esse grupo é composto por pesquisadores em pós-doutorado, doutorandos, doutores, mestrands e mestres: Dr.^a Carla Ramôa Chaves, Prof.^a Dr.^a Danielle Pereira Cintra, Prof.^a Dr.^a Paula Maria Moura de Almeida, Dr.^a Raquel Dezidério Souto, Dr. Rômulo Weckmüller, Me. Diego Vicente Sperle da Silva, Me. Felipe Gonçalves Amaral, Me. Fernando de Souza Antunes, Ma. Julia Silva de Queiroz Lourenço Vaz, Me. Kairo da Silva, Me. Luiz Felipe Salomon Guaycuru de Carvalho, Bel.^a Rita Maria Cupertino Bastos, Ma. Sara Lemos Alves Braga, Ma. Tainá Laeta, Ma. Tatiana de Sá Freire Ferreira, Me. Vandrê Soares Viégas; e os graduandos: Beatriz Ambrosio Garcia de Oliveira, Beatriz da Silva Feitosa Santana, Caio de Lima Boa Morte, Clara Costa Paolino, Danylo Mendonça Magalhães, Rodrigo Gomes da Silva, Ursula Borges dos Santos Lima — o que demonstra o elevado grau de entrosamento dos integrantes dos referidos laboratórios, em todos os níveis de formação.

Destaco especialmente o prefácio do livro, *Evolução Histórica da Geoinformação*, que nos é brindado pelo Dr. Luiz Henrique G. Castiglione, professor da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), que faz uma retrospectiva histórica contundente e mostra a evolução do pensamento cartográfico partindo de um “Tempo de não saber” e chegando até a “Era da desmaterialização”.

Por último, mas talvez a mais importante pessoa nesse contexto, cabem os nossos agradecimentos à Dr.^a Raquel Dezidério Souto, em pós-doutorado no PPPG-UFRJ e presidenta do Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável (IVIDES.org), a incansável gestora e revisora, que cobra e recobra de cada um de nós os prazos exíguos que temos, de um cronograma que tem que ser cumprido a qualquer tempo. Obrigado, Raquel!

Quanto ao título de nosso livro, permitam-me assim chamá-lo, *Cartografias do Ontem, Hoje e Amanhã*, foi um título bastante discutido e

debatido. Façamos um parêntese: aqueles que me conhecem, ferrenho defensor da unicidade da Cartografia, devem se perguntar: “como o Menezes deixou passar esse título?” Como falei, foi bastante discutido, e eu fui voto vencido... Vencido não, convencido, e bem convencido!

O livro faz algumas viagens pelo tempo, mostra que a geoinformação não é um conceito novo, pois sempre existiu; porém, como era manipulada, trabalhada e representada, envolvia uma tecnologia de épocas passadas. O nosso presente é dono da geoinformação. Estudamos as tecnologias passadas com instrumentos e processos do presente. As inúmeras geotecnologias em uso permitem criar estruturas de aquisição, armazenamento, manipulação e representação nunca pensadas. Vivemos isso. Vivi toda a transição do analógico para o digital. Acreditei no que não acreditava, e vivemos novos tempos cartográficos e geoinformacionais.

Agora, fica uma questão e perguntamos quem a vai responder: o futuro, como será, e o que nos aguarda? Os grandes desafios estarão, com certeza, nos serviços de geolocalização, análises espaciais avançadas, *big data*, Cartografia em tempo real e mobilidade. A Cartografia hoje se apresenta atualizada, flexível e pronta para o amanhã. A visão cartográfica tenderá a continuar a ser inclusiva, inovadora e aberta a mudanças. Continuará a lidar com transformações sociais e tecnológicas, sem comprometer os valores cartográficos fundamentais. No entanto, estará mais interativa, móvel, dinâmica, responsiva e colaborativa, sob uma interface humana com ambientes dinâmicos em evolução, dados mais acessíveis e visualização rápida e fácil.

Então, após esse pequeno preâmbulo sobre ter sido convencido, o nosso conteúdo mostrará as várias “cartografias” ao longo de um espaço temporal, sendo esta a impressão que desejamos trazer aos nossos leitores.

Em nome de todos, finalmente, queremos deixar os nossos mais sinceros agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que permitiu, por meio desse projeto, a realização do presente livro como disseminador de um pouco da Ciência que é desenvolvida em nosso meio acadêmico.

Rio de Janeiro, 30 de junho de 2021.

Prof. Dr. Paulo Márcio Leal de Menezes

Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro e coordenador do Laboratório de Cartografia (GeoCart-UFRJ).

SUMÁRIO

PARTE I CARTOGRAFIA HISTÓRICA

- 1**
CARTOGRAFIA HISTÓRICA E GEOINFORMAÇÃO 51
Paulo Márcio Leal de Menezes, Tainá Laeta, Kairo da Silva Santos e Manoel do Couto Fernandes
- 2**
EVOLUÇÃO POLÍTICO-ADMINISTRATIVA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: UM ESTUDO HISTÓRICO-TOPONÍMICO..... 93
Paulo Márcio Leal de Menezes, Kairo da Silva Santos e Tainá Laeta
- 3**
A CIDADE DO RIO DE JANEIRO NOS MAPAS DOS SÉCULOS XVIII E XIX: O ESPAÇO PELA VISÃO DA CARTOGRAFIA HISTÓRICA..... 135
Kairo da Silva Santos, Tainá Laeta e Paulo Márcio Leal de Menezes
- 4**
A CARTOGRAFIA HISTÓRICA DA IMPERIAL CIDADE DE PETRÓPOLIS NO SÉCULO XIX (1846-1861) 159
Tainá Laeta e Manoel do Couto Fernandes
- 5**
DIAGNÓSTICO DOS EVENTOS DE INUNDAÇÃO NA ÁREA GÊNESE DE PETRÓPOLIS À LUZ DA CARTOGRAFIA HISTÓRICA..... 185
Fernando de Souza Antunes , Manoel do Couto Fernandes, Kairo da Silva Santos e Ursula Borges dos Santos Lima
- 6**
AS FAVELAS NO CONTEXTO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO: ESPACIALIDADES E DESAFIOS 213
Rita Maria Cupertino Bastos, Paula Maria Moura de Almeida e Carla Bernadete Madureira Cruz

PARTE II
MAPEAMENTO E TRANSFORMAÇÕES DA
COBERTURA E USO DA TERRA

7

**EVOLUÇÃO RECENTE DO DESFLORESTAMENTO NA AMAZÔNIA
LEGAL: SUPRESSÃO, TRAJETÓRIAS E SEUS PADRÕES 239**

Felipe Gonçalves Amaral, Danylo Mendonça Magalhães, Beatriz Ambrosio Garcia de Oliveira, Clara Costa Paolino, Beatriz da Silva Feitoza Santana e Carla Bernadete Madureira Cruz

8

**MUDANÇAS NA COBERTURA DE FLORESTA ATLÂNTICA NO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO (1984 – 2016) 267**

Rômulo Weckmüller e Raúl Sánchez Vicens

9

**MAPEAMENTO DE ÁREAS VEGETADAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO
POR SENSORES REMOTOS 297**

Diego Vicente Sperle da Silva e Carla Bernadete Madureira Cruz

10

**DINÂMICAS URBANAS E FLORESTAIS DAS REGIÕES
METROPOLITANAS DE RIO DE JANEIRO E SÃO PAULO: UMA
TRAJETÓRIA AO LONGO DE 34 ANOS (1985 A 2018) 327**

Julia Silva de Queiroz Lourenço Vaz, Rodrigo Gomes da Silva e Carla Bernadete Madureira Cruz

11

**MODELAGEM DINÂMICA DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE
JANEIRO: PERSPECTIVAS FUTURAS 353**

Vandré Soares Viégas, Carla Bernadete Madureira Cruz e Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza

PARTE III
NOVAS ABORDAGENS METODOLÓGICAS, AQUISIÇÃO E
VISUALIZAÇÃO DE DADOS GEOINFORMACIONAIS

12

REPRESENTAÇÃO DE DADOS TRIDIMENSIONAIS DE ÁREAS
URBANAS: UM ESTUDO DE CASO NO CENTRO DA CIDADE
DO RIO DE JANEIRO..... 383

Luiz Felipe Salomon Guaycuru de Carvalho, Rafael Silva de Barros e Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza

13

ESTIMATIVA DE ALTURA DE MANGUEZAL MEDIANTE
LEVANTAMENTO POR VANT MULTIRROTOR COM CÂMERA RGB....409

Rafael Silva de Barros e Caio de Lima Boa Morte

14

INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS BASEADA EM CONHECIMENTO
PARA CLASSIFICAÇÃO DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NA MATA
ATLÂNTICA 429

Danielle Pereira Cintra e Manoel do Couto Fernandes

15

DISCUSSÃO METODOLÓGICA DO MAPEAMENTO DA
SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS NO ESTADO
DO RIO DE JANEIRO..... 457

Gustavo Mota de Sousa

16

MAPEAMENTOS PARTICIPATIVO E COLABORATIVO PARA
VISIBILIDADE DAS QUESTÕES COMUNITÁRIAS: TRÊS ESTUDOS DE
CASO COM COMUNIDADES COSTEIRAS NO BRASIL 475

Raquel Dezidério Souto, Tatiana de Sá Freire Ferreira, Carla Ramôa Chaves, Sara Lemos Alves Braga e Paulo Márcio Leal de Menezes

SOBRE OS ORGANIZADORES 511

SOBRE OS AUTORES..... 515

PARTE I

CARTOGRAFIA HISTÓRICA

CARTOGRAFIA HISTÓRICA E GEOINFORMAÇÃO

Paulo Márcio Leal de Menezes

Tainá Laeta

Kairo da Silva Santos

Manoel do Couto Fernandes

1.1 ESPAÇO E TEMPO

Espaço e tempo constituem as mais básicas noções do conhecimento humano. Definir e conceituar espaço depende essencialmente de cada ciência que o emprega, podendo assumir diferentes significados de acordo com cada contexto. No entanto, espaço e tempo serão os suportes para todas as estruturas físicas e sociais da Humanidade. A resposta para duas perguntas aparentemente simples, “Onde?” e “Quando?”, torna-se extremamente complexa quando se tenta explicar o “porquê” de “onde” e “quando”.

A definição de espaço pode ser buscada em fontes diversas. Por exemplo, o *Dicionário Oxford* apresenta-o como: “[...] a extensão ideal, sem limites, que contém todas as extensões finitas e todos os corpos ou objetos existentes ou possíveis, ou extensão limitada em uma, duas ou três dimensões; distância, área ou volume determinados” (OXFORD, 2020, [s. p.]). Algumas palavras se relacionam especificamente a um conceito de “lugar” no espaço, por exemplo, “aqui” e “lá” relacionam-se, com certeza, a distintos lugares, com diferentes referências. Por meio do conceito de dimensão física, que quantifica as dimensões de um objeto, pode-se associar a dimensionalidade de um espaço. Considerando-se objetos definidos pelos elementos geométricos ponto, linha, áreas ou sólidos, por exemplo, uma linha possui um comprimento, com base em uma origem; um quadrângulo será quantificado por duas medidas (comprimento e largura), que estabelecem uma área, inerente a quaisquer figuras planas. Para os sólidos, associam-se o comprimento, a largura e a altura, os quais determinam um

volume. Assim, a dimensionalidade do espaço estará associada ao número de medidas em relação às suas origens, para determiná-lo. Assim, criam-se os espaços uni, bi e tridimensionais, os quais possuem uma origem (em relação a um ponto), duas origens (em relação a duas linhas) e três origens (em relação a três planos). Mas fica um questionamento: e o ponto? Um ponto não possui um tamanho associado, logo não se pode medi-lo, sendo, portanto, considerado adimensional. É um conceito abstrato e encerra-se nele mesmo. Mas não se contesta a sua existência; eles (os pontos) estão presentes em todas as demais dimensionalidades.

Um lugar é, a cada momento, um sistema espacial, seja qual for a ordem cronológica ou a forma segundo as quais seus elementos se instalaram em uma área. O lugar apropria-se afetivamente da área, transformando um espaço indiferente; o que, por sua vez, implica a relação com o tempo de significação desse espaço em lugar. Em princípio, um lugar tem um nome e pode ser representado por objetos materiais e afetivos. Segundo Tuan (1983, p. 45-52), é um mundo de significado organizado. Os seres humanos, todos os seres vivos e os objetos inanimados fluem nos espaços e lugares, ao longo do tempo. Assim, pode-se verificar que, por mais simples que seja a percepção do espaço, sua contextualização e definição não é algo que possa ser considerado simples. Por fim, de acordo com Milton Santos (1985), o espaço deve ser considerado como um conjunto de relações realizadas por meio de funções e de formas, que se apresentam como testemunho de uma história escrita por processos do passado e do presente.

Pelo conceito de tempo, pode-se planejar e desenvolver ações; medir o tempo, por meio de instrumentos cada vez mais precisos ou de uma observação de astros, em uma estrutura cíclica. No linguajar diário, fala-se em tempo quando existe uma referência ao “ontem”, “hoje” ou “amanhã”; bem como se conjugam os tempos verbais, “eu viajei”, “eu estou”, “eu ficarei”. Entende-se e sente-se perfeitamente o tempo, mas como defini-lo ou conceituá-lo?

De forma geral, pode-se conceituar tempo como um período mensurável durante o qual uma ação ou um evento, um processo ou uma condição existiu, exista ou continue a existir. A duração do período é um *continuum* não espacial, medido em termos de eventos que se sucedem uns aos outros, vindos do passado, atravessando o presente e caminhando para o futuro, criando-se, assim, a dimensão temporal.

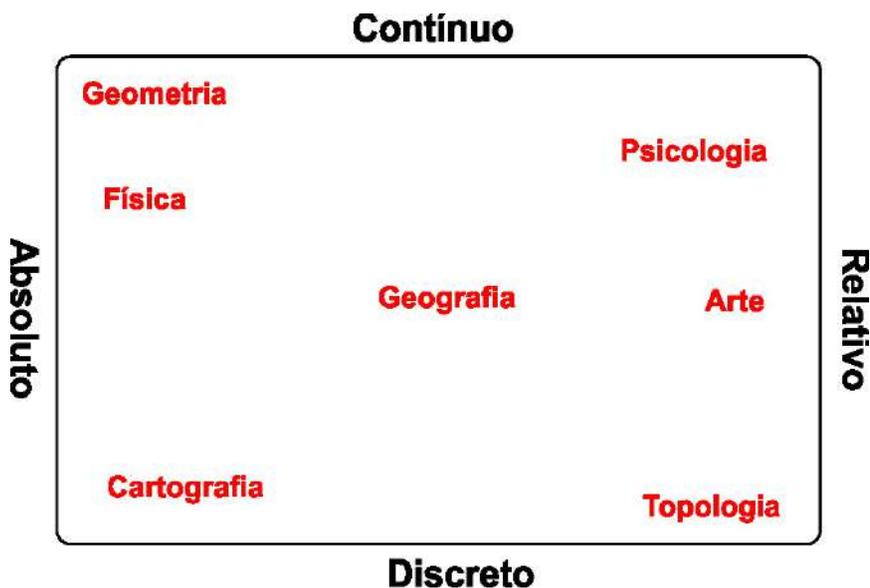
Dessa forma, ao se analisar o espaço geográfico, verifica-se que uma de suas características básicas é o dinamismo, seja por ações naturais, seja por ações antropogênicas, em que os componentes do espaço, por meio dessas ações, mudam constantemente e em diferentes escalas de tempo. As ações no espaço afetam diretamente todos os objetos componentes desse espaço, sejam elas instantâneas, sejam ocorridas em um certo período de tempo, caracterizando-se, assim, a indissociabilidade entre espaço e tempo. Ou seja, o estudo de um espaço, sem que esteja associado a uma componente temporal, vai caracterizar um estudo sobre um momento (ou um instante), enquanto que a componente temporal permitirá que sejam efetuados estudos analíticos, evolutivos, de apoio à decisão, bem como processos diagnósticos e prognósticos sobre um espaço.

Donna Peuquet (2002) apresenta uma interessante discussão sobre as ideias filosóficas sobre espaço e tempo, que persistiram desde a antiguidade até o presente, categorizando as visões de espaço e tempo, de forma contínua ou discreta e absoluta ou relativa. A visão contínua centraliza o espaço e o tempo como elementos principais, estabelecendo que todos os objetos estão neles contidos. Em contraposição, a visão discreta foca os objetos como elementos principais, individualizando-os. Já a visão absoluta assume uma estrutura imutável, rígida e puramente geométrica; enquanto que a visão relativa é subjetiva, assumindo uma estrutura flexível, que é mais topológica por natureza. Espaço e tempo relativos são definidos em termos de relacionamentos entre localizações ou em termos de relações entre objetos. A visão absoluta envolve medidas referenciadas a alguma origem fixa e constante, implicando observações diretas. A visão relativa, por outro lado, envolve interpretação explícita dos processos envolvidos e fluxos de alteração de padrões, dentro de contextos fenomenológicos específicos a cada objeto analisado. A visão relativa, uma vez definida por meio de intervalos entre objetos ou localizações, é limitada, enquanto que a visão absoluta é ilimitada. Normalmente, as ciências físicas são mais absolutas e discretas, enquanto que as ciências humanas são mais relativas e contínuas.

Uma definição de espaço como “distância ilimitada estendida em todas as direções” é claramente contínua, assim como uma definição de tempo como “uma duração indefinida e ilimitada onde ações acontecem no passado, presente ou futuro” refere-se a um tempo contínuo. Se vistos como “distância, intervalo ou área entre elementos” e “período entre dois eventos ou durante o qual alguma coisa exista”, darão uma visão discreta para ambos (WEBSTER, 2020, s.p.).

Para facilitar o enquadramento de conceitos, definições, atuação de processos e até mesmo de ciências, Peuquet (2002) criou um esquema gráfico dessa dualidade, para representar uma “dimensão espaço temporal”, conforme pode ser visto na Figura 1.1. Os limites verticais simbolizam as visões absoluta e relativa, à esquerda e à direita, respectivamente, enquanto que os limites horizontais mostram a visão contínua, na linha superior, e a discreta, na linha inferior. Não há uma escala atribuída, uma vez que não pode ser expressa uma quantificação para essas visões. Esse esquema permite mostrar, de acordo com as visões utilizadas, onde cada processo se enquadra nessa dimensão espaço temporal. A Figura 1.1 mostra também como diversas ciências podem ser representadas no esquema. Por exemplo, a Geometria estará situada junto ao absoluto e discreto, enquanto que a Física estará deslocada para o relativo. A Geografia, vista como ciência física e humana, apresenta-se perto do centro do esquema. Psicologia, Arte e Topologia são relativas, porém distribuídas entre o contínuo e o discreto. Por fim, a Cartografia é vista como absoluta e discreta.

Figura 1.1 – Esquema gráfico espaço-tempo.



Fonte: os autores, adaptada de Peuquet (2002, p. 31).

1.2 GEOINFORMAÇÃO, GEOGRAFIA E CARTOGRAFIA

Geoinformação

Informação geográfica, geoinformação ou informação geoespacial são quaisquer informações de meios físicos, biológicos ou sociais que possuam uma associação ou relação de posicionamento na, sob ou sobre a superfície terrestre. O conceito de informação geográfica começou a ser empregado com o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e com a criação da ciência da geoinformação (*GIScience*) ou Ciência da Informação Geográfica (CIG), caracterizando o campo de pesquisa básico que procura redefinir conceitos geográficos e seu uso, no contexto dos SIGs (GOODCHILD; MAGUIRRE; RHIND, 2015, p. 11). Da mesma forma, é um campo da ciência da informação especializado nas questões fundamentais sobre criação, manipulação, armazenamento e uso da geoinformação e apoia qualquer pesquisa científica em que as características e relações espaciais entre lugares sejam necessárias. A CIG estará presente nos trabalhos de coleta de dados, nas plataformas de armazenamento e gerenciamento de dados, modelagem de dados e processos, desenvolvimento de processos analíticos e na visualização e representação de processos.

O conceito descreve que a informação geográfica deve ser referenciada a um sistema de posicionamento, ou seja, deve ser referenciada geograficamente, significando que a sua posição deve ser conhecida. Essa abordagem estabelece que toda informação manipulada por qualquer SIG necessariamente esteja georreferenciada, ou seja, terá o seu posicionamento conhecido em relação a algum sistema de coordenadas terrestre.

Assim, o posicionamento de uma informação qualquer, as coordenadas de latitude e longitude devem ser associadas aos demais atributos que vão qualificar e quantificar essa informação. Deverá constar, junto ao sistema de coordenadas, a referência geodésica, definida pelo elipsoide e sua orientação; no caso brasileiro, o sistema SIRGAS2000. Assim, uma latitude e longitude associada a uma geoinformação não terá uma escala, mas uma precisão. Em termos de um sistema sexagesimal, 1" arco tem uma precisão aproximada de 30 metros; e seus décimos e centésimos, 3 metros e 30 centímetros, respectivamente, o que vai caracterizar a precisão da informação sobre a superfície terrestre. Para cada informação, essa precisão deve ser especificada em seus atributos.

Os atributos essenciais para a informação geográfica são definidos por: i) atributo geoespacial, referindo-se ao seu posicionamento, à sua forma e às relações geométricas e topológicas entre as diversas entidades geoespaciais; ii) atributo descritivo, apresentando os elementos definidores qualitativos e quantitativos da informação; e iii) atributo temporal, referindo-se à época ou ao período de ocorrência da informação.

Geografia e Cartografia

O que foi apresentado sobre geoinformação permite que se estabeleça o domínio da Geografia sobre o estudo e a pesquisa da informação geográfica. Minimamente, pode-se afirmar que a Geografia se debruça sobre todos os processos físicos, naturais, humanos, sociais, antrópicos, contínuos, discretos, distribuídos espaçotemporalmente, mostrados nessa sequência redundante, sobre a superfície terrestre. E a Cartografia? Qual a sua função em todos esses processos? Uma resposta simples e imediata pode vir do leigo: “serve para fazer mapas”. Comparando, seria como dizer que a Geografia estuda a superfície terrestre; tem relação, mas sua visão é muito mais aprofundada.

Inicialmente, estabelece-se que a Cartografia é a ciência da representação da informação geográfica. Dessa forma, considerando-se os atributos da geoinformação, a Cartografia representa diferentes estruturas do espaço e do tempo, por meio de processos que transformam a informação geográfica em uma informação cartográfica representável, caracterizados pelas transformações geométricas, projetivas e cognitivas. Por fim, os atributos da informação cartográfica serão os mesmos da informação geográfica, acrescidos da escala de representação, transformação que afetará todas as representações cartográficas, principalmente no tocante à generalização da informação.

Em face da Geografia, a Cartografia apresenta-se como uma poderosa ferramenta de apoio, permitindo a espacialização de todo e qualquer tipo de informação geográfica.

Devido à diversidade de informações geográficas, a Cartografia assume uma posição multi e interdisciplinar, com diversas outras ciências e tecnologias, principalmente nos últimos 30 anos, dado o crescimento do leque de informações que podem ser representadas. Geografia, Geodésia Geométrica, Geodésia por satélite, Topografia, Psicologia cognitiva, Ciência da

Computação, entre outras. A estrutura formal da Cartografia é estritamente espacial, composta por pontos, linhas, áreas (polígonos) e sólidos, em casos especiais. Os quais devem ser univocamente e completamente representados sob um sistema de coordenadas planas apropriado. As representações são definidas por imagens gráficas, um objeto visual, natural, caracterizado por uma distribuição de padrões, claros, escuros e cores, analógicas ou digitais, podendo ou não veicular significados, os quais são obtidos como um resultado de consideráveis aplicações de princípios de Psicologia cognitiva e de percepção gráfica (MENEZES; FERNANDES, 2013, p. 43).

As definições de Cartografia mostram não só uma aderência a alguns dos conceitos que foram já colocados aqui, como também se ajustam ao desenvolvimento tecnológico ocorrido até hoje. A grande maioria das definições apresentadas giram em torno de uma variação sobre o mesmo tema por meio de palavras-chave, a exemplo de: representação, superfície terrestre e superfície plana. Em 1973, a Associação Cartográfica Internacional (*International Cartographic Association – ICA*) apresentou a seguinte definição:

A arte, ciência e tecnologia de fazer mapas, juntamente com seu estudo, tanto enquanto documento científico, como trabalho de arte. Nesse contexto pode-se incluir todos os tipos de mapas, plantas, cartas, seções, modelos tridimensionais e globos que representem a Terra ou qualquer corpo celeste em todas as escalas. (MEYNEN, 1973, p. 185)

No entanto, a definição apresentada por Fraser Taylor, quando presidente da ICA, mostra-se não só atual como aderente ao desenvolvimento tecnológico presente, mesmo elaborada há 30 anos:

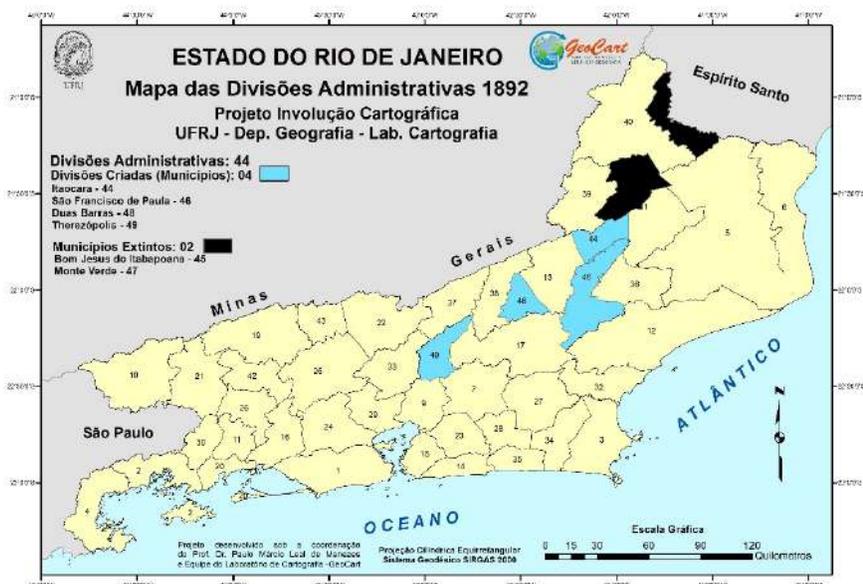
Ciência que trata da organização, apresentação, comunicação e utilização da geoinformação, sob uma forma que pode ser visual, numérica ou tátil, incluindo todos os processos de elaboração, após a preparação dos dados, bem como o estudo e utilização de mapas ou meios de representação, em todas as suas formas. (TAYLOR, 1991, p. 4)

A introdução do termo *geoinformação*, bem como a associação da Cartografia como uma ciência de tratamento da geoinformação, adaptada aos meios tecnológicos de aquisição, manipulação e representação gráfica, vinculada à superfície terrestre, é uma das principais contribuições dessa definição.

Mapa

A Cartografia fornece um método ou processo que permite a representação de um espaço geográfico e da geoinformação, de tal forma que a sua estrutura espacial será visualizada, permitindo que se infiram conclusões ou experimentos sobre a representação. O mapa está colocado com a função de veiculação dessa informação, dentro de um sistema de comunicação cartográfico, definindo a superfície terrestre como fonte da geoinformação e o Homem como usuário da informação representada. Num primeiro conceito, o mapa é caracterizado como uma representação plana dos fenômenos sociobiofísicos sobre a superfície terrestre, após a aplicação de transformações a que são submetidas as informações geográficas. O mapa é considerado como uma abstração da realidade geográfica e como uma ferramenta poderosa para a representação da informação geográfica de forma mental, visual, digital ou tátil. Pode-se ver daí a ligação direta entre mapa e Cartografia. A Figura 1.2 apresenta um mapa do estado do Rio de Janeiro, com a conformação de suas divisões administrativas de 1892.

Figura 1.2 – Mapa das divisões administrativas do estado do Rio de Janeiro (1892).



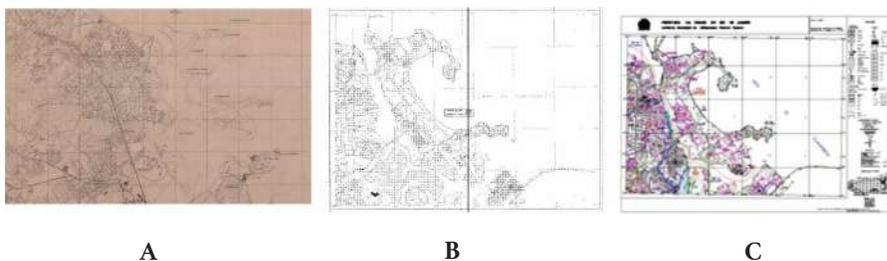
Fonte: Menezes (2007, p. 2-3), projeto *Involução Cartográfica do Estado do Rio de Janeiro*.

Comparando-se duas definições — a primeira, de Harris, em 1708, “descrição da Terra, em (ou em uma parte de) sua área, projetada sobre uma superfície plana, descrevendo a forma dos países, rios, situação das cidades,

colinas, florestas e outras feições” (HARRIS, 1708 *apud* ANDREWS, 1996, p. 1-11); e a segunda, de Thrower (2007, p. 3), “Representação, usualmente sobre uma superfície plana, de toda ou uma parte da superfície terrestre, mostrando um grupo de feições, em termos de suas posições e tamanhos relativos” —, verifica-se que, ao longo de mais de 300 anos, as definições são praticamente idênticas, podendo-se considerar como variações sobre um mesmo tema. Os mapas ainda são considerados modelos de dados: analógicos, pois são reduções em escala, em que os elementos do mundo real são reproduzidos de forma semelhante; e simbólicos, representações altamente elaboradas da realidade, em que é necessária uma linguagem dedicada para a descrição dos objetos do mundo real. Também é importante a consideração de que os mapas são sempre um arquivo de informações espaçotemporais.

Por essa ótica, abordando o aspecto temporal e considerando que a grande maioria dos mapas são representações estáticas, elaboradas com informações espaçotemporais de uma determinada época, evidentemente, não estará presente na representação o que vier a ser alterado ao longo do tempo. Assim, o mapa passa a ser considerado um arquivo de informações espaçotemporal, ou seja, histórico sobre aquele espaço, ao longo do tempo, conforme pode ser visualizado na Figura 1.3 (A, B e C).

Figura 1.3 – Sequência de mapas da folha 262E do município do Rio de Janeiro: 1948 (A), 1975 (B) e 1998 (C).

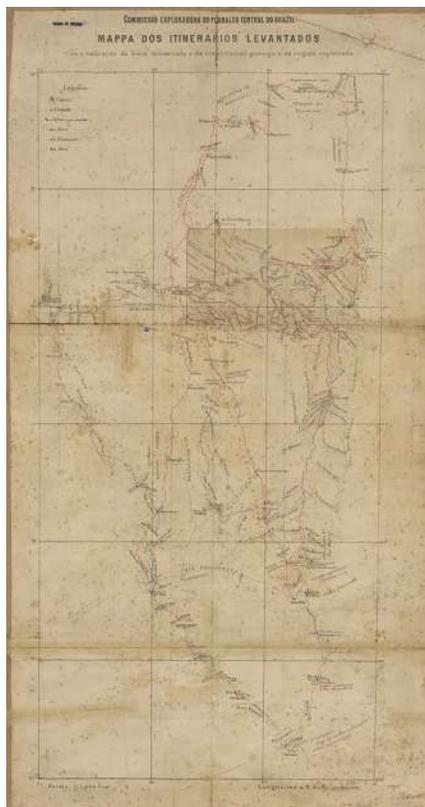


Fonte: Sv. Aéreos Cruzeiro do Sul, Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana (1975) e Instituto Pereira Passos (1998a).

1.3 CARTOGRAFIA HISTÓRICA, MAPA HISTÓRICO E MAPA ANTIGO

A experiência de se imaginar o espaço pretérito será sempre abordada conforme uma forma individual de como imaginá-lo. Por exemplo, um acompanhamento da Missão Cruls, mostrado na Figura 1.4, levará o pesquisador a um elevado nível imaginário, para que se possa reconstituir com detalhes cada um dos itinerários. Sendo um espaço passado, visões modernas e passadas entremeiam-se, as quais vão se clarificar em face de um documento elaborado na época do fato ou evento estudado.

Figura 1.4 – *Mappa dos Itinerários Levantados (com a Indicação da Zona Demarcada e da Constituição Geológica da Região Explorada).*



Nota: mapa da Missão Cruls ao Planalto Central.

Fonte: Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil (1990). Acervo do Arquivo Nacional do Rio de Janeiro.

Pesquisas em Cartografia Histórica são desenvolvidas em diferentes áreas do conhecimento, buscando em mapas antigos respostas a questões específicas, valendo-se de técnicas as mais diversas. A pesquisa com abordagens históricas para estudos geográfico-espaciais pode ter diferentes objetivos. Por exemplo, estudos evolutivos de uma área, uso da terra, desenvolvimento de malhas viárias, problemas de fronteiras, aterramentos, evolução da linha de costa, em se tratando de aspectos físicos e administrativos, como também permite o resgate de conhecimentos culturais e socioeconômicos de um espaço. Nesse tipo de pesquisa, desperta-se o interesse nas relações histórico-geográficas, nas diferentes representações da paisagem, em documentos cartográficos. Assim, o uso de mapas históricos estabelece uma comparação das relações espaciais de fenômenos passados e a sua evolução ao longo do tempo, permitindo uma análise diacrônica qualitativa e quantitativa.

Existe uma vinculação quase que direta entre a História da Cartografia e a Cartografia Histórica. Porém, elas são interdependentes, mas não são intercambiáveis. Enquanto a História da Cartografia se dedica ao estudo do desenvolvimento da História da ciência cartográfica (incluindo os mapas e processos aplicados), bem como de seus aspectos epistemológicos e filosóficos ao longo do tempo, a Cartografia Histórica debruça-se a estudar os mapas como entes e fontes de informação sobre aquele momento temporal. São estudados em conjunto tanto a aplicação dos conhecimentos cartográficos quanto o conteúdo temático incluso na representação; e as possíveis conclusões desse estudo sobre a área representada. Em resumo, dedica-se ao estudo de mapas, documentos cartográficos e representações históricas, elaboradas em épocas passadas, permitindo o conhecimento e análise de informações geográficas passadas e suas dinâmicas.

Mapa Histórico

O conceito de mapa aplica-se a todos os tipos de mapas, e todo mapa estático é um arquivo temporal de informações, uma vez que, a partir do momento de sua criação, alguma transformação vai ocorrer em relação às informações veiculadas.

Os mapas, de maneira geral, fornecem um registro dos aspectos sociobiofísicos ou mesmo o registro de antigas estruturas e funções de um lugar. Assim, os mapas são ferramentas utilizadas para recuperação

de informações geográficas antigas ou de época e, dessa forma, constituem-se em uma linguagem comum, usada por homens de diferentes raças e línguas, para expressar a relação de sua sociedade com um ambiente geográfico.

Cartografia histórica e mapas antigos são importantes ferramentas para análise geográfica, estabelecendo um posicionamento do espaço no tempo, por meio da recuperação de informações geográficas temporais, permitindo, assim, o restabelecimento de uma memória local.

Mapas históricos podem ser analisados sob duas visões diferentes:

- Documento cartográfico atual, elaborado para representar algum fato ou evento histórico segundo processos modernos de execução.
- Documento original, elaborado na época histórica, segundo técnicas cartográficas da época, representando o conhecimento e as informações do espaço geográfico retratado.

A diferença entre essas duas visões pode ser visualizada pela Figura 1.5 (A), que mostra o Centro da cidade do Rio de Janeiro em 1930, no *Atlas Comemorativo de 1965*, de Eduardo Canabrava Barreiros (BARREIROS, 1965); e na Figura 1.5 (B), da *Planta da Cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro*, que mostra o Centro do Rio de Janeiro em 1812, tendo sido desenvolvido e publicado nessa mesma época.

Figura 1.5 – Centro do Rio de Janeiro em 1852, representado no *Atlas Comemorativo de 1965* (A); e Centro do Rio de Janeiro em 1812 na *Planta da Cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro* (B).



A



B

Fonte: (A) Eduardo Canabrava Barreiros (1965); (B) Ignacio Antonio Reis e Paulo dos Santos Ferreira Souto (1812). Acervo do Arquivo Nacional do Rio de Janeiro.

A literatura americana trata essas duas visões por meio das palavras *historical*, para o mapa moderno, e *historic*, para os documentos de época (HODGKISS, 1981, p. 27), porém existem escolas que apresentam os mapas históricos, como aqueles descritos na primeira visão; enquanto que os demais são enquadrados como mapas antigos.

Surge então, uma discussão sobre o que será mapa histórico e mapa antigo. Evidentemente, um mapa antigo terá essa denominação em relação ao seu aspecto temporal, ou seja, à sua data de publicação. Porém, todos os mapas são considerados depositários ou arquivos de conhecimentos da época em que foi desenvolvido, encerrando conhecimentos:

- Do espaço físico, de sua distribuição e uso;
- Dos processos utilizados em sua construção;

- Sobre a época de sua elaboração, em termos de costumes, crenças, Cultura e História.

Ocorre que, após o processo de edição e publicação, pode haver alterações no espaço geográfico, desde a fase de pesquisa, por menores que sejam essas alterações. Dessa forma, o uso desse mapa como uma fonte de informações pretéritas, teórica e praticamente, torna esse mapa histórico, considerando sua data de publicação. Na visão apresentada, todo mapa antigo é histórico, mas nem todo mapa histórico será obrigatoriamente antigo. Assim, o mapa é considerado histórico por conter informações pretéritas, que foram alteradas após a sua edição, enquanto que um mapa antigo o será devido ao seu aspecto temporal. Não se pode desconsiderar a subjetividade do conceito de antigo. A partir de que época um mapa pode ser considerado antigo? Essa consideração traz a necessidade de agregar outros fatores, muitos deles advindos da História da Cartografia, tais como: processo de elaboração, tipo de papel, impresso ou desenhado a mão, disponibilidade de cópias, entre outros. No entanto, cabe ressaltar que existem escolas que classificam de forma contrária esses dois conceitos.

1.4 O ESTUDO DE MAPAS HISTÓRICOS

O processo de estudo de mapas históricos deve seguir a definição do objetivo geral da pesquisa. Como qualquer outro trabalho científico, o objetivo geral do que se quer obter deverá guiar as etapas que serão desenvolvidas para atingi-lo. Estudos acerca da estrutura e extração de informações cartográficas; extração de informações geográfico-culturais; extração e estudo de nomes geográficos (ou Toponímia); estudos evolutivos sobre área urbana, ocupação antrópica, degradação, alterações de aspectos físicos da paisagem; definição de uma série diacrônica de transformações do espaço são apenas alguns entre os possíveis exemplos de estudos aplicados aos mapas históricos.

A definição dos objetivos da pesquisa orientará como a pesquisa se desenvolverá, a abordagem sobre o documento e quais informações serão necessárias para atingi-los. O tipo de pesquisa vai definir a abordagem e as informações que serão extraídas do processo de estudo.

O processo de análise de mapas históricos é desenvolvido por etapas, cada uma com seus objetivos a atingir. O conjunto dessas etapas leva

o pesquisador a conhecer e, principalmente, a entender o mapa como um documento histórico, bem como a sua utilização como evidência histórica.

Sugere-se uma definição de etapas que seja similar a este conjunto: i) análise analógica; ii) análise espaçotemporal; iii) análise histórico-temporal; iv) análise digital; e v) georreferenciamento. A partir dessas análises, em qualquer tipo de pesquisa, estar-se-á pronto para a extração das informações do mapa e a sua associação aos objetivos da pesquisa. A análise espaçotemporal e a análise histórico-temporal serão trabalhadas e definidas por meio de estudos comparativos e da produção de resultados das análises, bem como a geração de relatórios técnicos, com informações de interesse à História da Cartografia. A etapa final deverá ser o preenchimento dos metadados do documento de acordo com a norma ISO19115.

Análise analógica

O objetivo principal dessa etapa é conhecer e entender o mapa como documento cartográfico histórico. O Quadro 1.1 mostra as informações necessárias a serem analisadas.

Quadro 1.1 – Elementos do mapa a serem analisados.

	Elemento Componente	Descrição	Observações
1	Cabeçalho	Termos que designam a extensão territorial	
2	Título	Completo. Caso não haja título, criar e colocar entre colchetes	
3	Autoria	Nome completo de todos os autores	
4	Dimensões	Definição de todas as dimensões do mapa, largura x altura em milímetros, na seguinte ordem: folha inteira, quadro da margem e quadro do mapa	
5	Lugar de origem e datação	Local de elaboração Caso não haja data, é possível a colocação de data suposta, entre colchetes e com interrogação acrescentada	Deve, além da data, ser caracterizada a época histórica em que o mapa se enquadre
6	Legenda	Descrição e conteúdo da legenda	

7	Escala	Escala numérica. Caso haja escala gráfica, deve ser medido o comprimento total em milímetros. Não havendo escala, atribuir escala aproximada entre colchetes	Unidades de medidas, braças, léguas, toesas
8	Limites do mapa	Latitude e longitude dos cantos da folha	
9	Sistema de projeção	Informações da projeção adotada	
10	Coordenadas	Tipo de coordenadas e sistema geodésico de referência	
11	Meridiano origem e orientação	Nome do meridiano-origem, numeração dos meridianos e orientação horária ou anti-horária	
12	Marcas de orientação do norte	Orientação, tipo de norte	Declinação magnética
13	Organização depositária	Arquivo	
14	Notas e marcas	Marcas existentes no mapa, carimbos, anotações à tinta e a lápis	Identificação da organização depositária
15	Coleção ou série de documento	Coleção anterior, proprietários anteriores	
16	Existência de pontos notáveis		

Fonte: os autores, adaptado da Sociedade Brasileira de Cartografia (1968, p. 177).

A organização adequada do quadro é aconselhada, pois uma boa quantidade das informações inclusas fará parte dos metadados relativos ao mapa. Todas as informações serão importantes em algum momento do trabalho, porém, com a crescente impossibilidade de se trabalhar diretamente com o documento original, e o conseqüente trabalho com versões digitais, um conjunto de metadados disponibilizado sem algumas daquelas informações tornará o estudo incompleto.

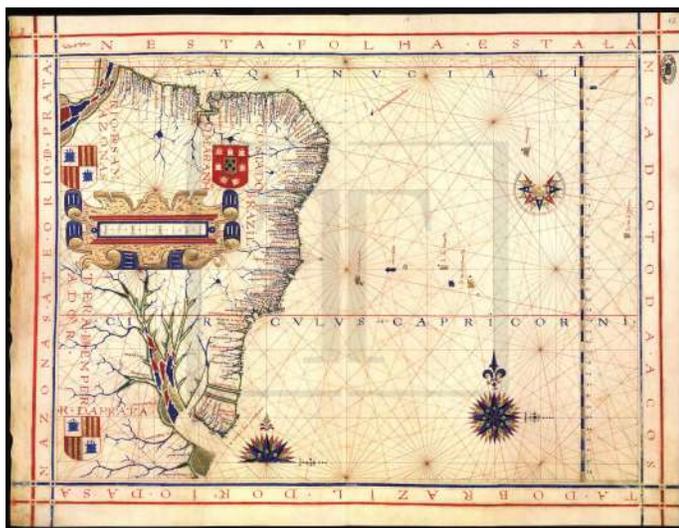
Alguns desses elementos devem ser estudados mais profundamente, para definir a estrutura cartográfica histórica do mapa, dessa forma

adicionando mais informações para a História da Cartografia no que se refere às tecnologias de construção do mapa.

Graticula e Meridiano-Origem

A representação da graticula, rede de paralelos e meridianos projetados no mapa, é apresentada progressivamente a partir do século XVI, à medida que os mapas portulanos não são mais utilizados. Até esse período, normalmente, os mapas apresentavam a estrutura portulana, com a representação do Equador e dos trópicos, bem como uma linha meridiana, demarcada com as latitudes. Um exemplo pode ser verificado na Figura 1.6, mostrando o *Mapa de Fernão Vaz Dourado* (DOURADO, 1571), no qual se visualizam as duas linhas latitudinais e a linha meridiana, com marcações latitudinais. Os primeiros mapas com uma rede de paralelos e meridianos representada foram as publicações da *Geographia*, de Ptolomeu, a partir de 1475 (STEVENS, 1972), conforme pode ser visto na Figura 1.7.

Figura 1.6 – *Mapa de Fernão Vaz Dourado* (1571).



Fonte: Dourado (1571). Acervo do Arquivo Nacional da Torre do Tombo.

Figura 1.7 – *Geographia*, de Ptolomeu.

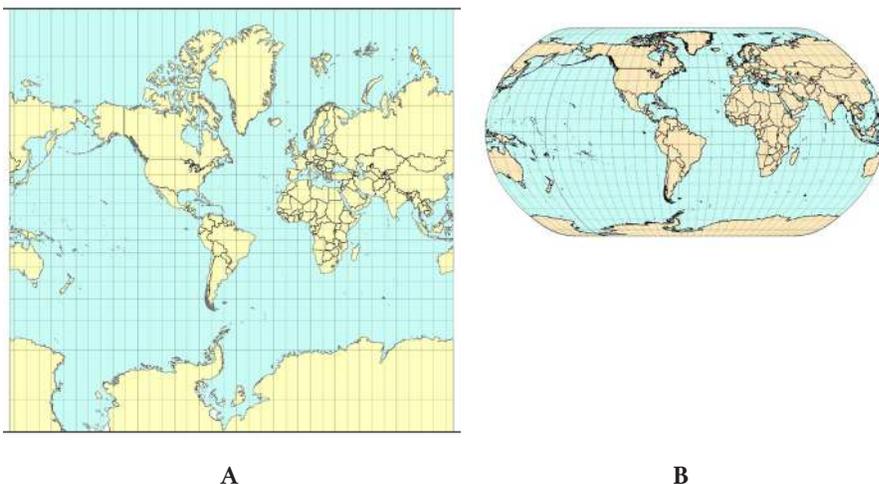


Fonte: edição de 1486, de Johann Reger, foto particular. Acervo da Biblioteca Nacional.

Assim, surgem também os primeiros problemas com a representação das longitudes: representação dos meridianos e paralelos de acordo com suas linhas projetadas; necessidade da valoração da marcação dos meridianos e da definição de um meridiano origem e direção de contagem (horária ou anti-horária).

A representação de meridianos e paralelos ocorre de acordo com as suas linhas projetadas. Na Projeção de Mercator, por ser uma projeção cilíndrica equatorial, todos os paralelos e meridianos se projetam segundo linhas retas, ortogonais entre si. Porém, a projeção *Natural Earth*, derivada da Projeção de Mercator, apresenta uma disposição inteiramente diferente das linhas projetadas dos paralelos e meridianos. A Figura 1.8 (A e B) apresenta os dois mapas, lado a lado.

Figura 1.8 – Mapa-múndi na projeção de Mercator (A) e mapa-múndi na projeção *Natural Earth* (B).



Fonte: os autores.

Já definido por Claudio Ptolomeu e utilizado por vários séculos, o Meridiano da Ponta Ocidental da Ilha do Ferro (Punta de Orchilla) foi considerado como meridiano-origem, por ter sido considerado o extremo ocidental do mundo conhecido. No Brasil, foi utilizado em seus mapas, em certo período. O Quadro 1.2 apresenta todos os meridianos que foram utilizados nas representações de mapas durante os períodos do Brasil Colônia, Império e República.

Quadro 1.2 – Lista dos meridianos utilizados no Brasil e respectivas diferenças para o meridiano de Greenwich.

Meridiano-Origem	Diferença Greenwich	Latitude	Local	Observação
Ilha do Ferro	-17° 39' 45,975"		Ponta NW	Astronômica
Lisboa	-09° 11' 14,9"		Observatório de Lisboa	Astronômica
Paris	02° 20' 14,025"		Observatório de Paris	Astronômica
Rio de Janeiro	-43° 03' 38,9"		Observatório Castelo	Astronômica

Rio de Janeiro 1921	-43° 10' 47,03"		Obs. Mo Sto Antônio (*)	Elipsoide Clarke 1886
Rio de Janeiro	-42° 02' 41,9"		Pão de Açúcar	Astronômica
Rio de Janeiro	-43° 10' 28"	-22° 54' 24"	Morro do Castelo IORJ (**)	WGS84
Rio de Janeiro	-43° 09' 22"	-22° 56' 58"	Pão de Açúcar	WGS84
Rio de Janeiro	-43° 10' 53"	-22° 54' 27"	Morro de Santo Antônio	WGS84

Notas: (*) Observatório no Morro de Santo Antônio, no Rio de Janeiro; (**) IORJ = Imperial Observatório do Rio de Janeiro.

Fonte: os autores.

Uma grande maioria das projeções utilizadas no Brasil foi definida pela projeção cilíndrica equirretangular, devido à sua facilidade de desenho. A partir de meados do século XVIII, em razão da influência de cartógrafos franceses, entre eles Guillaume Delisle (OLIVEIRA; CINTRÁ; ALMEIDA FILHO, 2016, p. 192-201) e Jean-Baptiste Bourguignon d'Anville (MENEZES *et al.*, 2019), que chegou a ser contratado para a melhoria dos mapas portugueses, quando muito, utilizou-se a projeção Sanson-Flamsteed. O mapa da Nova Lusitânia (ou a *Carta Geographica de Projecção Espherica Orthogonal da Nova Luzitania ou America Portuguesa e Estado do Brazil*) é um dos melhores exemplos dessa aplicação (MENEZES *et al.*, 2019, p. 79).

Escala e unidades de medida

A determinação da escala em mapas históricos é essencial para a realização de medidas sobre o mapa estudado. Caso não exista uma escala numérica ou uma escala gráfica explícita, ao menos uma escala aproximada deve ser determinada, para que se possa ter ideia das dimensões terrestres representadas. Caso sejam conhecidos dois pontos no mapa e na superfície terrestre, uma valoração da escala pode ser definida, em termos aproximados, pois, dependendo da época e do tipo de mapa, uma representação esquemática falseará o resultado.

Sendo disponibilizada uma grade em coordenadas geográficas (latitude e longitude), pode-se medir a distância entre valores da graduação

consecutivos e comparar com o arco do valor em graus com o valor de arco correspondente a um grau: 111.111 km, em diferença de latitude ao longo do meridiano central, ou longitude no Equador. Em diferentes latitudes, o arco pode ser recalculado, multiplicado pelo cosseno da latitude média.

As escalas gráficas, quando se está trabalhando com o original do mapa, é uma referência segura para a determinação da escala. No entanto, uma série de cuidados deverão ser tomados, com o uso das imagens digitais. As unidades de medidas de referência de cada época terão que ser analisadas e aplicadas a cada mapa.

No caso brasileiro, até meados do século XIX, quando o sistema métrico decimal é implantado, muitas vezes será necessário o conhecimento das antigas unidades de medidas portuguesas e brasileiras, aplicadas nos mapas dessa época. A Tabela 1.1 mostra a equivalência entre as principais unidades de medida portuguesas antigas e o sistema métrico decimal.

Tabela 1.1 – Unidades de medidas métricas portuguesas antigas e sistema métrico decimal.

Unidades de medidas portuguesas	Equivalências	Medidas ao arco de 1°	Relação métrica
Polegada portuguesa	8 polegadas		2,75 cm
Palmo	12 polegadas		22,00 cm
Pé	40 polegadas		33,00 cm
Vara	80 polegadas		110,00 cm
Braça	2 pés		220,00 cm
Passo andante	5 pés		66,00 cm
Passo geométrico			165,00 cm
Légua		17,00/°	6.535,94 m
Légua		17,50/°	6.349,20 m
Légua Antiga (Comum)		18,00/°	6.172,83 m
Légua		18,75/°	5.925,92 m
Légua Legal/Comum		19,00/°	5.847,95 m
Légua		20,00/°	5.555,55 m
Légua 2540 braças		-	5.588,00 m
Milha- 1/3 Légua Antiga		54,00/°	2.057,61 m

Fonte: os autores, adaptado de Marques (2001, p. 23).

Alguns cuidados deverão ser tomados em relação aos valores de algumas unidades. Por exemplo, a polegada portuguesa tem um valor dife-

rente da polegada, como é conhecida hoje. As léguas são calculadas como valores obtidos pela divisão de um arco de grau, tomado como valor fixo de 111.111,00 m. A légua mais comum era a légua de 18 ao grau. É possível também, esporadicamente, encontrar valores diferentes, como a légua de 3.000 braças, equivalente a 6.600,00 m.

Vale ressaltar que serão eventualmente necessários os conhecimentos de unidades métricas francesas, inglesas, holandesas e mesmo alemãs.

Análise digital

A análise digital diz respeito às características e às estruturas do documento digital que está à disposição do pesquisador. A digitalização de documentos históricos é a alternativa que pesquisadores e o público em geral têm para o acesso e a consulta de documentos históricos originais, pois uma consulta *in loco* torna-se cada vez mais difícil ou mesmo dificultada, sendo as principais razões distância física do local de armazenamento, problemas relativos à conservação e à degradação do documento, como também problemas relativos à própria segurança do documento. Tais problemas são recorrentes e cada vez mais, o pesquisador está sujeito aos meios de disponibilização que o detentor do documento oferece e disponibiliza para a consulta. Nos dias atuais, devido à pandemia do COVID-19, reforça-se essa hipótese.

Praticamente, todos os documentos passam por um processo de digitalização, com auxílio de *scanners* ou equipamentos fotográficos de alta resolução, sendo efetuada a transformação para um arquivo digital. Esse arquivo pode ser definido como uma imagem digital matricial, com uma determinada resolução em *pixels*, normalmente estabelecidas pela unidade *dots per inch* (dpi) ou pontos por polegada (ppp). Em termos de imagem, a resolução é dita maior quando possui um tamanho de *pixel* menor. Já a baixa resolução implica tamanho do *pixel* maior. Assim, uma imagem em 300 dpi terá uma resolução maior que uma imagem de 100 dpi, uma vez que seus *pixels* terão dimensões quadradas de 0,08466 mm e de 0,254 mm, respectivamente. A Tabela 1.2 mostra os valores de *pixel* para diversas resoluções.

Tabela 1.2 – Valores de *pixel* e correspondência para escalas na superfície terrestre.

Resolução em dpi	Dimensão do <i>pixel</i> em micron (μm)	Valor terrestre na escala 1:10.000 (m)	Valor terrestre na escala 1:50.000 (m)	Valor terrestre na escala 1:100.000 (m)
72	353	3,5	17,5	35
75	339	3,4	17	34
100	254	2,6	13	26
150	169	1,7	8	17
200	127	1,3	6,5	13
300	85	0,9	4,5	09
600	42	0,42	2,3	4,2

Fonte: os autores.

Mapas são documentos bastante diversos, pois são uma imagem analógica que pode incluir textos e gráficos, ser diferente em relação aos processos de impressão, textos impressos e desenhos manuscritos, sendo necessária maior flexibilidade na definição de uma resolução-padrão. É de se supor que mapas menores tenham também detalhes menores. Porém, mapas maiores também podem ser mais detalhados. A digitalização de grandes mapas em altas resoluções pode gerar arquivos com um volume computacional excepcionalmente grande, em unidades de *megabytes*, *gigabytes* ou *terabytes*, ocasionando difícil manipulação, a não ser por máquinas com grande poder computacional. Mapas digitalizados com resoluções maiores podem não apresentar benefícios, a menos que seja necessário, devido aos detalhes menores. Os mapas, por sua vez, podem ser impressos com uma resolução de impressão maior do que para outros suportes; podendo, em alguns casos, apresentar padrões de Moiré, que devem ser levados em conta no processo de digitalização.

Diversos padrões de resolução estão disponíveis, e a Seção de Preservação e Reformatação da Associação para Acervos de Bibliotecas e Serviços Técnicos (*The Association for Library Collections and Technical Services Preservation and Reformatting Section*) apresentou em 2013 uma série de padrões mínimos para a digitalização de documentos (ALCTS, 2013).

Segundo a ALCTS (2013, p. 33), “a resolução adotada para a digitalização de mapas deve estar entre 300 e 600 dpi”. Mapas com detalhes grandes podem ser digitalizados adequadamente em 300 dpi, embora mapas com detalhes muito pequenos possam exigir resolução de 600 dpi ou superior.

Lembrando que cada *pixel* armazena um único valor, o volume de um arquivo digitalizado com o dobro de uma resolução será quatro vezes maior do que o do arquivo em menor resolução equivalente. A existência de detalhes em torno de 0,5 mm (em textos) e de 0,25 mm (para linhas tracejadas), poderá requerer um índice de qualidade superior, IQ-8, ou 820 dpi. Dessa forma, a resolução disponibilizada para mapas é normalmente fixada entre 300 e, no máximo, 600 dpi. Resoluções mais altas são utilizadas para a impressão (fac-símile) de mapas, sendo economicamente inviável para uma cópia, devido ao enorme volume gerado para o arquivo.

A resolução de digitalização em dpi está diretamente ligada a conteúdo e qualidade das informações, padrão de qualidade dos dados do projeto, precisão de aquisição das coordenadas e volume (ou tamanho) do arquivo. Essa resolução deve ser decidida antes da digitalização do documento. A adoção de maior resolução de escaneamento facilita a visualização de pontos de controle com maior precisão, as medições de pontos e, em consequência, o georreferenciamento, bem como a identificação de feições a serem extraídas, facilitando a visualização de detalhes. Quanto mais alta a resolução, porém, maior será o volume do arquivo de dados, o que poderá aumentar o tempo de processamento. A Figura 1.9 (A e B) apresenta um trecho de um mapa de 1848, mostrando a perda de definição entre as resoluções: 300 dpi e 72 dpi.

Figura 1.9 – *Planta Corographica da Provincia do Rio de Janeiro – Imperial Fazenda de Santa Cruz* (1848): trecho em 300 dpi (A) e mesmo trecho em 72 dpi (B).



Fonte: Acervo do Arquivo Nacional (PLANTA, 1848).

A obtenção de mapas em 300 dpi por parte das organizações depositárias é um problema sério para o pesquisador. No caso das organizações nacionais, a solicitação via ofício é possível, caso a organização disponha

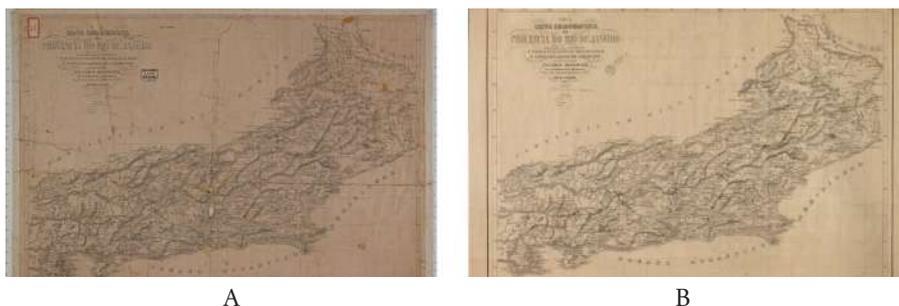
de um original nessa resolução. No entanto, a resolução disponibilizada via internet é frequentemente baixa, em torno de 72 dpi. A aquisição de documentos em maiores resoluções muitas vezes é onerada em torno de 25 euros por documento. Exceção para a Biblioteca do Congresso dos Estados Unidos, onde é possível a sua obtenção de forma gratuita.

Um dos problemas que ocorrem frequentemente na disponibilidade de imagens com resoluções baixas é a constatação de dimensões impossíveis de serem atribuídas ao documento. O caso que será descrito é real. O mapa disponibilizado por uma organização tinha as dimensões de 4.380 x 3.068 *pixels* e resolução de 72 dpi. Os metadados da organização apontavam as dimensões do mapa em 71,0 x 50,0 cm, em folha de 78,0 x 60,5 cm. Transformando-se as dimensões em *pixel* para centímetros, obtiveram-se as dimensões de 154,52 x 108,23 cm, ou seja, irreal. Estudado o problema, verificou-se que, no momento da transformação de alta para a baixa resolução de disponibilização, a operação realizada, em vez de manter fixas as dimensões da imagem, fixou as dimensões em *pixels*. Dessa forma, foram mantidas as condições de visualização das duas imagens, porém o *pixel* da imagem transformada tem o seu tamanho alterado e, por consequência, o tamanho final de toda a imagem, em centímetros. Considerando-se as dimensões em *pixels*, 4.380 x 3.068, as dimensões em centímetros, 78,0 x 60,5, a resolução original do mapa calculada foi de 142 dpi.

Esse problema é recorrente em diversas organizações depositárias e impede que o pesquisador tenha conhecimento das dimensões reais do mapa. Caso o mapa possua a escala numérica, esse problema é contornado. Não havendo a escala numérica, o pesquisador terá, evidentemente, conhecimento de uma imagem proporcional ao tamanho original, porém as relações reais entre dimensões serão impossíveis de serem obtidas, e, mesmo com a existência de uma escala gráfica, será impossível determinar as suas dimensões reais. O problema terá solução com o estabelecimento das seguintes condições: inclusão do comprimento da escala gráfica em milímetros, nos metadados da organização. Definição, em milímetros, do comprimento e largura dos seguintes elementos do mapa: i) dimensões totais da imagem, inclusive excesso sobre o papel; ii) dimensões totais da folha do mapa; iii) dimensões totais da margem do mapa; iv) dimensões totais do quadro que encerra as coordenadas; e v) dimensões totais que encerram o mapa. A Figura 1.10 mostra dois mapas de duas organizações diferentes, com suas dimensões em *pixel* e em centímetros, calculadas segundo as resoluções

divulgadas: organização A, 72 dpi, 4.380 x 3.068 *pixels* e 154,52 x 108,23 cm; organização B, 270 dpi, 7.632 x 5.264 *pixels* e 72,0 x 49,66 cm.

Figura 1.10 – *Nova Carta Chorographica da Provincia do Rio de Janeiro* (1865).



Fonte: exemplares de Pedro D'Alcântara Bellegarde e Conrad Jacob Niemeyer, utilizados no dimensionamento, por meio dos dados digitais. Acervos da Biblioteca Nacional (A) e do Arquivo Nacional (B).

O Laboratório de Cartografia (GeoCart-UFRJ) realizou um teste de digitalização sobre um mapa do estado do Rio de Janeiro de 1975 (Figura 1.11), produzido e impresso pelo IBGE, com as seguintes características:

- Escala numérica: 1:400.000.
- Dimensões do papel: 117,9 cm x 83,8 cm.
- Dimensões do mapa original: 109,48 x 75,6 cm.
- Resolução de digitalização original: 300 dpi.
- Dimensões em *pixels*: 14.266 x 1006210.062.
- Dimensões calculadas: 120,79 x 85,19 cm (devido ao tamanho da imagem digitalizada).
- Dimensões do mapa digitalizado: 13.022 x 89178.917 *pixels* e 110,25 x 75,5 cm.
- Volume de armazenamento: 410 Mb, em formato *TIFF*.

Figura 1.11 – Mapa do estado do Rio de Janeiro (teste de comprovação).



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1975).

Essas características permitem que o mapa esteja com uma excelente resolução para o trabalho digital, como também mantenha suas características geométricas originais. Para a imagem, foi escolhido o formato *TIFF*, uma vez que, mesmo tendo compressão, não se perde a qualidade.

O primeiro teste consistiu em uma redução pura e simples da resolução, de 300 para 72 dpi, reamostrando-se a imagem. A imagem, em um primeiro momento, foi reduzida para uma resolução de 72 dpi, passando a ter as seguintes características:

- Resolução de digitalização original: 72 dpi.
- Dimensões em *pixels*: 3.224 x 24152.415.
- Dimensões calculadas: 120,79 x 85,2 cm.

Verifica-se que foram mantidas as dimensões geométricas do documento original. Ou seja, a proporção entre as dimensões originais do documento não foi afetada, uma vez que o tamanho do *pixel* fez com que as dimensões em *pixel* fossem também reduzidas, na mesma proporção de seu aumento, ou seja, $300/72$ ou 4,16667.

Alguns processos de reamostragem apresentam algoritmos que permitem preservação de detalhes, melhoria da nitidez (*sharper* e *smooth bicubic*) e outros, mantendo-se as dimensões originais do documento. No entanto, quando não se realiza um processo de reamostragem, as dimensões

originais em *pixels* são mantidas, o que faz com que as dimensões em unidades métricas sejam aumentadas na mesma proporção em que a resolução é diminuída. Assim, as dimensões desse mesmo mapa passam a ser as seguintes:

- Resolução: 72 dpi.
- Dimensões em *pixels*: 13.022 x 89178.917.
- Dimensões em cm: 459,39 x 314,57.

Dessa forma, fica comprovado o que acontece ao se disponibilizar um documento no qual são mantidas as suas dimensões em *pixel*, mas sem um processo de reamostragem.

Georreferenciamento de Mapas Históricos

Ao processo de referenciamento geoespacial de dados e informações, tais como mapas, fotografias e imagens, em relação a um sistema de coordenadas terrestres, dá-se o nome de georreferenciamento. Esse procedimento é bastante comum e utilizado em imagens de sensores remotos. Um mapa, porém, como uma representação plana, estará sempre referenciado às suas coordenadas projetadas, com a graticula assumindo a representação específica de cada projeção. Isso se torna mais evidente em uma imagem de mapa em meio digital, pois cada *pixel* referencia um ponto no mapa, em sua estrutura matricial.

De forma bastante sintética, o georreferenciamento de um mapa consiste em trazer as coordenadas terrestres para a superfície do mapa. Nos procedimentos normais, quando, por exemplo, conhece-se o sistema projetivo utilizado, a escala e os pontos de controle bem identificados no mapa, o processo é relativamente simples, pois as coordenadas projetadas serão as coordenadas de controle, portanto planas também (como as coordenadas de mapa) e vistas como coordenadas da imagem.

Os processos de transformações no plano consistem em translação, rotação e escala. No entanto, infelizmente, a maioria dos problemas de transformação de coordenadas de plano não são tão simples. As geometrias de sistemas de coordenadas planas não georreferenciadas e sistemas de coordenadas planas, projetivas e georreferenciados tendem a ser bem diferentes, exatamente por serem oriundos de uma projeção da superfície tridimensional (3D) para um plano bidimensional (2D), distorcendo a superfície curva original. Em um mapa projetado, as distorções afetam

especificamente a escala, variando de lugar para lugar; e, desde que a área geográfica de interesse não seja muito grande, alguns processos podem ser eficazes no ajustamento da grade de um sistema de coordenadas plano não georreferenciado para a grade de um sistema de coordenadas planas projetadas, georreferenciada, com uma precisão razoável e mensurável.

As transformações mais usuais são as transformações por similaridade (ou isogonais), que envolvem rotações, translações e escala, definidas por quatro parâmetros. A aplicação desse processo é mais eficaz em sistemas em que ambos tenham grades ortogonais; por exemplo, em levantamentos topográficos locais, projeções de Gauss, Transversa de Mercator, em áreas pequenas. As transformações por afinidade levam em consideração a existência de deformações irregularmente distribuídas, exigindo seis parâmetros: rotação, escala e deslocamento ao longo de cada uma das duas dimensões dos sistemas de coordenadas da imagem e da projeção. O terceiro processo é definido pelas transformações polinomiais de segunda ordem, de 12 parâmetros. Sua vantagem é a possibilidade de corrigir ao mesmo tempo conjuntos de dados que são distorcidos diferentemente; no entanto, há uma desvantagem, uma vez que a estabilidade dos resultados depende muito da quantidade e do arranjo dos pontos de controle e do grau de desigualdade das geometrias de origem e alvo, que podem ser difíceis de determinar (ILLIFE, 2008).

No tocante aos mapas históricos, os seguintes problemas acontecem com frequência: inexistência de coordenadas e da indicação de paralelos e meridianos; existência de diferentes meridianos origem (necessitando ser calculada a diferença para o meridiano de Greenwich); inconsistências na representação de feições geográficas, que poderiam ser aproveitadas como pontos de apoio, entre outras (MENEZES *et al.*, 2019; SANTOS; MENEZES; COSTA, 2009).

Como exemplo, pode ser apresentado o Mapa da Capitania do Rio de Janeiro, elaborado pelo padre jesuíta Domingos Capassi, *Mappa Chorographico da Capitania do Rio de Janeiro* ([173-]), que não apresenta nenhuma referência de coordenadas e foi georreferenciado sobre o mapa do estado do Rio de Janeiro, em projeção equirretangular, utilizando-se as seguintes feições: Ilha de Cabo Frio, Ilha de Jorge Grego, Ponta da Joatinga e Foz do Rio Paraíba do Sul. Os resíduos do ajustamento são relativamente pequenos, em torno de ± 48 m, considerando-se a escala de mapeamento, porém as deficiências e deformações trazem erros de posicionamento expressivos, ocorrendo erros

maiores do que 5 quilômetros. A Figura 1.12 mostra o georreferenciamento do mapa de Domingos Capassi ([173-]).

Figura 1.12 – Georreferenciamento do *Mappa Corographico da Capitania do Rio de Janeiro* ([173-]).



Fonte: Domingos Capassi ([173?-]). Acervo da Biblioteca Nacional.

Um exemplo para mostrar o referenciamento das coordenadas ao meridiano de Greenwich será dado pelo Mapa da Nova Lusitânia de 1798. O meridiano-origem definido foi o meridiano da Ilha do Ferro, Ilhas Canárias. O meridiano central da projeção está definido pelo meridiano 315° da Ilha do Ferro, contado no sentido horário, ou seja, de oeste para leste. Considerando-se que o meridiano da Ilha do Ferro está localizado a 20° W do meridiano de Paris e o meridiano de Paris está situado a $2^\circ 39' 14,025''$ L do meridiano de Greenwich, o meridiano da Ilha do Ferro situa-se então a $17^\circ 39' 45,975''$ W de Greenwich. Dessa forma, o meridiano de 315° da Ilha do Ferro corresponde ao meridiano $62^\circ 39' 45,975''$ W Greenwich, ou $-62^\circ 39' 45,975''$, ou ainda $-62,662770833333^\circ$.

Por outro lado, a série temporal de mapas da Prefeitura do Distrito Federal de 1900 até 1928 apresenta as condições quase perfeitas para um bom ajustamento: área mapeada relativamente pequena, 18×8 km; apesar de não apresentar um sistema de coordenadas, mas sim um sistema de quadrículas; e o mapeamento ocorreu sobre um sistema local, com um reticulado ortogonal. A Figura 1.13 apresenta a *Planta da Cidade do Rio de Janeiro* de 1900.

Figura 1.13 – *Planta da Cidade do Rio de Janeiro*.



Fonte: Reis (1900). Acervo da Library of Congress (Washington, DC).

A Figura 1.14 apresenta o mesmo mapa georreferenciado em relação ao sistema geodésico de referência SIRGAS 2000. Foram utilizados 12 pontos de controle e um erro médio quadrático de $\pm 4,3$ m.

Figura 1.14 – *Planta da Cidade do Rio de Janeiro* georreferenciada.



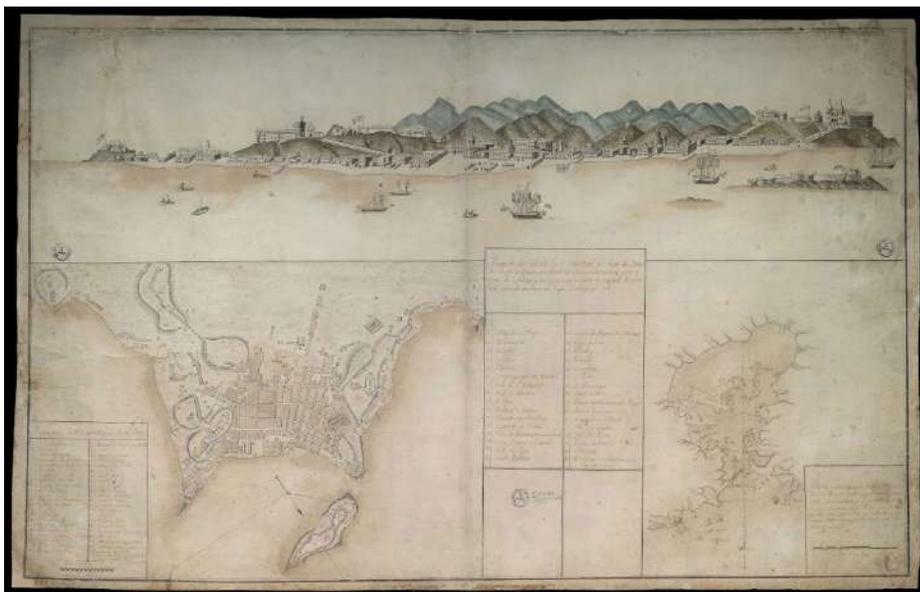
Fonte: Reis (1900). Acervo da Library of Congress (Washington, DC).

1.5 APLICAÇÕES SOBRE O ESTUDO DE MAPAS HISTÓRICOS

Mapas históricos contêm informações valiosas. Entre elas, podem ser citadas representação histórica de estradas, de prédios, linhas de costa, hidrografia, toponímia, as quais permitem as análises espaciais, que necessitam de dados históricos de um determinado período do ambiente natural e construído. Essas informações prestam-se às mais diversas aplicações, que podem ser desenvolvidas com a utilização da Cartografia e de mapas históricos. Sob esse tema, serão mostradas algumas das muitas áreas de pesquisa da Cartografia Histórica. Os exemplos são bastante diversos, correndo em torno de pesquisas realizadas pelo GeoCart. Recuperação de informações culturais, confirmação de redes viárias, rodo ou ferroviárias, conhecimento e formação da rede hidrográfica, evolução de divisões administrativas, estrutura urbana e de arruamento, evolução da paisagem urbana, assentamento e consolidação de povoadamentos, estudos etnográficos, delimitação territorial, extração toponímica são alguns desses trabalhos.

Informações culturais, como costumes retratados, flora e fauna, habitações, grupos indígenas nativos (Etnografia), trajes e vestimentas da época também podem ser extraídos de um mapa histórico. É necessária análise, verificação, avaliação e validação das informações e desenhos sobre o mapa. Nos mapas da cidade do Rio de Janeiro, era costume, até meados do século XIX, acrescentar-se ao mapa uma legenda com o nome de todos os prédios públicos e das igrejas. O *Mapa Hidrográfico do Famoso Rio de Janeiro Baía onde a Cidade São Sebastião está Situada*, de 1801, mostra aspectos da cidade, uma vista frontal, desenhos de prédios, distribuição espacial de construções, igrejas e fortalezas, conforme mostra a Figura 1.15.

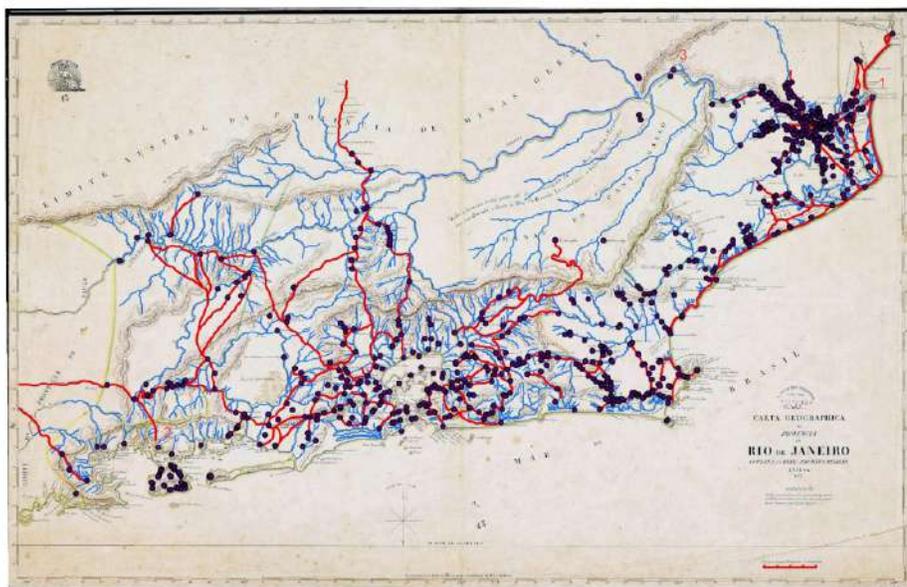
Figura 1.15 – *Mapa Hidrográfico do Famoso Rio de Janeiro Baía onde a Cidade São Sebastião está Situada .*



Fonte: Luis dos Santos Vilhena [ca. 1801]. Acervo da Biblioteca Nacional.

A pesquisa sobre redes tanto viárias como hidrográficas, e a extração toponímica, permite mostrar caminhos, estradas e vias de ligação, a ocupação do território, bem como o conhecimento da hidrografia conhecida. A junção das duas permite concluir sobre as vias de penetração, ocupação territorial e ligação entre áreas produtivas, extrativas, entre outras. Um trabalho desenvolvido sobre a *Carta Geographica da Provincia do Rio de Janeiro* (1823) mostrou todas as ligações da então província, internas e externas, com o caminho para São Paulo, o caminho novo para Minas Gerais, a ocupação da área de Macaú e Nova Friburgo, bem como a ligação com Cabo Frio. Também fica clara a ocupação e penetração, por meio do Rio Paraíba do Sul, para o interior; e a área inexplorada do sertão de Cantagalo. A Figura 1.16 mostra a superposição das três extrações, caminhos em vermelho, hidrografia em azul e os núcleos populacionais em roxo.

Figura 1.16 – Caminhos, rede hidrográfica e núcleos populacionais da *Carta Geographica da Provincia do Rio de Janeiro* (1823).



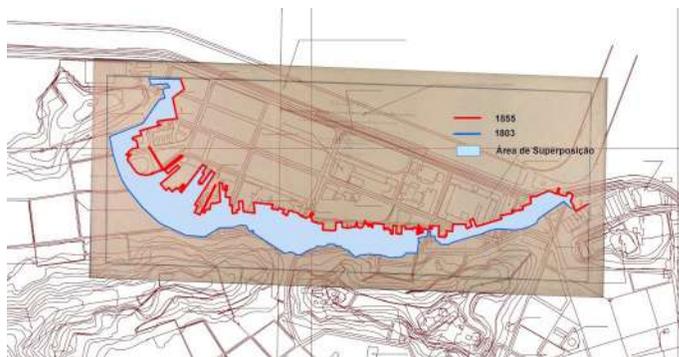
Fonte: Carta... (1823). Acervo da Direção de Infraestruturas de Engenharia (DIE), Portugal.

Estudos comparativos urbanos foram bastante desenvolvidos sobre a cidade do Rio de Janeiro, que possui um conjunto cartográfico histórico riquíssimo. Dessa forma, foi possível desenvolver um estudo comparativo da evolução da linha de costa do centro histórico, em diferentes épocas, a evolução do arruamento urbano, entre outros. Tomando-se a folha 287B, de 1998, do Instituto Pereira Passos (IPP), foram extraídas informações sobre a linha de costa e arruamento do centro histórico, sobre os mapas e plantas de 1769, 1803, 1812 e 1858. As figuras que se seguem mostram uma visão das superposições que foram trabalhadas e que permitiram as pesquisas evolutivas sobre o centro histórico do Rio de Janeiro.

A Figura 1.17 mostra a *Planta da Cidade do Ryo de Janeiro – Capital dos Estados do Brazil*, do Sargento Mor de Engenheiros Francisco João Roscio, de 1769, superposta sobre a folha do Instituto Pereira Passos, 1998, realçando a linha de costa. Erros de notação eram bastante comuns em mapas desenhados.

Em 1854, foi elaborada a *Planta do Litoral da Cidade do Rio de Janeiro, desd'o Arsenal de Marinha até a Ponta da Saúde*, visando a melhoria das instalações portuárias da cidade. Utilizando-se esse mapa e o *Plano da Cidade do Rio de Janeiro (elevado em 1791)*, de 1803, em conjunto com a folha de 1998, pode-se gerar as linhas de costa da área para os três períodos e suas superposições. Uma das aplicações possíveis dessa superposição é a localização de sítios arqueológicos. A Figura 1.19 mostra essas superposições.

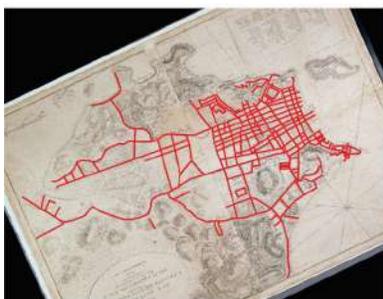
Figura 1.19 – Superposição do *Plano da Cidade do Rio de Janeiro (elevado em 1791)* (1803), *Planta do Litoral da Cidade do Rio de Janeiro, desd'o Arsenal de Marinha até a Ponta da Saúde* (1854) e a base cartográfica de 1998.



Fonte: Acervo da Biblioteca Nacional (1803, 1854) e Instituto Pereira Passos (1998b).

Em relação ao estudo de arruamento urbano, a Figura 1.20 (A e B) mostra o arruamento extraído da *Planta da Cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro* (1812); e a sua superposição sobre o mapa de 1998.

Figura 1.20 – Extração do arruamento da *Planta da Cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro* (1812) (A) e sua superposição sobre o arruamento da base cartográfica de 1998 (B).



A



B

Fonte: extraído de Ignacio Antonio Reis e Paulo dos Santos Ferreira Souto (1812). Acervo da Biblioteca Nacional (A); Instituto Pereira Passos (IPP, 1998b) (B) e Corrêa (2008).

6 CONCLUSÕES

Um mapa histórico sintetiza a curiosidade científica sobre o espaço geográfico pretérito, a sua representação e a história associada a ambos. Na realidade, o estudo histórico-geográfico-cartográfico é traduzido ao pesquisador como uma viagem dentro do espaço-tempo; o pesquisador é transportado da época atual até os períodos pretéritos, para receber os conhecimentos da época.

Hoje também se pode dizer que as novas geotecnologias se aderem ao estudo de mapas históricos. O geoprocessamento permite a extração de informações, que são imediatamente georreferenciadas e disponibilizadas quase que imediatamente. Há ainda a utilização do GNSS para obtenção de coordenadas de pontos de apoio ao georreferenciamento; o uso do processamento de imagens, para a aquisição, tratamento e disponibilização de imagens de mapas de alta resolução, permitindo ao pesquisador um trabalho muito próximo do que faria com o original.

As múltiplas aplicações da Cartografia Histórica, trazidas ao presente e, mesmo em estudos preditivos, levando-se ao futuro, dão uma pequena ideia da abrangência dos trabalhos que podem ser desenvolvidos. Por outro lado, o resgate de informações do passado, por meio dos mapas, cria a satisfação de uma viagem no tempo, transportando o pesquisador para aquele momento no qual procura responder aos questionamentos que ele formulou no presente.

Pode-se afirmar, sem sombra de dúvidas, que é gratificante o estudo e o envolvimento com mapas históricos. Poucos são aqueles que tiveram contato com um mapa de Ptolomeu, da edição de 1486, um atlas de Gehard Mercator, de 1570, ou os originais das versões dos mapas da Nova Lusitânia. Traduzindo em emoções, não existe preço significativo para esse trabalho.

REFERÊNCIAS

ANDREWS, J. H. What was a Map? The Lexicographers Reply. Lexicographers reply. *Cartographica*, Toronto, v. 33, n. 4, p. 1-11, 1996.

BARREIROS, E. C. *Atlas da evolução urbana da cidade do Rio de Janeiro: Ensaio 1565 – 1965*. Rio de Janeiro: IHGB, 1965. p. 24.

BELLEGARDE, P. D.; NIEMEYER, Conrado Jabob (C. J. *Nova carta chorographica da provincia do Rio de Janeiro*. Organizada sobre os trabalhos de Pedro D’Alcantara Bellegarde & Conrado Jabob Niemeyer). *Nova Carta Chorographica da Provincia do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Arquivo Nacional; Lithographia Imperial, 1865a. Escala 1:300.000, 1865.

BELLEGARDE, P. D.; NIEMEYER, Conrado Jabob (Organizada sobre os trabalhos de Pedro D’Alcantara Bellegarde & Conrado Jabob Niemeyer). C. J. *Nova carta chorographica da provincia do Rio de Janeiro*. Organizada sobre os trabalhos de Pedro D’Alcantara Bellegarde & Conrado Jabob Niemeyer. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional; Lithographia Imperial, 1865b. Escala 1:300.000, 1865.

CAMPOS, F. C.; ARAÚJO, A. J.; SOARES, M. F. C. O.; ABREU A. L. *Planta da cidade do Rio de Janeiro (organizada no Archivo Militar)*. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 1858.

CAPASSI, D. *Mappa chorographico da Capitania do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, [173?-].

CARTA geographica da *Provincia* do Rio de Janeiro. (COPIADA NO REAL ARCHIVO MILITAR). Copiada no Real Archivo Militar. Lisboa: Diretoria de Infraestrutura, 1823. 63 x 97 cm. Escala 1: 440.000, 1823.

COMISSÃO DA CARTA CADASTRAL DO DISTRICTO FEDERAL. *Planta da cidade do Rio de Janeiro*. Washington, DC: Library of Congress, 1900.

COMISSÃO EXPLORADORA DO PLANALTO CENTRAL DO BRAZIL. *Mappa dos itinerários levantados (com a indicação da zona demarcada e da constituição geológica da região explorada)*. Rio de Janeiro: Arquivo Nacional, 1900. Escala 1:000.000, 1900.

CORRÊA, D. C. *Cartografia histórica do Rio de Janeiro*. 2008. Tese (Doutorado em Geografia) -- Programa de Pós -Graduação em Geografia., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. p. 90-98.

DOURADO, F. V. *Atlas de Fernão Vaz Dourado*. Lisboa: Arquivo Nacional da Torre do Tombo, 1571. Disponível em: <https://digitarq.arquivos.pt/details?id=4162624>. Acesso em: 27 mar. 2021.

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (FUNDREM). *Escala foto-índice 1:10.000*. Folha 262E. Rio de Janeiro: FUNDREM; Sv Aéreos Cruzeiro do Sul, 1975.

HODGKISS, A. G. *Understanding maps: a systematic history of their use and development*. Folkestone, Kent: Dawson, 1981.

ILIFFE, J.; LOTT, R. *Datums and map projections: for remote sensing*. GIS and surveying. Boca Raton: CRC Press LLC, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE.). *Estado do Rio de Janeiro 1975*. Rio de Janeiro: IBGE, 1975.

INSTITUTO PEREIRA PASSOS (IPP). *Base cartográfica*. Rio de Janeiro: IPP, 1998a. 1:10.000, Folha 262E, 1998a.

INSTITUTO PEREIRA PASSOS (IPP). *Base cartográfica*. Rio de Janeiro: IPP, 1998b. 1:10.000.

JARDIM; CARVALHO. *Planta do litoral da cidade do Rio de Janeiro, desde o Arsenal de Marinha até a ponta da Saúde*. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 1854.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRRE, D. J.; RHIND, D. W. *Geographic information science and systems*. 4. ed. New York: Willey, 2015.

MARQUES, M. S. *Cartografia antiga*. Lisboa.: Publicações Técnicas. /Ministério da Cultura., 2001.

MENEZES, P. M. L. *Involução cartográfica do estado do Rio de Janeiro*. Relatório técnico apresentado à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ). Rio de Janeiro: [s.n.], 2007.

MENEZES, P. M. L. *et al.* Análise cartográfica do Mapa da Nova Lusitânia. In: VIII SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA HISTÓRICA, 8, 2019, Chaves, Portugal, *Anais [...]*. Portugal: Faculdade de Letras da Universidade do Porto, 2019. p. 311-312.

MENEZES, P. M. L.; FERNANDES, M. do C. *Roteiro de cartografia*. São Paulo.: Oficina de Textos, 2013.

MEYNEN, E. *Multilingual dictionary of Technical Terms in Cartography*. International Cartographic Association, Commission II. Wiesbaden: Franz Steiner Publishing, 1973.

OLIVEIRA, R. H. O.; CINTRA, J. P.; ALMEIDA FILHO, F. G. V. A reforma cartográfica de Delisle e seu impacto na Cartografia da América do Sul e do Brasil. In: 3º Simpósio Brasileiro de Cartografia Histórica. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA HISTÓRICA, 3., 2016, Belo Horizonte. *Anais [...]*. Belo Horizonte: Centro de Referência em Cartografia Histórica, CRCH-UFMG, 2016.

ORTELIUS, A. *Typus orbis terrarum*. [S.l.], 1587. Colorido, 35,8 x 49, em folha 45,5 x 57,8. Coleção Particularparticular.

OXFORD. *Oxford on-line dictionary*. Disponível em: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/space>. Acesso em: 30 abr. 2020.

PEUQUET, D. *Representations of space and Timetime*. New York: The Guilford Press, 2002.

PLANO da cidade do Rio de Janeiro (elevado em 1791). Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 1803.

PLANTA corographica da provincia do Rio de Janeiro – Imperial Fazenda de Santa Cruz. Rio de Janeiro: Arquivo Nacional, 1848.

PTOLOMEU, C. *Geographia*. Ulme: Johann Reger, 1486. Foto. Coleção particular.

REIS, I. A.; SOUTO, Paulo P. dos Santos Ferreira. *Planta da cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 1812. 91,5 x 122 cm. Disponível em: http://acervo.bndigital.bn.br/sophia/index.asp?codigo_sophia=6676. Acesso em: 4 abr. 2021.

REIS, M. P. *Planta da cidade do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Comissão da Carta Cadastral, Rio de Janeiro, 1900.

ROSCIO, Francisco João. *Planta da cidade do Ryo de Janeiro – capital dos estados do Brazil*. Rio de Janeiro: [s.n.], 1769.

SANTOS, M. *Espaço e método*. São Paulo: Nobel, 1985.

SANTOS, M. M. D.; MENEZES, P. M. L.; COSTA, A. G. Georreferenciamento de mapas históricos: finalidades e procedimentos. *Geografias*, Belo Horizonte, v. 5, n. 2, 2009.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA (SBC). *Curso de conhecimentos e informações sobre cartografia*. Rio de Janeiro: Divisão de Bibliotecas e Documentação, 1968.

STEVENS, H. N. *Ptolemy's geography*. Amsterdam: Theatrum Orbis Terrarum; Meridian Publisher, 1972.

TAYLOR, D. R. F. A conceptual basis for cartography: new directions for the information era. *Cartographica*, Toronto, UTPressv, v. 28, n. 4, p. 1-8, 1991.

THE ASSOCIATION FOR LIBRARY COLLECTIONS AND TECHNICAL SERVICES PRESERVATION AND REFORMATTING SECTION (ALCTS). *Minimum Digitization Capture Recommendations. Digitization capture recommendations*. Chicago: ALA., 2013.

THROWER, N. J. W. *Maps and civilization*. 3. ed. Chicago: University of Chicago Press, 2007.

TUAN, Y.-F. *Espaço e lugar: a perspectiva da experiência*. São Paulo: Difel, 1983.

VILHENA, L. dos S. *Mapa hidrográfico do famoso Rio de Janeiro baía onde a cidade São Sebastião está situada*. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, [ca. 1801].

EVOLUÇÃO POLÍTICO-ADMINISTRATIVA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO: UM ESTUDO HISTÓRICO-TOPONÍMICO

Paulo Márcio Leal de Menezes

Kairo da Silva Santos

Tainá Laeta

2.1 INTRODUÇÃO

O estudo da evolução político-administrativa do estado do Rio de Janeiro teve origem em um projeto de pesquisa patrocinado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj) denominado *Involução Cartográfica do Estado do Rio de Janeiro* (MENEZES, 2001), que se propunha a desenvolver a evolução das divisões político-administrativas do estado, definidas pelos seus municípios, desde a criação da cidade do Rio de Janeiro até os dias atuais, em suas diversas situações territoriais, como: capitania real, capitania, província e estado. Para tanto, foi necessário um estudo que, das divisões atuais, chegasse até os primórdios da história do estado, por meio da desconstrução dos limites atuais e da construção dos limites anteriores de cada um dos municípios. Os limites foram recriados com base nos limites atuais e reconstruídos via consultas bibliográficas, Cartografia Histórica do estado do Rio de Janeiro (ERJ), bem como em consulta às leis de criação e instalação dos municípios estabelecidas durante o período de Colônia, Império e República. Alguns limites foram reconstruídos com fundamento em suas leis e alvarás de criação; porém, devido à estrutura das descrições desses limites na época, não foram muitos os limites que puderam ser confirmados, caracterizados, então, como prováveis.

Todo o trabalho foi desenvolvido com a utilização de geotecnologias, sendo os resultados apresentados em formas digitais e de base de dados associadas.

A justificativa inicial para o desenvolvimento desse trabalho era a necessidade de ter disponíveis bases cartográficas digitais que pudessem apresentar temporalmente a estrutura das divisões administrativas do estado, podendo, dessa maneira, ser associada às informações de cada época. No entanto, hoje se vê esse projeto como um resgate de parte da História, da Geografia, da Cartografia, da Cultura, da Toponímia, dentre outros aspectos, que serão incorporados ao conhecimento espaçotemporal do estado do Rio de Janeiro.

De maneira ampla, foram levantadas as seguintes questões:

- Dificuldades para obtenção de bases cartográficas digitais, que satisfizessem e atendessem às demandas de objetivos das mais diversas pesquisas, notadamente nas áreas temáticas e históricas;
- Dificuldade de obtenção da informação geográfica, na maioria das vezes, no que se refere ao estabelecimento de sua evolução temporal. Quanto mais antiga a informação, maior o grau de dificuldade para a sua obtenção, mesmo por intermédio das instituições governamentais voltadas para isso.

Isso se deve, em parte, às abordagens não sistemáticas, e mesmo diferenciadas, para o armazenamento ou divulgação das informações, como também por não existir uma cultura de preservação da informação.

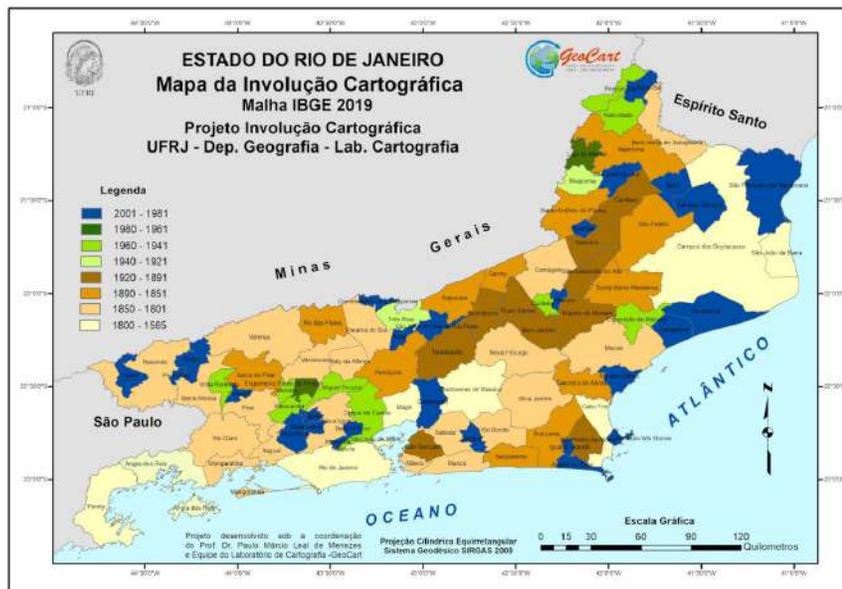
- Como o Rio de Janeiro foi representado ao longo do tempo? Qual a sua história cartográfica? O que significaram os mapas elaborados em cada período? Contribuíram esses mapas para o entendimento da História e da Geografia do Rio de Janeiro?
- Em relação à sua Toponímia, qual a contribuição das línguas originais, do português e de outras? Qual o significado geográfico, etnográfico e linguístico dos nomes geográficos (topônimos) relativos a cada tipo de feição geográfica — núcleos populacionais, hidrografia, orografia?
- Que elementos culturais podem ser resgatados por meio da evolução toponímica do Rio de Janeiro?

Dessa forma, foi considerada como um elemento essencial a busca de informações de caráter cartográfico histórico envolvendo os seguintes aspectos básicos:

- Desconstrução dos 92 municípios em cada uma das alterações ocorridas mediante a criação de novos municípios ou divisões administrativas, permitindo a reconstrução de sua evolução administrativa ao longo do tempo.
- Obtenção e validação das bases cartográficas que mostrem a evolução político-administrativa do estado do Rio de Janeiro.
- Levantamento da Cartografia Histórica associada ao Rio de Janeiro e aos estados limítrofes.
- Levantamento em escala espaçotemporal da toponímia associada ao Rio de Janeiro; e.
- Perfeita aderência entre as informações históricas e as bases cartográficas.

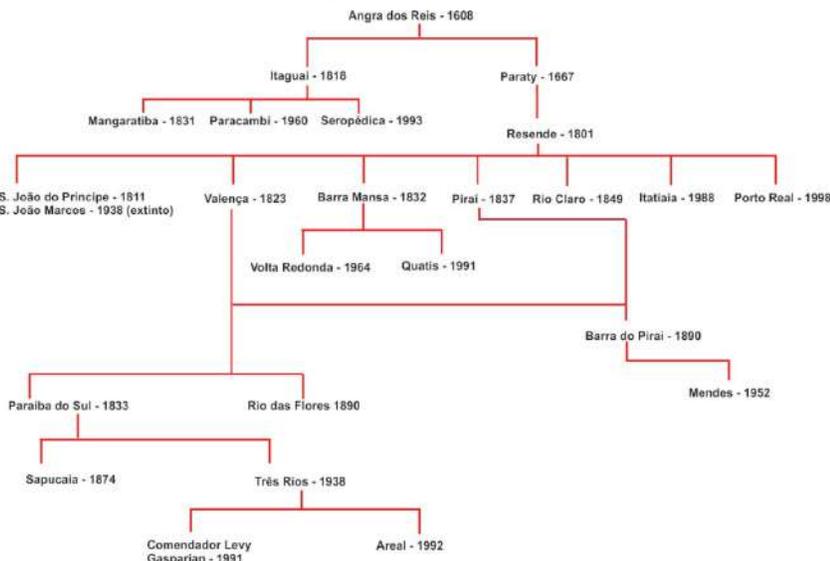
Inicialmente, o estado do Rio de Janeiro apresenta um quadro de evolução político-administrativa dinâmico, envolvendo apenas os 92 municípios listados correntemente, ou seja, em 2001 foi efetuada a última instalação de município. De 1565 (data de fundação da cidade do Rio de Janeiro) a 2001, ocorreram, segundo análise das atuais municipalidades, 45 alterações (ABREU, 1994). Ao fim do projeto, como resultados, foram obtidas todas as bases e os mapas de cada período de alteração nas divisões administrativas, tendo sido gerado o *Mapa da Involução Cartográfica do Estado do Rio de Janeiro*, bem como estabelecida a genealogia de todos os municípios do ERJ, conforme as Figuras 2.1 e 2.2. A Figura 2.3 mostra uma das bases no que toca o período de 1743 a 1773.

Figura 2.1 – Mapa de *Involução Cartográfica do Estado do Rio de Janeiro*.



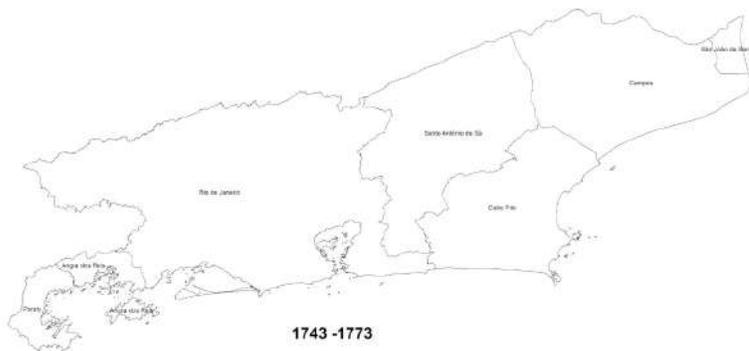
Fonte: Menezes (2003).

Figura 2.2 – Genealogia dos municípios com origem em Angra dos Reis .



Fonte: Menezes (2003).

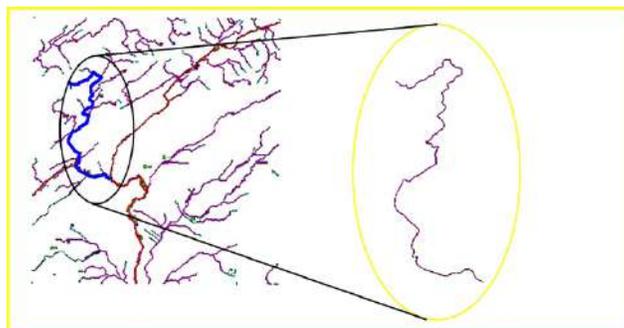
Figura 2.3 – Base do período 1743-1773 criada pelo projeto.



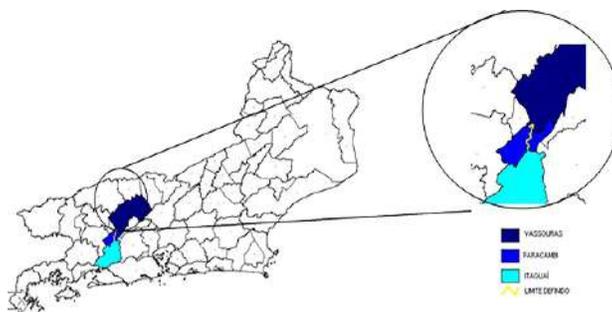
Fonte: Menezes *et al.* (2005).

A metodologia aplicada, de desconstrução e reconstrução de limites na época, permitiu que se comprovassem todos os limites criados (pelo menos até 1892), por meio da cartografia existente ou por documentos que descreviam os limites e as alterações sofridas nas divisões administrativas (até então, denominadas como municípios). Como exemplos, as Figuras 2.4 (A e B) e 2.5 mostram, respectivamente, a definição dos limites entre Vassouras, Paracambi e Itaguaí, em 1962; e Niterói e São Gonçalo, em dois períodos: 1944-1947 e 1939-1943.

Figura 2.4 – Formação dos limites de Paracambi, com parte das áreas de Itaguaí e Vassouras..



A

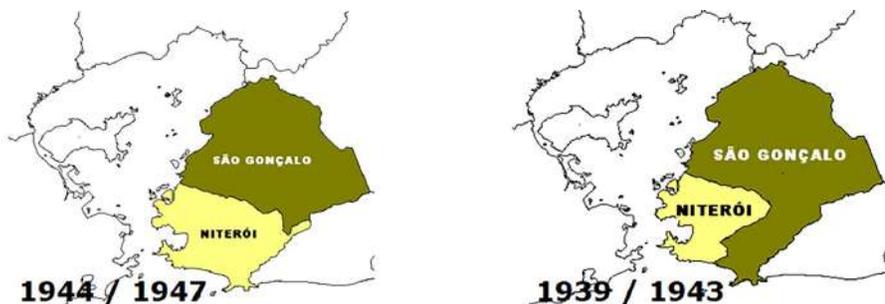


B

Nota: no detalhe, a reconstituição sobre a base cartográfica 1:50.000.

Fonte: Menezes, Dias e Costa (2003).

Figura 2.5 – Limites entre Niterói e São Gonçalo, no período de 1944/1947 (A) e reconstruídos entre 1939 e 1943, com a incorporação do distrito de Itaipu (B).



Fonte: Menezes, Dias e Costa (2003).

Pouco antes do encerramento do projeto, em 2003, durante a fase de estudo da genealogia dos municípios, verificou-se que o trabalho não estaria completo, não em razão de novos fatores, mas por aspectos que deveriam ter sido levados em consideração para que o objetivo principal fosse plenamente atingido. Assim, foram alinhavados os demais fatores que teriam que ser incluídos, para formar a completude da pesquisa:

- Consideração de alterações toponímicas dos nomes geográficos das divisões administrativas, por atualização ortográfica, por mudança completa ou parcial do nome, sobre a mesma divisão administrativa.
- Variação da área geográfica sobre duas ou mais divisões administrativas, sob o mesmo topônimo.
- Divisões administrativas extintas, considerando-se a sua recriação ou não (MENEZES *et al.*; DIAS; COSTA; LEPORE, 2005).

Dessa forma, originou-se o atual projeto de pesquisa, o qual vem sendo desenvolvido desde 2004. No entanto, ao longo desse período de pesquisas, foram introduzidos estudos adicionais, que vêm agregando valores ao trabalho, principalmente na área cultural.

A Cartografia Histórica do estado do Rio de Janeiro, que servira como um suporte para a comprovação das divisões administrativas, passou a ser estudada na figura de cada um dos mapas históricos que representam o atual estado. Cada mapa obtido por meio das organizações depositárias, tanto no Brasil como no exterior, foi estudado nos seus aspectos cartográficos, históricos, geográficos e toponímicos, contribuindo sobremaneira para uma visão diacrônica do estado (MENEZES, 2006; MENEZES; SANTOS, 2006).

2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICO-GEOGRÁFICA DO ERJ, ATUAL FORMAÇÃO TERRITORIAL

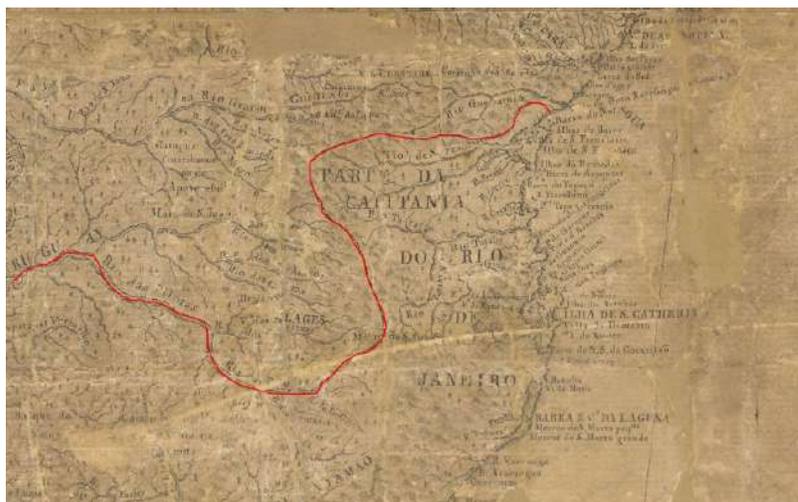
A capitania real do Rio de Janeiro foi formada com parte da capitania de São Vicente, entre as atuais regiões de Macaé e Caraguatatuba. Essa parcela mais ao norte da capitania de São Vicente havia sido abandonada por seu donatário, Martim Afonso de Sousa, que nunca se interessou em seu povoamento. Por não ter sido ocupada por portugueses, a região da

baía de Guanabara sofreu uma tentativa de colonização por parte dos franceses, entre 1555 e 1567, a chamada França Antártica. Com a primeira fundação da cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro, em 1565, a Capitania de São Vicente reverteu para a Coroa como capitania real do Rio de Janeiro, tendo como primeiro mandatário Estácio de Sá (1565-1567) (CASAL, 1817).

A representação do território do atual estado do Rio de Janeiro, em parte ou no seu todo, é um processo contínuo, iniciado no século XVI, logo após o descobrimento. A formação desse território iniciou-se em 1534, com parte da capitania de São Vicente, entre as atuais regiões de Macaé e Caraguatuba (TEIXEIRA, 1988). Apresenta-se, desde então, uma evolução cronológica, com incorporações e exclusões de áreas bastante diversas da Colônia, principalmente abrangendo áreas incorporadas, durante os séculos XVI e XVII, de Minas Gerais, São Paulo, Santa Catarina e mesmo Rio Grande do Sul, chegando até a Colônia de Sacramento. Porém, a análise dessa evolução, neste trabalho, será tratada apenas sobre a área atual do estado, não abrangendo as demais, externas a esse território.

Como uma curiosidade, o mapa da Nova Lusitânia, *Carta Geographica de Projecção Espherica Orthogonal da Nova Luzitania ou America Portuguesa e Estado do Brazil* (SILVA PONTES, 1798), mostra uma extensão do território da capitania do Rio de Janeiro sobre os atuais estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, conforme a Figura 2.6. Já a Figura 2.7 mostra a configuração da capitania em 1703.

Figura 2.6 – Extensão do território da capitania do Rio de Janeiro sobre os atuais estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, na *Carta Geographica de Projecção Espherica Orthogonal da NovaLuzitania ou America Portugueza e Estado do Brazil*.



Fonte: Silva Pontes (1798). Acervo do Arquivo Histórico do Exército.

Figura 2.7 – Capitania do Rio de Janeiro em mapa de Guillaume de L'Isle (1703).



Fonte: L'Isle (1703). Acervo do Biblioteca Nacional.

O Quadro 2.1 apresenta uma cronologia dos principais eventos que influenciaram a formação do atual território.

Quadro 2.1 – Cronologia da formação territorial do estado do Rio de Janeiro.

Período	Evento
1534	Criação do sistema de capitanias hereditárias
1555 – 1567	Invasões Francesas – França Antártica
1567	Reconquista do território; criação da capitania real do Rio de Janeiro
1619 – 1709	Definição das novas divisas territoriais das capitanias originais
1721	Anexação de Parati à capitania de São Paulo
1726	Reincorporação de Parati à capitania do Rio de Janeiro
1743	Anexação da área da margem esquerda do Rio Paraíba do Sul à capitania do Espírito Santo
1822	Independência do Brasil; mudança de capitania para província; exclusão da área do Município Neutro
1832	Reincorporação da área da margem esquerda do Rio Paraíba do Sul à província do Rio de Janeiro
1889	Proclamação da República; mudança de província para estado e de Município Neutro para Distrito Federal
1960	Transferência da capital federal para Brasília; Distrito Federal torna-se Estado da Guanabara
1975	Extinção do Estado da Guanabara e inclusão como um novo município ao estado do Rio de Janeiro

Fonte: os autores.

Com base nessa cronologia, as Figuras 2.8 e 2.9 apresentam esquematicamente as configurações territoriais assumidas pelo Rio de Janeiro, nas datas e nos períodos considerados.

Figura 2.8 – Configurações do território do Rio de Janeiro (1721-1832).



Fonte: Menezes *et al.* (2015).

Figura 2.9 – Configurações do território do Rio de Janeiro (1832-dias atuais).



Fonte: Menezes *et al.* (2015).

A Figura 2.10 mostra o estado do Rio de Janeiro e seus 92 municípios, segundo a malha territorial de 2019 do IBGE.

Figura 2.10 – Mapa do estado do Rio de Janeiro com os atuais municípios.



Fonte: os autores.

2.3 EVOLUÇÃO DAS DIVISÕES ADMINISTRATIVAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

As novas considerações sobre o estudo evolutivo, com a consideração de alterações toponímicas dos nomes geográficos das divisões administrativas, por atualização ortográfica, por mudança completa ou parcial do nome, sobre a mesma divisão administrativa; a variação da área geográfica sobre duas ou mais divisões administrativas, sob o mesmo topônimo; e a consideração das divisões administrativas extintas e a sua recriação levaram o projeto a novos desafios, necessitando-se de uma imersão profunda no estudo de cada divisão, realizada por meio do acesso a decretos, leis e alvarás, desde o período colonial, bem como o estudo dos limites que eram atribuídos por cada alteração em cada uma dessas divisões.

Algumas diretivas iniciais foram alteradas, por exemplo, a definição da ordem de criação dos municípios, incluindo os que foram extintos e

recriados; e a redefinição da hierarquia e as alterações ocorridas por períodos, para que viessem a representar o território o mais próximo possível da realidade.

Inicialmente, foi previsto que a ordem de criação seria definida pela data de instalação, e não pela data de criação. Essa visão estava trazendo algumas inconsistências, e, algumas vezes, divisões criadas antes que outras tinham sua ordem de criação posterior à dos municípios criados depois. Para evitar essa inconsistência, optou-se por estabelecer a ordem de criação pela data de criação.

Dessa forma, foi definida a nova metodologia para o desenvolvimento da pesquisa, a qual teve a seguinte estrutura:

- a. Pesquisa histórica individual sobre cada divisão administrativa, pesquisa bibliográfica, de leis e de alterações de ordem toponímica, ortográfica ou geográfica;
- b. Organização da nova ordem de criação das divisões administrativas para o estado do Rio de Janeiro.
- c. Definição dos períodos de alterações.

Pesquisa histórica sobre as divisões administrativas e ordem de criação

Foram amplamente utilizadas nessa pesquisa as leis do Reino Unido e do Império, bem como a legislação sobre municípios, comarcas e distritos (OLIVEIRA JUNIOR, 1926); as divisões territoriais brasileiras (IBGE, 1911, 1933, 1944, 1950, 1953, 1961, 1963); informações sobre os municípios (IBGE, 1937, 1938, 1948); assim como os dicionários geográficos do Império e do Brasil (MILLIET DE SAINT-ADOLPHE, 1845; PINTO, 1894); bem como informações atuais sobre os municípios (IBGE, 2019). A Cartografia Histórica foi amplamente utilizada, tendo em vista possíveis comprovações sobre os resultados da pesquisa. Procurava-se a obtenção das informações que permitissem atender as necessidades, para definir quais e quantas foram as divisões extintas e recriadas, as épocas de alterações dos nomes da divisão e a ocorrência de problemas.

Nesse aspecto, as principais informações de interesse foram as seguintes: as divisões extintas foram os municípios de São José del Rey, Estrella, São João Marcos, Paty do Alferes e Bom Jesus de Itabapoana. Os dois últimos, porém, foram recriados respectivamente em 1987 e 1938. O Quadro 2.2 mostra as divisões extintas (ABREU, 1994).

Quadro 2.2 – Divisões extintas.

	Divisões Extintas	Criação	Extinção	Recriação
1	São José del Rey	Alvará de 21/8/1772	15/1/1833	
2	Estrella	Lei Prov. 397 20/5/1846	9/5/1891	
3	São João Marcos	Alvará 20/2/1811	15/10/1938	
4	Paty do Alferes	Alvará 4/9/1820	15/1/1833	Lei Est. 1.254 1/1/1987
5	Bom Jesus do Itabapoana	Dec. Est. 150 24/11/1890	8/5/1892	Dec. 633 14/12/1938

Fonte: os autores.

São João Marcos, originalmente, era a divisão de São João do Príncipe, que teve o seu nome alterado em 1917. Outras vilas que tiveram também o nome vinculado ao Rio de Janeiro foram Vilas da Rainha, criada em 1539 e extinta em 1548, sem território; Vila Iguaçú, criada em 1833 e extinta em 1835, recriada em 1836 e extinta em 1892, também sem território, que viveu à sombra da cidade de Iguassu. São Francisco de Paula, criada em 1891, foi extinta e transferida para Trajano de Moraes. Por sua vez, Santo Antônio de Sá foi transferida para Sant'Anna de Japuhíba, em 1868. Exceto Santo Antônio de Sá e São Francisco de Paula, nenhuma das demais teve termo associado e, desse modo, não foi considerada como divisão efetiva dentro do território do Rio de Janeiro, fosse na capitania, fosse na província ou no estado.

Com esse primeiro estudo, já foi possível estabelecer a ordem de criação das divisões administrativas, que não mais seriam 92, mas 95, impactando profundamente as representações do Rio de Janeiro em relação aos produtos cartográficos elaborados no projeto original.

Em relação às mudanças dos nomes das divisões, foi levantado que 74 divisões não tiveram alterações toponímicas, desde a sua criação. O Quadro 2.3 mostra as alterações ocorridas. Não estão assinaladas as datas, que serão consideradas quando da organização das divisões por períodos.

Todas as alterações ortográficas ocorreram praticamente em decorrência do Formulário Ortográfico de 1943, atingindo: Barra do Pirahy, Cantagallo, Itaborahy, Itaguahy, Macahé, Nictheroy, Parahyba do Sul, Pirahy, Rezende e Santa Maria Magdalena; e tiveram o nome atualizado ortograficamente para Barra do Pirai, Cantagalo, Itaboraai, Itaguaí,

Macaé, Niterói, Paraíba do Sul, Pirai, Resende e Santa Maria Madalena, respectivamente.

Campos dos Goitacazes foi alterado para Campos dos Goytacazes, pela Lei Estadual n.º 1.371, de 24/10/1988; Pati do Alferes foi alterado para Paty do Alferes, pela Lei Estadual n.º 1.056, de 24/8/1983; e Parati foi alterado para Paraty, por decisão municipal, acatando parecer do senador Milton Trindade sobre o Projeto de Lei 25, rejeitado pelo Congresso, a partir de 1972. Como um topônimo é considerado um nome próprio, a alteração foi aceita pelo Estado (MELLO, 1992).

Quadro 2.3 – Alterações toponímicas..

Número	Nome Original	Alteração 1	Alteração 2	Alteração 3	Alteração 4	Alteração 5	Alteração 6
1	Santo Antonio de Sá	Sant'Anna de Jabpuíba	Santo Antonio de Sá de Macacú	Sant'Anna de Macacú	Sant'Anna de Japuíba	Cachoeiras	Cachoeiras de Macacú
2	Yguassu	Iguassu	Nova Iguassu				
3	Barra de São João	Indayassú	Barra de São João	Indayassú	Casimiro de Abreu		
4	São João da Praya	São João da Barra					
5	Monte Verde	Cambucy					
6	São Pedro de Cantagallo	Cantagallo					
7	Natividade do Carangola	Carangola					
8	Rio Claro	Itaverá	Rio Claro				
9	Santa Theresa	Rio das Flores					
10	São Francisco de Paula	Trajan o de Morais					
11	Bom Jardim	Vergel	Bom Jardim				
12	Entre Rios	Três Rios					
13	N. S. da Lapa de Capivary	Capivary	Silva Jardim				
14	Vila Real da Praya Grande	Nichteroy-					

15	Valença	Marquês de Valença	Valença					
16	Parahyba	Parahyba do Sul						
17	São Salvador de Campos	Campos	Campos dos Goitacazes					
18	Paty do Alferes							
19	São João do Príncipe	São João Marcos						

Fonte: os autores..

Ao término da pesquisa histórica, organizou-se a tabela de ordem de criação, produto essencial para o desenvolvimento dos períodos correspondentes, que permitiram a elaboração de toda a cartografia de mudanças dentro do Rio de Janeiro. Na impossibilidade de mostrar a tabela completa, o Quadro 2.4 mostra a organização para as 11 primeiras e as cinco últimas divisões ordenadas.

Quadro 2.4 – Trecho da tabela de ordem de criação (*).

Ordem	Municípios em Ordem de Criação	Criação	Instalação	Extinção	Recriação	Observação
1	Rio de Janeiro	1/2/1565	1/3/1565			
2	Angra dos Reis	Ordem Régia de 1608	2/10/1624			
3	Cabo Frio	Alvará de 13/11/1615	15/8/1616			
4	Paraty	Carta Régia de 28/2/1667	28/2/1667			
5	Campos	Ato de 2/9/1673	29/5/1677			
6	São João da Praya	Carta de doação 17/7/1674	18/6/1677			
7	Santo Antônio de Sá	Alvará de 15/5/1679	7/8/1679			

8	São José Del Rey	Alvará de 21/8/1772	7/2/1783	15/1/1883	
9	Magé	Ato de 9/6/1789	12/6/1789		
10	Rezende	Ato de 29/9/1801	29/12/1801		
11	São João do Príncipe	Alvará de 21/2/1811	Ato de 1813	15/10/1938	
91	São José de Ubá	Lei Est. 2.495, de 28/12/1995	1/1/1997		
92	Tanguá	Lei Est. 2.496, de 28/12/1995	1/1/1997		
93	Macuco	Lei Est. 2.497, de 28/12/1995	1/1/1997		
94	Armação dos Búzios	Lei Est. 2.498, de 28/12/1995	1/1/1997		
95	Mesquita	Lei Est. 3.253, de 25/9/1999	1/1/2001		

(*) Nota: o quadro contempla as 11 primeiras e as cinco últimas divisões ordenadas. Fonte: os autores .

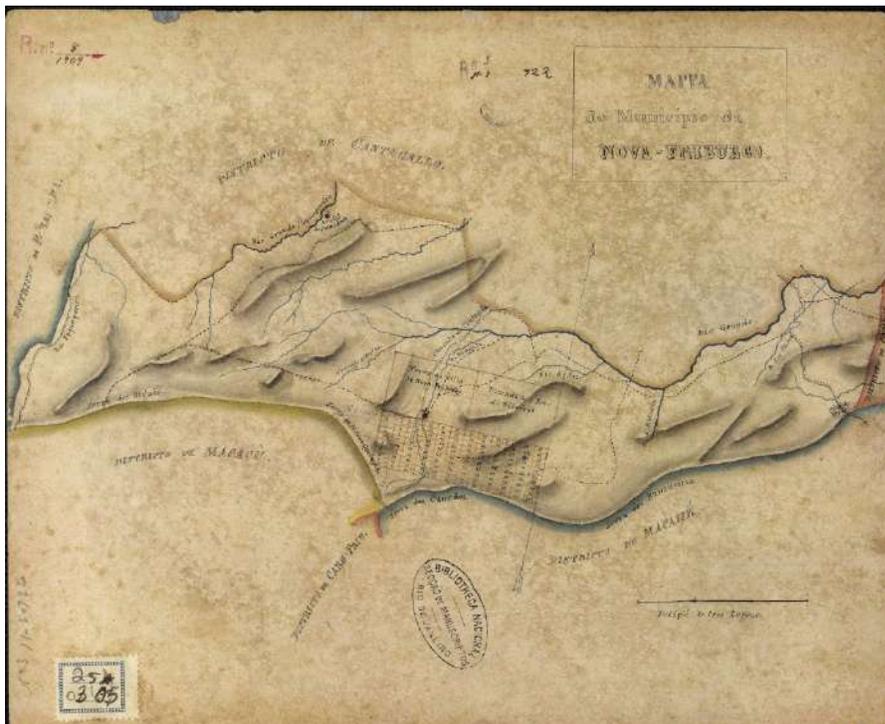
Definição dos períodos de alteração das divisões administrativas

Na pesquisa original, foram considerados apenas os nomes das divisões e a data de instalação de cada uma delas, para definir o número de períodos nos quais ocorreram as criações de novas divisões administrativas. Assim, foram definidos 45 mapas, para representar as 45 alterações. Nessa fase do trabalho, as variáveis são três: a criação das novas divisões, as alterações toponímicas, ortográfica ou completa do topônimo; e as alterações geográficas no termo da divisão. De maneira geral, todas as datas envolvendo as duas primeiras estão definidas nos quadros anteriores. Porém, a questão de alterações geométricas cria uma estruturação de alteração, e nenhuma delas pode ser analisada separadamente. Todas devem ser consideradas em conjunto. Por sua vez, a análise por divisão administrativa tem que ser integrada como um todo, pois o objeto de análise não são as divisões, mas o território do Rio de Janeiro.

Por exemplo, um dos grandes gargalos na pesquisa foi a compreensão de como o entorno de Nova Friburgo, incluindo Sapucaia, Magé, Carmo, Cantagalo, Santa Maria Madalena, Macaé, Barra de São João, Capivary, Sant'Anna do Macacu, se comportou desde a criação de Nova Friburgo até sua estabilização (DIAS, 2020).

A abordagem inicial foi determinada pelo *Mappa do Município de Nova Friburgo* (MAPPA..., [1821?]), visto na Figura 2.11, documento sem data e de autoria desconhecida, pertencente à Biblioteca Nacional.

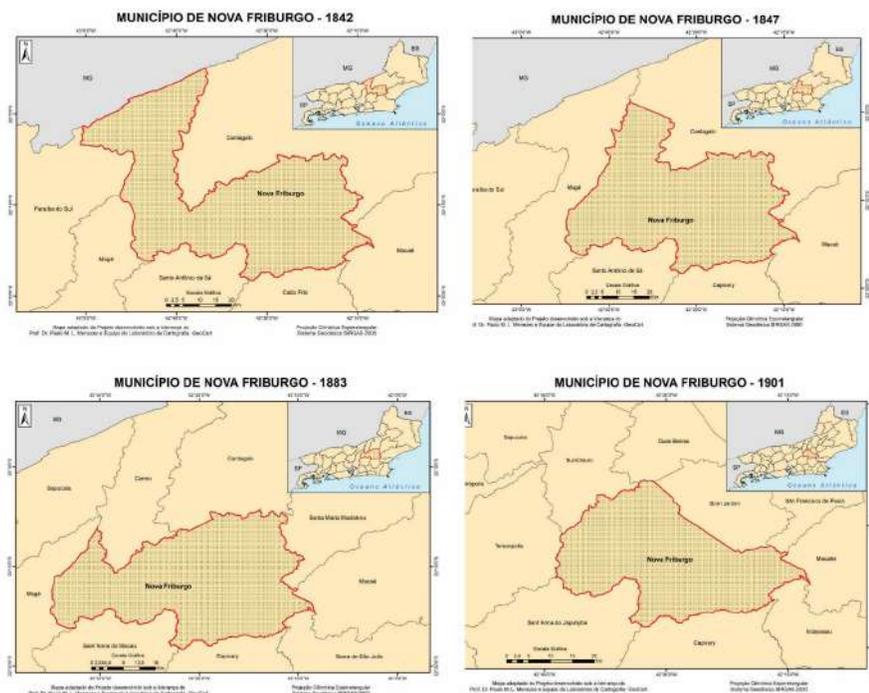
Figura 2.11 – Mappa do Município de Nova Friburgo.



Fonte: Mappa... ([1821?]). Acervo da Biblioteca Nacional.

Dessa forma, em vez de tomar as divisões definidas no projeto original por base e inserir as novas alterações com base nesse primeiro mapa, foi realizada uma busca nas leis de todas as divisões envolvidas tendo por centro Nova Friburgo (DIAS, 2020; OLIVEIRA JUNIOR, 1926; BRASIL, 2013), procurando-se definir os limites descritos. Essa abordagem revelou-se sem resultados práticos, em razão de as descrições de limites existentes nas leis não serem coerentes com os mapas atuais. Poucos foram os aproveitamentos com esse procedimento. A Figura 2.12 mostra quatro conformações de Nova Friburgo, em períodos nos quais ocorreram grandes alterações, principalmente com adições e subtrações de território em seu termo.

Figura 2.12 – Conformação do município de Nova Friburgo, nos anos de 1842, 1847, 1883 e 1901.



Fonte: Dias (2020).

É necessário esclarecer que o município teve ainda mais duas configurações: em 1844 e 1892. Destaca-se esse estudo de Nova Friburgo, pois, com ele, foram solucionadas todas as evoluções com os demais municípios limítrofes. Após esse estudo, o intervalo de 1818 (criação de Nova Friburgo) até 1901, quando não ocorreram outras alterações neste setor, foi inserido na evolução do Rio de Janeiro.

Em princípio, um termo *municipal* deve abranger todos os distritos que o compõem. A Lei Orgânica dos Municípios, Decreto-Lei n.º 311, de 2 de março de 1938, em seu artigo 2º, mostra que “Os municípios compreenderão um ou mais distritos, formando área contínua”. Em seu artigo 3º, diz que “A sede do município tem a categoria de cidade e lhe dá o nome” (BRASIL, 1938, s.p.). Mas, em relação, por exemplo, ao município de Valença, foram observadas algumas características que podem ser classificadas como, no mínimo, curiosas, em se tratando de termos municipais.

Em 1943, na promulgação da lei orgânica, o município contava com sete distritos: Valença, Conservatória, Desengano, Ipiabas, Pentagna (antes, São Sebastião do Rio Bonito), Santo Antônio do Rio Bonito (antes, Santa Isabel do Rio Preto) e Rio Preto (antes, São Sebastião do Rio Preto).

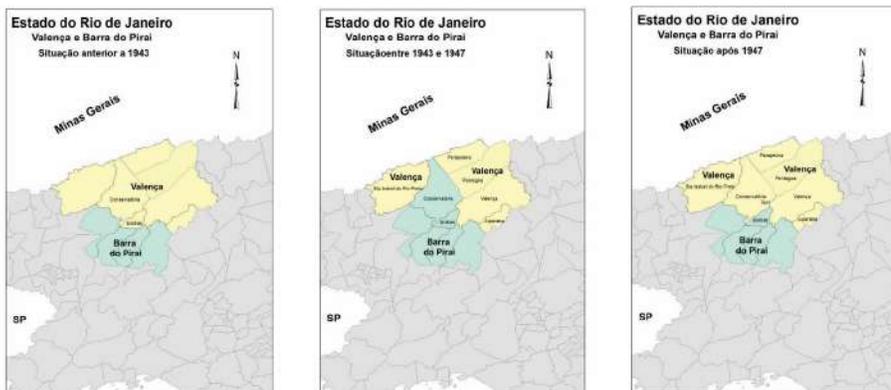
Ainda pelo Decreto-Lei Estadual n.º 1.056, de 31/12/1943, o município de Valença passou a denominar-se Marquês de Valença. Nesse mesmo decreto, o distrito de Rio Preto passou a denominar-se Parapeúna, e os distritos de Conservatória e Ipiabas deixam de pertencer ao município de Marquês de Valença (antes, Valença) para serem, então, anexados ao município de Barra do Piraí.

Verificados os limites de cada um dos distritos citados, ao se espacializarem as alterações ocorridas (uma vez que caracterizavam alteração geográfica dos termos dos dois municípios envolvidos), visualizou-se que o distrito de Conservatória (já pertencendo ao município de Barra do Piraí) cortava o município de Valença, separando os distritos de Pentagna, Juparana, Valença, Parapeuna e Santa Isabel do Rio Preto; sofrendo o município de Valença uma solução de continuidade em relação ao seu território.

Essa situação só se consertará em 1947, quando o município de Marquês de Valença “compra” o distrito de Conservatória, anexando-o novamente ao seu território. A Figura 2.13 mostra essa configuração inusitada (IBGE, 2019).

Esses dois exemplos mostram a complexidade de se criar um fluxo discreto, incluindo todos os três elementos de análise, alterações toponímicas, alterações ortográficas e alterações geográficas, sobre cada divisão e contemplando todo o Rio de Janeiro. Em princípio, essas alterações não modificam a quantidade de divisões administrativas no período considerado. Isso só ocorrerá com a criação, extinção ou recriação de divisões.

Figura 2.13 – Situação dos municípios de Valença e Barra do Piraí: anterior a 1943; entre 1943 e 1947; e após 1947.



Fonte: os autores.

Levando-se em conta essas premissas, foi organizada tabela, dividida em períodos, em que cada período correspondia à ocorrência de uma ou várias alterações simultâneas, tendo sido associado a cada período o número correspondente de divisões administrativas.

Foram definidos 66 períodos de alterações, desde a criação da primeira unidade administrativa (caracterizada pela fundação da cidade do Rio de Janeiro) até os dias atuais; e com a delimitação final definida pela criação do último município, Mesquita, em 2001.

O Quadro 2.5 mostra um trecho da tabela criada com os períodos de 1841-1845, 1846-1849 e 1939-1943, 1944-1946. Nesses períodos, o Rio de Janeiro contava com 25, 27, 51 e 53 divisões administrativas, tendo sido criadas 6 novas divisões nesses conjuntos. Cada coluna do quadro mostra: (a) em cor preta, o nome original da divisão administrativa, seguindo a ordem de criação definida para todo o Rio de Janeiro, em suas 95 divisões; (b) em vermelho, ao final da coluna, estão as linhas de novas divisões criadas no período; (c) em verde, se houve alteração toponímica; (d) em marrom, se a alteração foi ortográfica; e (e) em azul está a representação de Bom Jesus de Itabapoana, recriada pelo Decreto n.º 633, de 14/12/1938.

A definição dos períodos obedeceu aos seguintes critérios: se a alteração se deu até 30 de junho do ano em curso, o período se iniciará nesse ano. Caso se dê no segundo semestre do ano em curso, o período será iniciado no ano seguinte. Evidentemente, existirá algum tempo, em termos de precisão temporal; porém, em média, a precisão temporal de cada período foi calculada em \pm três meses.

Quadro 2.5 – Trecho da tabela de períodos.

1841 - 1845	1846 - 1849		1939 - 1943	1944 - 1946
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro		Rio de Janeiro	Rio de Janeiro
Angra dos Reis	Angra dos Reis		Angra dos Reis	Angra dos Reis
Cabo Frio	Cabo Frio		Cabo Frio	Cabo Frio
Paraty	Paraty		Paraty	Parati
Campos	Campos		Campos	Campos
São João da Barra	São João da Barra		São João da Barra	São João da Barra
Santo Antônio de Sá	Santo Antônio de Sá		Cachoeiras	Cachoeiras de Macacu
Magé	Magé		Magé	Magé
Rezende	Rezende		Rezende	Resende
São João do Príncipe	São João do Príncipe		Macahé	Macaé
Macahé	Macahé		Cantagallo	Cantagalo
Cantagallo	Cantagallo		Maricá	Maricá
Maricá	Maricá		Itaguahy	Itaguaí
Itaguahy	Itaguahy		Nictheroy	Niterói
Nictheroy	Nictheroy		Nova Friburgo	Nova Friburgo
Nova Friburgo	Nova Friburgo		Valença	Marquês de Valença
Valença	Valença		Mangaratiba	Mangaratiba
Mangaratiba	Mangaratiba		Vassouras	Vassouras
Vassouras	Vassouras		Parahyba do Sul	Paraíba do Sul
Parahyba do Sul	Parahyba do Sul		Nova Iguassú	Nova Iguaçu
Iguassú	Iguassú		Itaborahy	Itaboraí
Itaborahy	Itaborahy		Barra Mansa	Barra Mansa
Barra Mansa	Barra Mansa		Pirahy	Piraí
Pirahy	Pirahy		Capivary	Silva Jardim

N. S. da Lapa de Capivary	Capivary		Rio Bonito	Rio Bonito
	Estrella		Rio Claro	Itaverá
25 Divisões	Rio Bonito		São Fidelis	São Fidelis
1 nova			Petrópolis	Petrópolis
	27 Divisões		Araruama	Araruama
	2 Novas		Casimiro de Abreu	Casimiro de Abreu
			Saquarema	Saquarema
			Santa Maria Magdalena	Santa Maria Madalena
			Sapucaia	Sapucaia
			Carmo	Carmo
			Santo Antônio de Pádua	Santo Antônio de Pádua
			Itaperuna	Itaperuna
			Barra do Pirahy	Barra do Pirai
			Santa Thereza	Rio das Flores
			Trajano de Moraes	Trajano de Moraes
			Therezópolis	Teresópolis
			Duas Barras	Duas Barras
			Itaocara	Itaocara
			Cambucy	Cambuci
			Bom Jesus do Itabapoana	Bom Jesus do Itabapoana
			Sumidouro	Sumidouro
			São Sebastião do Alto	São Sebastião do Alto
			São Pedro da Aldeia	São Pedro da Aldeia
			São Gonçalo	São Gonçalo
			Bom Jardim	Vergel

			Miracema	Miracema
			Entre Rios	Três Rios
				Duque de Caxias
			51 Divisões	Cordeiro
			1 nova	53 Divisões
				2 novas

Nota: verificar legenda de cores no texto supracitado.

Fonte: os autores.

2.4 A CARTOGRAFIA DA EVOLUÇÃO

Se uma imagem vale mais do que mil palavras, um mapa vale milhões delas (MONMONIER, 1991). Partindo dessa frase, todas as palavras descritas nesse trabalho, todas as tabelas e metodologias apresentadas, não seriam suficientes para descrever o que pode ser representado em um mapa. Por outro lado, não se trata apenas de apresentar um mapa como um produto final de uma pesquisa, mas apresentar um conjunto de mapas os quais estarão completamente associados aos aspectos espaçotemporais, fluindo no espaço geográfico do território do estado do Rio de Janeiro, sobre o tempo, desde a sua criação até os dias atuais. Em termos computacionais, essa associação também é efetuada, pois Pirahy e Piraí podem estar associados ao mesmo espaço geográfico, mas existem espaços de tempo entre o uso desses dois nomes. Da mesma forma, a Nova Friburgo, considerado como um topônimo sem alteração desde sua criação, serão associadas diferentes áreas geográficas ao longo do tempo. Assim, o mapa vai retratar e representar o momento espaçotemporal de cada um dos períodos definidos para a evolução político-administrativa do estado do Rio de Janeiro, ao longo de sua vida, como: capitania, capitania real, província e estado.

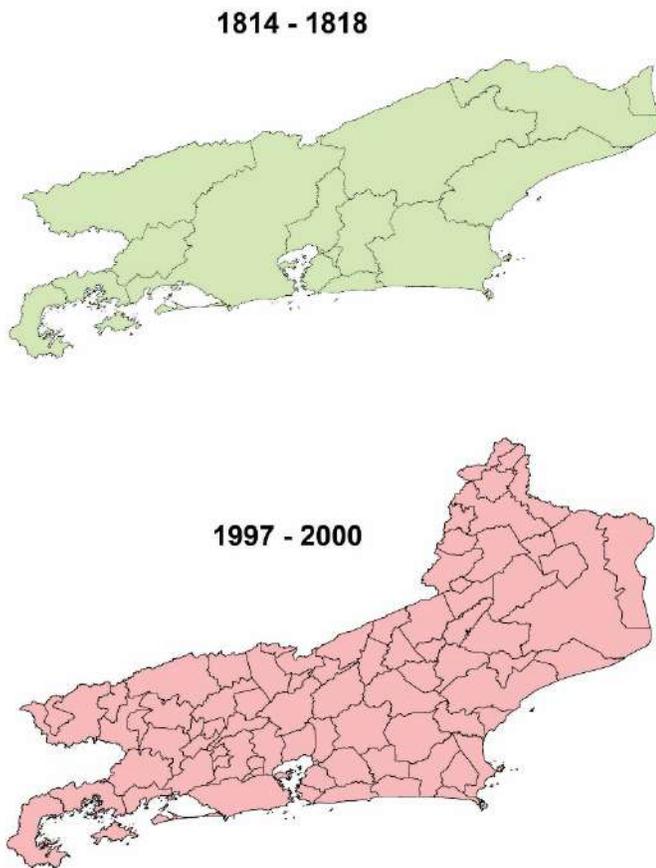
A primeira fase do trabalho cartográfico foi o planejamento das bases cartográficas. Inicialmente, a projeção cilíndrica equirretangular foi indicada. A escala da base seria 1:250.000. Assim, foram selecionadas as bases da Malha 2010, desenvolvida pelo IBGE (IBGE, 2010), por já estarem com esses dois pré-requisitos atendidos e por serem disponibilizadas em SIRGAS2000. A projeção permite uma associação direta para latitudes e longitudes, e a escala permite que todas as alterações sobre as bases sejam visualizadas sem

perda de informações. As distorções causadas por essa projeção, em face da escala de representação, não causam impactos relevantes. Cogita-se a associação da Malha de 2019. Porém, apenas com as possíveis alterações geográficas ocorridas no estado do Rio de Janeiro.

A metodologia de elaboração de cada base seguiu a realizada anteriormente, com a desconstrução de um período posterior, para se chegar ao período anterior. O *software* utilizado foi o *ArcView*[®], v. 10.6. A Figura 2.14 mostra as bases dos períodos 1997-2000 e 1814-1818.

A desconstrução de bases posteriores para criar as bases anteriores é um processo relativamente simples, quando a formação da divisão é definida por uma separação de um ou mais distritos. Composições de termos mais complexos, com partes de duas ou mais divisões, ou diferentes limites estabelecidos por lei, necessitam ser complementadas com a consulta aos decretos de criação e/ou complementação dos limites. Algumas vezes, os limites existentes são recriados por meio dessas complementações. Assim, a definição da área geográfica de uma divisão administrativa pode se tornar uma tarefa complexa de pesquisa e tentativa de estruturação dos limites.

Figura 2.14 – Bases cartográficas: períodos de 1814-1818 e 1997-2000.



Fonte: os autores.

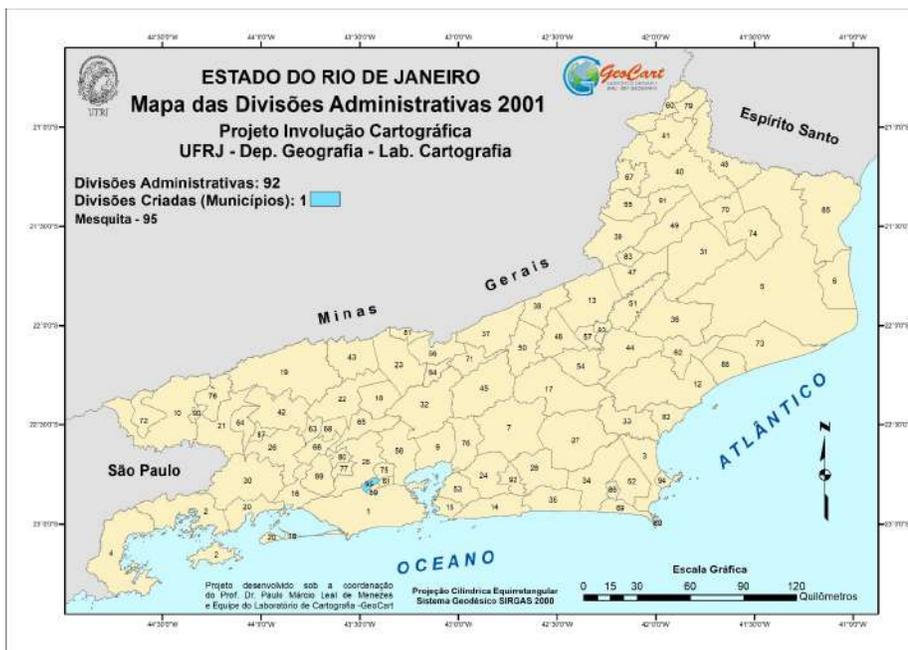
Ficou atestado (pelos diversos procedimentos realizados) que, até 1892, os limites podem ser comprovados por meio de mapas do estado. Alguns mapas da província também se apresentam como fontes de verificação e comprovação dos limites das divisões. Dessa forma, a Cartografia Histórica é uma fonte de apoio importante de informações e necessária, em todos os momentos.

Mapas desenvolvidos

Assim como foram produzidas 66 bases cartográficas para cada um dos períodos considerados, também foram elaborados mapas temáticos, mostrando o conteúdo de cada uma das colunas da tabela de períodos.

O leiaute projetado apresenta o território do Rio de Janeiro dividido segundo suas divisões administrativas, com o número de ordem de criação de cada divisão sobre o limite do termo. A relação nominal das divisões do período é fornecida à parte. Esse procedimento foi definido porque o número de divisões é bastante alto (acima de 50), para períodos posteriores a 1850. A colocação de uma tabela diretamente no mapa, mesmo para um projeto em tamanho A3, torna a legenda pesada e sobrecarrega o mapa. A Figura 2.15 mostra o mapa para o último período, com os 92 municípios, destacando o município criado no período. Já o Quadro 2.6 apresenta a composição dos 92 municípios com a sua ordem de criação.

Figura 2.15 – Mapa das divisões administrativas de 2001, com o último município criado (Mesquita).



Fonte: os autores.

Quadro 2.6 – Lista dos 92 municípios e sua ordem de criação.

NM_MUNICIP	Ordem	NM_MUNICIP	Ordem	NM_MUNICIP	Ordem
Angra dos Reis	2	Itaocara	38	Resende	9
Aperibé	80	Itaperuna	35	Rio Bonito	24
Araruama	29	Itatiaia	68	Rio Claro	25
Areal	81	Japeri	77	Rio das Flores	37
Armação dos Búzios	91	Laje do Muriaé	63	Rio das Ostras	79
Arraial do Cabo	65	Macaé	10	Rio de Janeiro	1
Barra do Piraí	36	Macuco	90	Santa Maria Madalena	31
Barra Mansa	17	Magé	8	Santo Antônio de Pádua	34
Belford Roxo	72	Mangaratiba	44	São Francisco de Itabapoana	82
Bom Jardim	46	Maricá	12	São Fidélis	26
Bom Jesus do Itabapoana	50	Mendes	59	São Gonçalo	48
Cabo Frio	3	Mesquita	92	São João da Barra	6
Cachoeiras de Macacu	7	Miguel Pereira	61	São João do Meriti	57
Cambuci	47	Miracema	49	São José do Ubá	88
Carapebus	85	Natividade	54	São José do Vale do Rio Preto	67
Comendador Levy Gasparian	78	Nilópolis	55	São Pedro da Aldeia	45
Campos dos Goytacazes	5	Niterói	13	São Sebastião do Alto	43
Cantagalo	11	Nova Friburgo	15	Sapucaia	32
Cardoso Moreira	71	Nova Iguaçu	20	Squarema	30
Carmo	33	Paracambi	62	Seropédica	86

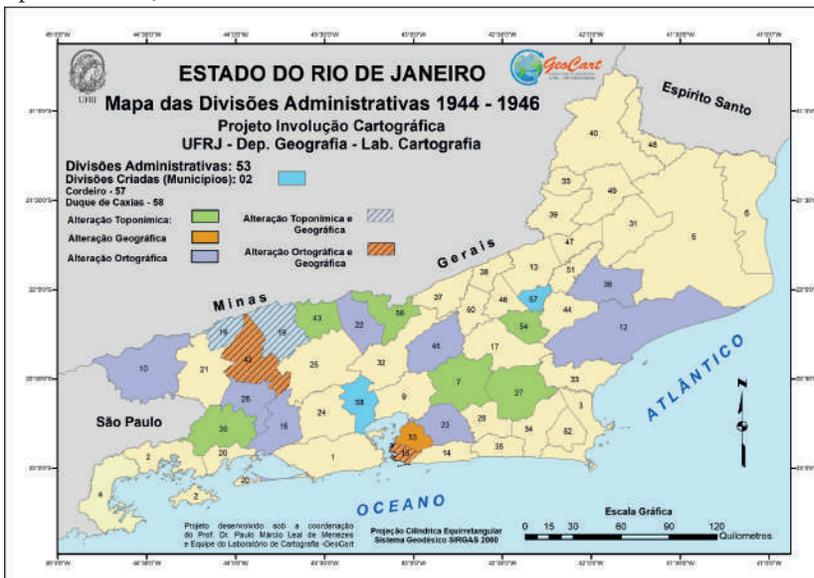
Casimiro de Abreu	37	Paraíba do Sul	18	Silva Jardim	23
Conceição de Macabu	58	Paraty	4	Sumidouro	42
Cordeiro	52	Paty do Alferes	69	Tanguá	89
Duas Barras	40	Petrópolis	28	Teresópolis	41
Duque de Caxias	53	Pinheiral	84	Trajano de Moraes	39
Engenheiro Paulo de Frontin	64	Piraí	22	Três Rios	51
Guapimirim	73	Porciúncula	56	Valença	16
Iguaba Grande	83	Porto Real	87	Varre-Sai	76
Itaboraí	19	Quatis	75	Vassouras	21
Itaguaí	14	Queimados	74	Volta Redonda	60
Italva	66	Quissamã	70		

Fonte: os autores.

O período de 1944-1946 foi um período em que ocorreram todas as alterações previstas, ou seja, foram criadas duas divisões administrativas: os municípios de Cordeiro e Duque de Caxias. Ocorreram alterações toponímicas, tais como: Santa Thereza para Rio das Flores, e Entre Rios para Três Rios; assim como alteração geográfica em São Gonçalo; alterações ortográficas e geográficas em Niterói e Barra do Piraí; e toponímica e geográfica em Marquês de Valença. Foram 20 alterações, sendo seis toponímicas, oito ortográficas e uma geográfica; duas ortográficas e geográficas; uma toponímica e geográfica; além de dois municípios criados.

A Figura 2.16 e o Quadro 2.7 apresentam respectivamente o mapa do período e o quadro com os 53 municípios do período.

Figura 2.16 – Mapa do período de 1944 -1946, quando ocorreram simultaneamente todos os tipos de alterações.



Fonte: os autores.

Quadro 2.7 – Lista dos 53 municípios do período de 1944-1946.

Nr	NM_MUNICIP	Ordem	Nr	NM_MUNICIP	Ordem
1	Angra dos Reis	2	28	Nova Friburgo	17
2	Araruama	34	29	Nova Iguaçu	24
3	Barra do Pirai	42	30	Paraíba do Sul	22
4	Barra Mansa	21	31	Parati	4
5	Bom Jesus do Itabapoana	48	32	Petrópolis	32
6	Cabo Frio	3	33	Piraí	26
7	Cachoeiras de Macacu	7	34	Resende	10
8	Cambuci	49	35	Rio Bonito	28
9	Campos	5	36	Rio das Flores	43
10	Cantagalo	13	37	Rio de Janeiro	1
11	Carmo	38	38	Santa Maria Madalena	36
12	Casimiro de Abreu	33	39	Santo Antônio de Pádua	39

13	Cordeiro	57	40	São Fidelis	31
14	Duas Barras	46	41	São Gonçalo	53
15	Duque de Caxias	58	42	São João da Barra	6
16	Itaboraí	23	43	São Pedro da Aldeia	52
17	Itaguaí	16	44	São Sebastião do Alto	51
18	Itaocara	47	45	Sapucaia	37
19	Itaperuna	40	46	Saquarema	35
20	Itaverá	30	47	Silva Jardim	27
21	Macaé	12	48	Sumidouro	50
22	Magé	9	49	Teresópolis	45
23	Mangaratiba	20	50	Trajano de Moraes	44
24	Maricá	14	51	Três Rios	56
25	Marquês de Valença	19	52	Vassouras	25
26	Miracema	55	53	Vergel	54
27	Niterói	15			

Fonte: os autores.

2.5 CARTOGRAFIA HISTÓRICA COMO SUBSÍDIO À PESQUISA

Talvez, pelos eventos descritos em sua cronologia, o Rio de Janeiro tenha possuído um dos mais ricos acervos cartográficos do Brasil. Nesse sentido, essa pesquisa não pôde deixar de agregar os mapas históricos que, desde meados do século XVI, representam o seu território. Serão apresentados apenas os mapas que efetivamente contribuíram com a pesquisa da evolução político-administrativa, uma vez que, se contabilizado, esse acervo cartográfico ultrapassa 350 mapas, seja do território inteiro, seja de parte dele, todos pertencentes ao século XIX. No entanto, deve ser ressaltado que os demais mapas deram uma contribuição expressiva sobre a toponímia do Rio de Janeiro, permitindo o estabelecimento do seu estudo diacrônico, do início do século XVI aos dias atuais.

Cabe destacar ainda que os primórdios da cartografia de precisão do Brasil remontam ao século XVIII, quando se inicia a missão cartográfica oficial dos padres Diogo Soares e Domingos Capassi, jesuítas, designados

em alvará especial por D. João V, rei de Portugal, para desenvolverem demarcações e posicionamento terrestre preciso. A grande importância dos trabalhos dos então chamados “padres matemáticos” deve-se principalmente por o Brasil entrar em nova fase cartográfica, mediante a determinação de longitudes observadas por meio de efemérides e diferenças horárias em relação a eclipses dos satélites de Júpiter.

Seus trabalhos, realizados de 1730 a 1748 (tendo Capassi falecido em São Paulo em 1740 e Diogo Soares falecido em Minas Gerais em 1748), são traduzidos em mapas que abrangem a costa leste e sul, Sul do Brasil, bem como o interior, até o Rio Paraná. Foram determinadas 197 listas de coordenadas das capitanias Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais e Goiás. Para o Rio de Janeiro, a Figura 2.17 apresenta o mapa de 173-, pertencente ao acervo da Biblioteca Nacional.

Figura 2.17 – *Mappa Chorographico da Capitania do Rio de Janeiro*.

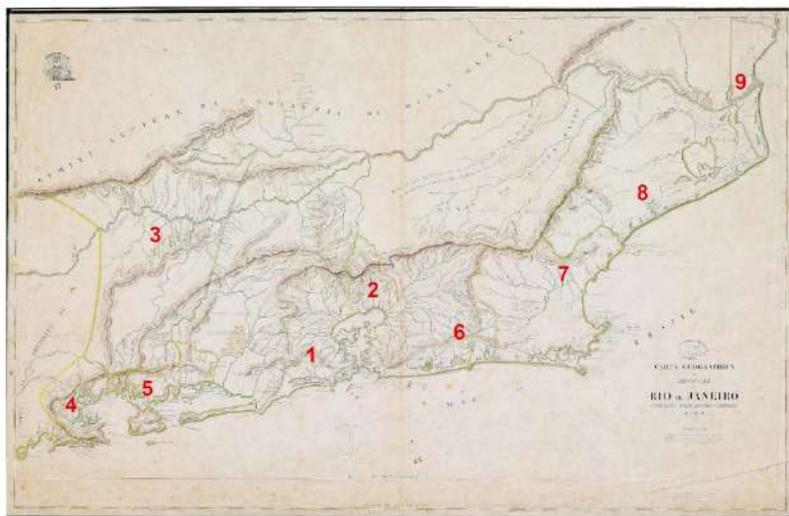


Fonte: Capassi ([173-]). Acervo da Biblioteca Nacional.

No século XIX, o mapa *Carta Geographica da Provincia do Rio de Janeiro* (1823), copiado e publicado pelo Real Archivo Militar de Lisboa, constante dos acervos da Biblioteca Nacional e da Diretoria de Infraestrutura de Engenharia (DIE), pode ser visto na Figura 2.18. Esse mapa, com a data de cópia de 1823, apresentava um problema em sua datação (1823), que pode ser redefinida com a apresentação das divisões administrativas da época. Os

limites sugerem uma divisão político-administrativa para a época, definida pelas seguintes vilas e cidades: Rio de Janeiro (1), Magé (2), Resende (3), Parati (4), Angra dos Reis (5), Niterói (6), Cabo Frio (7), Campos dos Goytacazes (8) e São João da Barra (9). Dessa forma, em relação à data de 1823, foram observadas duas inconsistências: a primeira, segundo o levantamento das divisões administrativas do estado do Rio de Janeiro, a província deveria contar com 17 divisões, e não apenas nove; a segunda refere-se ao mapa incluir como pertencentes à província a área de Campos dos Goytacazes, acima do Rio Paraíba, e a área de São João da Barra, as quais haviam sido desmembradas em 1743 e incorporadas à capitania do Espírito Santo, apenas retornando ao Rio de Janeiro em 1832.

Figura 2.18 – Carta Geographica da Provincia do Rio de Janeiro (1823).



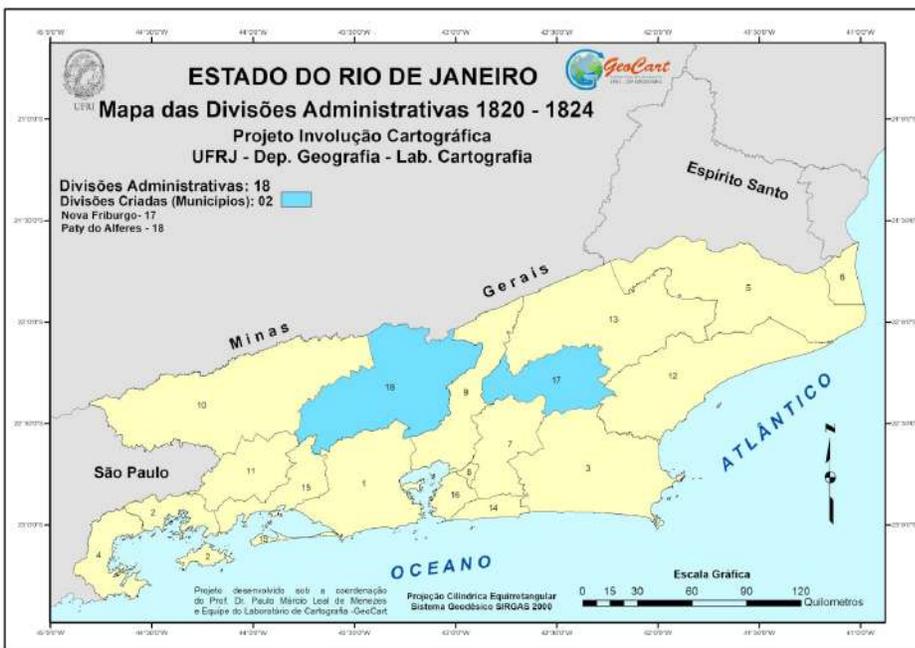
Fonte: CARTA ... (1823). Acervos da Biblioteca Nacional e da Diretoria de Infraestrutura de Engenharia (DIE); Menezes *et al.* (2015).

De acordo com o número de divisões apresentadas, o período provável das informações residiria entre 1801 e 1813. Entre 1820 e 1823, existiriam 18 divisões administrativas. A Figura 2.19 mostra a distribuição das divisões administrativas no período de 1821-1824.

A *Carta Corographica da Província do Rio de Janeiro* de 1839 apresenta uma das mais prováveis divisões administrativas da época. Mesmo com as

deformações apresentadas no mapa, pode-se delimitar com razoável precisão os limites de cada uma das 23 divisões apresentadas. A Figura 2.20 mostra o mapa e as divisões administrativas comprovadas por ele.

Figura 2.19 – Divisões administrativas entre 1820 e 1824.



Fonte: os autores.

Figura 2.20 – Carta Corographica da Provincia do Rio de Janeiro com as divisões administrativas.

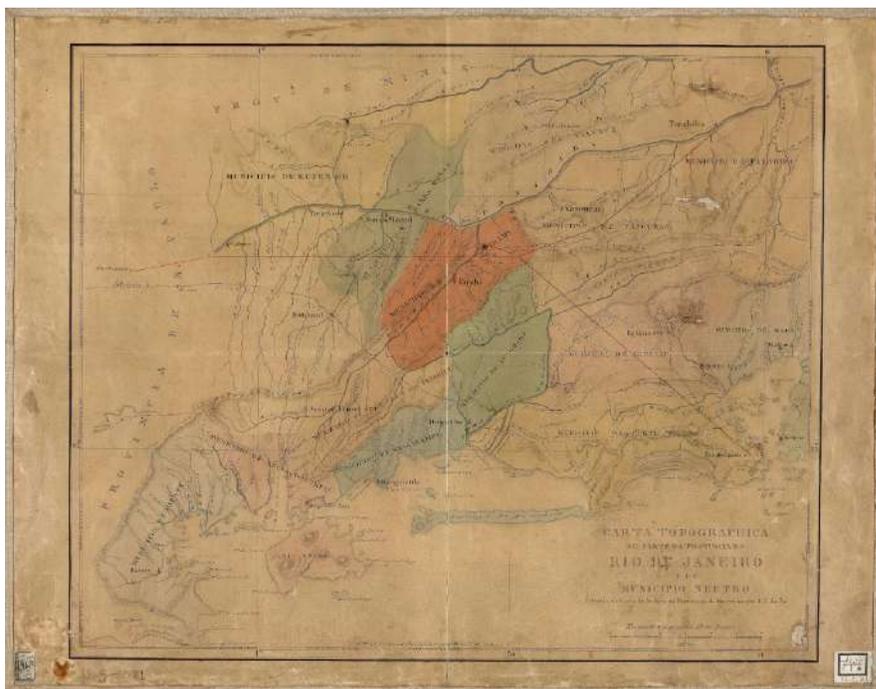


Fonte: Niemayer (1839). Acervo do Arquivo Nacional.

Também, a *Carta da Província do Rio de Janeiro de 1840* apresenta as mesmas divisões administrativas apresentadas no mapa de 1839, comprovando-as.

É importante apresentar a *Carta Topographica de Parte da Província do Rio de Janeiro e do Município Neutro*, de 18-- , extraída da *Carta do Archivo da Directoria da Província* por J. P. de Sá, que representa com precisão todos os municípios da área entre Paraty e o Município Neutro (Figura 2.21).

Figura 2.21 – *Carta Topographica de Parte da Provincia do Rio de Janeiro e do Municipio Neutro.*



Fonte: Lima e D'Ávila (1841). Acervo da Biblioteca Nacional.

No decorrer do século XIX, no entanto, não ocorreu mais a preocupação em mostrar os limites das divisões. Diversos mapas elaborados nos anos de 1856, 1858, 1865 e 1866 mostram o território como um todo, sem a demarcação de limites administrativos internos. Isso só virá a ocorrer no início do século XX.

Outros mapas foram também utilizados. Porém, apenas os principais foram mostrados, pois sua utilização abrangeu todo ou grande parte do território do Rio de Janeiro. Os demais foram aplicados em problemas mais locais.

De todo modo, o apoio dado pela Cartografia Histórica, por meio do acervo de mapas históricos do Rio de Janeiro, foi essencial para um bom resultado do trabalho.

2.6 CONCLUSÕES

Pode-se dizer que chegar ao final de um trabalho de pesquisa histórico-geográfico-cartográfico desse porte, praticamente sem apoio financeiro, foi um malabarismo científico. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj) fomentou os dois primeiros anos; porém, durante os demais anos (de 2006 a 2020), a pesquisa teve altos e baixos. Com o engajamento de estudantes de graduação e pós-graduação, refletido na produção de 14 trabalhos de iniciação científica, quatro trabalhos de conclusão de curso, 16 trabalhos apresentados e publicados em congressos e simpósios (sendo quatro internacionais), bem como três dissertações de mestrado (estando uma em andamento) e uma tese de doutorado, pode-se afirmar que a pesquisa foi um sucesso em termos científicos, gerando conhecimento técnico e científico, histórico, geográfico e cartográfico. Todos os alunos que trabalharam e trabalham, que deram o apoio para o desenvolvimento da pesquisa chegar ao ponto que chegou, merecem os mais profundos agradecimentos por parte da equipe do Laboratório GeoCart, que esteve à frente da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. I. C. *Municípios e topônimos fluminenses: histórico e memória*. Niterói: Imprensa Oficial do Estado do Rio de Janeiro, 1994.
- BRASIL. Câmara dos Deputados. *Coleção das leis do Império do Brasil 1808-1889*. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/legislacao/doimperio>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- CAPASSI, D. *Mappa Chorographico da Capitania do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, [173-].
- CARTA geographica da provincia do Rio de Janeiro. Autoria Desconhecida (Copiada do Real Archivo Militar). Lisboa: Diretoria de Infraestrutura, 1823. 63 x 97 cm. Escala 1: 440.000, 1823. Autoria desconhecida (copiada do Real Archivo Militar).
- CASAL, M. A. *Corografia brazilica*. Rio de Janeiro: Impressão Régia, 1817. t. I-II.
- DIAS, A. C. *Evolução da divisão político-administrativa do município de Nova Friburgo*. 2020. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE.). *Cidades@*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/index2.htm>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Divisão territorial brasileira*, Rio de Janeiro: 1911, 1933, 1944, 1949, 1950, 1953, 1961, 1963.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Malha municipal*. Rio de Janeiro, 2010.

L'ISLE, G. de. *Carte de la Terre Ferme du Perou Dudu Bresil et Dudu Pays Desdes Amazones*. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 1703.

LIMA, D. da F; D'ÁVILA, J. J. *Carta topographica de parte da provincia do Rio de Janeiro e do Municipio Neutro*. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 1841.

MAPPA do municipio de Nova Friburgo. Autor desconhecido, Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional. [1921?]. Autor desconhecido.

MELLO, D. *Paraty se escreve com i ou com y?* Paraty: Tribuna de Paraty, 1992.

MENEZES, P. M. L. *A Formação territorial brasileira sob uma abordagem histórico-cartográfica*. Seminários às quintas. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 2006.

MENEZES, P. M. L. *Involução cartográfica do estado do Rio de Janeiro*. Projeto de Pesquisa (APQ1), apresentado à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ. Rio de Janeiro, 2001.

MENEZES, P. M. L. *Involução cartográfica do Estado do Rio de Janeiro*. Relatório Técnico apresentado à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro - FAPERJ. Rio de Janeiro, 2003.

MENEZES, P. M. L.; DIAS, A. C.; COSTA, B. F. Cartografia reversa, a involução cartográfica do estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21., 2003, Belo Horizonte, *Anais [...]*. Belo Horizonte: Centro de Convenções, 2003b2003. p. 1-9.

MENEZES, P. M. L.; DIAS, A. C.; COSTA, B. F.; LEPORE, M. V. G. Evolução política-administrativa do estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA HISTÓRICA, 2005, Rio de Janeiro, *Anais [...]*. Rio de Janeiro: Museu Naval, 2005.

MENEZES, P. M. L. *et al.* A diachronic study under a diversity and cultural heritage approach of the toponymy of Rio de Janeiro State, Brazil. In: International Symposium on

Place Names, Diversity and Heritage INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLACE NAMES, DIVERSITY AND HERITAGE, 2015, Clarens. *Annals* [...][...]. Clarens: University of Free State, 2015.

MENEZES, P. M. L.; FERNANDES, M. C.; SANTOS, K. S.; SARDELLA, A. B. Historical-toponymic analysis of the 1823 Carta Geographica of the Rio de Janeiro Province. In: INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, 27., 2015, Rio de Janeiro, 2015. *Proceedings ICC 2015*. Rio de Janeiro: Centro de Convenções, 2015.

MENEZES, P. M. L.; SANTOS, C. J. B. Geonímia do Brasil: pesquisa, reflexões e aspectos relevantes. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, v. 58, n. 2, p. 193-200, 2006.

MILLIET DE SAINT-ADOLPHE, J. C. R. *Diccionario geographico, histórico e Descriptivo do Império do Brazil; Tomos I e II*. Paris: Editora Casa de J.P. Aillaud, 1845. t. I-II.

MONMONIER, M. *How to lie with Maps*. Chicago: The University of Chicago Press, 1991.

NIEMEYER, C. J.; NIEMEYER BELLEGARDE, H. L.; KOELER Julio Frederico; RIVIERRE, Carlos C. *Carta Corographica da Provincia do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Arquivo Nacional, 1839.

OLIVEIRA JUNIOR, D. L. O. *Legislação sobre os municípios, comarcas e districtos – abrangendo o período de 6 de março de 1835 à 31 de dezembro de 1925 – estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Typographia do Jornal do Commercio, 1926.

PINTO, A. M. *Apontamentos para o Dicionário Geographico do Brazil, A-E, F-N, P-Z*. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1894.

SILVA PONTES, A. P. L. *Carta geographica de Projecção Espherica Orthogonal projecção espherica orthogonal da Nova Luzitania ou America Portugueza e Estado do Brazil*. Rio de Janeiro: Arquivo Histórico do Exército (AHEx), 1798.

TEIXEIRA, L. *Roteiro da costa do Brasil*. Lisboa: [s. n.], 1988. Fac-símile.

A CIDADE DO RIO DE JANEIRO NOS MAPAS DOS SÉCULOS XVIII E XIX: O ESPAÇO PELA VISÃO DA CARTOGRAFIA HISTÓRICA

Kairo da Silva Santos

Tainá Laeta

Paulo Márcio Leal de Menezes

3.1 A CIDADE DOS MAPAS HISTÓRICOS: BASE PARA ESTUDAR O PASSADO, FONTE PARA COMPREENDER O PRESENTE

A cidade do Rio de Janeiro desponta como um verdadeiro centro de pesquisas a céu aberto, quando se trata do estudo do passado, seja pela Geografia, seja pela Cartografia ou por quaisquer outras ciências. O acervo iconográfico, documental e cartográfico sobre a cidade é vasto, e tal fato tem possibilitado aos pesquisadores desfrutarem de rico material sobre diversos temas. Isso não quer dizer que problemas e dificuldades não estejam presentes. Nesse sentido, a cidade conta com diferentes instituições públicas que preservam tal patrimônio e nos convidam a conhecer melhor seu passado e sua História. Os mapas históricos são parte dessa História e registram inúmeros aspectos da produção do espaço, assim como ocultam outros, quando convém aos anseios dos cartógrafos.

Entre os registros que podem ser estudados, estão, por exemplo, os inúmeros processos de aterramento que a área central da cidade sofreu ao longo dos séculos, principalmente, a partir do século XIX. Tal qual o desmonte de morros, que forneceu material necessário aos aterramentos; a expansão dos logradouros; as áreas construídas, com o avanço das atividades produtivas; e, até mesmo, a expulsão de populações inteiras, a partir de reformas urbanísticas realizadas.

Neste capítulo, o objetivo principal é apresentar as transformações do espaço da cidade do Rio de Janeiro, produto que tomou forma por meio

de processos distintos, com base em mapas históricos produzidos ao longo dos séculos XVIII e XIX. O seu enfoque ficará a cargo das transformações ocorridas na zona central da cidade, a contar de alterações realizadas na paisagem, com o surgimento de construções e novas áreas de ocupação, assim como do processo de nomeação e renomeação de parcelas do território, sob a administração e o controle do poder político vigente. Os mapas são importantes aliados para compreender e estudar a construção social do espaço no tempo, levando-se em consideração que também são produtos de seu tempo, em que a técnica e a visibilidade não são elementos neutros ou desprovidos de valores. Assim, seja como objeto de pesquisa, seja como fonte para subsidiar outros estudos, os mapas históricos são instrumentos importantes para estudar o passado e compreender o presente, principalmente quando, nos processos, as formas se notabilizam por meio dessas representações.

3.2 O CENTRO DO RIO ANTIGO

A ocupação da cidade do Rio de Janeiro pelos colonizadores portugueses foi efetivamente iniciada a partir da construção de um pequeno núcleo de ocupação, no denominado Morro Cara de Cão, onde, atualmente, encontra-se o bairro da Urca, pelos idos de 1565. Anteriormente a esse feito, foi montada em 1631 a primeira estrutura de exploração na Guanabara, servindo ao primeiro reconhecimento do território e suas possíveis fontes de exploração. O terreno não era dos mais favoráveis a uma expansão considerável e à instalação do aparato administrativo local. No contexto, foi necessário primeiro salientar e reconhecer as melhores áreas de instalação e as ameaças iminentes que seriam confrontadas.

Para além dos conflitos com os grupos indígenas que já se encontravam no território, os colonizadores portugueses enfrentaram a concorrência francesa, pela fundação da França Antártica, ocorrida na pequena Ilha de Villegaion. Apenas com a expulsão dos franceses, consolidada em 1567, os colonizadores portugueses transferiram a sede da cidade para seu local secular, com fundação por Estácio de Sá, em 1565. O local, como aponta Cavalcanti ([2004] 2015):

[...] permitia a instalação de um excelente porto, fundamental para o comércio atlântico; suas características geográficas facilitavam a defesa contra-ataques estrangeiros; sua estratégica situação tornava possível o controle da extensa orla

marítima que ia daquele ponto ao extremo sul da costa, além de permitir a interiorização no continente, em busca de metais e pedras preciosas. (CAVALCANTI, [2004] 2015, s.p.)

A “Cidade Nova” foi transferida em 1567 para o local da Cidade Velha, iniciando-se o seu processo de nomeação. A evolução urbana da já criada cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro inicia-se entre quatro morros que delimitavam a área em urbanização, tanto por ruas e caminhos como por prédios, igrejas e locais públicos, que mostra inicialmente um padrão de nomeação, o qual, aos poucos, vai se modificando em virtude de escolhas de seu tempo.

Pensar em resquícios de prédios e outras construções dessa época é tarefa difícil, em uma cidade que mudou sua forma inúmeras vezes. Como capital e principal centro de decisões do Brasil, por séculos, o Rio Antigo preservou-se em forma, por meio de alguns arruamentos e praças, mas, principalmente, pelas pinturas e pelos mapas feitos nessas épocas. A Cartografia foi importante elemento para identificar os logradouros da cidade, as principais construções e registrar o conhecimento desse território.

Nas seções a seguir, serão tratados dois temas em que os mapas históricos se apresentam como importantes arquivos temporais das formas pretéritas. O primeiro deles versa sobre a própria expansão da cidade e como seu sítio de fundação, hoje tido com o “centro da cidade”, se modificou, retraiu, derrubou morros e aterrou mares, expulsou e acolheu pessoas, em quase meio século de história. O segundo diz respeito a como, na produção do espaço carioca, os nomes foram parte importante do processo de simbolizar e comunicar uma narrativa que conta tanto a História do Rio como a História do Brasil, por meio dos mapas históricos e outros documentos de grande valor.

As mudanças na paisagem carioca por meio dos mapas

No século XVIII, a cidade do Rio de Janeiro poderia ser considerada um pequeno arrabalde situado entre quatro morros à beira-mar. A leste, limitava-se com a Baía de Guanabara e tinha seu principal meio de comunicação com a Metrópole portuguesa e outras cidades: o porto do Rio de Janeiro. Nesse período, grande parte dos recursos que chegavam e eram exportados na cidade passavam pelo porto. Ao norte, defrontava os Morros de São Bento e o da Conceição como limitadores, ambos situados na faixa costeira. Essa área, séculos à frente, receberia aterros para a nova área do porto.

Ao sul, existiam as terras das áreas da Glória, Botafogo e, mais adiante, a Lagoa. No século XX, também receberia o grande aterramento que daria origem ao Aterro do Flamengo. A leste, a grande área ainda por ocupar, o limite mais eminente eram as áreas alagadas do Saco de São Diogo, e a cidade estendia-se até o Campo de Santana. A Figura 3.1 apresenta a *Planta da Cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro, 1712-1713*.

Figura 3.1 - *Planta da Cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro (1712-1713)*.



Fonte: Jean Massé (1713). Acervo do Arquivo Histórico Ultramarino.

A referida planta apresenta, de maneira bem delineada, os seus limites físicos, por volta dos primeiros anos do século XVIII; podendo ser destacado que, não muito além de igrejas e fortes, que se sobressaíam nessa paisagem, a cidade ainda convivia com as limitações de ocupação, impostas pelo terreno.

Nesse sentido, os mapas históricos têm papel fundamental em arquivar as “formas” pretéritas da cidade, e, no estudo das “geografias do passado”, há de se considerar que não se trabalha com o passado, propriamente dito, mas com os fragmentos que ele deixou (ABREU, 2000). Os arruamentos abertos, as nomeações realizadas, as demolições e os aterramentos empreendidos, mesmo registrados em documentos textuais e gravuras, não denotam a dimensão da localização dos fenômenos tal qual a linguagem gráfica, nesse

caso, por meio da Cartografia, a qual permite a apreensão do fenômeno posto e já sobreposto no espaço. Posto isso, uma pergunta interessante a guiar esta seção seria: em que sentido os mapas históricos possibilitam compreender a dinâmica da cidade do Rio de Janeiro, em especial nesse estudo do que se conhece como seu centro histórico?

Os mapas históricos do Rio de Janeiro demonstram a aplicabilidade da Cartografia Histórica e de seus métodos, enquanto um caminho essencial nos estudos em Geografia e, em particular, para o campo histórico e cultural, como também para a Geografia Urbana, entre outros.

O material referente ao século XVIII apresenta, como já colocado, uma cidade ainda diminuta, mas que, pouco a pouco, vem expandindo fisicamente seus limites. Constantes, pelo menos até o século XVIII, eram os projetos de muralhas, que detinham a função de guarnecer a cidade de ataques de outros grupos, ora franceses (já derrotados anteriormente), ora tupinambás e outros povos indígenas, ainda presentes no Recôncavo da Guanabara (CAVALCANTI, [2004] 2015). A seguir, tem-se a *Planta da Cidade do Ryo de Janeyro, Capital dos Estados do Brazil*, uma representação de João Francisco Roscio, 1769-1770, mostrando a concentração da ocupação, bem na proximidade do litoral (Figura 3.2).

O mapa de 1769 mostra a concentração urbana na região compreendida entre os Morros do Castelo, da Conceição, de Santo Antônio e de São Bento. Observa-se, pelas formas características representadas nos mapas, a presença de, pelo menos, duas fortalezas, nos Morros da Conceição e do Castelo. A preocupação com as invasões de estrangeiros e seus aliados era uma constante, sinalizada pelas muralhas já mencionadas. Observa-se que, a sudeste no mapa, ainda constava o Morro do Castelo e sua fortaleza, sem muitas construções ao redor. Para além das muralhas, algumas construções já se estabeleciam no contraforte da cidade. Do Campo de Santana, sinalizado no mapa, partiam estradas que levavam aos sertões cariocas, mais precisamente às sesmarias, em freguesias rurais, tais como Inhaúma e Engenho Velho.

Figura 3.2 – Planta da Cidade do Rio de Janeiro, Capital dos Estados do Brazil (1769-1770).



Fonte: João Francisco Roscio (1770). Acervo da Biblioteca Nacional.

Os primeiros anos do século XIX não apresentaram grandes alterações na área ocupada da cidade até a chegada da Corte portuguesa, no ano de 1808. Esse feito alterou toda a dinâmica da cidade no que se refere aos aspectos políticos, sociais e econômicos. Um exemplo da magnitude do ocorrido: a população da cidade, em pouco mais do que alguns anos, teve um incremento expressivo de 15 mil habitantes. É de se esperar um impacto significativo na própria infraestrutura encontrada e, como bem coloca Abreu (2014, p. 308)¹, “como alojar tanta gente (e tanta gente nobre) numa cidade que, até então, era não mais do que um entreposto comercial fortificado, habitado em grande parte por escravos?” A solução que se delineou foi a expansão da área central da cidade para os, até então,

¹ Originalmente, o texto de Maurício de Almeida Abreu foi publicado em 1992, no livro *Natureza e Sociedade no Rio de Janeiro*.

“sertões inóspitos”. Dessa maneira, os mapas de meados do século XIX, como a *Planta da Cidade do Rio de Janeiro Organizada do Archivo Militar pelos Officiaes*, de 1858, sinalizam a expansão do tecido da cidade para seus arrabaldes imediatos (Figura 3.3).

Figura 3.3 – *Planta da Cidade do Rio de Janeiro Organizada do Archivo Militar pelos Officiaes*.



Fonte: Frederico Carneiro de Campos (1858). Acervo da Biblioteca Nacional.

O mapa de 1858 mostra as primeiras mudanças que compreendem o entorno imediato, conforme retratadas em mapas do século XVIII e início do século XIX. Ao sul do primeiro núcleo de ocupação, diferentes arruamentos surgiram, sinalizando a expansão de construções ao que hoje se conhece como zona sul da cidade. Os Morros da Glória, do Flamengo e do Pasmado apresentam as primeiras construções ao sopé. Em direção ao interior, para além dos quatro morros iniciais, a ocupação passa pela esplanada, entre os morros do Senado e da Providência, chegando com densidade considerável ao Saco de São Diogo (então, aterrado em parte), abrindo caminho para o embrião dos bairros de São Cristóvão e da Quinta da Boa Vista. Cabe ressaltar, em relação a essas duas datas (1769 e 1858), o importante período de transição pelo qual o Brasil passava. Enquanto que, em 1769, havia grande preocupação com a defesa, devido às ameaças

de invasão por nações inimigas (ou por corsários); em 1858, houve grande influência do domínio da Coroa Portuguesa, e, nesta época, o país já experimentava pouco mais de três décadas desde a Declaração de Independência.

O período posterior a ser analisado leva em consideração aquele conhecido pelo apogeu do governo imperial, como aponta Fausto (1995), no que se refere aos aspectos econômicos e sociais. Um dos fatores a se considerar são os vários surtos industriais ocorridos na segunda metade do século XIX. O termo “surto” não é utilizado por mero acaso, uma vez que o crescimento do setor industrial no Brasil nesse período sempre se deu por altos e baixos, dos quais a dependência do capital de outros setores, principalmente o agrário, era crucial. Como nos aponta Maurício Abreu:

[...] extremamente dependente do comportamento do setor agrário exportador, [...] a atividade industrial sofria vezes consideráveis, que dificultavam a reprodução do capital. Esta reprodução era afetada, ainda, pela inexistência de fontes regulares de produção de energia, pela dificuldade de recrutamento de força de trabalho qualificada. (ABREU, 2013, p. 54)

Esse também foi um período de surpreendente crescimento da população e de emergência das questões sociais mais graves, relacionadas a habitação, durante o fim do século XIX. O reflexo dessa cidade, em pleno crescimento, seja pelas ondas de industrialização, seja pelo impulso populacional, pode ser visto, em parte, na *Planta da Cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro*, de 1879 (Figura 3.4).

Figura 3.4 – Planta da Cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro.



Fonte: Luiz Schreiner (1879). Acervo da Biblioteca Nacional.

A Tabela 3.1 mostra a dimensão do crescimento da população residente e a taxa de crescimento demográfico (em %) das freguesias do Rio de Janeiro, entre os recenseamentos de 1872 e 1890.

Tabela 3.1 – População de algumas freguesias do Rio de Janeiro no final do século XIX.

Freguesias	População Residente 1872	População Residente 1890	Taxas de Crescimento 1872-1890 (%)
Freguesias urbanas	228.743	429.745	88
Candelária	10.005	9.701	-3
São José	20.282	42.017	107

Santa Rita	34.835	46.161	33
Santana	38,903	67.533	74
Engenho Velho	15.756	36.988	135
São Cristóvão	10.961	22.202	103
Outras	98.001	214.784	119
Freguesias rurais	46.229	92.906	101
Irajá	5.910	13.130	122
Campo Grande	9.747	15.950	64
Santa Cruz	3.018	10.954	263
TOTAL	274.972	522.651	90

Fonte: adaptado dos recenseamentos de 1872 e 1890 (BRASIL, 1874; 1898).

O último mapa escolhido para essa série de comparações apresenta uma cidade, em 1879, que avançou e consolidou construções para além dos limites iniciais. A conjuntura, exposta de maneira superficial neste capítulo, mas devidamente aprofundada por outros autores (ABREU, 2000; RIOS FILHO, 2014), é oriunda de processos diversos, dos quais se destacou, a título de embasamento inicial, o crescimento demográfico e a onda industrial que atingiu o Brasil nesse período. Não nos cabe, neste capítulo, aprofundar tais questões, por não serem objeto de estudo aqui, mas cabe ressaltar que, por meio delas, é possível ler e interpretar o que os mapas históricos nos mostram, enquanto arquivos temporais e espaciais.

Conforme apontado na Tabela 3.1, o reflexo do crescimento populacional nas freguesias do chamado “centro” consiste no início da expansão de alguns serviços e, principalmente, do fluxo de pessoas para áreas como São Cristóvão e Engenho Velho (freguesias de maior proximidade ao centro). Essa atratividade não se dá apenas pelo surgimento de pequenas oficinas e fábricas, mas também pelo próprio adensamento que as freguesias centrais enfrentavam (Candelária, São José, Santa Rita e Santana). A possibilidade de deslocar pessoas em maior quantidade e em menor tempo também se tornou ponto crucial para a interiorização da população, papel que a ferrovia veio a desempenhar na cidade do Rio a partir de 1870.

O material cartográfico escolhido para dar luz a um pequeno ensaio do papel dos mapas históricos na compreensão das marcas passadas no

espaço geográfico convida-nos a observar como a cidade se modificou ao longo do tempo. O resultado da modificação das formas, ao longo do tempo, expresso nesses mapas, denuncia a importância de se atentar também para os processos atuantes e as forças estruturantes vigentes à época de cada uma dessas “carto-grafias”. Tomando emprestado o sentido que Katuta (2021)² utiliza ao falar das múltiplas maneiras de sistematizar as marcas sobre o espaço ao longo do tempo (“geo-grafias”), os mapas históricos são parte de um “quebra-cabeça” fundamental no estudo do passado das cidades, mas sozinhos não podem dar a efetiva dimensão do fenômeno sobre o espaço. Nesse sentido, os mapas históricos são uma importante ferramenta gráfica para se compreender como o espaço, no balanço do tempo, é construído pelos grupos sociais distintos. Enquanto produto de seu tempo, também estão sujeitos aos diversos vieses ideológicos de sua produção, como nos lembrar Harley (1989); e repletos de incoerências e “desvios” premeditados. Não é por acaso que a invisibilidade de determinados elementos no bojo da cidade ocorre com consentimento e plena ciência daquele que produz uma representação desse lugar. Nesse sentido, um estudo que considere apenas os mapas (escolhidos como fonte principal de estudo) não passará apenas de um esforço por conhecer os pormenores da produção dos próprios mapas; tal abordagem é fundamental para conhecer os pormenores do documento que se trabalha. Ao que se propõe a Geografia, quando se trata da cidade do Rio de Janeiro (ou de qualquer outro lugar), para compreensão das modificações ocorridas na cidade, é fundamental tanto a incorporação de escritos, gravuras e outros estudos quanto de mapas históricos como elementos de base, o que favorecerá a compreensão da dinâmica dos elementos e atores no espaço.

² Em recente publicação dedicada a entender o papel da Cartografia e sua concepção no ensino de Geografia, a autora dedica parte do capítulo a nos lembrar que diferentes modos de perceber, habitar, compreender e grafar, ou seja, “carto-grafar”, têm profunda relação com os diferentes grupos humanos, no curso da História. Quando se toma a visão eurocêntrica do que é Cartografia, visão que se tornou quase hegemônica, a partir do século XIX, não se pode desconsiderar que toda a teoria e os métodos envolvidos nesse processo de representação possuem a intenção de legitimar uma determinada visão de mundo. Em contrapartida, os modos de produção de vida que determinam os modos de vidas nos lugares, as grafias, marcas e territorialidades construídas por diferentes grupos humanos são parte da diversidade que há em nossa Sociedade, compondo as diferentes “geo-grafias” existentes. Por isso, segundo a autora, diferentes modos de (re)existir e estar no mundo pressupõem diferentes “carto-grafias” e “geo-grafias”. Quando se reforça, ao longo do texto, a necessidade de que os mapas históricos sozinhos não resolvem o “quebra-cabeça” de uma Geografia do passado, como o da cidade do Rio de Janeiro, quer se dizer, em outras palavras, que a inserção de outras visões, ainda que de mesma matriz epistemológica, possibilita enriquecer a compreensão do contexto de produção daquele espaço pretérito.

Os nomes dos lugares: retratos de significados

A Toponímia é um elemento essencial para se localizar no espaço. As primeiras sociedades obtinham na Toponímia um meio de criar uma grade referencial, de socializar o saber sobre o território, de informar e criar narrativas sobre o cotidiano e a História do lugar. Ao fundar novos núcleos de povoamento, vias de circulação e referências para a vida cotidiana, os colonizadores portugueses também precisaram construir na cidade do Rio de Janeiro elementos que individualizam os objetos e as áreas no espaço.

Como nos aponta Claval (2014), o batismo do terreno possibilita que os membros de uma sociedade disponham de conhecimentos geográficos para a orientação, não bastando referenciar direções e sentidos; mas que tenham aprendido a interiorizar as sequências, os caminhos e os elementos que comunicam o que foi visto. Dessa forma, para além da localização, a Toponímia também dá sentido ao espaço e comunica por mensagem os significados e as memórias mais importantes para uma sociedade em um determinado período do tempo.

Quando a pensamos dentro de uma cidade, a Toponímia enquadra-se tanto como grade de referência no espaço quanto como uma teia de saberes que visa espacializar memórias e significados entre os grupos que ali desenvolvem suas práticas cotidianas. A praça, o beco, a avenida ou o bairro, cada qual com sua singularidade, celebrando histórias e narrativas, que se conectam no contexto do lugar e das memórias passadas. Essa é, em suma, a essência da Toponímia Urbana, aquela atribuída a elementos nos espaços públicos, nas ruas e nas avenidas. Ela é a perfeita representação da estrutura de manifestação cultural em uma cidade e, em sua maioria, contém atributos de homenagem, comemorações ou exaltações a pessoas, locais, fatos ou eventos.

A alteração do nome de um lugar modifica não só a identidade do objeto como a imagem que se cria sobre ele. Todo e qualquer nome carrega significados. Em uma visão holística, alterar pouco a pouco os nomes representa o movimento da sociedade em uma outra direção. As modificações sofridas diacronicamente estão sempre sujeitas a momentos e fatos que marcaram a vida da cidade, do país ou do mundo. Estão sujeitas aos processos, às funções e às estruturas que, naquele momento, operam no/o lugar.

Torna-se pertinente falarmos, então, em uma determinada “política escalar de nomeação”: Hagen (2011) chamou atenção para sua necessidade

na Geografia. Em muitos momentos, o ato de nomear o espaço mostra-se como resultado de ações políticas, demonstrando o poder de um grupo ou de um governo. Nesse aspecto, a Toponímia da cidade do Rio de Janeiro apresenta-se muito rica, se analisada em sua extensão espaçotemporal. Ela é marcada pelo movimento dessa sociedade em crescente transformação, não sendo alheia aos contextos³. Da Cartografia e de seu produto maior, o mapa, é possível recuperar as formas da cidade, em um dado momento. Os nomes dos lugares, vistos como formas simbólicas espaciais, ou seja, como fixos e fluxos no espaço, que transmitem uma determinada mensagem (CORRÊA, 2007), são parte desse registro. O estudo baseado em mapas históricos e aliado a outros documentos surge como uma excelente fonte de informações para um resgate não apenas das formas, mas dos significados e das memórias do espaço, em uma perspectiva geo-histórica.

A questão fundamental que se pode colocar sobre o Rio e sua Toponímia é: como os mapas históricos podem auxiliar no estudo da Toponímia Urbana? Evidentemente que não se pretende desenrolar argumentos suficientes à construção de uma tese, mas, de maneira inicial, elencar os elementos mais interessantes, para se compreender que os valores, as ideias e os significados relevantes para os grupos sociais dominantes nesses séculos foram sendo alterados e comunicados espacialmente.

Com a intenção de apresentar uma possibilidade de interpretação do espaço assente na Toponímia, com base nos mapas históricos da cidade do Rio de Janeiro, segue adiante uma análise toponímica em mapas dos séculos XVIII e XIX. Como material de análise, é utilizado um conjunto de 11 mapas históricos, datados entre 1713 e 1892. A extração dos topônimos foi realizada por meio de *software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG), formando um banco de dados espaçotemporal. Também foi realizada a análise de aspectos quanto à influência na nomeação e à alteração toponímica.

O contexto da nomeação da Toponímia Urbana do Rio de Janeiro é diverso. A colonização portuguesa é caracteristicamente religiosa, com matriz no catolicismo. A fé esteve presente desde o início, não apenas como extensão de valores cultivados por seus seguidores, mas como mecanismo de controle social e dominação de diferentes grupos e indivíduos. O exemplo crasso que expressa o modo operante dos colonizadores é a vinda dos grupos jesuítas e a criação de companhias de catequese. A forma

³ Contextos aqui entendidos como a conjuntura social, política e econômica de sua época.

de expressar tal dominação na paisagem deu-se pela construção de igrejas, capelas, mosteiros e conventos. Hospitais, também pertencentes a ordens religiosas, estiveram (e ainda estão) presentes, configurando uma estrutura, em 1750, de cerca de 39 edificações.

Como parte da vida cotidiana dos habitantes, as referências iniciais presentes nos nomes dos logradouros eram nomes próprios de moradores das ruas ou lugares. Em alguns casos, nomes ligados aos aspectos da religião católica também eram mencionados. Exemplos de destaque no século XVIII estão nas nomações “Rua da Vala”, “Rua do Cano” ou mesmo “Largo do Carmo”. Cada um desses nomes evoca um aspecto da vida cotidiana da cidade. Nessas ruas, encontravam-se a vala, que escoava parte da água dos terrenos alagadiços; o cano, onde se coletava água para consumo; ou mesmo o Convento do Carmo, localizado em um pequeno largo da cidade. A *Planta da Cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro*, mapa de 1758, ilustra a localização de diferentes construções na cidade e sua respectiva nomenclatura (Figura 3.5).

Figura 3.5 – *Planta da Cidade do Rio de Janeiro* (1758-1760).



Fonte: sem autoria definida (PLANTA ..., 1758). Acervo da Biblioteca Nacional.

Nesse mapa, observa-se que a cidade era limitada, em essência, aos quatro morros mencionados anteriormente. Dispunha dos elementos necessários para a vida cotidiana, o que significa, até mesmo, dizer que a produção do espaço, simbolicamente, estava vinculada aos elementos presentes em seus limites.

Observando a Toponímia Urbana da cidade do Rio de Janeiro, nota-se que lhe é inerente a indicação de posicionamentos geográficos; características físicas; elementos socioculturais da época, comemoração ou celebração de fatos; eventos marcantes na vida da cidade, extensivas para o país (ou, mesmo, de âmbito mundial), homenageando pessoas, de forma local ou mais ampla; como também estruturas do poder político associado ao local. A diferença é que, por meio da Toponímia Urbana, é possível periodizar a predominância dessas características.

Um exemplo é a ligação íntima com o cotidiano dos moradores, quase sempre, de referências presentes na paisagem física e sociocultural do local. Grande parte dos arruamentos no século XVIII possuíam tais características, como Rua dos Ourives, Rua da Alfândega, Rua da Quitanda; alguns destes presentes até os dias atuais. As motivações para os nomes inicialmente atribuídos ou suas alterações transitam por meio de características da época de criação ou de mudanças do topônimo.

Como um topônimo se forma? A formação de um topônimo dá-se por meio de influências sofridas por uma comunidade linguística, que se posiciona em um dado espaço físico e, como este, se identifica, absorvendo-lhe as nuances climáticas, sociais, políticas, religiosas e culturais. A linguística, comumente, ao estudar a Toponímia de diversas áreas, utiliza-se de classificações taxionômicas para enquadrar um nome com base em sua motivação.

Recorrentemente, a classificação taxionômica elaborada por Dick (1992a) é utilizada para classificar os topônimos. Primeiro, é possível separá-los, pela motivação, em natureza antropocultural e natureza física. Essas duas categorias subdividem-se em diferentes classes, responsáveis por tentar abarcar a motivação toponímica em sua essência. Os nomes de lugares que homenageiam pessoas, por exemplo, são conhecidos como antropotopônimos e fazem parte daqueles com natureza antropocultural. Por outro lado, nomes originários com referência a espécies de plantas são enquadrados na categoria de fitotopônimos, fazendo parte daqueles de natureza física. Para maior debate e aprofundamento no tema, é sugerido recorrer a Dick (1992a; 1992b), Menezes e Santos (2006) e Santos; Menezes e Miraglia (2018).

Qualquer classificação desprovida da contextualização que faz surgir as formas simbólicas aqui tratadas, os nomes de lugares, apenas funciona enquanto um método inventariante de nomes atribuídos a objetos no espaço. A taxionomia aplicada não atinge a real motivação de criação de um nome de forma plena. Necessita-se de um aprofundamento do conhecimento histórico, geográfico, cultural e temporal do lugar, para que se possa estabelecer uma classificação mais aproximada à realidade local, tanto para a sua criação como para as alterações que venha a sofrer.

Em termos de Cartografia Histórica, os mapas são considerados como arquivos históricos da época, uma vez que armazenam os nomes da forma como se referiam aos diversos elementos representados. Para a Geografia, vê-se a necessidade de uma classificação voltada à visão histórico-geográfico-cultural, levando-se em consideração os aspectos, fatos e características que definiram ou alteraram o topônimo. Alguns resultados sobre a toponímia extraída dos mapas, de maneira ampla, estão apresentados a seguir, na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Total de topônimos encontrados por tipo de feições em mapas do século XVII ao XIX.

Século	Feições Naturais		Feições Urbanas		Construções		Fontes
	Total de Nomes	Mudanças	Total de Nomes	Mudanças	Total de Nomes	Mudanças	
Século 17	20	8	37	12	29	8	Informações históricas
Século 18	31	4	68	36	71	4	Mapas de 1713, 1750, 1758, 1798 e informações históricas
Século 19 - 1817	36	5	114	14	98	13	Mapas de 1803, 1812 e 1817
Século 19 - 1850	36	3	175	42	126	7	Mapas de 1826, 1842 e 1850
Século 19 - 1889	1	3	226	34	3	5	Mapas de 1858, 1864, 1875, 1885

Fonte: Menezes *et al.* (2018, s.p.).

A Tabela 3.2 possibilita analisar que, em um primeiro plano, o número de feições encontradas em mapas da cidade cresceu com o passar do tempo. Esse é um reflexo da própria expansão da cidade e de seu aparato de infraestrutura. A exceção a esse caso refere-se às feições ditas “naturais”, ou seja, acidentes geográficos, tais como: pontas, praias, morros e afins. Nestes casos, perderam representatividade no que se refere ao número de nomes encontrados. Por outro lado, é possível notar que as feições urbanas tiveram um salto quantitativo, a partir de meados do século XIX, sofrendo modificações expressivas durante o Oitocentos e a partir de 1850.

O século XVII, período anterior ao proposto para o estudo, concentra, a título de contextualização, grande maioria dos nomes de logradouros do centro da cidade do Rio de Janeiro com características ligadas à religiosidade (27% relacionados à classe hagiotopônimos, a maioria com santos e santas do catolicismo). Alguns exemplos são a Rua da Misericórdia (em virtude da igreja de mesmo nome) e o Caminho da Ajuda (onde se situava o Convento da Ajuda). Outros 16,2% estavam atribuídos a nomes de pessoas locais (antropotopônimo), indicando a localização/posição de suas moradas ou comércios. É o caso da Rua de Antônio Nabo, residente da rua com seu nome. Ainda com expressividade, estavam nomes que indicavam relações topológicas entre objetos (dirrematopônimo), tendo como exemplo a Rua de Trás do Carmo (em relação ao Convento de Nossa Senhora do Carmo).

A situação encontrada anteriormente ao século XVIII apresenta a Toponímia, majoritariamente, referente a significados e memórias ligadas à religiosidade do catolicismo português; algo que, com o passar do tempo, será alterado gradativamente para um saber toponímico que passará a socializar datas, eventos e fatos locais e nacionais. Vemos, ao longo do século XVIII, a predominância de nomes ligados a religiosidade, mas que, agora, dividem esse cenário com nomes criados com base em memórias de lugares da Metrópole portuguesa, caracterizando-se como corotopônimos. Um exemplo são o Valongo e o Valonguinho. Como menciona Brasil Gerson, abrindo-nos a dúvida sobre a possível motivação do nome:

Valongo é nome de gente como de acidente geográfico nos dicionários portugueses, e eis por que terá sido por motivo de um Valongo seu morador, ou da área assim chamada perto do Porto, que desse jeito ficaria conhecida a praia onde se concentraria o mercado de compra e venda da triste carga dos navios negreiros. (GERSON, 2013, p. 172)

Também surgem as primeiras referências a nomes, como o do Largo do Carmo, Praça do Carmo, onde funcionava a Igreja de Nossa Senhora do Carmo. No mesmo local, encontrava-se um pelourinho e, posteriormente, uma forca. Marcava-se, assim, um local de castigo e punição, principalmente, aos negros escravizados. Por outro lado, muitos logradouros estavam relacionados aos objetos que neles estavam presentes. Temos como exemplos marcantes a Rua do Cano, por onde passa o cano; e a Rua da Vala, todas sinalizando a presença de uma estrutura hidráulica, ora de abastecimento, ora de despejo de dejetos humanos. Em meados do século XVIII, diversos logradouros foram criados, estabelecendo um sistema que interligava as ruas principais, por becos e travessas. São exemplos de espaços públicos, nesse momento, as praças de São Domingos e Carioca; logradouros ligados a homenagens para a Corte portuguesa, tais como o Largo Real, Beco do Administrador e do Trem; os primeiros topônimos preservados até os dias atuais, como Rua do Ouvidor, Largo da Carioca, Arco do Teles, Rua da Alfândega e Rua da Quitanda. Todos esses, em sua essência, remetem à presença de objetos e pessoas nos recintos encontrados em cada logradouro. Entre estes, cabe um espaço à parte para a Praça da República (nome atual do Espaço Público, no coração da cidade, contendo uma área de recreação, que inclui bancos, jardins, pequenos lagos e animais). Ela é conhecida popularmente como Campo de Santana, mas seu primeiro nome, constituído no século XVII, é Campo da Cidade (já no fim do século, Campo de São Diogo). Posteriormente, Campo de Santana (1753, em virtude da capela dedicada à Nossa Senhora de Santana); Praça dos Curros (1817); Campo das Lavadeiras (1818, em virtude das fontes de águas utilizadas para lavar roupa); Campo da Aclamação (1822, quando D. Pedro I é aclamado imperador do Brasil); Campo da Honra (1831, pela rebelião dos batalhões militares); Campo da Redenção – Campo da Liberdade (1840, com a coroação de D. Pedro II); e, finalmente, Praça da República, a partir de 1889, com a proclamação do novo regime. Entre idas e vindas, nomes oficiais e usados popularmente, prevalece a vontade popular em que grande parte dos cariocas reconhecem o local como Campo de Santana. Entre as inúmeras nomeações e renomeações, esta é aquela mais emblemática sobre a potência do estudo toponímico. Não basta a vontade oficial, do poder público ou mesmo a narrativa que se deseja criar sobre dada porção do espaço quando a vontade popular e o uso cotidiano, para além dos mapas e dos documentos, fazem prevalecer sua vontade e o significado que determinado nome tem para um grupo social ou parcela da sociedade.

O século XIX mantêm-se similar ao passado até sua primeira metade, quando transformações significativas ocorrem não apenas quantitativamente, mas em relação aos significados que os nomes carregam e à mensagem que transmitem. Entre 1850 e 1870, muitos nomes passam a celebrar o regime imperial, por meio de sua força política, surgindo nomes como Rua do Senado, Praça da Constituição, Rua da Assembleia, Rua Sete de Setembro, Rua do Príncipe e da Princesa, Rua Municipal, Largo da Mãe do Bispo e Rua do Regente. O cotidiano evocado pelos nomes quase não mais evidencia a vida cidadina comum, do feirante, do proprietário da quitanda ou do local de abastecimento de água, mas as glórias com a Independência, a constituição que rege a política nacional e a localização do aparato governamental.

Ainda no século XIX, durante 1879 e 1889, muitas mudanças ocorreram nos logradouros para celebrar pessoas, “heróis”, fatos e batalhas ocorridas na Guerra do Paraguai (1864-1870). Ruas anteriormente ligadas a outros significados passaram a se chamar Rua Camerino, Primeiro de Março, Uruguaiana, Marcílio Dias, Riachuelo. Esses 10 anos de mudanças foram os últimos anos do governo monárquico no Brasil, em que se intensificaram, posteriormente, movimentos de renomeação de alguns espaços que atrelavam seus significados ao antigo regime político. As primeiras modificações feitas foram em locais emblemáticos do poder da monarquia, como o Largo do Paço, que passou a se chamar Praça 15 de novembro (em homenagem à data de instauração do novo regime), e a Praça da República, antes Campo de Santana/Campo da Aclamação. Em ambos os locais, eventos marcaram a ascensão do poder imperial ou o acolhimento da Corte e do poder colonial no Brasil.

Nessa rápida exposição sobre a Toponímia da cidade do Rio de Janeiro, algumas considerações podem ser feitas. Os mapas históricos despontam como documentos de grande importância ao estudo da Toponímia de um lugar. No contexto da cidade do Rio de Janeiro e de sua vasta produção cartográfica, exceção em relação à grande maioria das cidades no Brasil, os mapas possibilitam identificar, via representação espacial, onde e quando porções do espaço são (re)nomeadas. Essa é uma mudança que não é apenas na forma de nomear um lugar. É uma mudança em como grupos criam e recriam espaços, com base em relações de dominação; e simbolização, valendo-se de valores e memórias.

Outro ponto interessante para se observar são as fases de renomeações ocorridas no período analisado. É possível dividi-las em geográfica, híbrida

e política. A fase dita geográfica é aquela em que os logradouros tinham o objetivo de indicar proximidade ou pertencimento de algum elemento marcante do seu entorno, fosse um prédio, fosse um serviço ou uma feição geográfica eminentemente local. Eram feições nomeados pela população local e assumidas pelo poder público. Essa fase vai de sua fundação até meados do século XIX (1808-1850).

Na fase híbrida, os logradouros continuam (na maior parte) com o objetivo de identificar elementos marcantes existentes. Deixam de ser nomeados pelo povo, passando o poder público a desempenhar papel preponderante na nomeação. Iniciam-se as nomeações relativas a fatos e pessoas não locais. Essa fase vai até a Proclamação da República (1850-1889).

E, por último, a fase que se pode chamar de política, em que os logradouros praticamente deixam de ter uma indicação geográfica, passando a ter a função de homenagear fatos, pessoas ou elementos, que, na maioria das vezes, não têm ligação com a cultura local. Passam a ser exclusivamente controlados e nomeados pelo poder público. Alterações são muitas vezes contestadas por ações populares — um exemplo marcante é a Praça da República. Essa fase vem desde a Proclamação da República até os dias atuais (1889-atual).

3.3 À GUIA DE CONCLUSÃO

Os mapas históricos são importantes fontes de dados em pesquisas que pretendem compreender, de alguma maneira, as ações e construções da sociedade em um determinado lugar, em um dado momento. Apresentar algumas dinâmicas da cidade do Rio de Janeiro em uma perspectiva diacrônica, sem dúvida, requer o uso cuidadoso desse tipo de material.

Enquanto produtos de seu tempo, em que técnica e métodos não possuem nenhuma intenção de neutralidade, os mapas são importantes aliados para estudar a construção social do espaço no tempo, com base nas mais diversas áreas da Geografia. Como apresentado ao longo deste capítulo, é fonte inestimável, seja para identificar os diferentes nomes atribuídos a uma parcela do território, seja para representar graficamente os resquícios de um passado, que só deixa registro de suas formas pelos documentos históricos.

Neste capítulo, ao apresentar as transformações do espaço da cidade do Rio de Janeiro durante os séculos XVIII e XIX, os mapas foram a principal, mas não única, fonte de dados para aquisição do material necessário a ser

analisado. O estudo do mapa em si, assunto que possibilita um capítulo à parte, abre a chance de entender os pormenores da vasta produção cartográfica da cidade, enquanto elemento de conhecimento do que, do porquê e do como esse lugar foi representado.

No que se refere à Toponímia, foi possível observar que os mapas são elementos que possibilitam a rápida identificação da manutenção ou da alteração de determinado nome de uma feição. Quando utilizados junto a outros documentos, como textos, iconografia e gravuras, possibilitam a compreensão não apenas da configuração espacial onde os nomes se encontram, mas do contexto de nomeação, peça fundamental de um estudo toponímico que não só se atenha à função de inventariar os nomes, sem compreender as possíveis políticas de nomeação que se deram no espaço.

Sobre sua contribuição à Geografia, a Cartografia Histórica assume um importante papel, com a Toponímia, na construção e representação gráfica dos espaços geográficos. Assim, a Cartografia tem o papel de registrar, junto aos atos executivos, o nascimento de tais feições. Em muitos casos, o nome é anterior a qualquer forma de representação, mas é ela que o ajuda em sua difusão. Nessa perspectiva, Harley (1990, p. 4) observa que “publicar o nome não é apenas torná-lo permanente, mas também lhe atribuir autoridade e legitimação, com direito a coordenadas nos mapas oficiais”. Ao publicar o nome de um lugar por meio dos mapas, é possível marcar de forma espaçotemporal sua existência, tal como a intencionalidade dos grupos que a fazem.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. de A. A cidade, a montanha e a floresta. In: FRIDMAN, Fania; HAES-BAERT, Rogério (org.). *Escritos sobre espaço e história*. Rio de Janeiro: Editora Garamond, 2014.
- ABREU, M. de A. Construindo uma geografia do passado: Rio de Janeiro, cidade portuária, século XVII. *Revista GeoUSP*, São Paulo, v. 4, n.1, p. 1-13, 2000.
- ABREU, M. de A. *Evolução urbana do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: IPP, 2013.
- BRASIL. *Recenseamento do Brasil em 1872*. Rio de Janeiro: Typ. G. Leuzinger, 1874. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca=-catalogo?id225477=&view=detalhes>. Acesso em: 8 ago. 2020.

BRASIL. *Synopse do recenseamento de 31 de dezembro de 1890*. Rio de Janeiro: Oficina da Estatística, 1898. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/handle/id/227299>. Acesso em: 15 abr. 2021.

CAMPOS, Frederico Carneiro de. *Planta da cidade do Rio de Janeiro organizada do Archivo militar pelos officiaes*. Rio de Janeiro: Archivo Militar, 1858. Disponível em: http://acervo.bndigital.bn.br/sophia/index.asp?codigo_sophia=34450. Acesso em:

CAVALCANTI, N. [2004]. *O Rio de Janeiro setecentista: a vida e a construção da cidade da invasão francesa até a chegada da corte*. Rio de Janeiro: Zahar, 2015.

CLAVAL, P. *Epistemologia da geografia*. 2. ed. rev. Florianópolis: Editora da UFSC, 2014.

CORRÊA, R. L. Formas simbólicas e espaço: algumas considerações. *Revista GEOgraphia*, Niterói, v. 9, n. 7, p. 1-18, 2007.

DICK, M. V. de P. do A. *A motivação toponímica e a realidade brasileira*. São Paulo: Edições Arquivo do Estado de São Paulo, 1992a.

DICK, M. V. de P. do A. *Toponímia e antroponímia no Brasil: coletânea de estudos*. 3. ed. São Paulo: Serviço de Artes Gráficas da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, 1992b.

FAUSTO, B. *História do Brasil*. 2. ed. São Paulo: Editora da USP, 1995.

GERSON, Brasil. *Histórias das ruas do Rio (e da sua liderança na história política do Brasil)*. 6. ed. Rio de Janeiro: Bem-Te-Vi Produções Literárias, 2013.

HAGEN, J. Theorizing scale in critical place-name studies. *ACME: an International E-journal for Critical Geographies*, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 23-27, 2011.

HARLEY, J. B. Cartography, ethics and social theory. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, [s.l.], v. 27, n. 2, p. 1-23, 1990.

HARLEY, J. B. Deconstructing the map. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, [s.l.], v. 26, n. 2, p. 1-20, 1989.

KATUTA, Â. M. Teorias da cartografia e da representação. In: SPOSITO, Eliseu Savério; CLAUDINO, Guilherme dos Santos (org.). *Teorias na geografia: avaliação crítica do pensamento geográfico*. Rio de Janeiro: Consequência Editora, 2020. p. 483-518.

MASSÉ, Jean. *Planta da cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro, com suas Fortificações*, 1712-1713. Lisboa: Arquivo Histórico Ultramarino, 1713.

MENEZES, P. M. L. de; SANTOS, C. J. B. dos. Geonímia do Brasil: pesquisa, reflexões e aspectos relevantes. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, v. 58, n. 2, p. 193-200, 2006.

MENEZES, P. M. L. *et al.* Evolution and motivation of Rio de Janeiro's Historical Center's streets and public spaces toponymy, from 1750. In: PRACTICAL geography and XXI century challenges. IGU Thematic Conference. Moscou, 2018. Apresentação de trabalho.

PLANTA da cidade do Rio de Janeiro. [Entre 1758 e 1760]. Disponível em: http://acervo.bndigital.bn.br/sophia/index.asp?codigo_sophia=1548. Acesso em: 15 abr. 2021.

RIOS FILHO, A. M. de los. *O Rio de Janeiro imperial*. Rio de Janeiro: Editora Topbooks, 2014.

ROSCIO, J. F. *Planta da cidade Ryo de Janeyro, capital dos estados do Brazil*. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional. 1769-1770.

SANTOS, K. da S.; MENEZES, P. M. L. de; MIRAGLIA, M. Las calles y los mapas históricos. La dinámica de los nombres geográficos, sus memorias y significados. *Geográfica digital*, Resistencia, Argentina, ano 15, n. 30, p. 1-16, jul./dez. 2018.

SCHREINER, Luiz. *Planta da cidade de Sn. Sebastião do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro; Berlim: Guill: Greve, 1879. Disponível em: http://acervo.bndigital.bn.br/sophia/index.asp?codigo_sophia=32962. Acesso em 15 abr. 2012.

A CARTOGRAFIA HISTÓRICA DA IMPERIAL CIDADE DE PETRÓPOLIS NO SÉCULO XIX (1846-1861)

Tainá Laeta

Manoel do Couto Fernandes

4.1 A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA CARTOGRAFIA HISTÓRICA E URBANA

A Cartografia — mais especificamente na presente pesquisa, a Cartografia Histórica — contribui para a compreensão do passado urbano de uma cidade. A geoinformação contida nos documentos históricos cartográficos colabora na compreensão do processo de ocupação urbana, pois possibilita observar, ao longo do tempo, as mudanças dos traçados urbanos, isto é, permite acompanhar a evolução urbana de determinado lugar. Assim como permite entender os atores envolvidos, os materiais e as técnicas utilizados no momento de sua elaboração (SANTOS *et al.*, 2009, p. 24).

O autor Manuel Correia Teixeira, no seu artigo intitulado “A cartografia no estudo da história urbana”, publicado em 2000, analisa a cartografia das cidades de origem portuguesa em várias partes do mundo, por meio do processo de ocupação e colonização ocorridos nos séculos XVI, XVII e XVIII, e aponta a semelhança da história urbana portuguesa e a história urbana de outras localidades. O autor também destaca que, não obstante o processo de ocupação, por um lado, mediante a imposição dos modelos urbanísticos dos colonizadores portugueses, tenha encontrado nas futuras colônias um campo fértil para experiência, por outro, as adversidades encontradas nos diferentes sítios implicaram a reelaboração dos modelos urbanísticos portugueses, em Portugal. Assim, o autor aponta que há um reflexo dos modelos urbanísticos realizados nas colônias, na metrópole (TEIXEIRA, 2000, p. 2).

Dorling e Fairbairn (1997, p. 82) complementam que, no processo de ocupação e exploração, há de se considerar, primeiro, a estrutura econômica mundial vigente, seguida da justificativa para as novas terras colonizadas serem passíveis de ocupação; e, por último, registrar e demonstrar uma colonização bem-sucedida. Dessa maneira, o comércio necessita de conhecimento do sítio a ser ocupado para a exploração de matérias-primas.

O processo de colonização e, assim, a obtenção de propriedade implicam a necessidade de mapeamento da terra, sendo comum, muitas vezes, o financiamento dos colonizadores a cartógrafos. Destacam-se, nesse sentido, os mapas cadastrais, que seriam mapas precisos e de grande escala utilizados desde o início da História egípcia. Dorling e Fairbairn (1997, p. 83) definem que “Os mapas cadastrais são criados especificamente para ajudar no registro da propriedade das parcelas de terra”, contribuindo no sistema de registro de terras e assegurando a identificação inequívoca das propriedades. Na maioria dos casos, os mapas cadastrais são elaborados em grande escala, para atender dados e informações, em escala geográfica local, alimentando, assim, um conjunto de geoinformações de escala grande, para registro e controle.

Os autores salientam que os mapas cadastrais desempenham três papéis importantes: cadastro fiscal, cadastro legal e sistemas de informação da terra. Para finalidade de cadastro fiscal, isto é, tributação sobre as propriedades, o objetivo é aumentar as receitas dos governos, sendo estas taxas anuais ou por meio de transferência de propriedades (compra e venda).

Já o cadastro legal é utilizado como instrumento jurídico, em processos relacionados a disputa de terras, principalmente em áreas onde o valor da terra é elevado, considerando que o valor da terra oscila mais em razão de sua localização do que de sua extensão. O cadastro legal revela sua importância no ato de transferência ou subdivisão da propriedade, acarretando o registro e certificação desses processos. E ainda, são informações que precisam ser constantemente atualizadas, tanto no registro quanto no mapa. Assim, o cadastro legal serve como fonte atualizada de dados espaciais, sendo utilizado na implementação de sistemas de informações fundiárias.

Em terceiro e último, o mapeamento cadastral pode servir de subsídio aos sistemas de informações da terra/fundiárias, em plataforma computacional. Os sistemas de informações fundiárias podem ser alimentados por diversas informações, tais como engenharia; serviços de energia e comunicação; saneamento e limpeza pública; água; gerenciamento e manutenção

das propriedades públicas; e na implementação de legislação específica no planejamento urbano. Soma-se a isso a importância de que os dados informacionais, referentes aos dados cadastrais, possam integrar um banco de dados de referência já existente e, assim, evitar a duplicação de dados e informações. Há ainda que se destacar a importância de esses registros fiscais serem realizados pelo governo, e não pela iniciativa privada, pois perde-se a sistematização já realizada nesses registros e mapas, além da preocupação com a elaboração de novos critérios na distribuição, atendendo a grupos específicos; e não sendo por critérios iguais, para qualquer solicitação de registro de terra.

Posto isso, as funções dos mapas cadastrais poderão ser observadas nos documentos históricos cartográficos e documentos históricos normativos referentes à cidade de Petrópolis. A seguir, será discutido o processo de construção dos referidos documentos históricos cartográficos, ou seja, as informações e os elementos cartográficos contidos nas plantas históricas; mas, principalmente, a sua divisão em quarteirões imperiais, configurando uma estratificação social e segregação espacial, apresentada nos documentos históricos cartográficos da cidade de Petrópolis e que vigora até os dias de hoje, no que diz respeito à organização espacial e morfologia urbana da cidade.

Os documentos históricos cartográficos de Petrópolis datam do século XIX. O primeiro documento cartográfico é a *Planta de Petropolis – 1846*, de autoria de Julio Frederico Koeler (1846a), digitalizada na Companhia Imobiliária de Petrópolis, com base em fotografias, tanto em tomada total como em um conjunto de 191 fotos. O segundo documento pesquisado, também do ano de 1846 e de autoria de Julio Frederico Koeler (1846b), foi elaborado para se juntar ao relatório provincial, a pedido do então presidente da Província do Rio de Janeiro, Aureliano de Sousa e Oliveira Coutinho. O terceiro documento, datado de 1850, encontra-se conservado na Biblioteca Nacional, possui autoria desconhecida e é intitulado *Planta de Petropolis – 1850* (1850). O penúltimo documento cartográfico do século XIX de Petrópolis foi elaborado por Otto Reimarus, denominada *Planta da Imperial Colonia de Petropolis (reduzida para guia dos visitantes) – 1854* (REIMARUS, 1854), arquivada na Biblioteca Nacional. A última planta da cidade de Petrópolis é do ano de 1861, de autoria de Carlos Augusto Taunay, sob o título de *Imperial Cidade de Petropolis e os quarteirões coloniaes (planta reduzida) – 1861* (TAUNAY, 1861), arquivada no Arquivo Histórico do Museu Imperial (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 – Informações gerais das plantas históricas de Petrópolis.

PLANTA HISTÓRICA	AUTORIA	ANO DE ELABORAÇÃO	DIMENSÕES	FONTE	SIGLA
<i>Planta de Petrópolis – 1846</i>	Julio Frederico Koeler	1846	128,9 cm x 128,2 cm	Companhia Imobiliária de Petrópolis (CIP)	1846_CIP
<i>Planta de Petrópolis – 1846</i>	Julio Frederico Koeler	1846	61,5 cm x 65,85 cm	Biblioteca Nacional (BN)	1846_BN
<i>Planta de Petrópolis – 1850</i>	Desconhecida	1850	93,3 cm x 97,8 cm	Biblioteca Nacional (BN)	1850_BN
<i>Planta da Imperial Colonia de Petrópolis (reduzida para guia dos visitantes) – 1854</i>	Otto Reimarus	1854	29,4 cm x 41,2 cm	Biblioteca Nacional (BN)	1854_BN
<i>Imperial Cidade de Petrópolis e os quarteirões coloniaes (planta reduzida) – 1861</i>	Carlos Augusto Taunay	1861	28 cm x 22 cm	Arquivo Histórico do Museu Imperial (AHMI)	1861_AHMI

Fonte: os autores.

4.2 PLANTA DE PETROPOLIS – 1846 (1846_CIP)

No ano de 1846, Koeler elabora a *Planta de Petrópolis – 1846*, também conhecida como *Planta Koeler*. É considerada a primeira planta urbanística do País, contendo 11 quarteirões imperiais — Westphalia, Nassau, Mosella, Ingelheim, Bingen, Rhenania Inferior, Castellania, Rhenania Central, Simmeria, Palatinato Inferior e Palatinato Superior — e duas vilas: Villa Imperial e Villa Thereza. A referida planta é aquarelada com dimensões de 129,2 centímetros de altura por 128,9 centímetros de largura e encontra-se guardada na Companhia Imobiliária de Petrópolis, que sucedeu a antiga Superintendência da Imperial Fazenda de Petrópolis; e esta já havia sucedido a Diretoria da Imperial Colônia, tendo sido Koeler diretor em ambas (LAETA; FERNANDES, 2015, p. 156).

A *Planta de Petropolis – 1846* estava emoldurada com madeira envernizada nas laterais e no verso; já na parte frontal havia uma proteção de acrílico. No ano de 2016, a planta histórica foi restaurada por meio do projeto cultural *Traços de Koeler*, organizado por Flavio Menna Barreto Neves e Eliane Marchesini Zanatta, em comemoração aos 170 anos da *Planta de Petropolis – 1846* (NEVES; ZANATTA, 2016, p. 128).

Além dos nomes dos quarteirões e das vilas imperiais, a referida planta histórica possui outras informações importantes, por exemplo, os terrenos reservados à construção de Palácio Imperial, Igreja de São Pedro de Alcântara, cemitério, quartéis coloniais, rios em formato natural, rios canalizados, afluentes, dois tanques de contenção de enchentes, ruas, praças, estradas, caminhos, projeção de pontes e algumas localidades.

No entanto, vale destacar que, além dessas informações, constam no documento histórico cartográfico informações imprescindíveis ao propósito deste, que são os prazos enumerados que seriam aforados. Ou seja, todos os quarteirões imperiais já foram representados loteados com seus respectivos prazos a serem aforados. Além disso, os prazos continham os nomes dos colonos a ocuparem-nos, sendo tudo isso em uma área levantada em escala (FERNANDES *et al.*, 2017, p. 5).

Outro destaque é relacionado à escala gráfica da planta, onde a medida da escala se encontra em braças portuguesas — a grafia observada é de “brassas” e a grafia da escala é de “Petipé”. Constatou-se também que a planta contém o norte de referência, embora a orientação do documento não seja para o norte, como é comumente delineado em documentos modernos.

A Figura 4.1 mostra a existência dos 11 quarteirões oficiais iniciais e suas duas vilas imperiais, com a intenção de criação de mais três quarteirões imperiais, identificados pelos números 30, 32 e 34, nas iniciais das numerações dos prazos previstos. Ou seja, nota-se um croqui do traçado de novos quarteirões imperiais, já contendo os prazos previstos, também demarcados, nomeados e enumerados, mostrando o intuito de expansão horizontal da cidade. Além da numeração, os prazos continham os nomes dos futuros colonos que os aforariam. Alguns desses prazos continham até a indicação do local para construção dentro dos limites dos prazos.

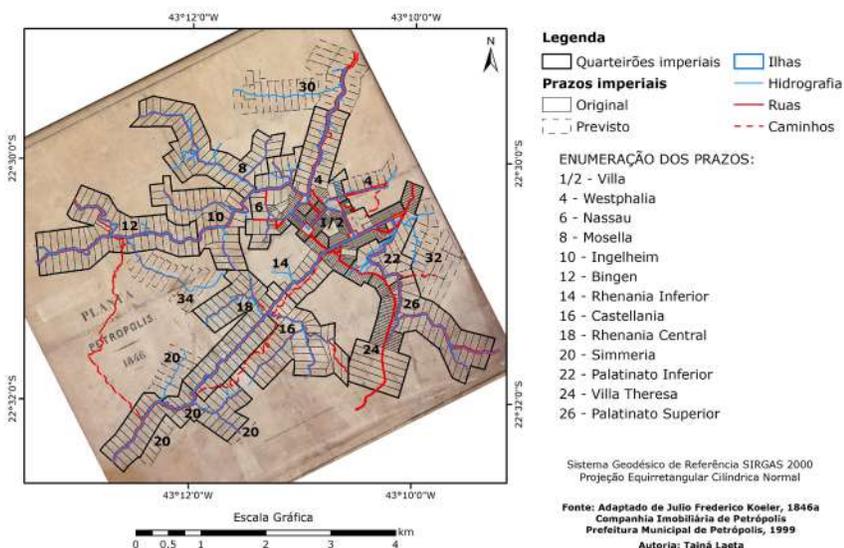
Após o georreferenciamento, observou-se na planta histórica que a medida de 50 braças equivale a 11.000 centímetros, ou seja, a planta encontra-se na medida de braças portuguesas, onde 1 braça corresponde a 220 centímetros. Nesse sentido, foi possível também conhecer a escala da planta histórica, que é de 1:5.000, sendo classificada, por sua natureza de representação, como cadastral.

Ainda após o processo de georreferenciamento da planta histórica, foi realizada a vetorização de suas feições, e, quanto aos prazos imperiais originais, foi contabilizado, na referida planta histórica, o total de 855 prazos imperiais, sendo 210 de 1ª classe, 26 de 2ª classe, 181 de 3ª classe, 431 de 4ª classe e 7 prazos para construções específicas, entre os quais 6 prazos no quarteirão Villa Imperial e 1 prazo no quarteirão Nassau.

Segundo Eppinghaus (2010, p. 2), não há referência a que instrumentos Koeler contou para realizar o levantamento topográfico da cidade de Petrópolis, mas o autor destaca que Koeler deve ter feito uso de bússola, podômetro e aneroide nos reconhecimentos de estruturas ao longo das estradas e rios principais, taqueômetro e nível nos levantamentos e, talvez, o clinômetro nas seções e perfis. O processo de levantamento, o desenho e o projeto foram realizados simultaneamente e iniciados após 16 de março de 1843, ou seja, data do Decreto Imperial n.º 155 (BRASIL, 1843), que deu origem ao processo de povoação da cidade, tendo sido finalizado em 1846. Isso demonstra que Koeler realizou o levantamento da planta em um período de três anos.

Figura 4.1 – Delimitação dos quarteirões, vilas e prazos imperiais originais e previstos, com a enumeração estipulada por Koeler na *Planta de Petrópolis – 1846*, da Companhia Imobiliária de Petrópolis, para identificação dos quarteirões e prazos imperiais, como também feições hidrográficas e viárias.

Quarteirões e Prazos da 'Planta de Petrópolis - 1846'



Fonte: os autores, adaptada de Julio Frederico Koeler (1846a).

Essa planta destaca-se por ser, além do primeiro documento cartográfico de Petrópolis, (julga-se ainda) a planta de trabalho (ou de campo) do engenheiro alemão. O que se justificaria por observar na planta intervenções diretas, como anotações de cálculos e indicações de novos quarteirões e prazos a distribuir; isto é, a existência da delimitação de prazos destinados à expansão da cidade. Entretanto, os mesmos prazos não constam na planta que foi utilizada para ser juntada ao Decreto Imperial n.º 155 na criação da cidade. Assim, é na *Planta de Petrópolis – 1846*, da Companhia Imobiliária de Petrópolis, junto aos documentos de regulamentação de criação da cidade, que se observa a projeção de crescimento horizontal da cidade.

4.3 PLANTA DE PETROPOLIS – 1846 (1846_BN)

O segundo documento histórico cartográfico, também datado de 1846 e sob o mesmo título do anterior, *Planta de Petrópolis – 1846*, foi gravado no Rio de Janeiro pela Litographia do Commercio, sob encomenda de 500 cópias ao litógrafo Pedro Victor Larée, firma V. Larré & CIA ou Litographia Imperial. Esse documento (sob guarda da Biblioteca Nacional), desenhado em nanquim e sem conter adição de pigmentos, possui suas dimensões reduzidas quase à metade, em relação ao documento original, com 61,5 centímetros de altura x 65,85 centímetros de largura.

O referido documento histórico cartográfico também é assinado por Julio Frederico Koeler e solicitado pelo então presidente da Província do Rio de Janeiro, Aureliano de Sousa e Oliveira Coutinho, para se juntar ao *Relatório do presidente da Província do Rio de Janeiro, O Senador Aureliano de Sousa e Oliveira Coutinho, na abertura da Assembléa Legislativa Provincial no 1º de março de 1846, acompanhado do orçamento da receita e despesa para o anno financeiro de 1846 a 1847* (BRASIL, 1846).

Consta no documento o nome dos 11 quarteirões imperiais — Westphalia, Nassau, Mosella, Ingelheim, Bingen, Rhenania Inferior, Castellania, Rhenania Central, Simmeria, Palatinato Inferior e Palatinato Superior — e de duas vilas: Villa Imperial e Villa Theresa. Assim como na planta anterior, há informações, mesmo que de forma reduzida, sobre rios, praças, projeção de pontes, marcação da área de construção (dentro do limite dos prazos) e localizações: cemitério, palácio, igreja e quartéis coloniais (LAETA; FERNANDES, 2015, p. 158).

O relatório estipulava as diretrizes sobre a distribuição dos prazos imperiais, como também determinava a finalidade de uso dos prazos de

acordo com as quatro classes definidas. Assim, foi estabelecido no Relatório da Província de 1846 que os prazos de 1ª classe deveriam ser destinados a negociantes, artistas e pessoas da corte que quisessem passar o verão no clima temperado da serra. Possuem ordinariamente 10 braças de frente e 70 braças de fundo; e ocupam a frente das ruas e praças da futura Villa Imperial.

Os prazos de 2ª classe ocupavam os terrenos do subúrbio chamado Villa Theresa, mais próximo ao alto da serra; ou seja, são os prazos que se encontravam perto do limite da Villa Imperial. Estes prazos devem ser distribuídos com a mesma destinação que os prazos de 1ª classe. Possuíam dimensão estipulada de 15 braças de frente e 100 braças (ou mais) de fundo.

Os prazos de 3ª classe eram destinados a artistas que não se ocupassem muito da lavoura; ocupavam as beiras da estrada geral (Estrada Nova do Porto da Estrella a Minas Geraes ou Estrada Normal) e possuíam 15 braças de frente, com 70 (ou 100) braças de fundo.

Por último, os prazos de 4ª classe eram os reservados à lavoura e ocupavam os terrenos mais periféricos, ou seja, com dimensões maiores e mais distantes da Villa Imperial, tendo uma área de 50 braças de frente e 100 braças (ou mais) de fundo.

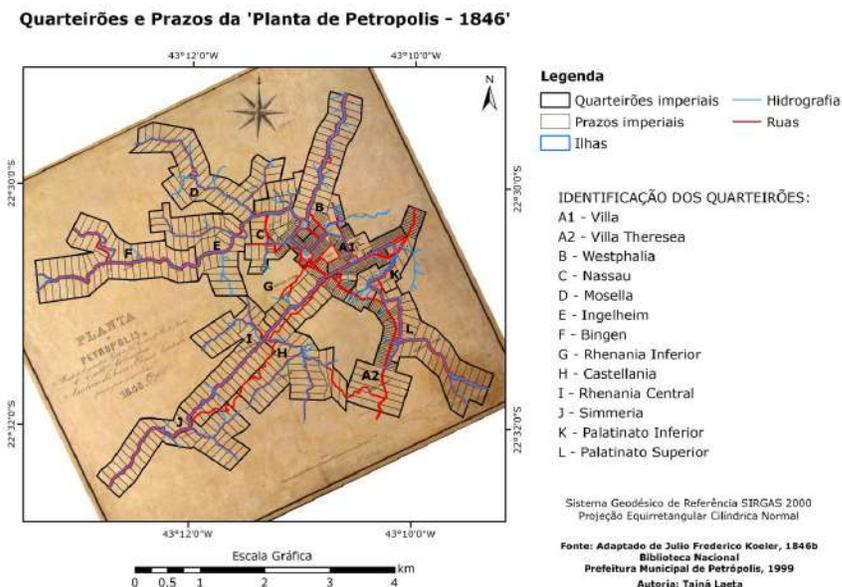
No referido relatório provincial, consta ainda a informação sobre o total de prazos para cada classe, como também quantos prazos já distribuídos, quantos ainda por distribuir e as solicitações de espera para aforamento na Villa Imperial. Os prazos de 1ª classe somavam o total de 216, com 92 já distribuídos, 124 a distribuir e o requerimento de 106 pedidos. Os prazos de 2ª classe totalizavam 26 e ainda não haviam sido distribuídos. A 3ª classe contabilizava 169 prazos, entre os quais 131 já distribuídos. E, por último, os prazos de 4ª classe, que detinha a maior quantidade de prazos, com o valor de 440 prazos e 393 já distribuídos.

Após o georreferenciamento, observou-se na planta histórica que a medida de 100 braças equivale a 22.000 centímetros, ou seja, a planta encontra-se com unidade de medida de braças portuguesas, em que 1 braça corresponde a 220 centímetros. Nesse sentido, foi possível conhecer também a escala da planta histórica, que é de 1:10.000, ou seja, a planta juntada ao Relatório da Província foi elaborada em escala menor que a planta anterior, considerada de campo de Koeler. Mesmo em escala menor, é classificada por sua natureza de representação, assim como na planta anterior, como escala de mapeamento cadastral.

Assim como na primeira planta histórica de Koeler, após o georreferenciamento do documento cartográfico, foi realizada a vetorização de suas feições. No que concerne aos prazos imperiais, estes totalizaram 854. Porém, cabe destacar que, apesar da diferença do número total de prazos ser de apenas 1, em comparação ao registrado na *Planta de Petrópolis – 1846*, guardada na Companhia Imobiliária de Petrópolis (1846_CIP), destaca-se a diferença do número de prazos relativos às classes determinadas. Essa diferença pode ser relativizada por ser a primeira, considerada de campo; e a segunda ser o documento cartográfico juntado ao relatório provincial para, assim, implementar o “plano povoação palácio de verão” (Figura 4.2).

No entanto, o que se sublinha é a diferença da contagem dos prazos existentes no documento cartográfico *Planta de Petrópolis – 1846*, da Biblioteca Nacional (1846_BN); e os prazos registrados no *Relatório do Presidente da Província do Rio de Janeiro, o Senador Aureliano de Sousa e Oliveira Coutinho, na abertura da Assembléa Legislativa Provincial no 1o de março de 1846, acompanhado do orçamento da receita e despeza para o anno financeiro de 1846 a 1847*.

Figura 4.2 – Delimitação dos quarteirões, vilas e prazos imperiais, como também as feições hidrográficas e viárias na *Planta de Petrópolis – 1846*, com a identificação dos quarteirões imperiais.



Fonte: os autores, adaptada de Julio Frederico Koeler (1846b). Acervo da Biblioteca Nacional.

Na análise conjunta do *Relatório da Província* e do referido documento histórico cartográfico, contabilizou-se para o *Relatório da Província* o total de 851 prazos imperiais, sendo: 216 de 1ª classe, 26 de 2ª classe, 169 de 3ª classe e 440 de 4ª classe. Já a planta histórica contabilizou 854 prazos, com 207 prazos de 1ª classe, 26 de 2ª classe, 173 de 3ª classe, 441 de 4ª classe e sete prazos para construções específicas. Essa diferença muito se deve à transposição de instruções e informações contidas em um documento escrito para o desenho, no caso, o mapa.

Apesar de não haver tantas informações quanto na planta anterior (por exemplo, nome dos colonos, números referentes aos prazos criados e prazos reservados à expansão da cidade), há um esboço de anotações em 18 prazos, sendo 15 no quarteirão Villa e três no quarteirão Palatinato Inferior, contendo o nome dos colonos e o número dos prazos. Nessa mesma planta, assim como na anterior, a palavra “escala” consta escrita na forma de “Petipé”; mas, contrariamente à anterior, a grafia da sua medida está escrita como “Braças”, e não “Brassas”.

Um fato a destacar nessa planta é a inscrição feita nela, com os seguintes dizeres: “Mandada levantar pelo Presidente da Província do Rio de Janeiro O Excelentíssimo Senhor Conselheiro Aureliano de Souza Oliveira Coutinho, para se juntar ao seu relatório”. Sob a posse dessas duas plantas e os cálculos de suas escalas, pode-se concluir que a segunda mencionada é uma redução da primeira planta elaborada por Koeler, apresentando uma série de generalizações, a fim de ser utilizada como anexo ao relatório do Plano de Povoação da cidade de Petrópolis.

4.4 PLANTA DE PETROPOLIS – 1850 (1850_BN)

Na busca por mais documentos, foram encontrados outros três documentos históricos cartográficos da cidade de Petrópolis e todos datam do século XIX, respectivamente, dos anos de 1850, 1854 e 1861.

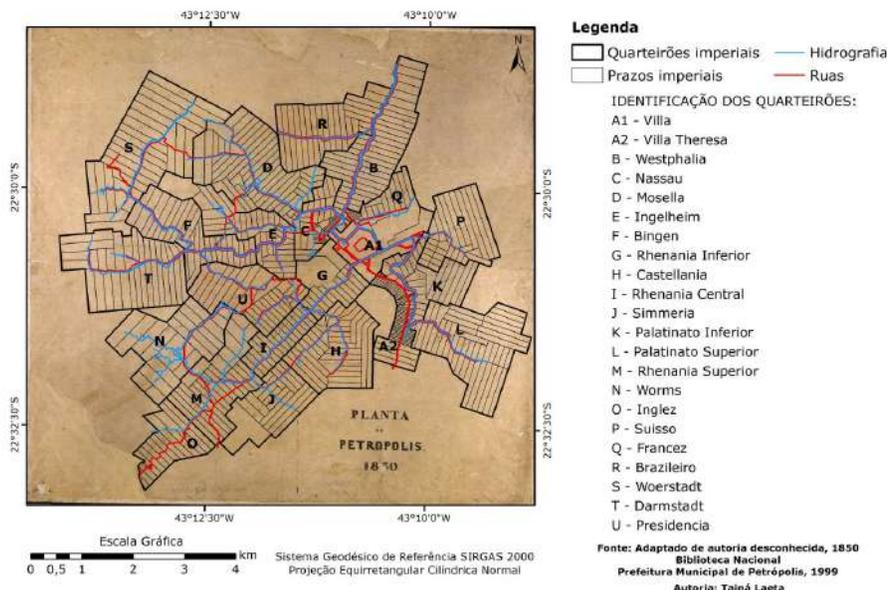
A primeira planta histórica desse conjunto de três é a *Planta de Petropolis – 1850*, que se encontra arquivada na Biblioteca Nacional. Essa planta é aquarelada, com dimensões de 93,3 centímetros de altura por 97,8 centímetros de largura; e de autoria desconhecida. Em comparação com os outros documentos cartográficos pesquisados, este apresenta algumas partes avariadas, principalmente no canto inferior esquerdo, onde consta a informação sobre a escala gráfica do documento e, provavelmente, onde poderia haver alguma informação sobre a autoria.

Essa planta destaca-se por apresentar um aumento no número de quarteirões imperiais, passando de 11 para 20 (além das duas vilas imperiais), em apenas quatro anos após a elaboração do documento cartográfico que orientou o processo de ocupação da cidade de Petrópolis: a *Planta Koeler*. Assim, conta com os 11 anteriores — Westphalia, Nassau, Mosella, Ingelheim, Bingen, Rhenania Inferior, Castellania, Rhenania Central, Simmeria, Palatinato Inferior e Palatinato Superior — e duas vilas — Villa Imperial e Villa Theresa —, mais os nove quarteirões novos criados: Rhenania Superior, Wormz, Inglês, Suisso, Francez, Brasileiro, Woerstadt, Darmstadt e Presidencia. Ou seja, no intervalo de quatro anos de elaboração de um documento cartográfico para outro, houve uma expansão dos limites da cidade (Figura 4.3).

No processo de extração e vetorização das feições na *Planta de Petrópolis – 1850*, além dos 20 quarteirões imperiais e suas duas vilas, foram vetorizados 827 prazos. Esse dado difere da informação anterior, pois, se a planta de 1850 contava com uma expansão da cidade, com mais nove quarteirões imperiais, conseqüentemente, deveria haver uma quantidade maior de prazos. Entretanto, na análise do documento, observou-se que a Villa Imperial não possuía a demarcação de seus prazos imperiais. Assim, a soma total de prazos, relativa aos 11 quarteirões originais e suas duas vilas, foi de 533 prazos, ou seja, a Villa Imperial não contabilizou nenhum prazo. Já os nove quarteirões novos criados apresentaram um acréscimo de 294 novos prazos para aforamento.

Figura 4.3 – Delimitação dos quarteirões, vilas e prazos imperiais, como também as feições hidrográficas e viárias na *Planta de Petrópolis – 1850*, com a identificação dos quarteirões imperiais.

Quarteirões e Prazos da 'Planta de Petrópolis - 1850'



Fonte: os autores, com base na obra original (PLANTA..., 1850). Acervo da Biblioteca Nacional.

Segundo os propósitos estipulados no *Relatório da Província* de 1846 para determinar as classes dos prazos imperiais a serem aforados, este foi tomado como referência, para estabelecer a que classe pertencia cada prazo imperial da planta de 1850; ou seja, de acordo com o uso/atividade desenvolvida. Assim, dos 827 prazos da planta de 1850, 26 foram classificados como de 2ª classe, 96 de 3ª classe, 704 de 4ª classe e um prazo para construção específica no quarteirão Nassau, sendo este o prazo 617, referente à construção do Quartel de Bragança.

Constam na planta anotações do nome dos quarteirões, rios principais e alguns de seus afluentes, além das demarcações de pontes. As praças foram demarcadas em número reduzido e não foram nomeadas, o que mostra perda de informação. Em relação aos prazos imperiais, estes têm apenas representados os seus traçados, não havendo nenhuma informação sobre a numeração/identificação. Nota-se também a ausência do nome dos colonos e das ruas, contendo somente o nome dos quarteirões imperiais, das vilas e dos rios principais.

É a única planta que não apresenta legenda, à exceção da *Planta de Petropolis – 1846*, da Companhia Imobiliária de Petrópolis (1846_CIP), que, por sua dimensão e sua escala, apresentou todas as informações inseridas no próprio desenho. Outro destaque da escassez de informações desse documento é em relação à Villa (Villa Imperial), onde, além de não representar seus respectivos prazos, não apresenta seus limites bem definidos.

Quanto à planta, apesar de mostrar indícios de interferência para restauração, não foi passível de recuperação a parte na qual constava a escala gráfica, podendo-se somente observar que estava na unidade de medida de escala portuguesa, com grafia de “Braças”. Assim, também foi inviável o cálculo de sua escala cartográfica.

4.5 PLANTA DA IMPERIAL COLONIA DE PETROPOLIS (PARA GUIA DOS VISITANTES) – 1854 (1854_BN)

O segundo documento cartográfico de Petrópolis, posterior à *Planta Koeler*, é a planta elaborada por Otto Reimarus, intitulada: *Planta da Imperial Colonia de Petropolis (reduzida para guia dos visitantes) – 1854*. Esta foi impressa no Rio de Janeiro, pela Lithographia Imperial de Resenburg, sob a responsabilidade do litógrafo Louis Wiegeland. É aquarelada e com dimensões de 29,4 centímetros de altura x 41,2 centímetros de largura, arquivada também na Biblioteca Nacional.

Otto Reimarus, assim como Koeler, era engenheiro. Não se sabe ao certo sua nacionalidade, mas suspeita-se ser de origem alemã. Entretanto, segundo Oliveira (2000, p. 3), alguns artigos apresentam-no como sendo de origem russa ou suíça. Não se tem conhecimento sobre sua data de nascimento, mas uma publicação no *Jornal Correio Mercantil*, de 25 de agosto de 1859, aponta para seu falecimento neste mesmo ano, em razão de febre amarela, a bordo do *Cliper Francês Commerce de Paris*, com destino à Alemanha.

Ainda segundo Oliveira (2000, p. 3), a presença de Otto Reimarus na cidade de Petrópolis é marcada por alguns documentos, que constam no Arquivo da Imperial Fazenda de Petrópolis, relacionados à elaboração de algumas plantas. Consta no relatório do ano de 1857 do então diretor da Superintendência da Imperial Fazenda, o Capitão do Imperial Corpo de Engenheiros José Maria Jacyntho Rebello (16/4/1855 a 16/5/1857), menção à abertura do caminho para Paty de Alferes, acarretando o surgimento do Quarteirão Leopoldina, elaborado por Otto Reimarus.

Nessa planta, observa-se o acréscimo do quarteirão “PrincezaImp”. Assim, conta com os 11 quarteirões iniciais da *Planta Koeler* (Westphalia, Nassau, Mosella, Ingelheim, Bingen, Rhenania Inferior, Castellania, Rhenania Central, Simmeria, Palatinato Inferior e Palatinato Superior; e duas vilas: Villa Imperial e Villa Theresa), mais os nove quarteirões novos, criados na planta de 1850 (Rhenania Superior, Wormz, Inglez, Suisso, Francez, Brazi-leiro, Woerstadt, Darmstadt e Prezidencia).

Ressalta-se o fato de ser a primeira vez a apresentar no título o intuito de ser uma planta a servir “para guia de visitantes”, caracterizando, assim, um objetivo de ser uma planta turística. Outra característica importante a ser destacada no título é a ideia de ser uma planta reduzida, o que sugere que esta partiu de uma planta em escala maior, provavelmente a de 1850, sua antecessora.

A escala gráfica é apresentada escrita em português, estando em braças portuguesas com a grafia de “Braças”. O recurso da legenda nesse documento é em virtude de sua dimensão, pois foi elaborado em escala menor, 1:34.000, com dimensões aproximadas de 23% de largura e 32% de altura, em relação ao documento cartográfico *Planta de Petropolis – 1846* (1846_CIP).

Por ser um documento reduzido em suas dimensões, algumas informações não foram passíveis de serem representadas na planta; isto é, dentro do limite do desenho; e, por isso, esse documento é mais generalizado do que o documento anterior. Pela mesma razão, não consta informação referente à numeração dos prazos da Villa Imperial, apresentando somente o limite dos quarteirões e seus prazos constituintes, além dos nomes dos colonos nos respectivos prazos.

Semelhante à contabilização dos prazos imperiais, performada na planta de 1850; isto é, seguindo as instruções do *Relatório da Província* de 1846, foi feita a classificação dos prazos da planta de 1854 de acordo com a pertinência à sua classe. Assim, na vetorização das feições do documento cartográfico, no que diz respeito aos prazos imperiais, foi contabilizado um total de 1.199 prazos, sendo 241 de 1ª classe, 26 de 2ª classe, 183 de 3ª classe, 744 de 4ª classe e cinco prazos para construções específicas, sendo quatro deles inseridos no quarteirão Villa Imperial; e apenas um inserido no quarteirão Nassáo.

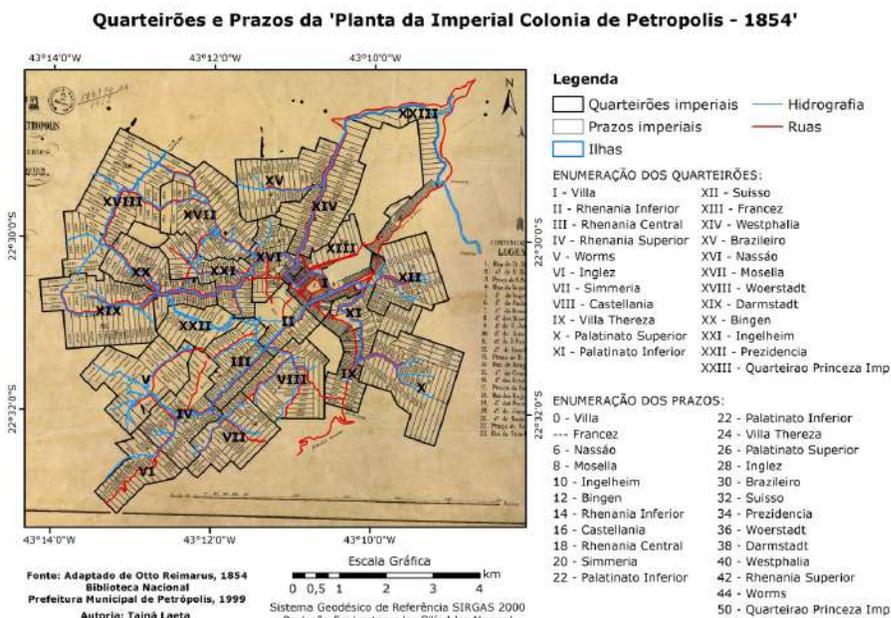
Em comparação com o documento anterior, há uma diferença de 373 prazos a mais, ou seja, no documento em comento foram registrados 1.199 prazos. No entanto, vale lembrar que os prazos da Villa Imperial não foram assinalados na planta de 1850. Assim, comparando os prazos dos 11 quarteirões iniciais, o documento de 1850 registrou 533 prazos. Ainda seguindo a

comparação dos prazos registrados nos 11 quarteirões iniciais demarcados por Koeler, nos dois documentos cartográficos do ano de 1846, foi contabilizado, respectivamente, um total de 855 (1846_CIP) e 854 (1846_BN) prazos; enquanto que o documento de 1854 apresenta um total de 848 prazos.

No que concerne aos nove quarteirões novos, criados na planta de 1850, esse documento apresentou um total de 293 prazos, enquanto que a planta de 1854 teve um total de 283 prazos. No entanto, o maior acréscimo foi em virtude da criação do “Quarteirão Princeza Imp.,” na planta de 1854, composto por 68 prazos.

Outra peculiaridade na planta de Otto Reimarus é a enumeração dos quarteirões imperiais em algarismos romanos, e não os números pares e arábicos, já estabelecidos para identificação dos prazos por Koeler. Entretanto, a numeração arábica, determinada anteriormente por Koeler, na identificação dos prazos, foi mantida por Otto Reimarus (Figura 4.4).

Figura 4.4 – Delimitação dos quarteirões, vilas e prazos imperiais, como também as feições hidrográficas e viárias na *Planta da Imperial Colonia de Petropolis (reduzida para guia dos visitantes) – 1854*, da Biblioteca Nacional, com a enumeração dos quarteirões e prazos imperiais.



Fonte: os autores, adaptada de Otto Reimarus (1854).

4.6 IMPERIAL CIDADE DE PETROPOLIS E OS QUARTEIRÕES COLONIAES (PLANTA REDUZIDA) – 1861 (1861_AHMI)

A última planta estudada na presente pesquisa é a do ano de 1861, de autoria de Carlos Augusto Taunay (1791-1867), sob o título de *Imperial Cidade de Petropolis e os Quarteirões Coloniaes (planta reduzida) – 1861*. A planta histórica é aquarelada, com dimensões de 22 centímetros de altura por 28 centímetros de largura, e encontra-se guardada no Arquivo Histórico do Museu Imperial (Ibram, MinC, nº 29/2017, SGI 1152/2017-07). Vale destacar que essa planta histórica foi descoberta inicialmente na publicação de 1862, de Carlos Augusto Taunay, intitulada *Viagem Pittoresca a Petropolis para Servir de Roteiro aos Viajantes e Recordação deste Ameno Torrão Brasileiro*. Posteriormente, foi identificado que uma cópia do documento original se encontrava sob a guarda do Arquivo Histórico do Museu Imperial.

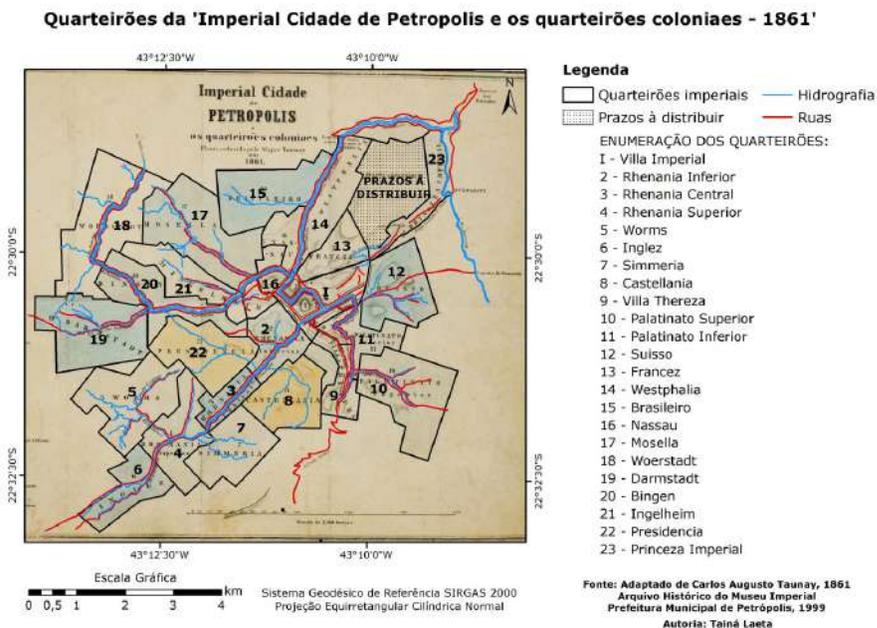
A planta histórica de 1861 apresenta os mesmos 21 quarteirões, que já constavam na *Planta da Imperial Colonia de Petropolis (reduzida para guia dos visitantes) – 1854*, além de uma vila (Villa Thereza). Ressalta-se que a Villa Imperial nessa planta é apresentada como “Cidade”, onde os limites da antiga Villa Imperial e da Cidade são os mesmos. Assim, pode-se considerar que foram mantidas as 23 delimitações da planta de Otto Reimarus. Outra informação que se manteve em relação à planta de 1854 foi a enumeração dos quarteirões imperiais, onde Taunay utilizou a mesma numeração de Reimarus, apenas alterando a forma de representação de número romano para arábico (Figura 4.5).

No referido documento cartográfico, os limites de seus quarteirões não apresentam nenhuma demarcação dos seus respectivos prazos. Soma-se ainda o fato de que seus limites eram às vezes de difícil identificação, tendo sido necessário consultar os limites dos quarteirões, estabelecidos nos documentos cartográficos anteriores, como também da hidrografia para realizar o seu traçado.

Assim como a anterior, essa planta contém nomes dos quarteirões imperiais, rios principais e alguns afluentes, localidades, além de nomes de praças e ruas; onde estas duas últimas são identificadas por letras, tanto no mapa quanto na legenda. A escala gráfica é apresentada escrita em português, estando em braças portuguesas e com a grafia de “Braças”. No seu título consta *Planta reduzida pelo Major Taunay*; e, assim como a anterior de Reimarus, sugere-se que a planta em comento partiu de uma planta em

escala maior. O que pode ser ratificado quando calculada e descoberta a escala dessa planta (1:42.000); ou seja, a escala dessa planta é, de fato, menor que a dos documentos anteriores.

Figura 4.5 – Delimitação dos quarteirões, vilas e prazos imperiais e de uma área com “prazos a distribuir”, como também as feições hidrográficas e viárias na planta *Imperial Cidade de Petrópolis e os quarteirões coloniais (planta reduzida)* – 1861, com a enumeração dos quarteirões imperiais.



Fonte: os autores, adaptada de Carlos A. Taunay (1861). Acervo do Arquivo Histórico do Museu Imperial.

Além dos 21 quarteirões imperiais e das duas vilas, mantidos em relação à planta de 1854, uma particularidade da planta em comento é o fato de apresentar uma área demarcada para futuros prazos a serem distribuídos; identificada no mapa como: “PRAZOS A DISTRIBUIR”; ou seja, aparece a indicação de um futuro quarteirão, já delimitado nesse mapa.

4.7 À GUISA DE ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE AS PLANTAS HISTÓRICAS DA IMPERIAL CIDADE DE PETRÓPOLIS

O propósito do documento cartográfico *Planta de Petropolis – 1846*, que se encontrava sob a guarda da Companhia Imobiliária de Petrópolis, de autoria de Julio Frederico Koeler, serviu para o controle de distribuição e ocupação dos primeiros prazos, do núcleo urbano inicial da cidade de Petrópolis; e, conseqüentemente, para realizar a cobrança de foro sobre os prazos aforados. Isso tudo cumprindo as exigências que constavam nos documentos normativos. Nota-se esse propósito pelas suas anotações referentes ao nome dos colonos (foreiros) a ocuparem os prazos; assim como pelo número de cada prazo e pela indicação do local de construção (dentro do limite de cada prazo); e pelas dimensões dos prazos de acordo com a sua classe.

Tanto serviu para controle que a numeração dos prazos tinha em sua lógica ser sempre iniciada por número par, identificando cada quarteirão, onde os dois últimos números eram de controle de ordenação do foreiro; e os números iniciais referiam-se ao número de identificação do quarteirão.

Vale destacar que os rios Piabanha, Quitandinha e Palatino dão à cidade um caráter delineador no processo de ocupação, visto que foi de seus vales que Koeler estabeleceu a área inicial de instalação do núcleo urbano. Com o objetivo de preservar os cursos d'água, para não serem utilizados como local de dejetos, Koeler estabelece o traçado vertical dos prazos em relação aos cursos d'água; e ainda determina o local de construção dentro dos prazos, sendo este na parte frontal dos prazos e com a frente destes voltada para o rio.

Dos 216 prazos demarcados de 1ª classe (com todos exclusivos da Villa Imperial), 6 destes foram reservados para edificações específicas; e 210 reservados aos foreiros — entre os quais, 92 já se encontravam distribuídos e 124 a distribuir —; com destaque para 106 requerimentos em espera (segundo o relatório provincial de 1846). Os prazos de 1ª classe eram destinados a negociantes, artistas e pessoas da corte. Os prazos de 2ª classe eram terrenos que pertenciam à Villa Theresa, perfazendo um total de 26, a serem distribuídos pelas mesmas exigências que os de 1ª classe; e, por isso, encontravam-se perto do limite da Villa Imperial.

Os prazos de 3ª classe eram destinados a artistas que não se ocupassem muito da lavoura; e ocupavam as beiras da estrada geral (Estrada Nova do

Porto da Estrella a Minas Geraes ou Estrada Normal). Os prazos de 3ª classe aforados eram no total de 181, de acordo com o documento cartográfico, mais o prazo 617, destinado à construção específica do Quartel de Bragança.

A 4ª classe somava 431 prazos, ou seja, representava mais da metade do total da soma de todos os prazos (1ª, 2ª e 3ª classes) demarcados em toda a planta. A preponderância dos prazos de 4ª classe exprime o objetivo inicial da compra da Fazenda do Córrego Seco (e a anexação de terras de fazendas vizinhas, Itamarati e Quitandinha), de tornar Petrópolis, uma fazenda agrícola. O que também fica evidenciado por 7 (Mosella, Ingelheim, Bingen, Castellania, Rhenania Central, Simmeria e Palatinato Superior) dos 11 quarteirões imperiais serem compostos de prazos exclusivamente de 4ª classe.

A espacialização dos prazos das quatro classes demonstrou a estratificação social da área gênese de Petrópolis, o que evidencia uma segregação espacial bastante explícita. Assim, o núcleo nobre é a Villa Imperial, com a construção do Palácio Imperial, local de moradia da família imperial, elevação da Matriz de São Pedro de Alcântara; e, como colocado anteriormente, prazos, apesar de testadas menores, serem reservados aos nobres.

Seguindo a estratificação social e a segregação espacial estabelecida, os quarteirões vizinhos à Villa Imperial eram compostos por prazos de 2ª e 3ª classes. Onde, na Villa Theresa, os prazos de 2ª classe se encontravam mais próximo ao alto da serra e vizinhos à Villa Imperial; e seus prazos de 3ª e 4ª classes eram estipulados conforme mais se distanciassem do alto da serra, respectivamente. Já os quarteirões Westphalia, Nassau, Rhenania Inferior, Palatinato Inferior, também vizinhos à Villa Imperial, apresentavam prazos de 3ª e 4ª classes.

A Planta de Petropolis – 1846, guardada na Biblioteca Nacional, também elaborada Por Julio Frederico Koeler, teve como propósito ser juntada ao *Relatório do presidente da Província do Rio de Janeiro, O Senador Aureliano de Sousa e Oliveira Coutinho, na abertura da Assembléa Legislativa Provincial no 1º de março de 1846, acompanhado do orçamento da receita e despeza para o anno financeiro de 1846 a 1847*. O que fica evidenciado, por constar na planta a inscrição “Mandada levantar pelo Presidente da Província do Rio de Janeiro O Excelentíssimo Senhor Conselheiro Aureliano de Souza Oliveira Coutinho, para se juntar ao seu relatório”.

Nesse relatório, foram estipuladas as condições de distribuição dos prazos imperiais de acordo com a atividade desenvolvida. Para o processo

de controle e distribuição, foi utilizada a planta anterior; ou seja, a planta de campo de Koeler, visto que, na planta juntada ao Relatório da Província, não constavam as informações sobre o número dos prazos nem o nome dos foreiros.

A *Planta de Petropolis – 1850* foi elaborada apenas quatro anos após o primeiro documento de Koeler. Assim como a planta juntada ao Relatório da Província, não apresentou informações sobre identificação dos prazos aforados e dos colonos. Entretanto, é nesse documento que aparecem delimitados os nove quarteirões imperiais novos: Brasileiro, Presidencia, Francez, Inglez, Suisso, Woerstadt, Darmstadt, Rhenania Superior e Worms. Mostrando, assim, uma grande expansão da sua área gênese inicial, corroborada pelo acréscimo de 294 prazos relativos a esses novos quarteirões.

Apesar de constar no seu título, a intenção de servir “para guia dos visitantes”, a *Planta da Imperial Colonia de Petropolis (reduzida para guia dos visitantes) – 1854* é utilizada até os dias atuais para o controle de ocupação da cidade de Petrópolis. Assim como a planta de Koeler, a planta de Otto Reimarus enumera os prazos imperiais seguindo as mesmas orientações estipuladas por Koeler, tanto no que diz respeito aos prazos existentes nos quarteirões originais quanto no que se refere aos prazos e quarteirões previstos por Koeler. Com isso, constata-se o propósito de controle de ocupação dos prazos originais e de controle da ocupação e da distribuição dos novos prazos.

Reimarus expande os quarteirões Simmeria e Westphalia, com prazos já previsto na *Planta Koeler*. Como também cria quarteirões com prazos previstos, já demarcados na *Planta Koeler*; como é o caso dos quarteirões Brasileiro e Prezidencia, identificados, respectivamente, pelas numerações 30 e 34. Além disso, cria mais oito novos quarteirões: Francez, Inglez, Suisso, Woerstadt, Darmstadt, Rhenania Superior, Worms e Quarteirao Princeza Imp, todos com prazos de 4ª classe (à exceção do Francez, que, por estar próximo à Villa Imperial, possui, dos seus 31 prazos, 21 de 3ª classe).

Outro fator que mostra o intuito de expansão da área gênese de Petrópolis é relativo à quantidade de prazos, pois, no que diz respeito aos quarteirões e prazos originais, quase nada se alterou da *Planta Koeler* para a Planta de Otto Reimarus. Como dito, a *Planta Koeler* somou um total de 855 prazos imperiais, e a *Planta de Reimarus*, um total de 848; ou seja, uma diferença de sete prazos da planta histórica de 1846 para a de 1854. No entanto, em relação aos novos quarteirões e prazos criados, houve uma adição de 351 prazos; isto é, houve um aumento de 41% na quantidade de prazos a serem aforados.

Outro ponto a ser destacado é em relação à quantidade de prazos, no que diz respeito aos 11 quarteirões imperiais e às duas vilas. Constatou-se um aumento do número de prazos aforados pertencentes à Villa Imperial, passando de um total de 210 prazos (na *Planta Koeler*) para 241 (na *Planta de Reimarus*). Verificou-se ainda, a permanência dos mesmos 26 prazos que compõem a 2ª classe. Já para a 3ª classe, a diferença foi de apenas dois prazos. Para esta classe, não foi possível identificar quais prazos foram acrescidos, visto que a *Planta de Reimarus* contou com prazos de 3ª classe, dos novos quarteirões Francez e Quarteirão Princesa Imp. Contudo, foram os prazos de 4ª classe que sofreram maior acréscimo, passando de 431 (na *Planta Koeler*) para 744 (na *Planta de Reimarus*), conforme informado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Relação da quantidade de prazos de acordo com as quatro classes estipuladas pelo *Relatório da Província* de 1846.

PLANTAS x CLASSES	KOELER 1846_CIP	KOELER 1846_BN	RELATÓRIO PROVÍNCIA 1846 (*)	DESCONHECIDA 1850_BN	REIMARUS 1854_BN
1º	210	207	216	n/a (**)	241
2º	26	26	26	26	26
3º	181	173	169	96	183
4º	431	441	440	704	744
Outros	7	7	---	1	5
TOTAL	855	854	851	827	1.199

Notas: (*) Os prazos de construções específicas foram considerados na contagem do número total de prazos de 1ª classe (Villa Imperial) e de 3ª classe (quarteirão Nassau), pois estes foram discriminados no *Relatório da Província*. (**) Na planta 1850_BN, a Villa Imperial apresenta somente os limites de seu quarteirão; ou seja, não possui a demarcação, dentro de seus limites, dos prazos imperiais pertencentes à Villa Imperial. Assim, não foi possível contabilizar o total de prazos de 1ª classe; e, desse modo, considerou-se como não aplicável (n/a) a divisão por prazos na Villa Imperial.

Fonte: os autores.

Tais valores traduzem-se, no caso da 1ª classe, por uma demanda cada vez maior de solicitação de aforamentos de prazos na Villa Imperial; isto é, demonstrando o desejo de adquirir terrenos na área nobre de Petrópolis. Assim, observa-se a criação de alguns prazos na própria Villa Imperial, nas proximidades da praça São Pedro de Alcântara e divisa com o quarteirão

Francez; como também (e principalmente) anexação de prazos do quarteirão Rhenania Inferior. No que se refere à 4ª classe, o acréscimo de 313 prazos demonstra o processo de expansão horizontal da cidade, para lavoura.

A planta de Taunay de 1861, diferentemente das anteriores, pode ser entendida como para fins de vilegiatura, pois não possui informações importantes quanto ao propósito de controle de ocupação sobre os prazos imperiais distribuídos. Esse último documento histórico cartográfico possui os limites de seus quarteirões não tão bem definidos e demarcados, mas nem por essa razão pode ser entendido como sendo um produto mal elaborado, senão elaborado para atender aos seus propósitos, que eram divulgar e disseminar, para fins turísticos, a imperial cidade de Petrópolis.

O seu intuito de vilegiatura pode ser corroborado pelas palavras do próprio Taunay, que destaca como atração a vida social proporcionada pela instalação da Corte e de pessoas com poder aquisitivo em Petrópolis; isso ainda complementado pela existência de bons colégios. Outro contributo à atração da cidade imperial é decorrente de seu clima, para onde as pessoas podiam fugir do clima quente da capital.

Sabe-se que, até hoje, a Companhia Imobiliária de Petrópolis possui o direito legal de cobrança de foro sobre prazos, ainda que os parcelados posteriormente ao seu traçado inicial, representados nas Plantas Históricas de 1846, 1850 e 1854. E ainda possui preferência de compra, em uma eventual alienação dessas terras, usufruídas em regime de enfiteuse, com um recolhimento de 2,5%, a título de laudêmio, no valor de alienação desses imóveis.

Os documentos históricos cartográficos *Planta de Petropolis – 1846*, da Companhia Imobiliária de Petrópolis, e *Planta da Imperial Colonia de Petropolis (reduzida para guia dos visitantes) – 1854*, em conjunto com os documentos normativos, serviram para o controle de ocupação da cidade imperial de Petrópolis e, conseqüentemente, cobrança de foro, haja vista a manutenção das informações que constavam em ambas as plantas no que se refere ao número de identificação dos quarteirões e prazos imperiais.

Salienta-se que as plantas elaboradas por Koeler e guardadas na Companhia Imobiliária de Petrópolis e na Biblioteca Nacional possuem respectivamente a escala de 1:5.000 e 1:10.000. Assim, enquadram-se dentro da escala de mapeamento cadastral. Segundo Dorling e Fairbairn (1997, p. 83), os mapas cadastrais são mapas elaborados com o objetivo de ajudar no registro da propriedade das parcelas de terra, especificamente, com

a finalidade de cadastros fiscal e legal. As plantas elaboradas por Koeler apresentam essas finalidades, uma vez que, no que diz respeito ao cadastro fiscal, há cobrança de foro; e, para o cadastro legal, há o registro da parcela tanto em escritura quanto no mapa.

A planta de 1854 de Otto Reimarus, apesar de ter escala 1:34.000, ou seja, não se enquadrar na escala de mapeamento cadastral, cumpre o papel fiscal e legal de cadastro, visto que é utilizada até os dias de hoje para controle e ocupação da cidade. Essa planta, provavelmente, foi elaborada de um documento cartográfico em escala maior, e isso pode ser confirmado pelos documentos em escala menor elaborados anteriormente por Koeler. Reimarus utilizou-se do artifício da legenda para representar feições, que na *Planta Koeler* constavam no próprio desenho.

A análise desses documentos mostrou-se essencial para desvendar a dinâmica da ocupação do município de Petrópolis, ao longo do século XIX, pois esses documentos cartográficos são carregados de geoinformações, que permitiram entender espacialmente e temporalmente como a malha da ocupação foi se disseminando na paisagem. Nesse sentido, a Cartografia Histórica apresenta-se como um ramo da ciência cartográfica capaz de trazer geoinformações, essenciais para entender a configuração da paisagem pretérita; e elementos que ajudem a entender processos espaciais contemporâneos.

REFERÊNCIAS

DORLING, D.; FAIRBAIRN, D. *Mapping: ways of representation the world*. Edinburgh Gate: Prentice Hall; Pearson Education, 1997.

EPPINGHAUS, G. P. *O plano de Koeler*. Petrópolis: Instituto Histórico de Petrópolis, 2000. Disponível em: http://www.ihp.org.br/lib_ihp/docs/gpe19690628.html. Acesso em: 24 fev. 2020.

FERNANDES, M. do C.; LAETA, T.; SANTOS, D. F. dos; MENEZES, P. M. L. de. Cartographic memory preservation of the Petrópolis City in Brazil: Koeler map scanning using photographic survey. In: PETERSON, M. P. (ed.). *Advances in cartography and GIScience: lectures notes in geoinformation and cartography*. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 3-19.

LAETA, T.; FERNANDES, M. do C. Cartografia histórica de Petrópolis (RJ): levantamento dos documentos cartográficos no período de 1846 a 1861. In: SIMPÓSIO

LUSO-BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA HISTÓRICA, 6., 2015, Braga. *Atas [...]*. Porto: Faculdade de Letras/Universidade do Porto, 2015. p. 151-164.

NEVES, F. M. B.; ZANATTA, E. M. *Traços de Koeler: a origem de Petrópolis a partir da planta de 1846*. Petrópolis: Globalmídia Comunicação, 2016.

OLIVEIRA, P. R. M. *O planejamento urbanístico a ser lembrado*. Petrópolis: Instituto Histórico de Petrópolis, 2000. Disponível em: <http://www.ihp.org.br/site/prmo/20000620.html>. Acesso em: 14 mar. 2015.

SANTOS, M. M. D.; MENEZES, P. M. L. de; COSTA, A. G. Georreferenciamento de mapas históricos: finalidades e procedimentos. *Geografias*, Belo Horizonte, v. 5, n. 2, p. 23-35, 2009.

TEIXEIRA, M. C. A cartografia no estudo da história urbana. *Urbanismo de origem urbana*, Lisboa, n. 2, p. 1-8, 2000.

Documentos históricos e cartográficos

BRASIL. *Decreto Imperial nº 155, de 16 de março de 1843*. Referente ao arrendamento da Fazenda Corrego Secco ao Major de Engenheiros Julio Frederico Koeler na data de 16 de março de 1843. Rio de Janeiro: Archivo Publico Nacional, 1843.

BRASIL. *Relatório da Província do Rio de Janeiro, de 01 de maio de 1846. Relatório do presidente da Província do Rio de Janeiro, O Senador Aureliano de Sousa e Oliveira Coutinho, na abertura da Assembléa Legislativa Provincial no 1º de março de 1846, acompanhado do orçamento da receita e despeza para o anno financeiro de 1846 a 1847*. Nictheroy, em 1º de maio de 1846. Center of Research Libraries – Brazilian Government Document Digitalization Project. Disponível em: <http://brazil.crl.edu/bsd/bsd/776/000079.html>. Acesso em: 20 jul. 2015.

KOELER, J. F. *Planta de Petropolis – 1846*. Petrópolis: Companhia Imobiliária de Petrópolis, 1846a. Litografia desconhecida, 128,9 x 128,2 cm. Escala gráfica de 500 brassas.

KOELER, J. F. *Planta de Petropolis – 1846*. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 1846b. Litographia Vítor Larré, 61,5 x 65,85 cm. Escala gráfica de 600 Braças. Disponível em: http://objdigital.bn.br/objdigital2/acervo_digital/div_cartografia/cart233811/cart233811.jpg. Acesso em:

PETRÓPOLIS. *Base cartográfica do município de Petrópolis*. Petrópolis: Secretaria de Planejamento e Urbanismo, 1999. Escala 1:10.000.

PLANTA de Petropolis – 1850. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 1850. Litografia desconhecida, 93,3 x 97,8 cm. Disponível em: http://objdigital.bn.br/objdigital2/acervo_digital/div_cartografia/cart525848/cart525848.jpg. Acesso em: 13 jul. 2015.

REIMARUS, O. *Planta da Imperial Colonia de Petropolis (reduzida para guia dos visitantes) – 1854*. Rio de Janeiro: Biblioteca Nacional, 1854. Lithographia Imperial de Resenburg, 29,4 x 41,2 cm. Escala gráfica de 3.000 Braças. Disponível em: http://objdigital.bn.br/objdigital2/acervo_digital/div_cartografia/cart176710/cart176710.jpg. Acesso em: 13 jul. 2015.

TAUNAY, C. A. *Imperial Cidade de Petropolis e os quarteirões imperiais (planta reduzida) – 1861*. Petrópolis: Arquivo Histórico do Museu Imperial, 1861. Ibram, MinC, nº 29/2017, SGI 1152/2017-07. Litografia desconhecida, 28 x 22 cm. Escala gráfica de 2.500 braças.

DIAGNÓSTICO DOS EVENTOS DE INUNDAÇÃO NA ÁREA GÊNESE DE PETRÓPOLIS À LUZ DA CARTOGRAFIA HISTÓRICA

Fernando de Souza Antunes

Manoel do Couto Fernandes

Kairo da Silva Santos

Ursula Borges dos Santos Lima

5.1 INTRODUÇÃO

Sistemas ambientais estão naturalmente sujeitos a eventos que extrapolam seus limiares ao longo do tempo, e as inundações também seguem essa premissa. Na História da Humanidade, já é amplamente concebido que exista, de tempos em tempos, extravasamento do nível fluvial. Esse fato explica os primeiros assentamentos humanos nas planícies de inundação dos Rios Tigre e Eufrates, que favoreceram o desenvolvimento da Agricultura, por volta de 3500 a.C., na região conhecida como Mesopotâmia (SPOSITO, 1998).

As inundações, um dos principais desafios contemporâneos de muitas cidades brasileiras, ocorrem sob uma grande variedade de fatores, que atuam em conjunto na paisagem. Tais fatores estão relacionados, principalmente, a clima, uso e cobertura da terra e formas de relevo. Apesar de serem consideradas como eventos naturais dos sistemas ambientais, as inundações representam um desafio, justamente, pela intensificação do processo de urbanização, visto que são responsáveis pelo segundo maior número de mortes relacionadas a desastres naturais no mundo; havendo um total de 686.741 mortes entre 1900 e 2015 (EM-DAT, 2020). Há que destacar os anos mais recentes desse período, em que tais desastres vêm se intensificando em demasia, pelas mudanças climáticas globais (BLUNDEN; ARNDT, 2016). As mudanças climáticas têm sido fortemente ampliadas pelas ações humanas, que

incluem mudanças no uso e cobertura da terra (sobretudo o desmatamento) e intervenções urbanísticas, como a densificação de áreas urbanas, especialmente em áreas de alto susceptibilidade à ocorrência de inundações, tais como nas planícies de inundação.

Nesse contexto, é consenso que foi a partir da primeira Revolução Industrial que as áreas urbanas ganharam maior destaque na hierarquia espacial, levando a crescentes fluxos migratórios, em busca de melhores condições de trabalho e de vida. No Brasil, tal processo, ainda que com atraso em relação ao restante do mundo, também ocorreu, ao ponto de 84,4% da população viver em cidades (IBGE, 2011). Com o aumento da população nas áreas urbanas, caso também de Petrópolis (que apresentou, a partir da década de 1940, aumento expressivo de seus habitantes), aumentaram também os problemas de moradia (AMBROZIO, 2008; ANTUNES, 2017). A escassez de moradias é um problema crônico das cidades brasileiras e, no caso de Petrópolis, é intensificada pelo aspecto do sítio da cidade. Confinado entre vales estreitos, o tecido urbano do primeiro distrito há muito sofria com problemas de escassez de terra, o que levava ao aumento de seu valor. Esse processo direcionou a população pobre (que chegava à cidade em busca de melhores condições de trabalho) para as encostas, notórias áreas de risco, em ambiente montanhoso. O IBGE (2018) contabiliza que 8,94% da população de 207 municípios brasileiros analisados reside em áreas de alto risco, tendo Petrópolis 24,4% de sua população residindo nessas condições.

Entre os tipos de inundações existentes, uma das mais comuns nas cidades brasileiras situadas em paisagens montanhosas e ambientes hidrológicamente conectados a estas é a chamada inundação repentina, que pode ser entendida como eventos de inundação que acontecem devido às chuvas intensas de curta duração sobre uma pequena área (KRON, 2009; NWS/NOAA, 2009). Dessa maneira, esse evento apresenta-se como uma resposta do sistema às chuvas intensas, em que há extravasamento dos rios, que é facilitado pelo incremento da impermeabilização do solo (GREGORY; WALLING, 1973). O processo de urbanização modifica a estrutura e a função de elementos da paisagem, levando ao aumento da magnitude e frequência das inundações.

O entendimento da ocorrência de fenômenos, tais como as inundações, passa pela análise da paisagem, com o foco na estrutura, funcionalidade e dinâmica de seus elementos; o que caracteriza uma análise geoecológica (FERNANDES *et al.*, 2013). A Geoecologia, consagrado arcabouço teórico

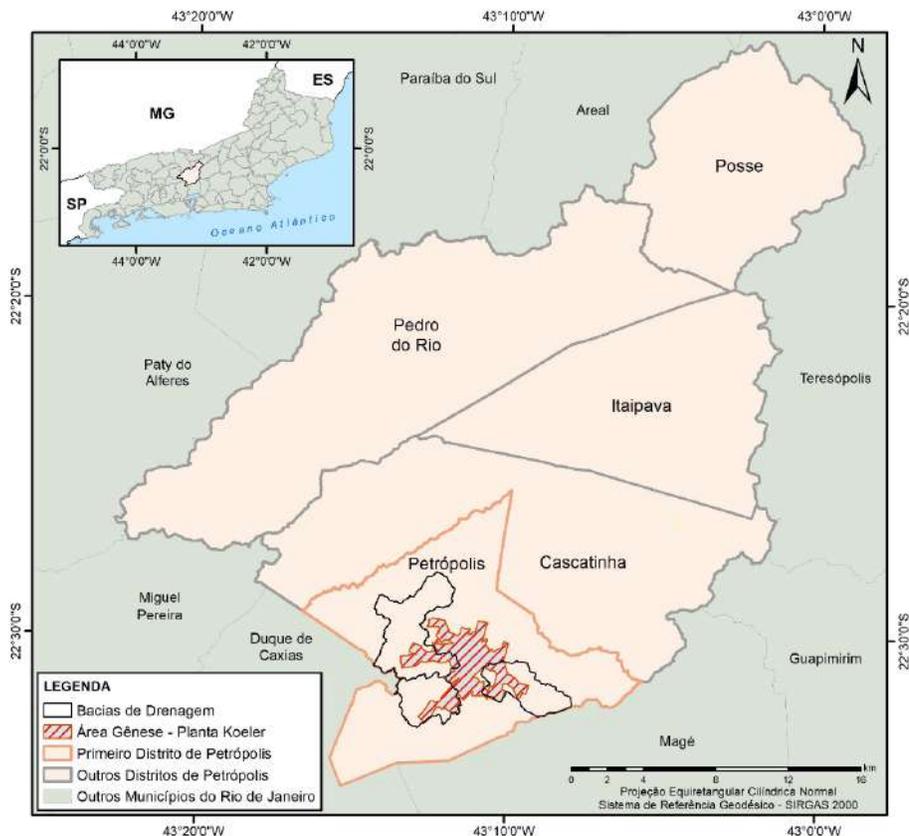
para a análise da dinâmica da paisagem, busca compreender esse objeto de análise geográfica como produto de processos históricos; pois são resultados da combinação dinâmica de fatores bióticos, abióticos e humanos (sociais), que interagem dialeticamente entre si, tornando-se um conjunto único e inseparável, em evolução contínua (TROLL, 1939; KLINK, 1974; BERTRAND, 1982; TURNER, 1989; HUGGETT, 1995). A análise geoecológica deve, portanto, investigar alterações no comportamento da paisagem ao longo do tempo, a fim de prever a estrutura e funcionalidade da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986; SHAO; WU, 2008; MOUGIAKOU; PHOTIS, 2014).

Fernandes (2009) mostra que o geoprocessamento é um caminho promissor para operacionalização da análise geoecológica. A operacionalização baseada no geoprocessamento, entendida por Fernandes (2009), vai de encontro à ciência da informação geográfica (*GIScience*), trazida por Goodchild (1992) como uma disciplina científica que estuda estruturas de dados e técnicas computacionais, para capturar, representar, processar e analisar informações geográficas. Collier (2013) e Menezes *et al.* (2015) afirmam que é crescente a utilização da Cartografia Histórica em análises da paisagem. Dessa maneira, defende-se a utilização da *GIScience* e da Cartografia Histórica como arcabouço metodológico importante em análises espaciais, que se desenvolvem pela perspectiva da análise geoecológica.

Em face do exposto, este capítulo busca apresentar uma análise da paisagem, focando nas inundações, buscando entender como se dá o relacionamento entre as estruturas da paisagem que levam a tais eventos. Para tanto, a informação geográfica presente em documentos cartográficos históricos e contemporâneos é essencial, viabilizando a análise das inter-relações entre as variáveis geoecológicas e as dinâmicas de inundação da área gênese de Petrópolis, como é chamado o primeiro perímetro da cidade (Figura 5.1). A análise concentrou-se na utilização do arcabouço teórico-metodológico supracitado, para identificar e comparar mudanças na paisagem, com base nas três bacias de drenagem que compõem a área de estudo: Quitandinha, Palatino e Piabanha.

É importante ressaltar que este capítulo é apoiado em uma série de trabalhos que compõem a linha de pesquisa que envolve a Cartografia Histórica de Petrópolis, conduzida no Laboratório de Cartografia – GeoCart, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), congregando dados e informações inéditas e previamente levantadas em relação à temática em questão.

Figura 5.1 – Área de estudo: divisão distrital de Petrópolis, área gênese e bacias de drenagem..



Fonte: os autores.

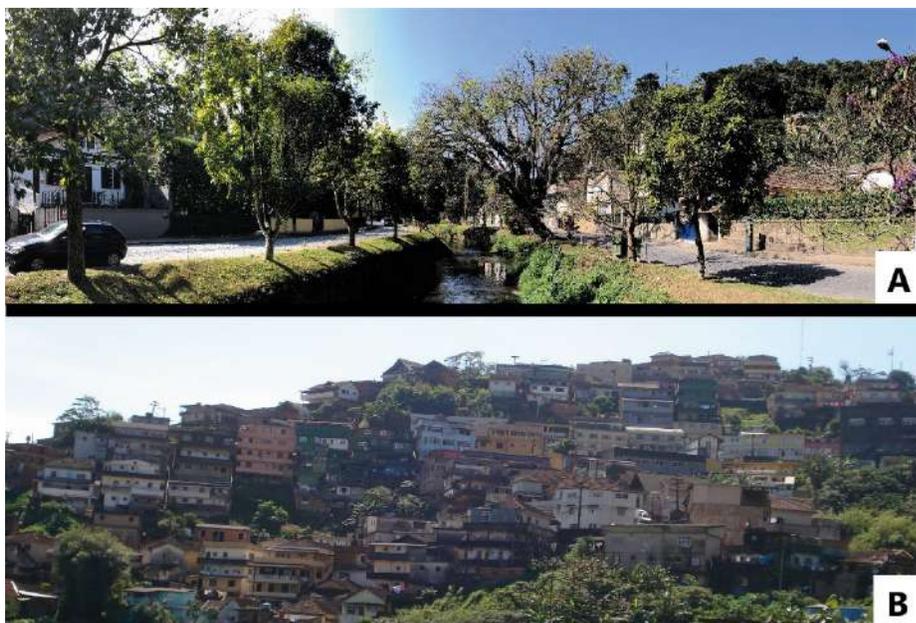
A Planta Koeler e o desenvolvimento inicial de Petrópolis

A análise das inundações contemporâneas em Petrópolis passa pelo entendimento da criação da cidade de Petrópolis, ainda no século XIX. A cidade foi concebida como local de veraneio para a Família Imperial do Brasil e sua Corte. O engenheiro-militar Julio Frederico Koeler ficara incumbido de criar um plano de povoação que serviu como um plano urbanístico da cidade, que tinha como objetivo principal construir um palácio de verão para abrigar a Família Imperial.

Conhecido como *Plano Koeler*, o projeto apresentava inúmeras características inovadoras para a época (SILVA, 2000), sendo uma das principais a disposição interna dos lotes. Essa disposição previa que as edificações tivessem

suas frentes voltadas para os rios; e, nos fundos dos lotes, as fossas sépticas, o que contrariava a já tradicional disposição colonial portuguesa, que mantinha as edificações com os fundos voltados para os rios. Assim, nessa segunda disposição, os rios eram considerados locais de descarte (RABAÇO, 1985). Algumas dessas características do *Plano Koeler* se cristalizaram na paisagem, como os rios sendo parte da concepção urbanística. Atualmente, esse quadro é bastante frequente nas áreas ao redor do Palácio Imperial (atual Museu Imperial), como pode ser observado na parte A da Figura 5.2. Por outro lado, a parte B da Figura 5.2 remete-nos à realidade da expansão urbana do município, que, ao contrário do que foi pensado no plano urbanístico de Koeler, se direciona para as encostas, principalmente na periferia da área gênese do município.

Figura 5.2 - Áreas cristalizadas do Plano Koeler (A) e expansão urbana em direção às encostas (B).

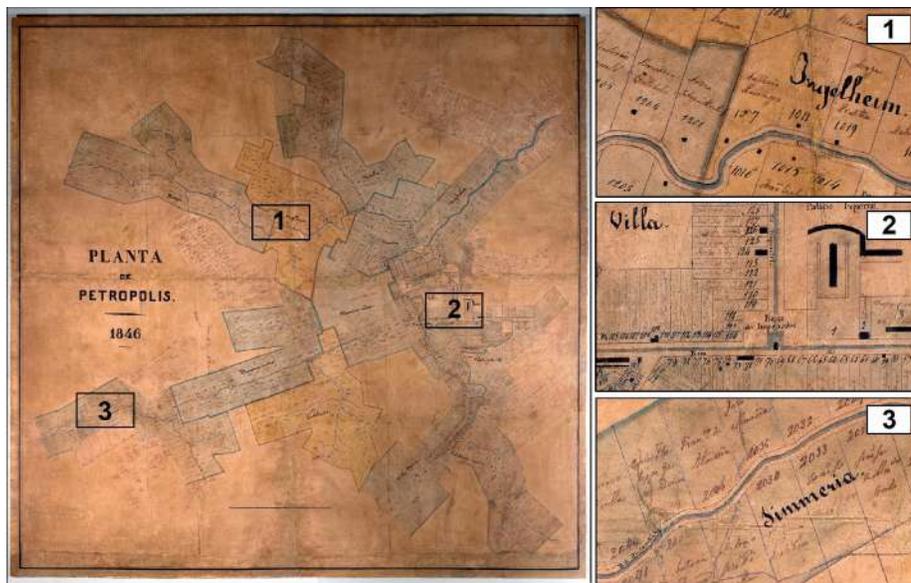


Fonte: os autores.

O plano urbanístico de Koeler contava com a *Planta de Petrópolis - 1846* (Figura 5.3), que apresentava as formas urbanas edificadas e planejadas, até aquele momento. Esse mapa, conhecido popularmente como *Planta Koeler*, apresenta a edificação da cidade, que se dá ao longo dos três principais rios: Piabanha, Quitandinha e Palatino. A *Planta Koeler* encontrava-se em

avançado grau de degradação, quando então foi restaurada em 2016 (NEVES; ZANATTA, 2016). Originalmente, esse mapa histórico foi projetado na escala 1:5.000 (FERNANDES *et al.*, 2017). Havia no *Plano Koeler* evidente preocupação com o meio natural, uma vez que nesse plano, constava a proibição de construções nas encostas e nos topos de morro. Havia também delineamento de canalizações e alargamento de algumas seções dos rios, sobretudo nas proximidades do Palácio Imperial.

Figura 5.3 – *Planta de Petrópolis* (1846), mais conhecida como *Planta Koeler*.



Planta Koeler - "Planta de Petrópolis - 1846"

Alguns detalhes da Planta Koeler

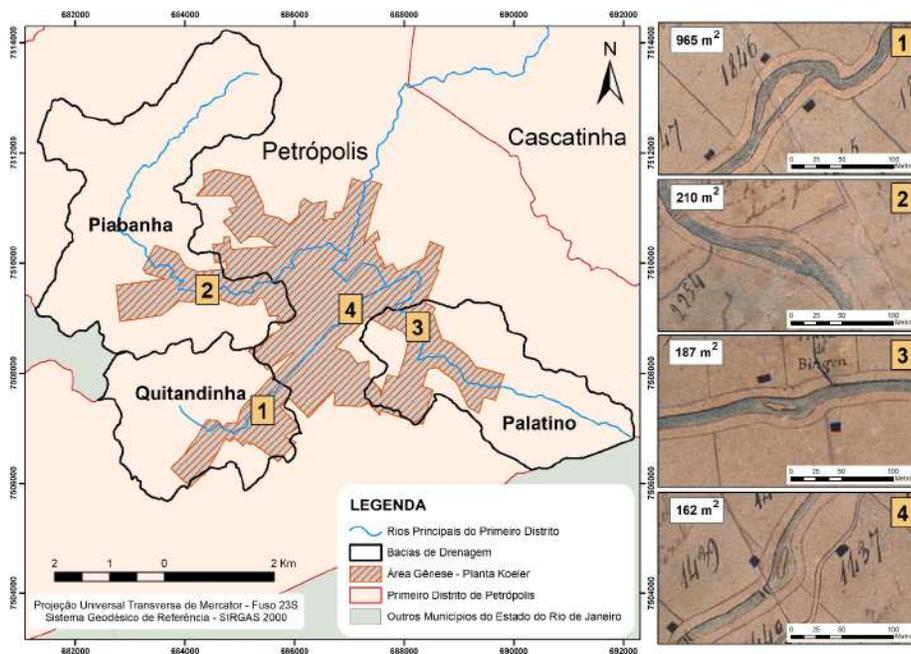
Fonte: os autores.

A *Planta Koeler* apresenta características da paisagem que são importantes na discussão sobre inundações. Isso porque fica claro que Koeler realizou interferências nos canais retinizando-os e criando dois tanques de contenção de inundações, nas adjacências do Palácio Imperial. Outra característica importante diz respeito às ilhas fluviais que aparecem na *Planta Koeler* (Figura 5.4). Eram quatro ilhas fluviais, que foram removidas posteriormente, pois já não constam na base cartográfica mais recente, utilizada nesse trabalho.

Cada uma das bacias de drenagem apresenta uma ilha que foi suprimida. Suas dimensões são: 965 m² na ilha do Rio Quitandinha; 210 m² na ilha do Rio Palatino; 187 m² na ilha do Rio Piabanha. A quarta ilha, de 162 m²

e identificada no Rio Quitandinha, não foi considerada nesse trabalho, pois estava fora da delimitação da bacia de drenagem do Rio Quitandinha, adotada na análise em foco. Fica claro que a remoção das ilhas seguiu objetivos que são comuns nas áreas urbanas densas, que visam diminuir a área ocupada pelos leitos fluviais, objetivando a intensificação da urbanização, seguindo o valor de mercado da terra urbana. Essas remoções são consideradas intervenções nos canais fluviais e, há muito, vêm interferindo no fluxo natural dos rios. IGAM (2012, p. 58) denomina como interferência “toda e qualquer atividade, obra e empreendimento, que altere as condições de escoamento das águas, criando obstáculos, produzindo modificações ou perturbando o fluxo dessas águas”.

Figura 5.4 – Apresentação das ilhas fluviais removidas.

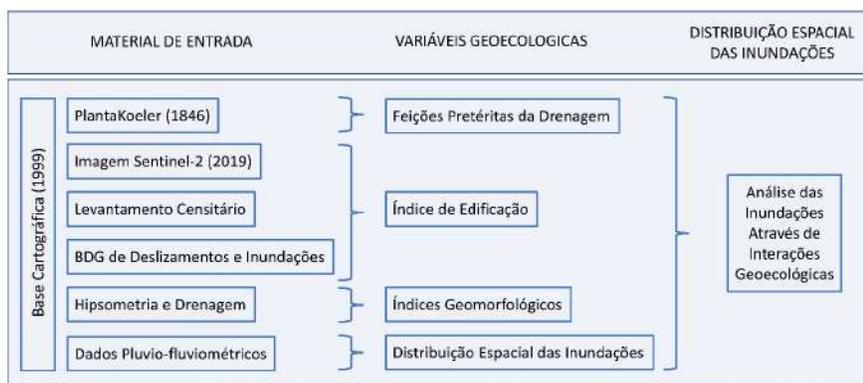


Fonte: os autores.

5.2 A ANÁLISE GEOECOLÓGICA: A INTEGRAÇÃO DA CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COM AS VARIÁVEIS DA PAISAGEM

A fim de realizar uma análise robusta dos eventos de inundação na área gênese de Petrópolis, decidiu-se por empreendê-la em três etapas (Figura 5.5), utilizando um conjunto diversificado de dados geográficos e métodos de análise. Foram utilizados dados de sensoriamento remoto, censitários, pluvio-fluviométricos e cartográficos, oriundos de um mapa histórico, a *Planta Koeler*. Toda essa sorte de dados geográficos constitui a base para a análise espacial, engendrada à luz da Geoecologia e da *GIScience*, incluindo-se aqui a Cartografia Histórica. Assim, suscita uma integração de métodos, procedimentos e técnicas de investigação; a fim de obter um conhecimento sobre o meio natural, sua estrutura, função e dinâmica; permitindo estabelecer um diagnóstico operacional da paisagem, por meio dos subsistemas que a compõem.

Figura 5.5 – Fluxograma metodológico adotado para análise espacial das inundações na cidade de Petrópolis.



Nota: BDG = banco de dados geográficos. Fonte: os autores.

No que diz respeito à inclusão da Cartografia Histórica nessa integração operacional para análise geoecológica, Menezes (2009) afirma que a Cartografia Histórica é considerada um importante instrumento de suporte à análise espacial, possibilitando, entre outras aplicações, analisar a dinâmica da paisagem (Geoecologia), tais como as interferências feitas

nos rios, pela intensificação da urbanização. Essas análises, realizadas com base em mapas históricos, são possíveis graças à utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que permite o georreferenciamento do mapa digitalizado, a transformação de arquivos originais (mapas analógicos) em arquivos digitais (dados vetoriais), a realização de análises espaciais e a exibição de modelos de representação e de análise da paisagem em questão.

Como todo projeto de análise científica, buscou-se inicialmente o levantamento de dados referentes ao fenômeno e à área de estudo; ou seja, dados que comporiam a análise das variáveis da paisagem (geoecológicas); assim como a base cartográfica da área de estudo referente ao ano de 1999, na escala 1:10.000, da Prefeitura Municipal de Petrópolis (1999), que serviu às necessidades de mapeamentos e outras análises. Essa base cartográfica foi especialmente utilizada na estruturação das variáveis da paisagem, caracterizadas pela hipsometria e hidrografia, além de servir à delimitação das bacias de drenagem utilizadas nesse trabalho e ao cálculo de índices morfométricos relevantes.

Com o objetivo de aplicar os cálculos do índice de edificação, foi adquirida no portal *Earth Explore*, da USGS, a imagem *Sentinel-2*, com imageamento datado de 29/2/2019. Mais especificamente, foram utilizadas as bandas espectrais do visível e infravermelho próximo, com resolução espacial de 10 m. Dessa maneira, foi possível realizar o mapeamento de cobertura da terra, que serviu ao propósito dos cálculos citados anteriormente. A classificação da imagem obedeceu à metodologia de Análise de Imagens Orientada a Objetos (BLASCHKE *et al.*, 2008). A classificação buscou identificar na imagem as seguintes classes: área não edificada, área edificada, afloramentos rochosos e água, tendo sido seu resultado submetido a avaliação temática, por meio de 631 pontos aleatórios. Essa avaliação foi submetida ao índice *Kappa* e precisão global, validação recomendada por Colgaton e Green (2009); e levando em consideração parâmetros de Landis e Koch (1977).

Dados sobre os censos demográficos foram adquiridos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados referem-se à contagem populacional em Petrópolis dos censos de 1980, 1991, 2000 e 2010 e foram utilizados para fins de entendimento da distribuição da população na paisagem. Tal distribuição também seria comparada a dados de inundações e deslizamentos oriundo do banco de dados geográfico sistematizado pelo Laboratório de Cartografia (GEOCART, 2015), que agrega tais eventos, no período entre 1932 e 2015.

Os dados pluviométricos oriundos de estações administradas pelo Instituto Estadual do Ambiente (Inea), do governo do Estado do Rio de Janeiro, referem-se à vazão em três estações localizadas nas três bacias estudadas, no período entre 2011 e 2018. Do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemadem), procedem registros de chuva, de estações pluviométricas, que foram agregados aos dados das estações do Instituto Estadual do Ambiente (Inea), na área de estudo.

As variáveis geológicas são derivadas dos dados descritos anteriormente, sobretudo da base cartográfica 1:10.000 e da *Planta Koeler*. Para possibilitar o uso junto à base cartográfica, a *Planta Koeler* foi registrada utilizando-se 106 pontos de controle, que eram comuns nela e na base cartográfica. Dessa maneira, foi possível, após o registro, alcançar a escala de 1:50.000, levando em consideração a avaliação dos padrões de exatidão cartográfica (BRASIL, 1984). Após o registro da *Planta Koeler*, foi possível vetorizá-la, definindo o limite da área gênese e sua drenagem, para que fosse comparada com as formas atuais.

Como exposto, o processo de urbanização intensificou-se seguindo o aumento da população, alterando fortemente as paisagens das cidades brasileiras. E os rios foram um dos elementos da paisagem mais intensamente alterados, para atender às demandas territoriais, cada vez maiores. Nessas áreas, as alterações nos rios (e na paisagem urbana como um todo) modificaram a dinâmica do ciclo hidrológico, uma vez que a impermeabilização do solo, trazida pela pavimentação e edificações, levou a uma série de problemas ambientais. Nesse contexto, Botelho (2011) confirma essa premissa e salienta que a substituição da cobertura vegetal por construções antrópicas acarreta a drástica redução da infiltração da água da chuva, incrementando, portanto, o escoamento superficial. O fluxo do escoamento superficial atinge mais rapidamente o expulsório das bacias (e de maneira mais concentrada), aumentando a magnitude e frequência de inundações, que são um problema ambiental recorrente nas cidades brasileiras. A autora afirma ainda que as bacias de drenagem urbanas são marcadas pelo tempo de concentração de suas águas e pelo aumento dos picos de cheias, quando se compara com as condições anteriores à urbanização daquela mesma área, havendo um aumento de picos de cheias de até seis vezes.

Nessa perspectiva, o índice de edificação (IE) é usado para tentar entender o nível de alteração da paisagem e para compor um conjunto de

verificações do funcionamento dos sistemas ambientais e suas respostas aos eventos climáticos. Ele pode ser entendido como uma quantificação percentual da área edificada dentro de uma bacia. Todo tipo de edificação humana deverá ter, com base na classificação de imagens, sua área somada. Alguns exemplos de edificações assumidas foram as áreas pavimentadas, edifícios e telhados de todo tipo, entre outros. A fórmula (Eq. 1) para o cálculo do IE é:

$$IE = \frac{\sum Ab \times 100}{A} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: $\sum Ab$ é o somatório da área edificada da bacia; A é a área da bacia.

No que diz respeito ao componente humano, buscou-se analisar a distribuição da população no território municipal. Para isso, foi utilizada a contagem populacional dos censos demográficos de 1980 a 2010. Censos anteriores não puderam ser utilizados, uma vez que não apresentavam divisão da contagem populacional por distritos. Ainda que o melhor cenário da análise da distribuição populacional levasse em conta a área das bacias, ou até mesmo da área gênese, essa unidade geográfica não é disponível para a maioria das quantificações populacionais oficiais. Nessa perspectiva, a melhor aproximação seria a distribuição da população por distritos.

Para a análise geomorfológica, outra componente da investigação geocológica, foram utilizados três índices morfométricos, a fim de analisar, quantitativamente, os riscos relacionados às inundações: razão de circularidade, coeficiente de compacidade e densidade de drenagem.

A densidade de drenagem (Dd) foi obtida medindo-se o comprimento da drenagem e a área total da bacia (Eq. 2), conforme entendido por Strahler (1952):

$$Dd = \frac{\sum Cc}{A} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: $\sum Cc$ é o somatório do comprimento de todos os rios da bacia; e A é a área total da bacia.

O coeficiente de compacidade (C_{cp}) quantifica a irregularidade geométrica da bacia de drenagem (Eq. 3), conforme Bendjoudi e Hupert (2002):

$$C_{cp} = \frac{0,28 \times P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: P é o perímetro da bacia; e A é a área da bacia.

A razão de circularidade (R_c) quantifica quão perto a bacia está de uma forma circular (Eq. 4), conforme Miller (1953):

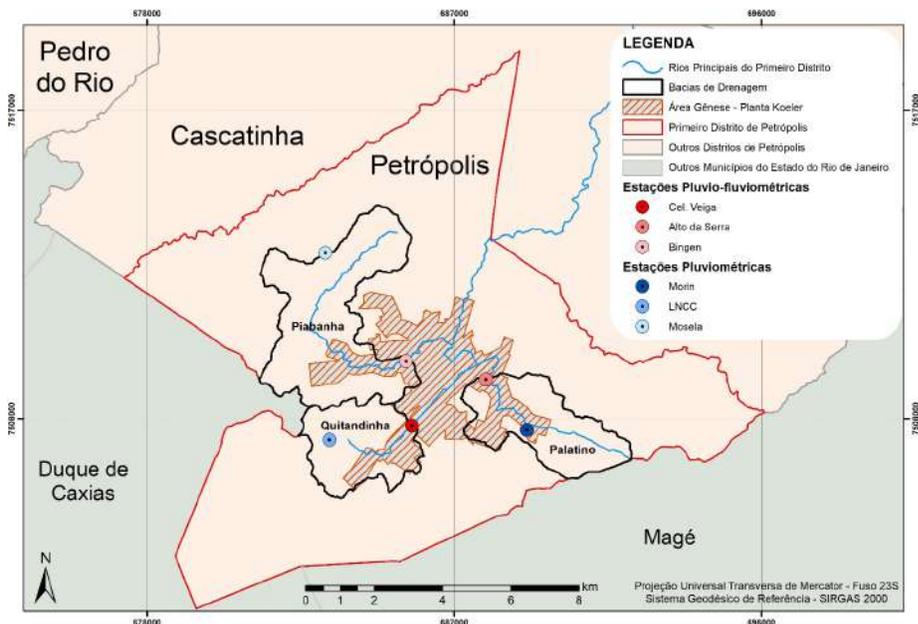
$$R_c = \frac{12,57 \times A}{P^2} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde: A é a área da bacia; e P é o perímetro da bacia..

Para que esse trabalho fosse mais representativo da realidade, com base nos dados disponíveis, a delimitação das bacias de drenagem limitou-se até a localização de cada estação pluviométrica (Figura 5.6). Dessa maneira, foi possível considerar que a vazão lida nessas estações fosse a vazão de todo o limite considerado. Assim, buscou-se, com esse procedimento, garantir precisão da leitura das inundações.

A etapa de análise das inundações foi realizada utilizando, conjuntamente, os dados de entrada (já mencionados) e as variáveis geoecológicas levantadas na etapa anterior. Nesse contexto, é importante entender que, como as variáveis geoecológicas não pertencem a uma unidade espacial e temporal específica, a referida análise tem cunho qualitativo, levando em consideração a multiescalaridade dos fenômenos geográficos (MENEZES; FERNANDES, 2013). Tal consideração é necessária, uma vez que alguns atributos são referentes a determinadas unidades geográficas e outros às localizações exatas, tendo como exemplos a contagem populacional e o número de inundações, respectivamente.

Figura 5.6 – Localização das estações e unidades geográficas consideradas.



Fonte: os autores.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES ACERCA DO PROCESSAMENTO DAS INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

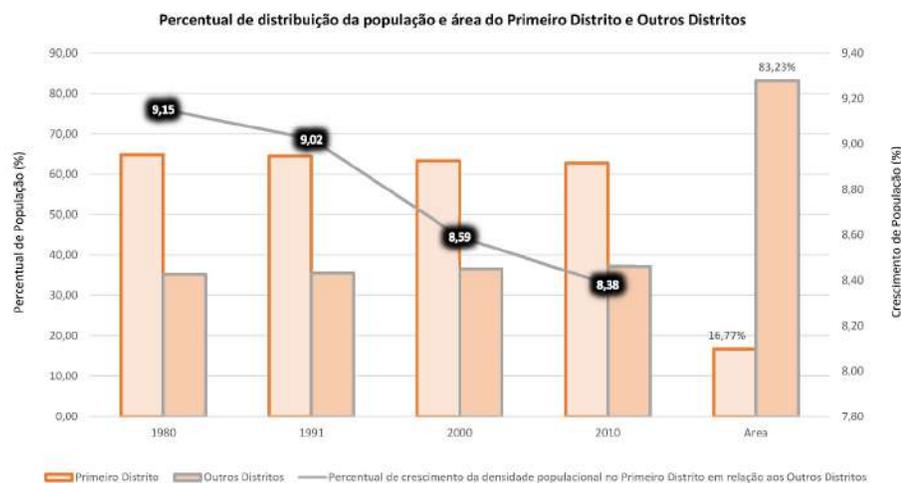
No que diz respeito à distribuição de sua população, Petrópolis segue o padrão nacional e tem na área urbana a maior concentração de pessoas, principalmente, nas áreas próximas ao centro tradicional, que, em 2010, eram 281.286 habitantes, 98,1% da população total (IBGE, 2010). Particularmente no caso de Petrópolis, essas características respondem muito à História de sua ocupação e desenvolvimento. Ainda que houvesse em sua concepção e plano de povoamento o planejamento de uma colônia agrícola, esta não se desenvolveu, sobretudo pela dificuldade à época de plantio em terras de relevo tão acidentado (ANTUNES; FERNANDES, 2020). Nesse contexto, a vocação urbana da atividade industrial fez-se mais forte, tendo a primeira unidade considerada industrial aberto as portas apenas 15 anos após a fundação da cidade, ou seja, em 1858 (GONÇALVES; GUERRA, 2009).

Antunes (2017) mostra que a vocação fabril da cidade serviu como um polo de atração da população, até mesmo de outras cidades. Com a expansão do processo de urbanização e as limitadas terras urbanas disponíveis no primeiro

distrito, as unidades fabris buscaram instalar-se nos outros distritos, sobretudo no segundo, já no decorrer do século XX. Isso favoreceu a expansão da população residente. As indústrias favoreceram considerável aumento da população de Petrópolis, partindo de 2.293 hab., no seu ano de fundação (1846), para 295.917 hab., em 2010; e estimada em 306.191, em 2015 (IHP, 2015).

Ao analisar a Figura 5.7, fica clara a concentração populacional no primeiro distrito, em todos os levantamentos censitários, atingindo uma média de 63,9% de pessoas residentes (1980-2010). Essa concentração populacional dá-se numa área correspondente a apenas 16,7% do território municipal. Informação importante na Figura 5.7 é que o incremento populacional no primeiro distrito vem atingindo níveis decrescentes nos sucessivos levantamentos censitários. Isso pode estar relacionado à saturação urbana, que leva à busca por melhores localizações de moradia nos outros distritos ou outros municípios. Esse cenário de concentração populacional é compartilhado com a distribuição das inundações e deslizamentos; isso porque o primeiro distrito concentra 83,81% desses eventos (FERNANDES *et al.*, 2020). Mais especificamente em relação a inundações em todo o primeiro distrito, 55,17% desses eventos ocorreram na área gênese, que é situada no primeiro distrito e ocupa 12% da área deste (Tabela 5.1). Fica evidente, portanto, que a área mais urbanizada do município concentra mais da metade dos eventos de inundação ocorridos em todo o primeiro distrito.

Figura 5.7 – Distribuição populacional e área nos distritos de Petrópolis.



Fonte: os autores.

Dunne e Leopold (1978) salientam que, com a intensificação da urbanização, há incremento da impermeabilização do solo. Dessa maneira, a água da chuva percola menos no solo e, conseqüentemente, escoar com maior rapidez para os rios. Esse cenário agrava consideravelmente os eventos de inundação; e, para analisar esse fenômeno, foi utilizado o índice de edificação (IE). Assim, foi quantificada toda a área edificada dentro dos limites das bacias, adquirida pelo mapeamento da cobertura da terra, que alcançou em sua validação (COLGATON; GREEN, 2009) o valor de 0,81 no índice *Kappa* e 93,8% na precisão global. O valor do índice *Kappa* é considerado “excelente” na escala desenvolvida por Landis e Koch (1977).

Tabela 5.1 – Distribuição das inundações nas unidades geográficas (1932-2015).

INUNDAÇÕES

Primeiro distrito	145	100%
Primeiro distrito sem área gênese	65	44,83%
Área gênese	80	55,17%

Fonte: os autores.

A análise do índice de edificação confirmou que as bacias de drenagem são predominantemente cobertas por vegetação (73,53%), seguidas por áreas edificadas (25,55%), afloramentos de rochas (0,84%) e água (0,08%). Para essa análise, as áreas das classes “áreas vegetadas”, “afloramentos de rochas” e “água” foram agregadas, a fim de se definir uma nova classe, denominada “área não edificada”. A análise das três bacias indica que elas, juntas, têm 74,45% de área não edificada (Figura 5.8).

Figura 5.8 – Distribuição da cobertura da terra nas três bacias em análise.



Fonte: os autores.

Ao analisar a configuração espacial das duas classes generalizadas de cobertura da terra, foi possível observar que a classe “área não edificada” está disposta em altitudes e declividades mais elevadas, enquanto a classe “área edificada” se concentra nos fundos dos vales, ou seja, menores altitudes e declividades mais amenas. Esse padrão foi verificado nas três bacias analisadas e pode ser observado nos dados da Tabela 5.2.

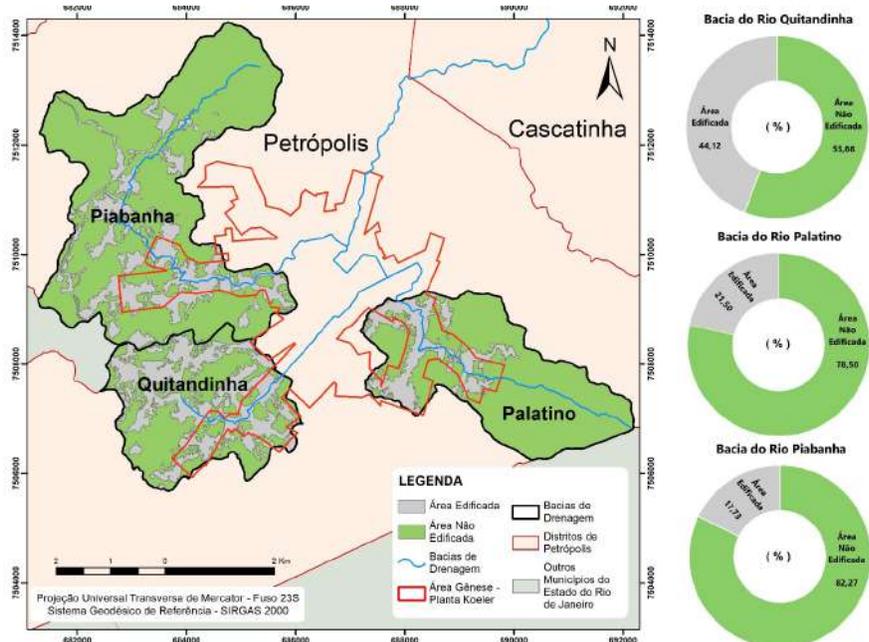
Tabela 5.2 – Características do relevo para cada classe de cobertura da terra.

Cobertura da terra	Elevação média (m)	Declividade média (°)
Área não edificada	886,90	28,16
Área edificada	1345,02	17,54

Fonte: os autores.

A Figura 5.9 mostra a análise da cobertura da terra em cada uma das três bacias. Na bacia de drenagem do Rio Quitandinha, a área edificada ocupa 44,12% de sua superfície, sendo a bacia com maior superfície edificada, entre as três analisadas. Em seguida, vem a bacia do Rio Palatino, com 21,5% de área edificada; e, por último, a bacia do Rio Piabanha, com 17,73% de área edificada (FERNANDES *et al.*, 2020). No contexto dos números apresentados, pode-se perceber que a bacia do Rio Quitandinha sofre maior pressão antrópica, ou seja, apresenta o maior nível de alteração da paisagem, devido à intensa urbanização. Consequentemente, há maior superfície impermeabilizada, o que sugere maior incidência de inundações do que nas outras bacias, as quais apresentam maior superfície de área não edificada, ou seja, maior índice de edificação.

Figura 5.9 – Índice de edificação nas três bacias em análise.



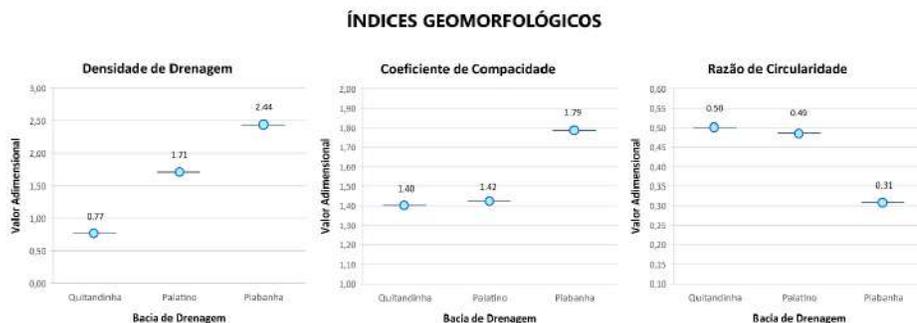
Fonte: os autores.

Petrópolis encontra-se inserida na Região Serrana do estado do Rio de Janeiro. Essa região geográfica apresenta relevo montanhoso, de encostas íngremes e vales longos. A floresta, pertencente ao bioma Mata Atlântica, apresenta degradação avançada, ocasionada pela intensidade crescente da urbanização. A vida humana em áreas com essa morfologia, historicamente, levou a maiores interferências na paisagem. Tais interferências, muitas vezes, não conseguem contornar eventos de grande magnitude, levando a perdas humanas e materiais.

Nessa perspectiva, em qualquer análise de variáveis geomorfológicas, é necessário levar em consideração dados pluviométricos consistentes. A média anual de chuvas em Petrópolis, segundo as três estações pluviométricas analisadas, é de 1.750 mm, com maior concentração nos meses de verão (novembro a março), que é o período de maior ocorrência de inundações. A análise da média anual de chuvas no período entre 2011 e 2018 apresenta um desvio padrão de $\pm 47,8$ mm ($n = 8$ anos) (FERNANDES *et al.*, 2020).

A análise individual das bacias de drenagem dos Rios Quitandinha, Palatino e Piabanha mostrou características distintas, pela perspectiva dos índices geomorfológicos analisados (Figura 5.10).

Figura 5.10 – Resultado da avaliação dos índices geomorfológicos nas três bacias em análise.



Fonte: os autores.

Strahler (1952) mostra que a densidade de drenagem apresenta a capacidade que uma bacia tem de drenar a água, após eventos chuvosos; ou seja, quanto menor o valor, maiores serão as chances de ocorrência de inundações. Observa-se, pela Figura 5.10, que a bacia do Rio Quitandinha possui valores que apontam para uma maior suscetibilidade à ocorrência de inundações. O coeficiente de compacidade, que mede a irregularidade da forma da bacia, ajuda a identificar maior chance de ocorrência de inundações, quanto mais próximo de 1 for seu valor. Mais uma vez, a bacia do Rio Quitandinha apresenta maior propensão a inundações, ao se avaliar esse índice. A razão de circularidade também mede a susceptibilidade a inundações, sendo maior quando seu valor se aproxima de 1. Novamente, esse índice corrobora a vocação da bacia do Rio Quitandinha para a ocorrência de inundações, apresentando resultado mais próximo de 1, em relação às demais bacias.

Buscando entender melhor a morfologia dos canais principais que compõem essas três bacias, Santos *et al.* (2019) investigaram o nível de alteração destes, utilizando o índice de sinuosidade (Tabela 5.3) (LEOPOLD; WOLMAN, 1957) e a largura dos canais (Tabela 5.4). Os autores compararam esses índices extraídos da *Planta Koeler* (1846) e da base cartográfica 1:10.000 (1999). Foi constatado que o Rio Quitandinha apresentou maior diferença do valor do índice de sinuosidade e de largura dos canais, seguido das bacias dos Rios Palatino e Piabanha, respectivamente.

Tabela 5.3 – Mensuração dos parâmetros de sinuosidade para os três canais principais.

Rio	Comprimento (m)	Extensão (m)	Índice de Sinuosidade
Quitandinha (<i>Planta Koeler</i>)	7.672,24	5.036,84	1,523
Quitandinha (Base 1999)	7.474,25	5.025,19	1,487
Diferença	-197,99	-11,65	-2,436%
Palatino (<i>Planta Koeler</i>)	4.828,78	2.813,89	1,716
Palatino (Base 1999)	4.805,87	2.859,13	1,680
Diferença	-22,91	+ 45,24	-2,142%
Piabanha (<i>Planta Koeler</i>)	7.327,10	4.712,09	1,555
Piabanha (Base 1999)	7.373,08	4.711,25	1,564
Diferença	+ 45,98	-0,84	+0,575%

Fonte: Santos *et al.* (2019).

Tabela 5.4 – Mensuração dos parâmetros de largura dos canais principais.

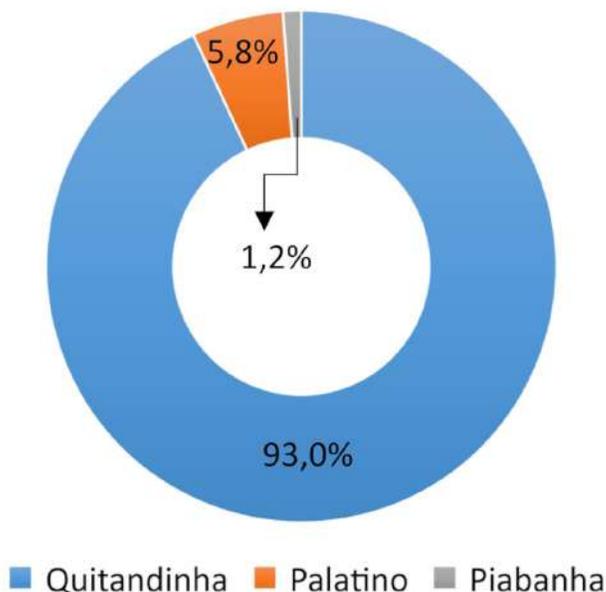
Rio	Largura Máx. (m)	Largura Mín. (m)	Largura Média (m)
Quitandinha (<i>Planta Koeler</i>)	33,92	4,27	9,88
Quitandinha (Base 1999)	14,08	0,0	8,27
Diferença	-19,84	-4,27	-1,61
Palatino (<i>Planta Koeler</i>)	22,48	0,0	8,37
Palatino (Base 1999)	12,90	0,0	7,24
Diferença	-9,58	0,0	-1,13
Piabanha (<i>Planta Koeler</i>)	29,5	0,5	16,41
Piabanha (Base 1999)	17,12	0,5	9,37
Diferença	-12,38	0	-7,04

Fonte: Santos *et al.* (2019).

Na análise dos dados das estações pluviométricas, considerando o período entre 2011 e 2018, é possível identificar 86 inundações. Destas, 80 ocorreram na bacia do Rio Quitandinha (93,0%), cinco na bacia do Rio Palatino (5,8%) e uma na bacia do Rio Piabanha (1,2%) (Figura 5.11). Uma análise mais detalhada dos eventos de chuva e das inundações mostrou que as inundações estão relacionadas a grandes eventos pluviométricos, tendo o Rio Quitandinha inundado, com uma precipitação de 23,45 mm de chuva, em uma hora (FERNANDES *et al.*, 2020).

Figura 5.11 – Distribuição das inundações nas três bacias em análise.

Distribuição das Inundações

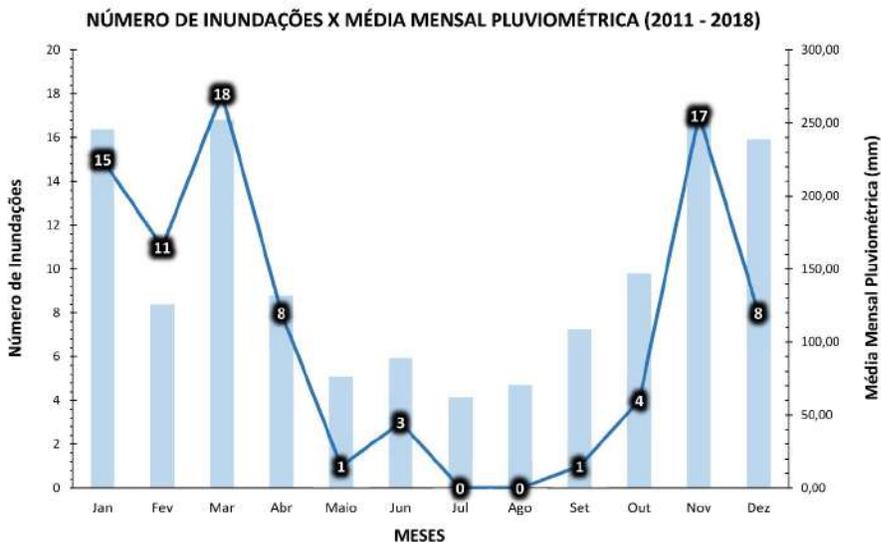


Fonte: os autores.

Como apresentado anteriormente, os maiores volumes de chuva ocorrem no verão, período esse em que também se concentram os eventos de inundação; o que já era esperado, uma vez que, principalmente, a bacia do Rio Quitandinha apresenta a menor resiliência às chuvas. Contudo, os dados mostram que foram comuns as ocorrências de inundações no período entre abril e outubro de 2013, 2014, 2017 e 2018 (Figura 5.12). Com essa amplitude de dados, não é possível afirmar que é uma característica confirmada, mas há indícios de eventos chuvosos mais intensos e de curta duração nesse período, que acarretam inundações (FERNANDES *et al.*, 2020).

A Tabela 5.5 apresenta um resumo dos valores encontrados nas variadas etapas que compuseram a análise geocológica das bacias dos Rios Quitandinha, Palatino e Piabanha. Com base nessa tabela, percebe-se que a bacia do Rio Quitandinha apresentou, em todas as etapas de análise, índices que refletem maior sensibilidade à ocorrência de inundações; seguida, nesta ordem, das bacias dos Rios Palatino e Piabanha.

Figura 5.12 – Distribuição mensal de eventos de inundação e chuva.



Fonte: os autores.

A utilização da *Planta Koeler*, para análise das formas pretéritas dos rios e seus componentes, foi primordial para identificar o nível de alteração da paisagem, visto que a remoção de ilhas fluviais é sabidamente uma interferência brusca no sistema fluvial. Além da remoção, como exposto anteriormente, Santos *et al.* (2019) identificam, pela análise da *Planta Koeler*, que a morfologia dos rios sofreu interferências ao longo do tempo, perdendo largura, bem como a intensa retificação, sobretudo do Rio Quitandinha.

Tabela 5.5 – Síntese dos índices e valores da análise geoecológica das bacias dos Rios Quitandinha, Palatino e Piabanha.

VARIÁVEIS GEOECOLÓGICAS		BACIAS DE DRENAGEM		
		QUITANDINHA	PALATINO	PIABANHA
Características de drenagem passadas	Escavação e remoção das ilhas fluviais (%)	70,85	15,45	13,70
Índice de edificação	Área edificada (%)	44,12	21,50	17,73
Índices geomorfológicos	Densidade de drenagem	0,77	1,71	2,44
	Coeficiente de compacidade	1,40	1,79	1,42
	Razão de circularidade	0,50	0,49	0,31
Dados pluviométricos	Distribuição espacial das inundações (%)	93,02	5,81	1,16

Fonte: os autores.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inerentes às importantes discussões acerca das mudanças climáticas decorrentes do aquecimento global, as análises que buscam entender o comportamento dinâmico da paisagem e os sistemas ambientais que as compõem tornam-se uma das mais importantes contribuições que a ciência geográfica pode oferecer à sociedade em geral. Essa contribuição faz-se não somente na apresentação de resultados e diagnósticos de tais sistemas, mas também na demonstração de arcabouços teórico-metodológicos que têm por objetivo integrar dados, informações e variáveis ambientais diversas. Assim, espera-se que os resultados desse trabalho, além de gerarem um diagnóstico para o entendimento dos eventos de inundação nas três principais bacias do município de Petrópolis, possam estimular a integração de materiais e métodos de investigação científica que possam levar a análises geográficas mais robustas.

Nesse contexto, pôde-se concluir que houve sucesso na tentativa de apresentar um diagnóstico do comportamento da paisagem do primeiro

distrito de Petrópolis, sobretudo na área gênese, no que diz respeito às inundações. Observando os resultados obtidos, ficou claro que a bacia do Rio Quitandinha apresenta maior risco às inundações, seguida da bacia dos Rios Palatino e Piabanha. A primeira e a segunda apresentam tal resultado, sobretudo, pela ocupação humana, que remonta à origem da cidade. Importante lembrar que as inundações são eventos naturais, previstos no funcionamento dos sistemas fluviais. Koeler tinha em mente tais fenômenos, o que fica evidenciado nas formas urbanas planejadas por ele, presentes na *Planta Koeler*. Exemplo disso são os dois grandes tanques, na confluência dos Rios Quitandinha e Palatino; e canalizações dos mesmos rios, no centro tradicional, criadas para amortecer o aumento do fluxo dos rios, durante os eventos de chuva, impedindo as inundações nos arredores do Palácio Imperial.

Por fim, esse trabalho também mostrou que a demanda por terras urbanas modificou a morfologia dos rios, o que, quando analisada em conjunto com outras variáveis geológicas, evidencia os efeitos do processo de urbanização, que são, nesse caso, as inundações. Premissa aceita, considerando as análises das mudanças climáticas, os eventos de grande magnitude continuarão a se intensificar daqui para o futuro, e cidades como Petrópolis tendem a sofrer mais com as inundações. Portanto, esse trabalho ajuda na indicação das bacias que devem receber maior atenção do poder público, na tentativa de mitigar as respostas do sistema aos eventos de grande magnitude, cada vez mais frequentes.

REFERÊNCIAS

AMBROZIO, J. C. G. *O presente e o passado no processo urbano da cidade de Petrópolis (uma história territorial)*. 2008. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ANTUNES, F. de S. *Geotecnologias e cartografia histórica no auxílio à análise da organização espacial da área gênese de Petrópolis - RJ*. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

ANTUNES, F. de S.; FERNANDES, M. do C. Análise geográfica e cartografia histórica: subsídios para entender a organização espacial da área gênese de Petrópolis (RJ). *GEOUSP Espaço e Tempo (on-line)*, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 117-135. jan./abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2020.148942>. Acesso em: 12 fev. 2021

BENDJOUDI, B.; HUBERT, P. The Gravelius compactness coefficient: critical analysis of a shape index for drainage basins. *Hydrological Sciences Journal*, Paris, v. 47, n. 6, p. 921-930, dez. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02626660209493000>. Acesso em: 12 fev. 2021.

BERTRAND, G. Paisaje y geografía física global. In: MENDONZA, J. G.; JIMÉNEZ, J. M.; CANTERO, N. O. (org.). *El pensamiento geográfico-estudo interpretativo y antología de textos (de Humbolt a las tendencias radicales)*. Madrid: Alianza 1982.

BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. *Object based image analysis: spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications*. New York: Springer, 2008.

BLUNDEN, J.; ARNDT, D. State of the climate in 2015. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Boston, v. 97, n. 8, p. S1-S275, ago. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/2016BAMSStateoftheClimate.1>. Acesso em: 17 jan. 2021.

BOTELHO, R. G. M. Bacias hidrográficas urbanas. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. *Geomorfologia urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BRASIL. *Decreto nº 89.817, de 20 de jun. de 1984*. Estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da Cartografia nacional. Brasília, DF: Presidência da República, [1984].

COLLIER, P. The military map of the United Kingdom and its impact on mapping in the twentieth century. *The Cartographic Journal*, Londres, v. 50 n. 4, p. 324-331, dez. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1179/1743277412Y.0000000023>. Acesso em: 19 jan. 2021.

COLGATON, R. G.; GREEN, K. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. New York: Lewis Publishers, 2009.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L. B. *Water and environmental planning*. San Francisco: W.H. Freeman e Company, 1978.

EM-DAT. *OFDA/CRED international disaster database*. Brussels, Belgium: Université Catholique de Louvain, 2020.

FERNANDES, M. do C. Discussões conceituais e metodológicas do uso de geoprocessamento em análises geoecológicas. In: BICALHO, Ana Maria de Souza Mello; GOMES, Paulo César da Costa. *Questões metodológicas e novas temáticas na pesquisa geográfica*. Rio de Janeiro: Publit, 2009.

FERNANDES, M. do C. *et al.* Modeled surface observations for spatial analysis of landscape dynamics. *Journal of Geographic Information System*, [s.l.], v. 5, n. 4, p. 409-417, ago. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/jgis.2013.54039> Acesso em: 23 fev. 2021.

FERNANDES, M. do C. *et al.* Cartographic memory preservation of the Petrópolis City in Brazil: Koeler map scanning using photographic survey. *In: CARTWRIGHT, W. et al. Lecture notes in geoinformation and cartography*. Basel: Springer International Publishing, 2017.

FERNANDES, M. do C. *et al.* Flood dynamics: a geoecological approach using historical cartography and giscience in the city of Petrópolis (Brazil). *European Journal of Geography*, v. 11, n. 1, p. 73-92, out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.48088/ejg.m.fer.11.1.73.92>. Acesso em: 22 fev. 2021.

FORMAN, R.; GORDON, M. *Landscape ecology*. New York: John Wiley & Sons Inc, 1986.

GEOCART (LABORATÓRIO DE CARTOGRAFIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO). *Banco de dados de deslizamentos e inundações de Petrópolis (1932-2015)*. Rio de Janeiro: GEOCART, 2015. 1 DVD-ROM.

GONÇALVES, L. F. H.; GUERRA, A. J. T. Movimentos de massa na cidade de Petrópolis (Rio de Janeiro). *In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Impactos ambientais urbanos no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2009.

GOODCHILD, M. Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, [s.l.], v. 6, n. 1, p. 31-45, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02693799208901893>. Acesso em: 15 jan. 2021.

GREGORY, K. J.; WALLING, D. E. *Drainage basin*. Form and process: a geomorphological approach. London: Edward Arnold, 1973.

HUGGET, R.J. *Geoecology: an evaluation approach*. London: Routledge, 1995.

IBGE (FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). *População em áreas de risco no Brasil*. Rio de Janeiro: Coordenação de Geografia/IBGE, 2018.

IBGE (FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). *Sinopse do censo demográfico 2010*. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IGAM (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS). Glossário de termos: gestão de recursos hídricos e meio ambiente. 2ª ed. Belo Horizonte: IGAM, 2012.

116 p. Disponível em: <http://200.198.57.118:8080/jspui/handle/123456789/45>. Acesso em: 13 de janeiro de 2021.

INSTITUTO HISTÓRICO DE PETRÓPOLIS (IHP). *IHP - banco de dados de palestras*. Petrópolis: IHP, 2015.

KLINK, H.-J. Geoecology and natural regionalization: bases for environmental research. *Applied Sciences and Development*, [s.l.], v. 4, p. 48-73, 1974.

KRON, W. Flood risk = hazard x exposure x vulnerability. *Water International*, [s.l.], v. 30, n. 1, p. 58-68, jan. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02508060508691837>. Acesso em: 10 fev. 2021.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, [s.l.], v. 33, n. 1, p. 159-174, mar. 1977. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2529310>. Acesso em: 10 fev. 2021.

LEOPOLD, L.; WOLMAN, M. Gordon. *River channel patterns, braided, meandering and straight*. Professional Paper 282-B. 1957. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/pp282B>. Acesso em: 12 fev. 2021.

MENEZES, P. M. L. de. Cartografia histórica: um instrumento de análise geográfica. In: BICALHO, A. M. de S. M.; GOMES, P. C. da C. *Questões metodológicas e novas temáticas na pesquisa geográfica*. Rio de Janeiro: Publit, 2009.

MENEZES, P. M. L. de *et al.* Historical-toponymic analysis of the 1823 Carta Geographica of the Rio de Janeiro Province. In: SLUTER, Claudia Robbi; CRUZ, Carla Bernadete Madureira; MENEZES, Paulo Márcio Leal de (org.). *Lecture notes in geoinformation and cartography: maps connecting the world*. Basel: Springer International Publishing, 2015.

MENEZES, P. M. L. de; FERNANDES, M. do C. *Roteiro de cartografia*. Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2013.

MILLER, V. C. A. *Quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area*. Virginia and Tennessee, Project Number 389-402. Technical Report-3. New York: Columbia University, Department of Geology, 1953.

MOUGIAKOU, E.; PHOTIS, Y. N. Urban green space network evaluation and planning: optimizing accessibility based on connectivity and raster GIS analysis. *European Journal of Geography*, [s.l.], v. 5, n. 4, p. 16-46, nov. 2014.

NEVES, F. M. B.; ZANATTA, E. M. *Traços de Koeler: a origem de Petrópolis a partir da Planta de 1846*. Rio de Janeiro: Global Mídia Comunicação, 2016.

NATIONAL WEATHER SERVICE/NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NWS/NOAA). *Glossary*. 2009. Disponível em: <https://w1.weather.gov/glossary/>. Acesso em: 18 dez. 2020.

PETRÓPOLIS. *Base cartográfica*. Escala 1:10.000. Petrópolis: PMP/PROSPEC, 1999.

RABAÇO, H. J. *História de Petrópolis*. Petrópolis: Instituto Histórico de Petrópolis, 1985.

SANTOS, K. da S. *et al.* The rivers, the city and the map as object of landscape dynamics analysis. *Mercator*, Fortaleza, v. 18, p. 1-14, out. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4215/rm2019.e18021>. Acesso em: 18 dez. 2020.

SHAO, G.; WU, J. On the accuracy of landscape pattern analysis using remote sensing data. *Landscape Ecology*, [s.l.], v. 23, p. 505-511, mar. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9215-x>. Acesso em: 18 dez. 2020.

SILVA, A. G. da. *Petrópolis: idealismo e inovações na gênese de uma cidade no Brasil-Império*. 2000. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Ippur, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

SPOSITO, M. E. B. *Capitalismo e urbanização*. São Paulo: Contexto, 1998.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of geomorphology. *Geological Society American Bulletin*, [s.l.], v. 63, p. 923-938, set. 1952. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[923:DBOG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[923:DBOG]2.0.CO;2). Acesso em: 07 jan. 2021.

TROLL, C. *Luftboldplan und ökologische bodenforschung*. Berlin: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zer Berlin, 1939.

TURNER, M.G. Landscape ecology: effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, [s.l.], v. 20, p. 171-197, nov. 1989.

AS FAVELAS NO CONTEXTO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO: ESPACIALIDADES E DESAFIOS

Rita Maria Cupertino Bastos

Paula Maria Moura de Almeida

Carla Bernadete Madureira Cruz

6.1 FAVELAS E O PROCESSO DE OCUPAÇÃO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

A diferenciação espacial é o primeiro conceito associado à espacialidade, que só pode ser pensada no âmbito de um espaço heterogêneo (CORRÊA, 2019). Os usos da terra na cidade são condicionados por meio de diferenciações espaciais de cunho natural (relevo, vegetação, corpos hídricos, tipos de solos) ou antrópico (decorrentes de processos sociais e suas consequentes formas espaciais). E, no caso do Rio de Janeiro, são diversas as variáveis espaciais naturais e antrópicas a serem consideradas ao longo da existência da cidade.

A cidade do Rio de Janeiro, fundada em 1565, é marcada por diversas características espaciais, em parte cicatrizes das relações imbricadas na disposição de elementos naturais e sociais. Uma cidade cujo espaço urbano, assim como outros, é fragmentado nos diferentes usos da terra justapostos entre si (CORRÊA, 1989). Esse mosaico dá-se em meio ao relevo de mares de morros, às praias e às lagoas, englobando em seu limite três grandes maciços (Pedra Branca, Mendanha e da Tijuca).

Até o início do século XIX, a elite carioca estava situada no centro da cidade, em grandes mansões, quando, então, migra para a zona sul (ABREU, 1997), em busca de amenidades como a proximidade às praias e o distanciamento das áreas de trabalho. As habitações abandonadas da elite, localizadas no centro da cidade, que antes acomodavam uma única família, passaram a acomodar dezenas de famílias de baixa renda (a grande maioria era de ex-escravos, migrantes ou imigrantes). Surgem, então, os cortiços, consi-

derados como “*locus da pobreza*”, no final do século XIX (VALLADARES, 2000, p. 7); e fenômeno que reflete no aumento da densidade domiciliar do período (DELGADO DE CARVALHO, 1990; IBGE, 2010).

No fim do século XIX e início do século XX, uma série de políticas higienistas começam a ser adotadas na cidade, atreladas, em parte, a diversas desapropriações e remoções, principalmente de cortiços (BENCHIMOL, 1992). Nesse contexto, a parcela pobre da população, numa tentativa de permanecer perto das oportunidades de emprego do centro (ABREU, 1997), desloca-se para áreas de ocupação urbana não consolidada, como os morros (ROCHA, 1986; CARVALHO, 1986), dando início ao processo de favelização, nas duas primeiras décadas do século XX (ABREU, 1997). Contudo, há estudos que apontam o surgimento das favelas cariocas, a partir da década de 1930 (SAGMACS, 1960), ou ainda no final dos anos 1890, com o fim da Guerra de Canudos na Bahia (LEEDS; LEEDS, 1978).

Ao longo do século XX, o processo de urbanização do município do Rio de Janeiro ocorreu de forma intensa e acelerada no que se refere à ocupação de novos espaços e à verticalização de áreas anteriormente ocupadas. A consequente expansão das áreas de ocupação urbana reflete, e ao mesmo tempo reforça, históricas desigualdades socioeconômicas, que reverberam no espaço até os dias atuais. As favelas cariocas são feições que podem ser atribuídas como forma espacial resultante desse processo acelerado e desigual de urbanização (ZALUAR; ALVITO, 2004; SILVA; BARBOSA, 2005).

As favelas, cuja palavra remete a uma planta típica do sertão nordestino⁴, exibem diferentes conceituações. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, que trabalha com o termo “aglomerado subnormal”, define as favelas como sendo áreas que possuem 51 ou mais unidades habitacionais e que atendem, ao menos, a um dos seguintes critérios: “1- Irregularidade das vias de circulação e do tamanho e forma dos lotes; e/ou 2- Carência de serviços públicos essenciais (como coleta de lixo, rede de esgoto, rede de água, energia elétrica e iluminação pública)” (IBGE, 2010, s.p.).

O Instituto Pereira Passos (IPP), órgão responsável pelo planejamento urbano da cidade do Rio de Janeiro, corrobora a definição presente na Lei Complementar n.º 111, de 1/2/2011 (RIO DE JANEIRO, 2011), de que as favelas são áreas predominantemente ocupadas por estabelecimentos residenciais e caracterizadas por:

⁴ O termo “favela” foi trazido ao Rio de Janeiro com a chegada de combatentes da Guerra de Canudos (1896-1897). Na Bahia, havia um morro com esse nome, e os ex-soldados, ao ocuparem o Morro da Providência no Rio de Janeiro, replicaram o nome baiano “Morro da Favella”.

[...] ocupação clandestina e de baixa renda, precariedade da infraestrutura urbana e de serviços públicos, vias estreitas e alinhamento irregular, ausência de parcelamento formal e vínculos de propriedade e construções não licenciadas, em desacordo com os padrões legais vigentes. (RIO DE JANEIRO, 2011, p. 117).

Embora o senso comum muitas vezes relacione a população residente nesses espaços urbanos como excluída socialmente, não é isso que se dá em relação aos aspectos econômicos na cidade. A população favelada no Rio de Janeiro, diferentemente do que se imagina, não está à margem do sistema capitalista. Ao contrário, está inserida de maneira econômica, social e cultural no sistema e, conseqüentemente, no funcionamento do meio urbano (PERLMAN, 1977). Ressalta-se que, apesar de inseridas no espaço urbano, as favelas não abarcam a completude da urbanidade, tendo em vista que são formas espaciais que expressam a desigualdade social inerente ao sistema capitalista, tópico que será aprofundado no decorrer deste capítulo.

Considerando as questões histórico-dialéticas das relações entre centro e periferia (aqui traduzida pelas favelas) e também as (re)produções do espaço urbano capitalista, faz-se interessante o exercício de analisar as variáveis espaciais que tangenciam o surgimento e permanência das favelas. E, como tal, iniciativas de caracterização socioambiental e de mapeamento das favelas são fundamentais para um panorama da distribuição desigual no espaço, favorecendo, assim, um planejamento urbano coerente com as necessidades da população mais vulnerável socioeconomicamente.

Como diversos elementos e fenômenos estão dispostos no espaço de forma aparentemente caótica e aleatória, é necessário um olhar mais atento, para que se compreenda a lógica espacial existente por trás da localização das favelas cariocas. Ao mesmo tempo, investigar se as lógicas pensadas para o arranjo do século passado se mantêm, quando analisamos a totalidade de favelas cariocas no século XXI. Sendo assim, a questão fundamental posta aqui é: em que lógica espacial as favelas da cidade do Rio de Janeiro estão inseridas?

6.2 CARTOGRAFIAS DE FAVELAS: DESAFIOS E REALIDADE

A multiplicidade da conceituação das favelas implica, conseqüentemente, desafios para com sua delimitação espacial. Outra questão relevante é a problemática envolvendo a integração de dados de diferentes instituições.

Como, de maneira geral, cada uma adota uma definição distinta de favela, a delimitação espacial de uma instituição diverge da definida por outros órgãos, dificultando análises temporais e multiescalares. Nesse sentido, fazem-se fundamentais, os estudos das características espaciais relacionadas à sua dispersão locacional, a fim de contribuir teórico-metodologicamente com a delimitação e caracterização espacial das favelas.

No exercício de se pensar a favela como entidade concreta do fenômeno espacial urbano, podemos caracterizá-la conforme sua espacialidade e os elementos inerentes a qualquer geoinformação⁵. Essa perspectiva auxilia as tomadas de decisões (BATISTELLA; MORAN, 2008), e é importante para compreensão dos fundamentos epistemológicos e das metodologias adequadas para sua aplicação (RODRIGUEZ, 2015).

De acordo com Laurini e Thompson (1992) e Antenucci *et al.* (1991 *apud* FERNANDES, 2009), a ontologia de uma geoinformação pode ser dividida em três aspectos fundamentais. O aspecto espacial está relacionado com a localização absoluta (coordenadas, códigos numéricos ou nominais) e relativa do objeto ou dos lugares (relações topológicas), com sua escala de análise, sua geometria (linha, polígono) e tamanho (largura, comprimento). O aspecto temporal remete à dinâmica de extensão dessa informação no tempo. Cada fenômeno pode ser caracterizado por se comportar de maneira singular em diferentes escalas temporais (diário, semanal, mensal, anual) e ainda apresentar (ou não) uma sazonalidade ou alterações dos padrões. O aspecto descritivo dá conta das características definidoras do elemento, tais como o nome, uma descrição textual ou numérica. Qualquer fenômeno situado na superfície terrestre pode ser compreendido pela perspectiva geoinformacional.

A reflexão das favelas, pela ótica dos atributos da geoinformação, revela e corrobora a complexidade de análise desse fenômeno. Quanto aos aspectos espaciais, as favelas cariocas possuem uma diversidade de tamanhos (indo, na Área de Planejamento 3 do Rio de Janeiro, por exemplo, de 106 m², no Caminho do Bicho; alcançando 414.4176 m², no Jardim Maravilha; e 4.773.387 m², no Complexo do Chapadão) e arranjos (apresentando-se de forma isolada ou em complexos). Há não apenas diferentes relações topológicas como uma complexidade de combinações desses elementos

⁵ Segundo Batistella e Moran (2008), a geoinformação é uma área do conhecimento que possibilita compreender a distribuição espacial dos elementos tanto antrópicos como naturais. Não necessariamente uma geoinformação está representada na forma de um mapa, podendo ser uma imagem, uma tabela, um ponto, um endereço, uma habitação, um território, entre outros, desde que essa informação possua um referencial geográfico, que permita sua localização.

espaciais de caráter natural (corpos hídricos, topografia, vegetação) e antrópico (rodovias, ferrovias). Ou seja, uma mesma favela pode se relacionar com mais de uma variável espacial do meio urbano. O Quadro 6.1 ilustra diferentes tipos de favelas e arranjos espaciais.

Quadro 6.1 – Recortes de favelas, de acordo com os aspectos espaciais.

<p>Complexo do Alemão (Complexo)</p> 	<p>Bandeira 2 - B2 (Favela única)</p> 
<p>Pavão-Pavãozinho Cantagalo (PPC) (Favela vertical)</p> 	<p>Jacarezinho (Favela horizontal)</p> 

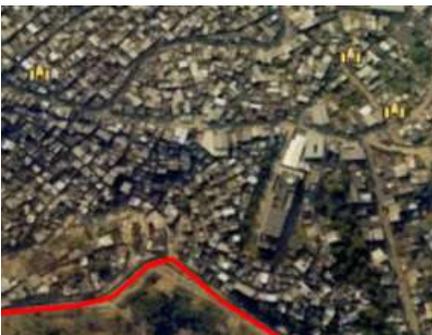
<p>Maré (Favela cortada por rodovia)</p> 	<p>Cidade de Deus (Favela cortada por rio)</p> 
<p>Providência (Favela rodeada por urbano)</p> 	<p>Borel (Favela rodeada por urbano e vegetação)</p> 

Fonte: as autoras. Imagens: *Google Earth Pro*[®]; delimitações de complexos de favelas em 2019 (RIO DE JANEIRO, 2019).

O aspecto temporal das favelas reverbera o caráter dinâmico e mutável do espaço urbano. Com isso, seu dinamismo decorre da mutabilidade dos interesses dos agentes modeladores do espaço (CORRÊA, 1989). Exemplos de agentes que influenciam a dinâmica espacial das favelas não se relacionam somente à questão populacional (de procura por moradias, ao mesmo tempo que possuem condições econômicas desfavoráveis), mas também às políticas públicas (como a de instalação das Unidades de Polícia Pacificadora, UPPs) e à guerra do tráfico entre facções. As favelas, pela perspectiva da estrutura descritiva, dispõem de questões como: os distintos tipos de habitações que as constituem (de barracos a prédios); os diferentes tipos de serviços que ali são ofertados (academias, padarias, mercados, igrejas, áreas de lazer); os tipos de pavimentação (areia, barro, cimento, asfalto) e de vias (vuelas, becos,

ruas); a presença de poderes paralelos, configurando um caráter territorial ao local; e a ocorrência de possíveis disputas armadas. O Quadro 6.2, a seguir, dispõe de alguns arranjos geoinformacionais supramencionados.

Quadro 6.2 – Recortes de favelas cariocas de acordo com os aspectos geoinformacionais.

<p>Complexo da Pedreira (prédios)</p> 	<p>Complexo da Pedreira (casas)</p> 
<p>Favela (igreja)</p> 	<p>São João (campinho de futebol)</p> 

Fonte: as autoras. Imagens: *Google Earth Pro*[®]; delimitações de complexos de favelas em 2019 (RIO DE JANEIRO, 2019).

A complexidade da caracterização das favelas na análise geoinformacional remete a questões como: a favela pode ser considerada uma forma espacial urbana? E, se sim, está restrita enquanto algo concreto? Ou pode ser também descrita enquanto características não palpáveis, como uma sensação de pertencimento? Uma forma de resistência? Uma cultura? A favela se restringe a um tipo de habitação? Ou é uma forma espacial que abarca

outras construções, como comércios e áreas de lazer? Um poder paralelo pode ser uma característica definidora de uma favela?

Em tempo, principalmente no contexto carioca, um novo agente começa a surgir, consistindo em mais uma influência na (re)produção das favelas: as milícias. Um novo agente social modelando o espaço urbano, gerando novas formas habitacionais e com práticas espaciais ainda não tão conhecidas, apesar de alguns estudos importantes sobre o tema (ZALUAR; CONCEIÇÃO, 2007; CARUSO; REZENDE, 2010; MENDONÇA, 2014; COUTO; BEATO FILHO, 2019).

É possível observar, então, a diversidade geoinformacional das favelas reverberando em diferentes características espaciais, temporais e descritivas, tornando complexa sua análise espacial. Com isso, o processo cartográfico desse fenômeno apresenta elevado nível de dificuldade, além de ser necessário um esforço de uma cartografia constante, tendo em vista o grau de dinamismo desses espaços. Tipos de construções que se alteram ao longo do tempo e do espaço, processos de expansão e remoção. Mutabilidade em função, também, da relação entre seus fixos e fluxos, a exemplo das dinâmicas decorrentes da implementação das UPPs, em que uma mesma construção antes tinha função de residência e passa a ter função de poder paralelo, sendo, assim, incorporada à delimitação de favela.

A análise dos aspectos ontológicos das favelas enquanto um fenômeno espacial não apenas permite uma caracterização geral desses espaços, muitas vezes invisibilizados pelo poder público (FERRAZ, 2016), como possibilita a interpretação do conjunto de fluxos e relações sociais e topológicas em que se inserem. Dessa forma, faz-se possível uma análise da vulnerabilidade socioambiental desses espaços e de sua população residente.

6.3 A VULNERABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DAS FAVELAS CARIOCAS: VARIÁVEIS E INDICADORES ESPACIAIS

A precariedade na oferta de serviços essenciais faz com que a população favelada esteja em maior grau de vulnerabilidade social, que se relaciona a uma “maior ou menor capacidade de enfrentamento dos riscos sociais por parte de indivíduos e de grupos” (BILAC, 2006, p. 53). Na concepção de Abramovay e outros, a vulnerabilidade social pode ser compreendida também como:

[...] o resultado negativo da relação entre a disponibilidade dos recursos materiais ou simbólicos dos atores, sejam eles indivíduos ou grupos, e o acesso à estrutura de oportunidades sociais, econômicas, culturais que provêm do Estado, do mer-

cado e da sociedade. Esse resultado se traduz em debilidades ou desvantagens para o desempenho e mobilidade social dos atores. (ABRAMOVAY *et al.*, 2002, p. 29)

Dessa forma, tais indivíduos/grupos tornam-se mais suscetíveis a riscos, como no caso da população favelada, cujo acesso a determinados ativos é deficiente ou negado. A vulnerabilidade socioambiental, também compreendida enquanto vulnerabilidade de lugar (MARANDOLA JÚNIOR; HOGAN, 2009), reúne não apenas os elementos demográficos, como também incorpora fatores ambientais em sua análise integrada.

Há, então, um “fenômeno de cumulatividade entre pobreza e risco urbano” (ACSERALD *et al.*, 2009, p. 45), que possui relação intrínseca com o processo de segregação residencial, entendido como a projeção das classes sociais no espaço urbano, contribuindo para a sua complexidade (HARVEY, 1975). Nesse contexto, a segregação residencial pode ser relacionada “às classes sociais e seus espaços de existência e reprodução” (CORRÊA, 2013, p. 40), constituindo a espacialização das classes sociais no espaço urbano (CORRÊA, 1989). A questão da moradia está intrinsecamente relacionada aos demais aspectos da vida social, como escolaridade precária, baixa acessibilidade na mobilidade urbana, baixa renda, doenças (CORRÊA, 2013), e maiores riscos ambientais a situações de enchentes e deslizamentos de terra, por exemplo. O acesso desigual a habitação não consiste apenas na espacialidade das habitações, senão, ainda, na sua qualidade estrutural, seguindo a tendência (que possui exceções) de que, quanto menor o *status* social e de renda da população, mais precária será sua habitação.

O processo de segregação residencial é, assim, tangente à espacialidade de áreas de maior ou menor vulnerabilidade socioambiental, e uma de suas formas espaciais é a favela. Tais espaços são marginalizados no sentido de qualidade de vida e de acesso aos serviços públicos, visto que, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), “há pouco ou nenhum planejamento para acomodar tais pessoas e prestar-lhes serviços” (UN-HABITAT, 2003, p. 3). Nesse sentido, Henri Lefebvre (2001) aponta a favela enquanto um espaço urbano desprovido de urbanidade, e essa colocação corrobora a relação entre favelas e vulnerabilidade social.

As favelas são construções vinculadas aos grupos sociais excluídos e sem contato com nenhum dos demais agentes produtores do espaço urbano. Sendo assim, as favelas possuem caráter diferenciado em relação às demais habitações no que se refere aos seus agentes modeladores (CORRÊA, 1989).

É na produção da favela, em terrenos públicos ou privados invadidos, que os grupos sociais excluídos se tornam, efetivamente, agentes modeladores, produzindo seu próprio espaço, na maioria dos casos independentemente e a despeito dos outros agentes (CORRÊA, 1989, p. 30).

O autor aponta ainda que a construção das favelas configura uma forma de resistência e estratégia de sobrevivência em relação às condições impostas aos grupos que lutam pelo direito à cidade. Ou seja, apesar de a construção das habitações ser apenas pelos grupos sociais excluídos, diversos são os atores envolvidos na manutenção e reprodução espacial do processo de segregação residencial, consequentemente condicionando espacialmente os locais de favela:

Empresas industriais, bancos, companhias de seguro e poderosas famílias com suas propriedades especulativas e residentes em áreas de autosegregação garantem a execução dessa política [de segregação residencial] das classes sociais subalternas. (CORRÊA, 2013, p. 44)

Assim, índices foram elaborados pensando nas desigualdades socioeconômicas, como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), o Índice de Exclusão Social, apontado por Acselrad *et al.* (2009), e o Índice de Desenvolvimento Social (CAVALIERI; LOPES, 2008). Como sinaliza a literatura, as favelas são, via de regra, espaços constituídos por uma classe social de baixo *status* e baixa renda, e com *deficit* nos serviços públicos essenciais, tais como coleta de lixo, abastecimento de água, energia elétrica, saneamento básico, saúde, educação, lazer e cultura.

Nesse contexto, as favelas constituem a habitação mais precária entre as demais, haja vista a não aquisição do terreno de construção, invadindo terrenos de cunho público ou privado (CORRÊA, 1989), e a precarização do local em que são construídas, como encostas de morros e locais alagadiços (ABREU, 1997). Tornam-se, então, de suma importância pesquisas acerca da relação entre as favelas e esses elementos mediante análises espaciais, ferramentas capazes de subsidiar tomadas de decisão pública, sendo essenciais a qualquer esforço de cunho integrativo (BASTISTELLA; MORAN, 2008; FERNANDES, 2009).

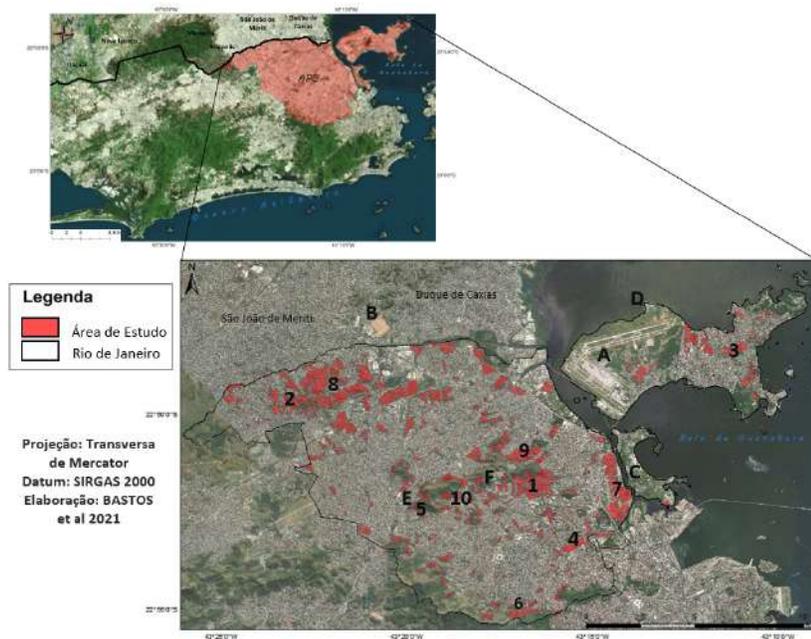
6.4 A ÁREA DE PLANEJAMENTO 3 (AP3) CARIOCA

As favelas cariocas possuem forte relação com o relevo de mares de morro compreendidos no território da cidade do Rio de Janeiro, sendo um

marco diferencial perante os demais processos de favelização brasileiros e constituindo o aspecto primordial que justifica a escolha do recorte espacial desta análise. Para administração da cidade, o município do Rio de Janeiro possui algumas formas de divisão, e uma delas se estabelece em cinco Áreas de Planejamento. A Área de Planejamento 3 (AP3) corresponde à zona norte carioca, uma das áreas majoritariamente residenciais e uma das regiões mais consolidadas do município. Além disso, contém o maior contingente populacional da cidade, o maior quantitativo de favelas entre as demais Áreas de Planejamento (772 das 2.220 comunidades, de acordo com os dados levantados pelo MPRJ em 2019) e o maior número de pessoas morando em áreas de favelas (CAVALLIERI; VIAL, 2012).

Nesse sentido, o recorte espacial analisado aqui consiste na AP3 do município do Rio de Janeiro (Figura 6.1), pela perspectiva das habitações construídas pelos grupos sociais excluídos (CORRÊA, 1989), contemplando conjuntos habitacionais, loteamentos próprios e favelas. A análise dos cortiços, habitações também apontadas pelo autor, não foi abrangida, tendo em vista a disponibilidade de dados. A malha digital de comunidades disponibilizada pelo Ministério Público do Rio de Janeiro foi utilizada por ser a mais recente e de melhor nível de detalhamento de delimitação e compreender a delimitação das favelas, aglomerados subnormais, conjuntos habitacionais e loteamentos de baixa renda (segundo dados do Sistema de Assentamentos de Baixa Renda, Sabren) (RIO DE JANEIRO, 2019). Para uma melhor compreensão das análises dos resultados, algumas comunidades e pontos de referência foram marcados: Comunidades 1. Alemão; 2. Chapadão; 3. Dendê; 4. Jacarezinho; 5. Juramento; 6. Lins; 7. Maré; 8. Pedreira; 9. Penha e 10. Serrinha. Demais referenciais: A. Aeroporto do Galeão; B. Baixada Fluminense; C. Cidade Universitária (UFRJ); D. Ilha do Governador; E. Madureira e F. Serra da Misericórdia.

Figura 6.1 – Mapa de localização da área de estudo: as comunidades da Área de Planejamento 3 (AP3) do município do Rio de Janeiro.



Fonte: as autoras.

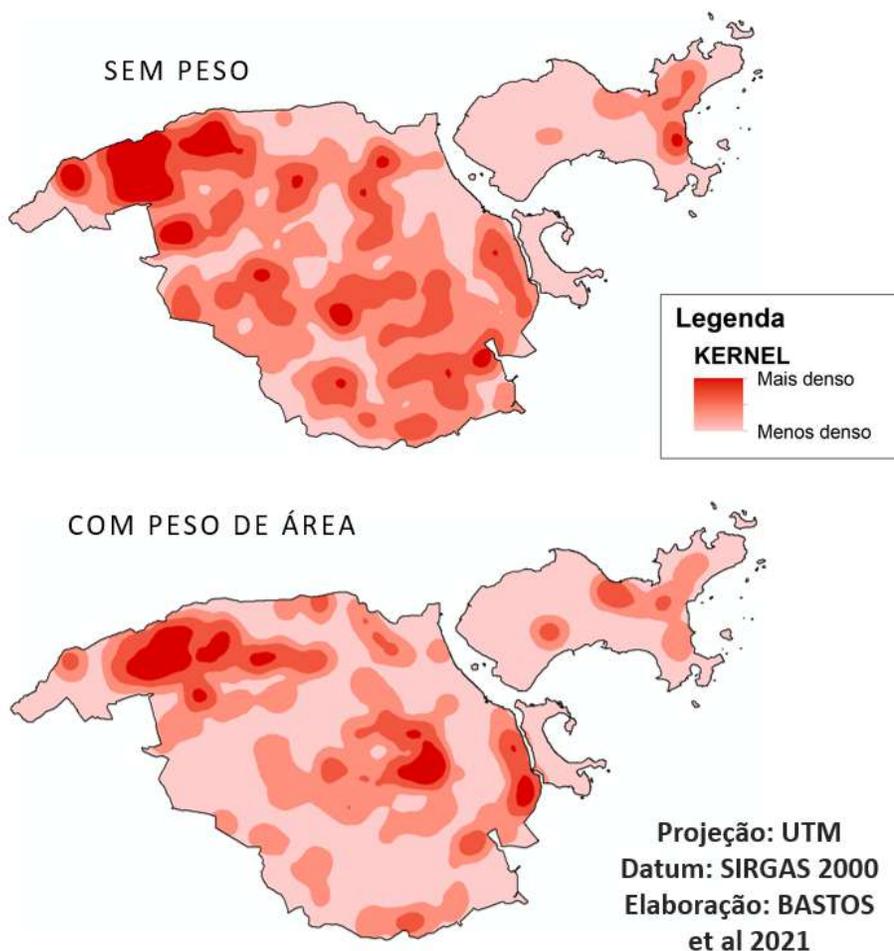
As variáveis espaciais analisadas consideram rodovias, ferrovias, zonas industriais, hidrografia e topografia como relacionadas às favelas (ABREU, 1997). No MPRJ, também foram adquiridas as malhas de trajeto de rodovias e ferrovias; e, na plataforma do IPP, foram obtidas as malhas da divisão das Áreas de Planejamento da cidade, hidrográficas e de zoneamento do município, sendo extraída a zona industrial. O modelo digital de elevação, *Shutter Radar Topography Mission (SRTM)*, foi adquirido por intermédio do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey – USGS*), cuja resolução espacial de 30 metros se mostrou, ao longo do desenvolvimento dessa análise, não adequada para avaliações internas mais detalhadas de cada favela. As análises referentes às zonas industriais foram realizadas para até 500 m de distância das comunidades. Em relação à rede hidrográfica, a distância trabalhada foi de até 30 m, tratando-se do entorno imediato dos corpos hídricos e contextualizada enquanto área mais suscetível a enchentes. Quanto aos dados de rodovias e ferrovias, a distância analisada foi de até 200 m, referente a 2 minutos de caminhada. Todos os dados supramencionados foram trabalhados no *software ArcMap®*, v. 10.4.

A compreensão da concentração da distribuição das comunidades pela AP3 foi realizada por meio de uma análise de *kernel*, que consiste em uma medida geoestatística de interpolação de dados que auxilia nas análises de comportamento e busca de padrões. O *kernel* foi dividido em duas partes: a primeira sem acréscimo de peso algum, com objetivo de elucidar a distribuição espacial das favelas pela AP3 e baseada no quantitativo de comunidades, e a segunda agregando peso por área visando avaliar a dispersão em função de seu tamanho espacial.

Dessa forma, é possível analisar a dispersão espacial quantitativa das favelas bem como as de maior expressividade em termos de tamanho de área (Figuras 6.2A e 6.2B). Em ambas, os tons mais escuros correspondem a um maior adensamento na quantidade ou tamanho de área das comunidades, enquanto que os tons mais claros apontam menor densidade das mesmas características.

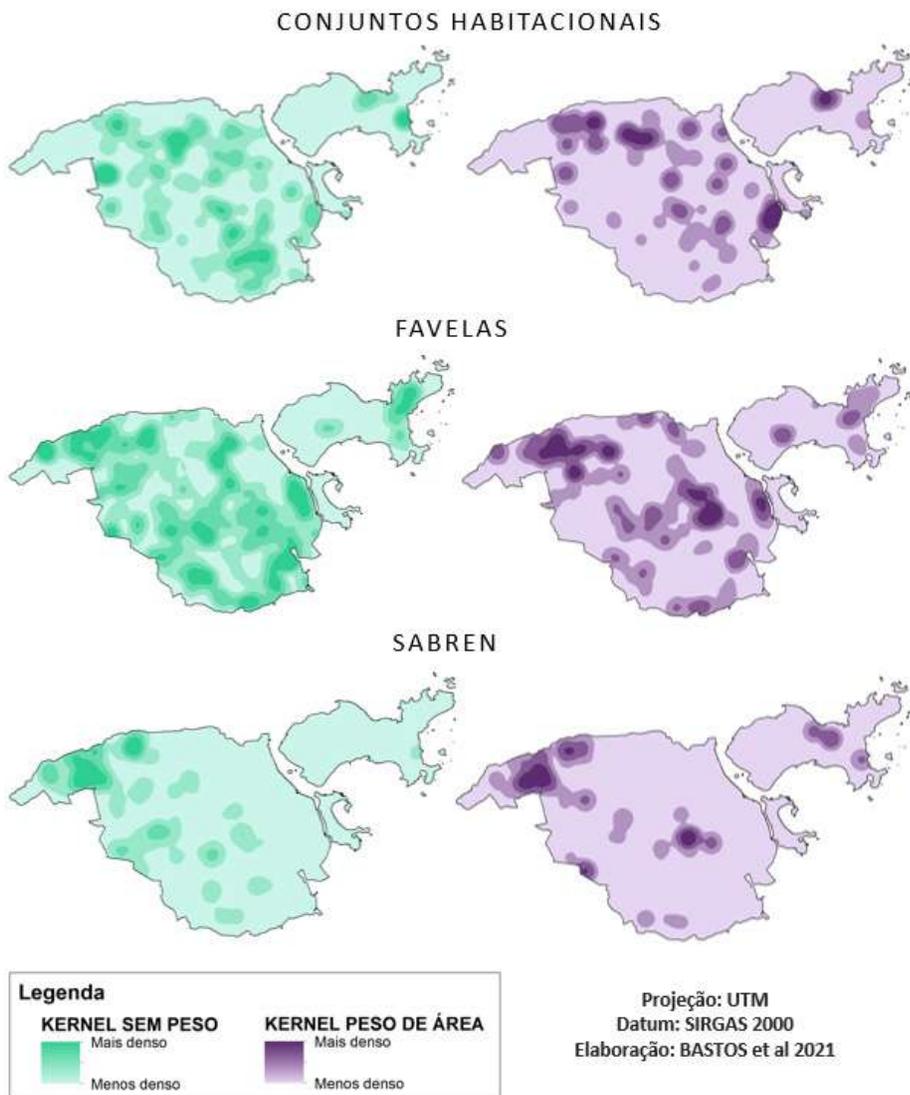
Com o primeiro mapa de calor, foi possível constatar que a distribuição espacial das favelas pela AP3 possui ocorrência em quase toda sua extensão territorial, à exceção de alguns vazios, tais como áreas de jurisdição militar (nos limites nordeste e norte do mapa), jurisdição federal (como a Cidade Universitária da UFRJ e o Aeroporto Internacional do Galeão). Há uma concentração a noroeste, próximo à baixada fluminense, que se reafirma com base no mapa de concentração de área. Nitidamente, o acréscimo do peso de área colocou em evidência os grandes complexos de favelas. Em um primeiro momento, ressaltam-se os complexos da Maré, Alemão, Penha, Chapadão e Pedreira, e logo em seguida os complexos do Lins e do Jacarezinho, bem como os conjuntos habitacionais da Ilha do Governador. Para um aprofundamento, outra análise de *kernel* foi realizada, sem pesos e com peso de área, referente aos tipos de comunidades agregadas pelo MPRJ (Figura 6.3).

Figura 6.2 – Análise de *kernel* das comunidades da AP3 do município do Rio de Janeiro: sem peso (A) e com peso (B) de área.



Fonte: as autoras.

Figura 6.3 – Análise de *kernel* das comunidades da AP3 do município do Rio de Janeiro.



Fonte: as autoras.

Os conjuntos habitacionais possuem um padrão de dispersão voltado ao interior da AP3; enquanto que, em função de tamanho, estão mais concentrados na parte mais periférica, à exceção da parte inferior da Maré, que, apesar de estar mais próxima do centro, está em área de mangue. Em ambos os contextos locais, o solo urbano é mais barato, constituindo

um melhor custo-benefício aos olhos do Estado, que, além de economizar capital nas construções, realiza manutenção da política de afastamento da população pobre das áreas de especulação imobiliária. As favelas encontram-se em uma disposição similar das comunidades, ressaltando a distribuição quase em todo território e os complexos supramencionados. Contudo essa disposição é evidenciada de forma mais explícita no complexo do Dendê, na ilha do Governador. Já os loteamentos indicados no Sabren apontam um padrão espacial quantitativo a oeste; em termos de área, ressaltam-se os arredores dos complexos do Alemão, Chapadão e Pedreira.

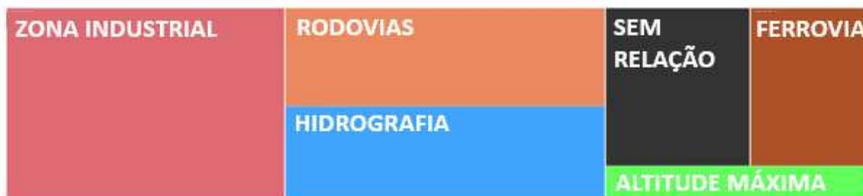
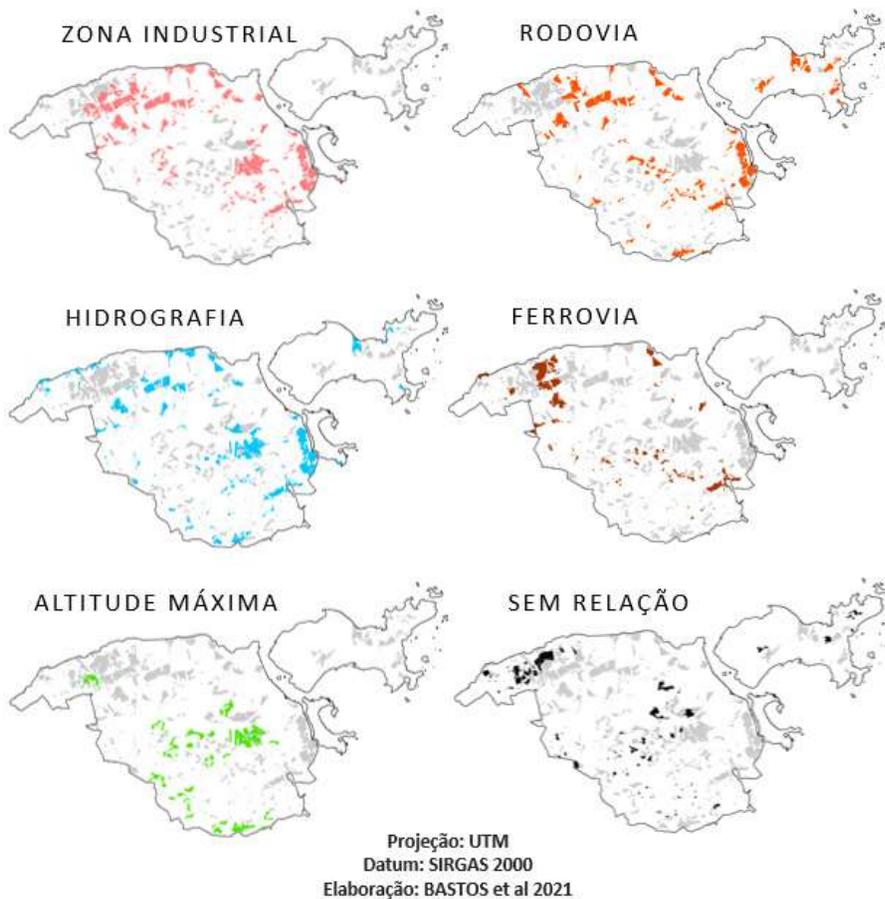
Chamam atenção os complexos Chapadão e Pedreira, que possuem um mosaico urbano-habitacional expressivo nos três tipos de comunidades, revelando que a junção de todos foi fundamental no surgimento e na expansão até se tornarem complexos. Esse contexto é similar ao do Alemão e do Lins, só que Chapadão e Pedreira apresentam influência quase que igual em todos os tipos de comunidade, ao passo que se difere dos demais complexos em que apenas um dos tipos de comunidade aparece, como Jacarezinho e Dendê (ambas em função de favelas), ou há uma junção de apenas dois, como a Maré (uma porção favela e outro conjunto habitacional).

As análises anteriores são de suma importância, mas necessitam complementação de variáveis espaciais para que a área de estudo não seja estudada pela perspectiva de espaço isotrópico. Os elementos espaciais aqui dispostos foram trabalhados em função das comunidades de forma quantitativa e espacial (Figura 6.4). Dessa forma, foi possível constatar que a maioria das comunidades tem sua localização sujeita às zonas industriais (49%) em forma de “C” invertido, iniciado nos complexos do Alemão e do Jacarezinho, passando pela Maré e contornando a Serra da Misericórdia a leste até Chapadão e Pedreira. Ambas as variáveis de hidrografia e rodovia possuem influência em 28% e 29%, respectivamente, das comunidades e uma distribuição espacial semelhante. A diferença é que as rodovias englobam algumas comunidades da Ilha do Governador e a oeste da Serra da Misericórdia, enquanto a hidrografia contempla maior parte do complexo do Alemão e as comunidades na divisa do município.

As ferrovias influenciam espacialmente 17% das comunidades, apesar de seu baixo padrão de dispersão pela AP3. Chamam atenção determinados pontos, como: Madureira, que possui confluência de três ramais — Japeri, Deodoro e Santa Cruz —, e, com isso, apresenta relação com as favelas do Juramento e da Serrinha; Jacarezinho, em que o complexo se dá abaixo do

viaduto da linha férrea; e Pedreira, que é caracterizada por um aumento de tamanho das comunidades que estão mais próximas da baixada fluminense em relação às demais dessa variável espacial.

Figura 6.4 – Análise de variáveis espaciais das comunidades da AP3 do município do Rio de Janeiro.



Fonte: as autoras.

Em relação à altitude máxima, são 9% as comunidades que possuem relação com essa variável, e que se encontram bem distribuídas pela área da AP3, exceto a Ilha do Governador, que não possui nenhuma comunidade enquadrada nessa variável. A análise em relação à altitude auxiliou na distinção das comunidades horizontais (em terrenos planos) das verticais (nas áreas de encostas). Por fim, as comunidades que não possuem relação com nenhuma das variáveis representam 21% e consistem, em suma, em comunidades de baixa extensão territorial e com relativa distribuição pela AP3. Contudo, chama atenção o entorno a oeste do complexo do Chapadão, que concentra a maioria das comunidades dessa categoria, bem como a única comunidade de área extensa, ressaltando sua localização em si: proximidade com a Baixada Fluminense.

As variáveis espaciais foram também analisadas de acordo com o tipo de comunidade — conjunto habitacional, favelas e loteamentos, segundo o Sabren (Figura 6.5). Com base nisso, foi possível observar que os conjuntos habitacionais possuem quase a mesma relação com as variáveis rodovia, ferrovia e zona industrial e quase nenhuma ligação com altitude máxima, enquanto que este último elemento é o que mais se relaciona com as favelas. Somado a isto, a interligação de rodovias, ferrovias, rede hidrográfica e zonas industriais apresenta certo padrão de influência nas favelas, caracterizando esse tipo como o que melhor se relaciona com todas as variáveis espaciais aqui analisadas.

Figura 6.5 – Gráficos das variáveis espaciais por tipo de comunidades da AP3 do município do Rio de Janeiro.



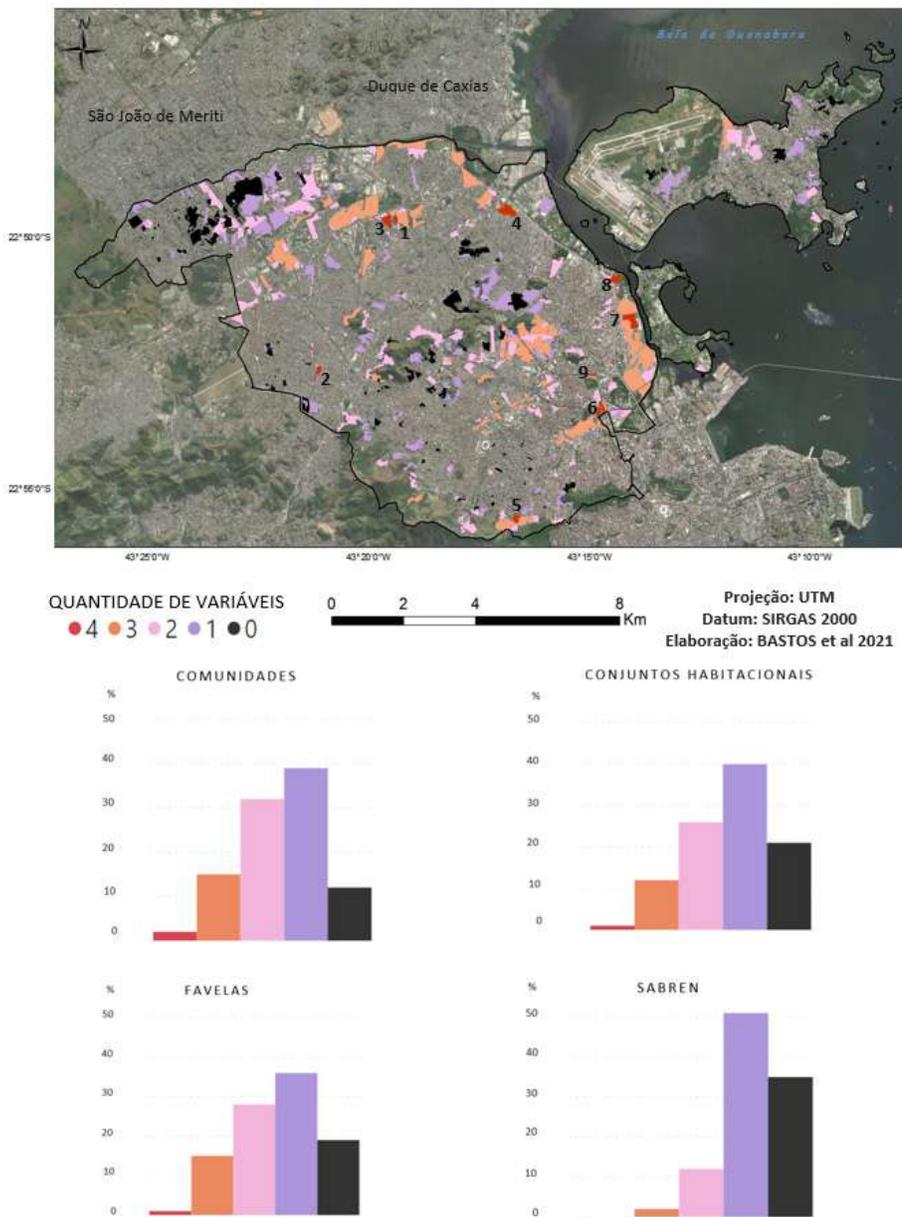
Fonte: as autoras.

É importante frisar que, como os conjuntos habitacionais são iniciativas do poder público, eles realmente não deveriam responder à altitude máxima, visto que, acima de 100 m de altura, são considerados área de risco. Os loteamentos informados no Sabren são os que apresentam menor correlação com as variáveis, apresentando 35% de loteamentos não relacionados com estas e necessitando um aprofundamento em outros elementos espaciais para sua melhor compreensão. Para além disso, 10% dos conjuntos habitacionais e 13% das favelas não responderam às variáveis, sendo mister uma atenção a esses locais.

Um levantamento estatístico foi realizado a fim de compreender o somatório dessas variáveis espaciais tanto no geral — comunidades — quanto no particular — por tipos de comunidades (Figura 6.6). Dessa forma, percebe-se que o padrão de comunidades, favelas e conjuntos habitacionais é bastante similar, enquanto que os loteamentos Sabren apresentam um quadro totalmente diferente, que não surpreende, haja vista a análise anterior. Em todos os recortes, não houve nenhum caso em que as cinco variáveis estiveram presentes, e poucos foram os percentuais de quatro elementos espaciais juntos, mal alcançando 1% das comunidades.

As comunidades que apresentaram somatório de quatro das cinco variáveis espaciais analisadas são constituídas por três conjuntos habitacionais — Conjunto Cruzeiro do Sul (1), Conjunto José Sombra (2) e Conjunto Oswaldo Cruz (3) — e por seis favelas — Brás de Pina (4), Cachoeirinha (5), CHP-2 (6), Nova Holanda (7), Parque Roquete Pinto (8) e Vila São Pedro (9). Em termos de quantidade de comunidades, a maioria se enquadra em apenas uma variável espacial, valendo para os tipos de comunidades também. Contudo, ao se analisar a extensão territorial das comunidades, percebe-se que o acúmulo de três variáveis também se sobressai no mapa.

Figura 6.6 – Somatório das variáveis espaciais por tipo de comunidades da AP3 do município do Rio de Janeiro.



Fonte: as autoras.

A espacialização do somatório das variáveis das comunidades apontou ainda alguns padrões dos complexos. Maré, Jacarezinho, Lins e Alemão apresentam somatório de três elementos espaciais, apesar de Cachoeirinha e Nova Holanda estarem situados, respectivamente, no Lins e na Maré. Os complexos do Dendê e da Penha apresentaram um padrão de mistura de áreas com nenhuma ou apenas uma variável; já os complexos Chapadão e Pedreira concentraram as áreas sem relação com nenhuma variável, apesar de compreenderem favelas com até dois elementos espaciais. Esse padrão pode estar associado com o período de surgimento de cada complexo, bem como a suas distâncias perante a área central da cidade: quanto mais distante do centro, menor o acúmulo de variáveis.

A escolha das variáveis espaciais analisadas foi satisfatória, visto que cerca de 80% das 772 comunidades da AP3 possuem intrínseca relação, corroborando que sua existência está diretamente associada ao processo de urbanização do subúrbio carioca. Os elementos espaciais que as constituíram foram importantes para a consolidação dessas comunidades em algum momento, ainda que as motivações atuais possam ser diferentes. A maioria das comunidades estão nas zonas industriais, seguidas das rodovias, reforçando a principal ideia que deu surgimento e perpetuou essas habitações: a proximidade com o trabalho. As rodovias explicam-se por serem pontos que abrigam a maioria das indústrias na região. A rede hidrográfica tem sua notoriedade, sendo um problema mais moderno. Devido à consolidação da AP3, as margens de rios foram alternativas de “sobra” para residir, justificando a baixa quantidade de comunidades nas proximidades de ferrovias, pois o processo de urbanização dessa área iniciou das linhas férreas, mas seus moradores eram comerciantes, e não a população de favela (ABREU, 1997).

6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dificuldade no reconhecimento e na delimitação das áreas de favelas, bem como sua dinâmica enquanto fenômeno, ressalta a necessidade do desenvolvimento de estudos como forma de subsidiar a tomada de decisão e exercício da cidadania. Para além disso, é de suma importância que se entendam os impactos das características locais a que as favelas estão expostas, visto que podem se tornar barreiras de crescimento, além de ocasionarem vulnerabilidades socioambientais; buscando ainda mitigar a ampliação das desigualdades socioeconômicas.

REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, M. *et al.* Juventude, violência e vulnerabilidade social na América Latina: desafios para políticas públicas. Brasília: UNESCO, BID, 2002. 192 p.

ABREU, M. de A. *Evolução urbana do Rio de Janeiro*. 3. ed. Rio de Janeiro: IPLANRIO, 1997.

ACSELRAD, H.; MELLO, C. C. A.; BEZERRA, G. das N. *O que é justiça ambiental?* Rio de Janeiro: Editora Garamond, 2009.

BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. *Geoinformação e monitoramento ambiental na América Latina*. São Paulo: Senac, 2008.

BENCHIMOL, J. L. *Pereira Passos, um Haussmann tropical: a renovação urbana da cidade do Rio de Janeiro no início do século XX*. Rio de Janeiro, Secretaria Municipal de Cultura, Turismo e Esportes, 1992.

BILAC, E. D. Gênero, vulnerabilidade das famílias e capital social: algumas reflexões. *In: CUNHA, J. M. P. da (org.). Novas metrópoles paulistas: população, vulnerabilidade e segregação*. Campinas: NEPO/UNICAMP, 2006. p. 51-65.

CARUSO, T. de B.; REZENDE, L. *Assaltantes, traficantes e milícias: teoria e evidência das favelas do Rio de Janeiro*. 2010. 55 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CARVALHO, L. de A. *Contribuição ao estudo das habitações populares: Rio de Janeiro, 1886-1906*. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Cultura, Departamento Geral de Documentação e Informação Cultural, Divisão de Editoração, 1986.

CAVALLIERI, F.; LOPES, G. P. Índice de Desenvolvimento Social-IDS: comparando as realidades microurbanas da cidade do Rio de Janeiro. *Coleção Estudos Cariocas*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 20080401, p. 12, 2008.

CAVALLIERI, F.; VIAL, A. Favelas na cidade do Rio de Janeiro: o quadro populacional com base no Censo 2010. *Coleção Estudos Cariocas*, Rio de Janeiro, v. 1, p. 12, 2012.

CORRÊA, R. L. *O espaço urbano*. São Paulo: Editora Ática, 1989.

CORRÊA, R. L. *Segregação residencial: classes sociais e espaço urbano. A cidade contemporânea: segregação espacial*. São Paulo: Contexto, 2013. p. 39-59.

CORRÊA, R. L. Tempo, espaço e geografia: um ensaio. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 64, n. 1, p. 287-294, 2019.

COUTO, V. A.; BEATO FILHO, C. Milícias: o crime organizado por meio de uma análise das redes sociais| Militias: the crime organized by a social networking analysis. *Revista Brasileira de Sociologia*, [s. l.], v. 7, n. 17, 2019.

DELGADO DE CARVALHO, C. M. *História da cidade do Rio de Janeiro 1884 - 1980*. 2. ed. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Cultura, Departamento Geral de Documentação e Informação Cultural, 1990.

FERNANDES, M. do C. Discussões conceituais e metodológicas do uso de geoprocessamento em análises geológicas. In: GOMES, P. C. da C.; BICALHO, A. M. de S. M. (org.). *Questões metodológicas e novas temáticas na pesquisa geográfica*. Rio de Janeiro: Publit, 2009. p. 280-299.

FERRAZ, N. S. *Mapeamento das favelas cariocas: do vazio cartográfico ao espetáculo da integração*. Trabalho apresentado no IV Encontro da Anparq, 2016.

HARVEY, D. Class Structure in a Capitalist Society and the Theory of Residential Differentiation. In: PEEL, R.; CHISHOLM, M.; HAGGETT, P. (ed.) *Processes in Physical and Human Geography*. London: Heinemann, 1975, p. 354-369.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo demográfico 2010: aglomerados subnormais*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://SIDRA.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/universo-aglomerados-subnormais>. Acesso em: 29 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Sinopse do censo demográfico 2010*. Tabela 1.6 - população nos censos demográficos, segundo os municípios das capitais. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=6&uf=00>. Acesso em: 29 abr. 2021.

LEEDS, A.; LEEDS, E. *A sociologia do Brasil urbano*. Rio de Janeiro: Zahar, 1978.

LEFEBVRE, H. *O direito à cidade*. 5. ed. São Paulo: Editora Centauro, 2001.

MARANDOLA JÚNIOR, E.; HOGAN, D. J. Vulnerabilidade do lugar vs. vulnerabilidade sociodemográfica: implicações metodológicas de uma velha questão. *Revista Brasileira de Estudos de População*, [s.l.], v. 26, n. 2, p. 161-181, 2009.

MENDONÇA, T. *Batan: tráfico, milícia e “pacificação” na zona oeste do Rio de Janeiro*. 2014. 169 f. Dissertação (Mestrado em Antropologia Social) – Programa

de Pós-Graduação em Antropologia Social, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

PERLMAN, J. *O mito da marginalidade urbana-favelas e políticas no Rio de Janeiro*. Trad. W. Portinho. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1977.

RIO DE JANEIRO (Estado). Ministério Público do Rio de Janeiro. *MP em mapas – in loco*. Rio de Janeiro: Ministério Público do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://apps.mprj.mp.br/sistema/inloco/>. Acesso em: 29 abr. 2021.

RIO DE JANEIRO (município). *Lei Complementar nº 111/2011*. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Câmara Municipal, [2011].

ROCHA, O. P. *A era das demolições: cidade do Rio de Janeiro, 1870-1920*. Rio de Janeiro: Secretaria Municipal de Cultura, Departamento Geral de Documentação e Informação Cultural, Divisão de Editoração, 1986.

RODRIGUEZ, J. M. M. *Teoría y metodología de la geografía*. La Habana: Editorial Universitaria Félix Varela, 2015.

SOCIEDADE DE ANÁLISES GRÁFICAS E MECANOGRÁFICAS APLICADAS AOS COMPLEXOS SOCIAIS (SAGMACS). Aspectos humanos da favela carioca. *O Estado de São Paulo*, abr. 1960. Suplementos especiais.

SILVA, J. de S.; BARBOSA, J. L. *Favela: alegria e dor na cidade*. Rio de Janeiro: Editora Senac Rio, 2005.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT). *The challenge of slums: global report on human settlements 2003*. London: Earthscan, 2003.

VALLADARES, L. A gênese da favela carioca. A produção anterior às ciências sociais. *Revista brasileira de ciências sociais*, [s.l.], v. 15, n. 44, p. 5-34, 2000.

ZALUAR, A. M.; ALVITO, M. *Um século de favela*. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas - FGV, 2004.

ZALUAR, A. M.; CONCEIÇÃO, I. S. Favelas sob o controle das milícias no Rio de Janeiro. *São Paulo em Perspectiva*, São Paulo, Fundação Seade, v. 21, n. 2, p. 89-101, jul./dez. 2007. Disponível em: <http://www.seade.gov.br>. Acesso em: 12 fev. 2021.

PARTE II

MAPEAMENTO E TRANSFORMAÇÕES DA COBERTURA E USO DA TERRA

EVOLUÇÃO RECENTE DO DESFLORESTAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL: SUPRESSÃO, TRAJETÓRIAS E SEUS PADRÕES

Felipe Gonçalves Amaral
Danylo Mendonça Magalhães
Beatriz Ambrosio Garcia de Oliveira
Clara Costa Paolino
Beatriz da Silva Feitoza Santana
Carla Bernadete Madureira Cruz

7.1 EVOLUÇÃO DA PAISAGEM, DESFLORESTAMENTO E GEOINFORMAÇÃO

Atualmente, é perceptível a escalada exponencial das problemáticas ambientais no planeta ligadas a mudanças no ambiente, em diferentes escalas, que, em suma, prejudicam o seu equilíbrio ecológico. Isso fica mais explícito quando observamos a conversão de sistemas florestais em ambientes altamente antrópicos, que acontece em todo o mundo (MORAN; OSTROM, 2009). Esses fatos resultam na agravada crise ambiental que vivemos, impondo, assim, a necessidade de apreender, interpretar e agir, diante dessas problemáticas decorrentes das interações conturbadas do sistema social com o meio que o envolve e que se prolonga ao longo da História da Humanidade (KRÜGER, 2001; MORAN, 1990; MORAN; GILLET-NETTING, 1982).

Levando em consideração a grande taxa de desflorestamento que é observado no planeta, faz-se necessário o entendimento dessas paisagens, com foco em compreender os padrões espaciais e temporais, suas causas e consequências. A paisagem, segundo Huggett e Perkins (2004), é um dos conceitos mais relevantes na Geografia e pode ser entendida, dentro de suas diferentes acepções, como um conjunto inter-relacionado

de formações naturais e antroponaturais (RODRIGUEZ, SILVA e CAVALCANTI, 2004; VICENS *et al.*, 2019). Assim, torna-se significativo o uso do conceito enquanto categoria espacial de análise do espaço e do método paisagístico, aplicado pela Geoecologia da Paisagem, como abordagem metodológica, nos tempos atuais; e para estudos de conversão de sistemas florestais em áreas antrópicas, permitindo, assim, conceber relações e ampliar a geração de conhecimento focado na gestão e no planejamento dessas áreas pela sociedade.

Na atual complexidade das dinâmicas globais e locais, a Ecologia da Paisagem é um caminho metodológico capaz de auxiliar na apreensão das dinâmicas que ocorrem no planeta e apontar soluções adequadas aos limites e potencialidades dos ambientes naturais e sociais. Com base no conhecimento adquirido empiricamente (por experimentação ou observação), modelos podem ser utilizados para formalizar e analisar essas relações e simular, sob um padrão espacial conhecido, as alterações esperadas (PIVELLO; METZGER, 2007). Com essas considerações, verifica-se que a Geoecologia da Paisagem envolve o estudo dos padrões (naturais e/ou antroponaturais) das interações entre as partes constituintes de um mosaico da paisagem, além da forma como esses padrões e interações mudam no tempo (RISSER, 1987).

Assim, entender a evolução e a dinâmica da paisagem é de fato considerá-la como o produto do fundamento natural e das múltiplas vias, sociais e econômicas; geralmente, superpostas (RODRIGUEZ *et al.*, 2004). Para a investigação das mudanças nos sistemas florestais, a utilização de modelos e a elaboração dos sistemas geoinformacionais são fundamentais. As representações ou os modelos da realidade são instrumentos de suma importância e são definidos como o substituto, na forma análoga, do objeto original (MARTIN; BERTAZZON, 2010).

Gomes (2017) aponta que as representações, como mapas, imagens e desenhos do mundo, se constituem em alternativas de interpretação geográfica, já que são formas de apreender faces do mundo real. Nesse imaginário espacial, mesclam-se gráficos, mapas, fotografias, narrativas e poemas, que possuem como cerne um sistema de localização (HANNA, 2010). Essa geoinformação é apresentada na forma de modelos, sendo simplificações que tentam de certa forma representar o mundo real (BATISTELLA; MORAN, 2008). A utilização dessa geoinformação, das geotecnologias e da análise espacial permite-nos compreender e agir

sobre a realidade de forma facilitada. Com base em seus arranjos, tenta-se buscar estruturas de representações mais favoráveis nas diversas situações socioespaciais e socioambientais do planeta (BUZAI; BAXENDALE, 2011).

Entre ambientes altamente modificados, a partir do fenômeno do desflorestamento, temos o bioma amazônico como um dos sistemas terrestres mais afetados por essas mudanças (GEIST; LAMBIN, 2001). É importante ressaltar que o histórico de ocupação humana na Amazônia brasileira não é recente. Segundo Neves (2006), data-se que a região registra atividades antrópicas há pelo menos 11 mil anos — malgrado nos últimos 30 anos o maior bioma brasileiro venha sofrendo constantemente com desflorestamento, queimadas, garimpagem e o avanço da atividade agropastoril.

Devido à sua localização e à situação geográfica, os impactos da supressão florestal incluem a perda de oportunidades para o uso sustentável da floresta, a queda de seus serviços ambientais, como a biodiversidade, a ciclagem de água e o armazenamento de carbono (FEARNSIDE, 1997, 2005). Logo, é clara a necessidade de se debruçar sobre o sistema paisagístico antroponatural amazônico, trazendo todo o arcabouço da Geoecologia e da geoinformação e suas abordagens teórico-metodológicas, visando auxiliar na conservação da área florestal.

Este capítulo visa apresentar uma análise espacial, considerando um período de 34 anos (1985 a 2019), das perdas florestais na Amazônia Legal, de forma a se poder compreender “quando”, “quanto”, “onde” e “para o que” se perdeu, com base nas dinâmicas que envolvem os sistemas florestais da Amazônia Legal e seus possíveis condicionantes gerais, regionais e locais.

7.2 A AMAZÔNIA LEGAL: CARACTERÍSTICAS E RECORTE ANALÍTICO

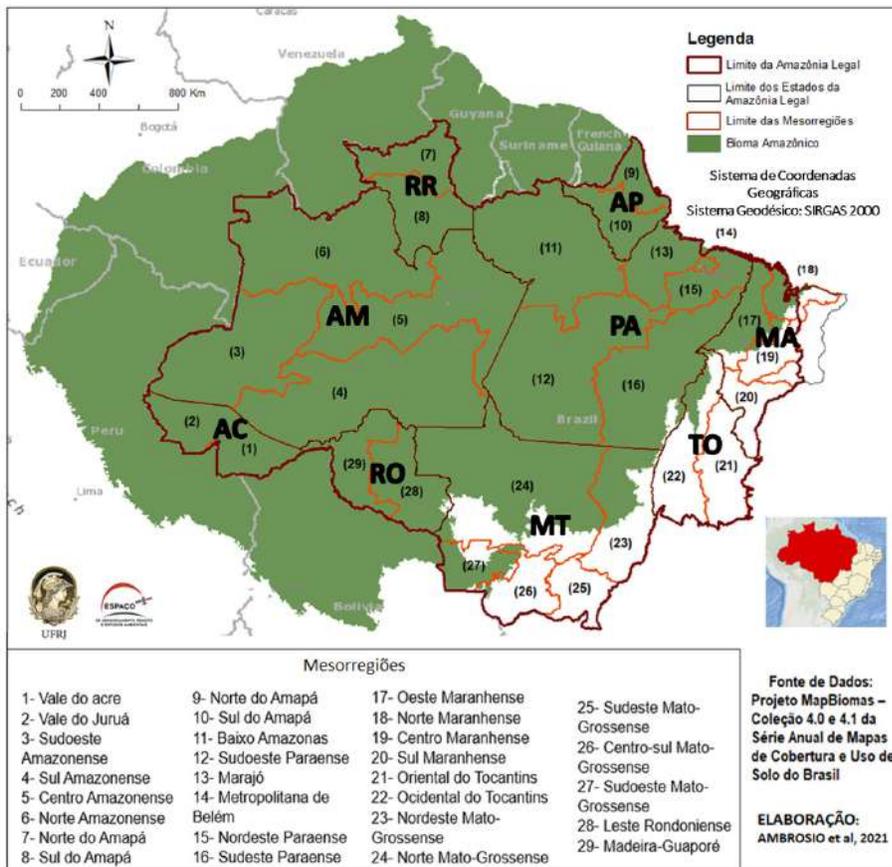
A Amazônia Legal é uma região criada pelo governo brasileiro, como forma de planejar e promover o desenvolvimento social e econômico na região amazônica, de acordo com Brasil (1953). Corresponde a 61% do território nacional e possui a finalidade de gerir territórios, tanto adjacentes quanto pertencentes à Amazônia brasileira, abrangendo nove unidades da Federação (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, parte do Maranhão, Pará, Roraima, Rondônia e Tocantins), com uma superfície superior a 500.000.000 hectares. Tal região apresenta uma

vasta diversidade de ecossistemas, traduzida por diferentes tipos de vegetação, incluindo Floresta Amazônica, clima e solo; o que faz seus recursos naturais serem essenciais para o equilíbrio ambiental do planeta. Vale salientar, porém, que seu recorte não parte apenas de um princípio biogeográfico, mas também sociopolítico, uma vez que, dentro dele, há terras para além dos limites do bioma amazônico (Figura 7.1).

Devido à sua importância e à conjuntura ambiental do fim do século XX, a área começou a ser monitorada para que se pudesse detectar perdas florestais com a criação do Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal (Prodes) pelo Inpe. Esse monitoramento evoluiu com a criação do Sistema de Detecção em Tempo Real (Deter), e, atualmente, há diversas fontes de dados sistemáticos ligados à supressão florestal na Amazônia e adjacências, como os oriundos do *MapBiomass*[®] e o *TerraClass*[®], que não são focados somente na Amazônia, mas são bases importantes da cobertura do solo também para essa área.

É de suma importância frisar que as mudanças paisagísticas da Amazônia são reconhecidas desde o uso do homem primitivo. Com a chegada dos europeus na região, o desmatamento evoluiu (LOUREIRO, 2002), traçando com eles um caminho de perdas e danos para a floresta, tornando-a apenas um lugar útil e economicamente rentável (ADEODATO *et al.*, 2011). Com isso, a maior parte da perda de cobertura da terra está diretamente ligada às práticas de integração e ocupação, a partir da construção de infraestruturas e exploração de matérias-primas, como a madeira e a borracha, de frutos, como o cacau e a castanha, e, atualmente, de terras para plantação de soja e criação de gado (BECKER, 2005).

Figura 7.1 – Organização territorial da Amazônia Legal, mesorregiões e bioma amazônico.



Fonte: os autores. Dados de cobertura e uso do solo: *MapBiomas 4.0*®. Limites: IBGE.

7.3 SUPRESSÃO FLORESTAL: PADRÕES ESPACIAIS E TEMPORAIS

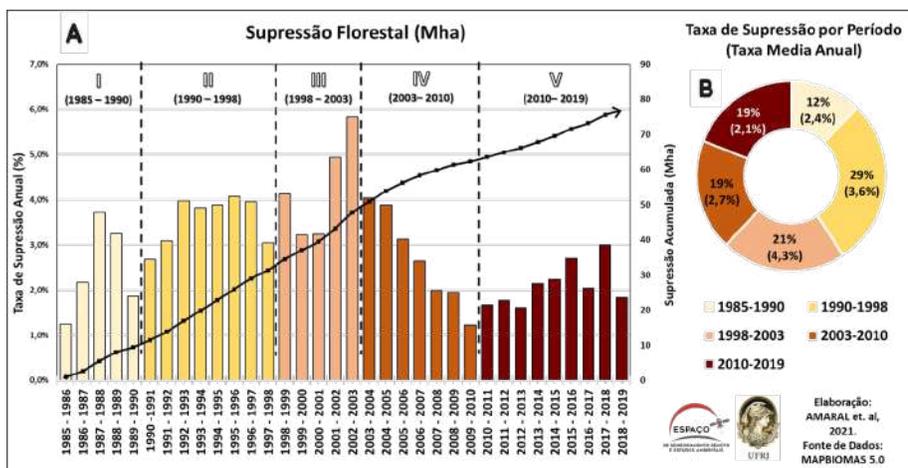
Iniciamos com a análise da supressão florestal no tempo e no espaço, no recorte da Amazônia brasileira, em que se optou por utilizar as palavras “supressão” ou “desflorestamento”, que, de acordo com Watson (2000), é a conversão de coberturas florestais em coberturas não florestais. Esse termo foi utilizado para que fosse possível incluir, além do desmatamento ilegal, outras transformações associadas a perda florestal, como queimadas em épocas do ano mais secas, supressões autorizadas pela legislação e, princi-

palmente, por mudanças inconstantes da cobertura, que podem substituir a floresta por outras coberturas naturais, principalmente, em áreas de transição entre biomas e ecossistemas.

A principal base de dados utilizada foi o conjunto de dados espaciais e estatísticos da cobertura da terra anual, advinda do *MapBiomias*⁶. Os mapas disponibilizados são gerados com base na classificação de imagens dos satélites *Landsat*, de 30 m de resolução espacial, com apoio de aprendizado de máquina (*machine learning*). As análises espaciais desenvolvidas apoiaram-se na plataforma *ArcMap*[®]. Realizou-se, dessa forma, o tratamento e estruturação dos dados secundários em um banco de dados espaciais para a Amazônia Legal.

Com base nos dados estatísticos de cobertura florestal anual, foram calculados os valores de perda florestal apresentados na Figura 7.2.

Figura 7.2 – Dados estatísticos de perda florestal: supressão florestal anual e acumulada (A) e taxa da supressão anual (B).



Fonte: os autores. Dados do *MapBiomias* 5.0[®].

A imagem apresentada na Figura 7.2A mostra-nos a supressão florestal anual de 1985 a 2019. Com ela, foram definidos cinco períodos de estudo da supressão florestal, que foram: Período I, de 1985 a 1990, Crescimento Desregulado; Período II, de 1990 a 1998, Crescimento Constante; Período III, de 1998 a 2003, Crescimento Não Constante Acelerado; Período IV,

⁶ O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (*MapBiomias*[®]) tem por objetivo desenvolver e implementar uma metodologia rápida, confiável e de baixo custo para geração de mapas anuais de cobertura e uso do solo do Brasil, a partir de 1985, e com disponibilidade anual até o ano de 2019.

de 2003 a 2010, Decrescimento; Período V, de 2010 a 2019, Crescimento Desregulado. Observa-se que a supressão sempre ocorreu de forma contínua (mesmo que reduzida, como é o caso do ano de 2010). Ainda na Figura 7.2A, vemos que a supressão acumulada chegou próximo a 76 Mha (milhões de hectares), o que está de acordo com os dados do Prodes para o desmatamento na Amazônia Legal para o ano de 2018, que é de aproximadamente 79 Mha. O gráfico de taxas por período (Figura 7.2B) deixa mais evidente como a supressão se comportou nos 34 anos de estudo. É possível notar que o período de maior supressão foi o Período II, com 29%, mas a maior média anual foi no Período III, com 4,3% de supressão ao ano. Um bom indicador desse valor é o ano de 2003 ter sido o ano de maior supressão entre todos.

Posteriormente à segmentação dos intervalos temporais, gerou-se um mapa-síntese da supressão florestal por período de análise. Foi necessária a execução de processos de reclassificação, mosaicagem e recortes, com base nos mapas das datas de início e fim de cada período de análise, para que assim obtivéssemos a supressão nos períodos de modo a subsidiar a análise de padrões. A Figura 7.3 representa a espacialização temporal dos totais apresentados na Figura 7.2.

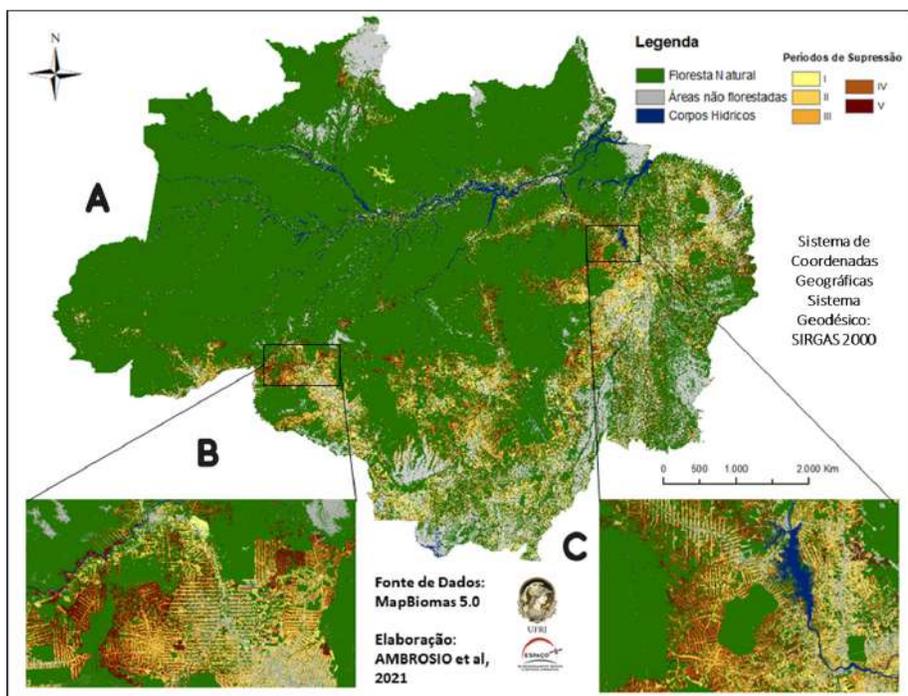
O que se pode observar no mapa é que a supressão não é uniforme e está muito mais presente na parte sul e leste da Amazônia Legal, que correspondem aos estados de Mato Grosso e Tocantins, na parte sul; e Maranhão e Pará, na parte leste. É possível observar que a interiorização da supressão, que foge ao conceito de Arco de Desmatamento⁷, se dá em maior intensidade nos períodos mais recentes. As áreas visivelmente mais afetadas nos Períodos I e II correspondem aos estados de Pará, Rondônia e Mato Grosso. Nos Períodos de III a V, a supressão agrava-se nesses estados, cresce substancialmente no Acre e no Amazonas e concentra-se fortemente no Pará. No último período (V), todos os estados apresentaram perdas, observando-se ainda o aumento da supressão no interior do estado do Amazonas.

É possível identificar na Figura 7.3 novas flechas de supressão, que indicam os possíveis caminhos de interiorização e consolidação do desflorestamento. Observa-se que essas áreas se estabelecem em três zonas: nos sentidos sul para o norte, saindo de MT em direção ao PA; do sudoeste para noroeste, saindo de RO e adentrando no estado do AM; e de leste para oeste no PA. Outro padrão observável são as espinhas de

⁷ O Arco do Desmatamento é a área da Amazônia Legal com uma alta taxa de desflorestamento no início dos anos 2000. A área compreende o Norte de Mato Grosso, o Sudeste do Pará, o Oeste do estado de Tocantins e a área Nordeste de Rondônia. Foi nessa área, que se instalaram as primeiras fases do DETER.

peixe (Figuras 7.3B e 7.3C), um padrão de desflorestamento baseado no avanço da supressão irradiando de rodovias, que podem ser identificadas com base nas análises espaçotemporais. Essas formas ocorrem com a supressão de uma infraestrutura ao longo do tempo, geralmente, partindo radialmente de rios e rodovias. Nota-se também uma alta taxa de fragmentos florestais, cada vez menores, ao longo de áreas consolidadas, e isso ocorre de forma ligeira e imperceptível, por se tratar de blocos entre ambiente antrópico e floresta. Assim, com o tempo, a floresta fragmenta-se em pequenas partes e torna-se suscetível de desaparecer nesses lugares. É possível observar esse comportamento mais presente nos estados do Pará e de Mato Grosso.

Figura 7.3 – Espacialização temporal da perda florestal: espacialização das fases de supressão (A); Espinha de Peixe, Rondônia (B); e Terra Indígena Parakanã, Pará (C).



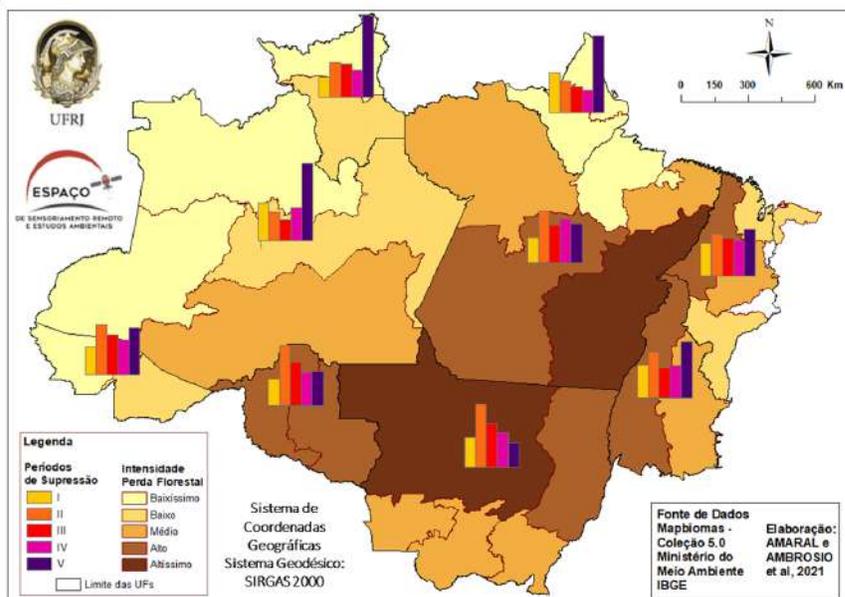
Fonte: os autores. Dados do MapBiomas 5.0®.

Realizando os mesmos processos de manipulação dos dados, foi elaborado um mapa que regionaliza o resultado apresentado na Figura 7.3, em que a supressão total é agregada por mesorregião e as taxas por período

foram espacializadas por estados, sendo assim possível entender também a dinâmica temporal da supressão nas unidades da Federação (Figura 7.4). Propõe-se aqui uma escala de intensidades de perda florestal em que o baixíssimo é de menor perda, até o altíssimo, de maior perda.

O que se observa, da Figura 7.4, é que a supressão não ocorre uniformemente num mesmo estado, tanto no total de perda florestal quanto ao longo do tempo. Analisando os gráficos de taxa de perda por período dos estados, podemos ver que a maioria sofreu um pico de perda no Período II e depois no Período V. É importante levarmos em consideração dois pontos primordiais para o entendimento desses padrões temporais: (i) que os estados do PA e de MT apresentam as maiores taxas de desflorestamento e (ii) que, no Período II, essas eram as frentes principais de desflorestamento. Já no Período V as taxas se tornam altas nas novas frentes em AM, AP, RR, MA e AC, mas em valores que não chegam a ser próximos ao Período II.

Figura 7.4 – Regionalização da supressão florestal por mesorregião e dinâmica de supressão por unidade da Federação.



Fonte: os autores. Dados do MapBiomas[®] 5.0, MMA e IBGE.

Já nas mesorregiões a perda florestal ocorreu mais fortemente em áreas onde se localiza o Arco de Desmatamento do que no restante da

Amazônia Legal. Observando as duas áreas, podemos ver que o padrão temporal não funciona da mesma forma. O estado de Mato Grosso apresentou três tipos de intensidades de supressão distribuídos nas mesorregiões; enquanto que o Amapá, não obstante ter ocorrido um grande crescimento na supressão no Período V, permaneceu no grupo de intensidade baixíssima de supressão, em suas duas mesorregiões.

7.4 EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DESFLORESTADAS

Para analisarmos a fundo o desflorestamento, é necessário o questionamento para além de “quando”, “onde” e “quanto” se perdeu de floresta ao longo do tempo e ampliar essas provocações, para tentar entender o “para o que”, envolvendo todas as suas combinações espaçotemporais. Há diversos métodos de detecção de mudanças baseados em dados geoinformacionais, e essas técnicas são agrupadas em sete categorias, segundo Lu *et al.* (2010). Dentre as metodologias, estão as abordagens com Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que usam dados de cobertura já construídos e com processamento de combinação ou algebrismos, sendo possível identificar mudanças.

Das diversas formas de detecção de mudanças, uma separação entre metodologias pode ser estabelecida também pelo número de datas utilizadas na comparação: se forem apenas duas datas, a detecção de mudanças é identificada como bitemporal; se forem utilizadas três ou mais imagens, encontram-se dinâmicas multitemporais; ou, dependendo da forma de análise, pode-se chegar às trajetórias da cobertura do solo (COPPIN *et al.*, 2004). As trajetórias evolutivas da paisagem permitem ao pesquisador aprofundar-se em informações preciosas sobre a paisagem, possibilitando a compreensão da ocorrência de uma classe, do que a precedeu ou, até mesmo, o tempo de sua ocupação (WECKMÜLLER; VICENS, 2018).

Por meio dos dados geoespaciais levantados e apresentados anteriormente, busca-se elaborar um estudo das trajetórias evolutivas de toda a floresta suprimida em definitivo na Amazônia Legal. Considera-se supressão definitiva toda ocupação de cobertura florestal presente no início do período, ano de 1985, e que não estava presente no fim de 2019, não considerando possíveis supressões que regeneraram nesse meio-tempo.

Em números, dos 440,9 Mha de floresta iniciais, 375,6 Mha permaneceram como florestas no ano de 2019. Considerando que 11 Mha

foram desmatados e regeneraram durante o recorte temporal de estudo, temos que 65,3 Mha foram suprimidos em definitivo, como mostrado na Figura 7.5C. Assim, com essa área, foram analisados os dados gerados deste estudo de trajetórias na paisagem, visando proporcionar informações claras sobre o tipo de cobertura ou uso que se estabelece após a supressão da floresta; assim como sobre a estabilidade dessas ocupações, ou seja, saber se as classes que ocupam a superfície se consolidam ou sofrem outros processos de mudanças ao longo do tempo.

O manuseio dos dados para a elaboração dos mapas foi realizado também por meio do programa *ArcMap*[®]. Como já supracitado, no período de 1985-2019, foram destacados cinco intervalos para otimizar as análises das mudanças da cobertura florestal, favorecendo a compreensão de como se ordenam no espaço e como se distribuem no tempo. Para a análise das trajetórias, foram consideradas 10 classes de ocupação da terra, a fim de simplificar as possíveis combinações entre períodos e dar foco aos processos de mudança mais recorrentes e importantes na área de estudo. Nesse sentido, as classes são: (1) floresta natural, (2) formação natural não florestal, (3) pastagem, (4) agricultura, (5) mosaico pastagem-agricultura, (6) silvicultura, (7) infraestrutura urbana, (8) outras áreas não vegetadas, (9) corpos hídricos e (10) não identificado. Dessa forma, entre os resultados obtidos, tem-se a mudança na cobertura da terra ao longo dos períodos discriminados, considerando a interação de todas as classes listadas, mediante as áreas de ocupação da floresta natural.

Assim, optou-se por criar algumas esquematizações temporais para a melhor representação dessas trajetórias. Por conseguinte, identificam-se as dinâmicas de mudanças de cobertura da terra, mostrando-se na Figura 7.5A um ranqueamento das 20 sequências mais comuns de cobertura da terra que estão presentes na área de estudo e, na Figura 7.5B, um segundo ranqueamento, sendo este, especificamente, das 10 sequências mais comuns ligadas apenas a mudanças referentes à perda florestal em toda Amazônia Legal. Já na Figura 5D se apresenta um diagrama de Sankey, que proporciona a leitura por fluxos proporcionais aos quantitativos de mudanças ocorridas em cada período.

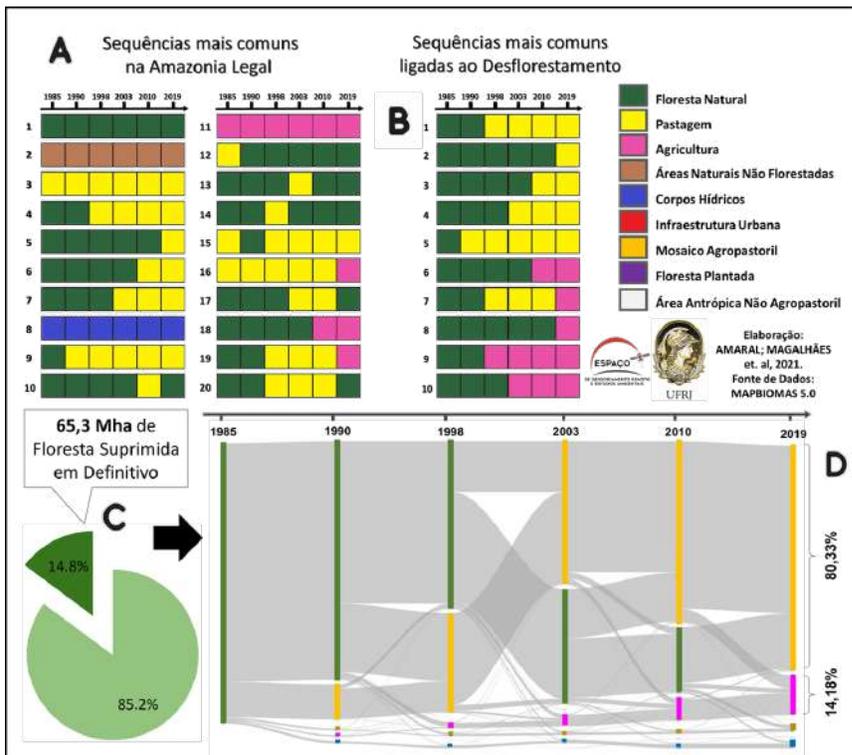
Dentre todas as classes analisadas, destaca-se o avanço das coberturas de agricultura e de pastagem. No âmbito de análise das sequências, é importante ressaltar a majoritária participação da classe pastagem na ocupação da

Amazônia Legal como um todo (Figura 7.5A) e nas áreas onde a cobertura avança pós-supressão florestal (Figura 7.5B). Dentro das 10 seqüências ligadas ao desflorestamento, as 5 primeiras marcam a interação direta do pasto com a perda florestal. O ranqueamento ressalta quanto a Pastagem, consolidada ou não, é a cobertura que mais dinamiza essas áreas. Já na Figura 5D, observando-se os fluxos de mudanças que ocorrem nas áreas de perda florestal definitiva, nota-se que, de toda a floresta suprimida em definitivo, 80,33% apresentaram-se em 2019 como pastagem e 14,18% como agricultura, traduzindo-se em uma ocupação agropastoril ao final de 2019 de 94,5% nas áreas desflorestadas.

Com base nas análises sobre as trajetórias, trazendo, assim, a evidente significância da cobertura pastoril e agrícola nas áreas desflorestadas, foram elaborados ainda dois mapas, que representam a espacialização do avanço de pastagem e da agricultura sobre a floresta. Além desses mapas, foi construída uma representação dos processos de mudanças posteriores a essa ocupação. Tais mapas buscam compreender “onde” e “quando” esses dois principais avanços sobre a floresta acontecem e as dinâmicas posteriores ao primeiro avanço.

Com a espacialização dessas informações por período, ratifica-se que a classe Pastagem é a principal responsável pela intensificação de todo o desflorestamento ocorrido ao longo dos anos em toda a área de estudo. Diferentemente da pastagem, a agricultura permanece tímida, e sua evolução está extremamente concentrada ao sul da Amazônia Legal. Essas informações podem ser observadas com mais clareza nas Figuras 7.6B e 7.6C. Pode-se observar também, com o auxílio de gráficos na Figura 7.6D, a evolução quantitativa da ocupação ao longo do tempo dessas duas classes.

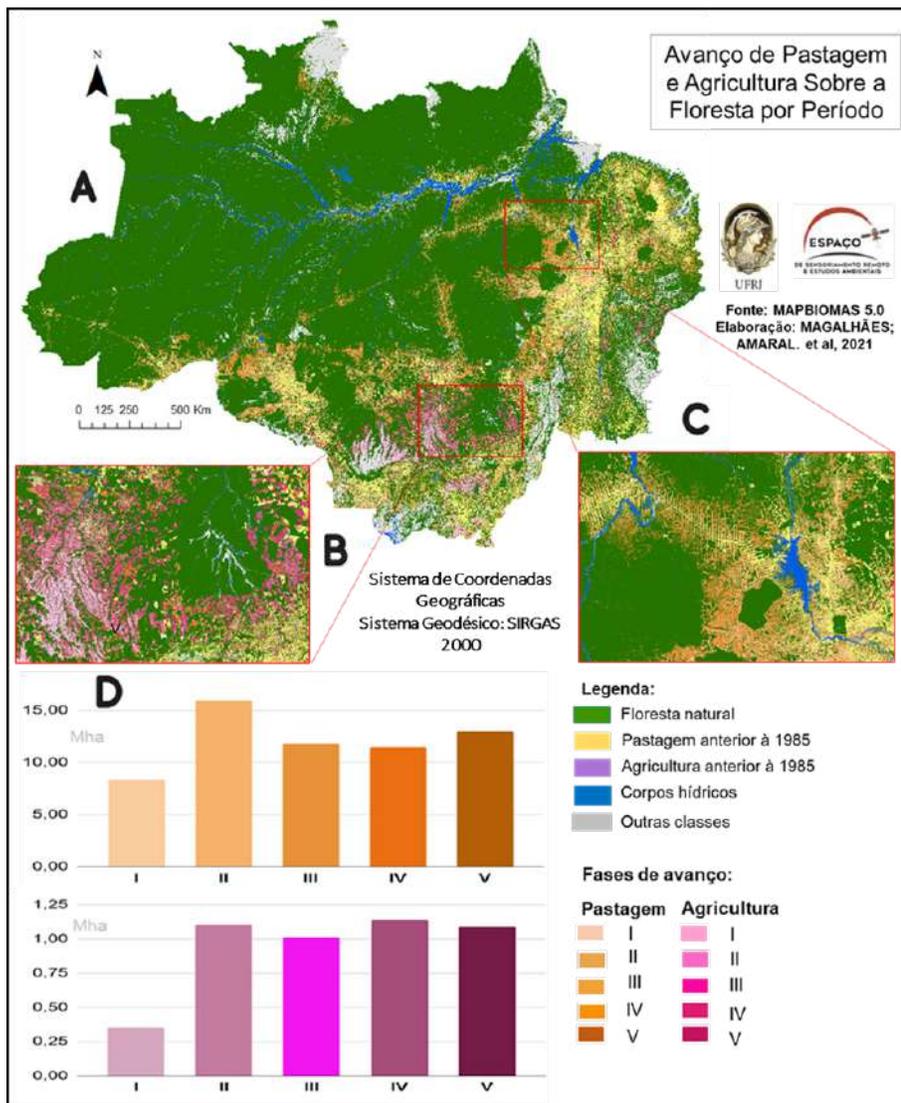
Figura 7.5 – Desflorestamento na Amazônia Legal: seqüências mais comuns na Amazônia Legal (A); seqüências mais comuns ligadas ao desflorestamento (B); desflorestamento em definitivo (C); diagrama de Sankey dos fluxos de mudanças da paisagem desflorestada (D).



Fonte: os autores. Dados do MapBiomias 5.0[®].

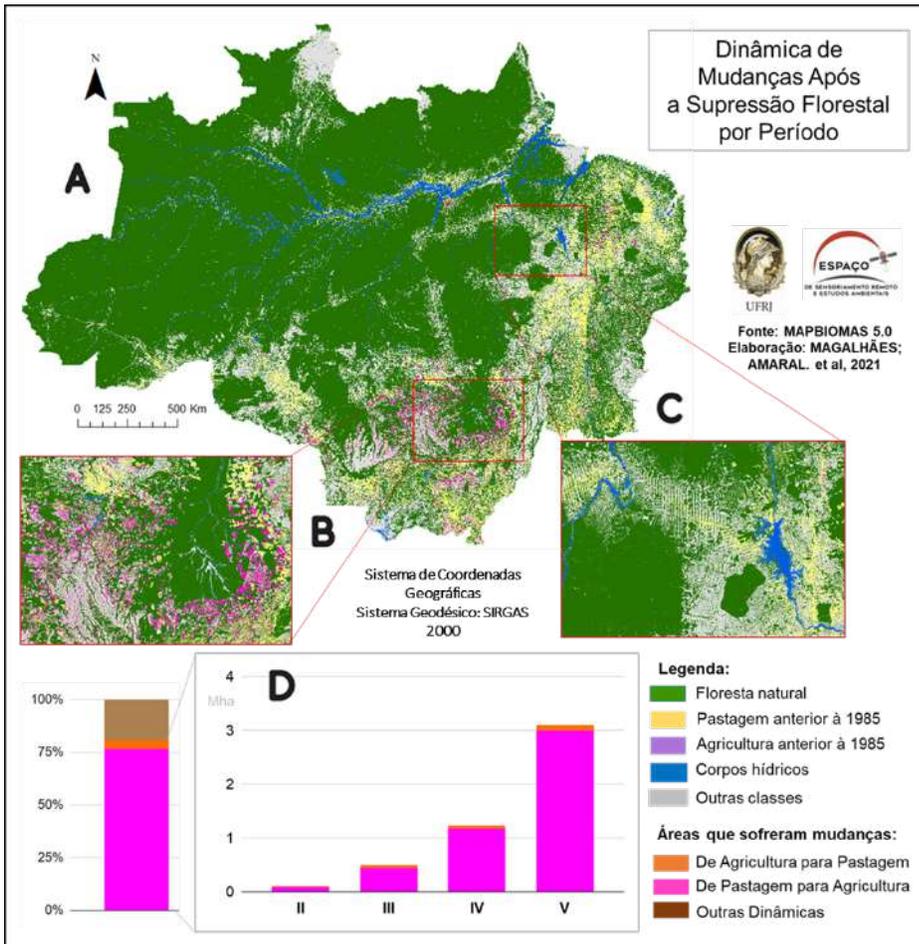
Em seguida, esquematizaram-se as dinâmicas de mudanças que ocorreram posteriormente às áreas que sofreram supressão florestal, ou seja, avaliou-se a real estabilidade de uma classe que ocupa a floresta pós-supressão. Desse modo, no gráfico apresentado na Figura 7.7D, identifica-se que, de todos os processos de mudanças detectados em todo o período de estudo, 76,5% foram conversões de pastagem para agricultura; 4% foram conversões de agricultura para pastagem e os outros 19,4% foram conversões entre as demais classes. Além disso, observa-se também que, ao longo do tempo, esses processos de mudanças, pastagem para agricultura, tendem a ocorrer com mais frequência. Portanto, com as informações espacializadas, destacam-se mais ainda as mudanças de cobertura ocorridas de pastagem para agricultura, localizadas preferencialmente nas proximidades das áreas já ocupadas anteriormente por agricultura. A Figura 7.7B ressalta isso com mais clareza.

Figura 7.6 – Avanço agropastoril na Amazônia Legal: avanço de pastagem e agricultura sobre a Floresta Amazônica por período (A); avanço das coberturas no Alto Xingu (B); avanço das coberturas no entorno da Terra Indígena Parakanã, Pará (C); e avanço das culturas, por período de análise (D).



Fonte: os autores. Dados do MapBiomas 5.0®.

Figura 7.7 – Análise das dinâmicas de mudanças que ocorreram posteriormente à supressão florestal em áreas da Amazônia Legal: dinâmica de mudanças após a supressão florestal por período (A); dinâmicas das coberturas no Alto Xingu (B); dinâmicas das coberturas no entorno da Terra Indígena Parakanã, Pará (C); e dinâmicas por período de análise (D).



Fonte: os autores. Dados do MapBiomias[®] 5.0.

Com isso, após as análises geradas, é facilmente identificado que a classe de pastagem é um grande vetor de supressão florestal em toda a Amazônia Legal, sendo responsável direta tanto pela intensificação quanto pelo avanço do desflorestamento. Nesse sentido, existem alguns fatores que ajudam a explicar a grande recorrência da atividade pecuária na região, como as poucas exigências de investimento, de manutenção, de preparo do solo e de restrições associadas ao relevo e às áreas livres de

troncos em florestas recentemente suprimidas (RIVERO *et al.*, 2009). Cabe associar, também, às hipóteses levantadas por Margulis (2002), tendo em vista que grande parcela das terras ocupadas é destinada a pastagem, que surgem provocações em três pontos: (1) os ganhos especulativos mais que compensam os retornos com a pecuária; (2) os pecuaristas encontram-se ainda em uma fase inicial de aprendizado, tendo reais expectativas de lucro em médio prazo; (3) a pecuária é apenas uma fase intermediária e transitória entre a floresta e a agricultura.

Nessa medida, embora não seja responsável direta pela supressão da floresta natural, a agricultura é a principal responsável pela consolidação das áreas antrópicas na paisagem. Isso ocorre por dificilmente sofrer mudanças para outras classes e ainda por facilmente converter áreas de pasto para sua ocupação, principalmente na parte sul da Amazônia Legal, onde as áreas de pastagem são mais suscetíveis a tornarem-se áreas agrícolas. Segundo Abramovay (2020), a estratégia de conversão de pastos de baixa produtividade para agricultura é um dos pilares do crescimento agrícola na Amazônia. Sendo a agricultura alavancada pela soja, uma potencial estimuladora da supressão florestal em terras da região, mesmo que a floresta não seja diretamente derrubada para o seu cultivo (KIRBY *et al.*, 2006).

7.5 DINÂMICAS AGROPECUÁRIAS E SUAS RELAÇÕES COM O DESFLORESTAMENTO

Como vimos, o desflorestamento tem relação direta com a cobertura agropecuária. De acordo com estudos realizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a agricultura do Brasil no século XX encontrava-se em seu estágio rudimentar, enquanto uso e cobertura do solo. O crescimento significativo necessitava de áreas naturais extensas se convertendo em pastagens e lavouras agrícolas para que a produção fosse suficiente para sustentar o Brasil nesse setor. Com o objetivo de compreender como a produção agropecuária é uma condicionante de suma importância na organização do desflorestamento, esta terceira parte da pesquisa cruza as trajetórias do desflorestamento investigadas anteriormente com os dados agropecuários advindos das bases do Sistema do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística de Recuperação Automática (SIDRA/IBGE). Para se compreender a complexidade das mudanças da Amazônia Legal, optou-se por uma análise quantitativa dos dados e

das trajetórias espaciais de pontos ou centros de massa tanto da perda florestal como das variáveis: área plantada geral, área plantada de soja e cabeças de gado bovinos da região; tendo sido realizada sua comparação.

Os mapas de trajetórias espaciais são úteis para trabalhos que tenham como foco o método de estudos de compreensão das dinâmicas espaciais anuais, como apresentado por Hermuche *et al.* (2013); Amaral *et al.* (2015); Clemente *et al.* (2017) e Santana *et al.* (2020). Esse mapeamento foi realizado utilizando o *ArcMap*[®] e por meio de cálculo de centros de massa, valendo-se da extração dos centros médios de produção, ponderando a latitude e a longitude de cada município pelo valor de sua variável (Equações 1 e 2).

$$\varphi_{média} = \left(\frac{\sum(\varphi_{mun}(x))}{\sum(x)} \right)$$

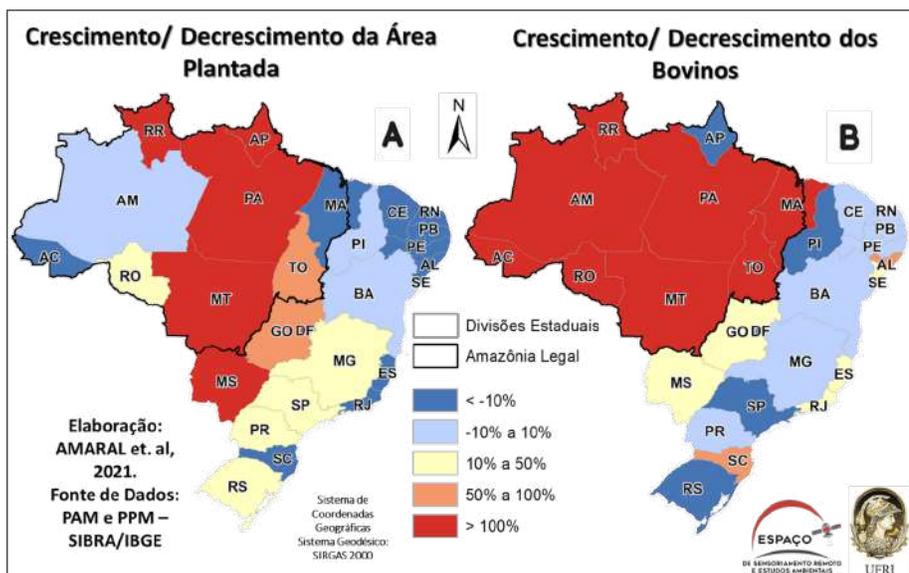
(Eq.1)

$$\lambda_{média} = \left(\frac{\sum(\lambda_{mun}(x))}{\sum(x)} \right)$$

(Eq.2)

Analisando a situação das lavouras temporárias e permanentes por estado brasileiro, com base nos dados da Pesquisa sobre a Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE, observou-se uma grande aceleração na participação dos estados que compõem a Amazônia Legal, entre eles: RR, AP, PA e MT (Figura 7.8A). Este último possui, além do aumento, uma grande participação percentual na agricultura da área, apresentando altos índices de produção e produtividade agrícola, por expressarem áreas extensas destinadas ao cultivo agrícola, principalmente, o plantio de soja. Outra situação, que é apresentada pelos dados da Pesquisa sobre a Produção Pecuária Municipal (PPM) do IBGE, é o crescimento efetivo das cabeças de gado nos estados da Amazônia Legal. Todos os estados delimitados pela Amazônia Legal, com exceção do Amapá, evidenciaram um crescimento do quantitativo de bovinos, como demonstra a Figura 7.8B.

Figura 7.8 – Taxa de crescimento: área plantada (A) e número de cabeças de bovinos na Amazônia Legal (B).



Fonte: os autores. Dados: PAM e PPM (SIDRA/IBGE).

Com a análise anterior, verifica-se a importância de se relacionar o avanço das coberturas agropecuárias sobre a floresta com a própria produção, já que, na Amazônia Legal, as coberturas agrícolas e pastoris tomaram a dianteira no crescimento nestes últimos 30 anos. Assim, espacializando as trajetórias espaciais das variáveis agropecuárias e da perda florestal na área, como mostrado na Figura 7.9, é possível entender de forma mais clara essas relações.

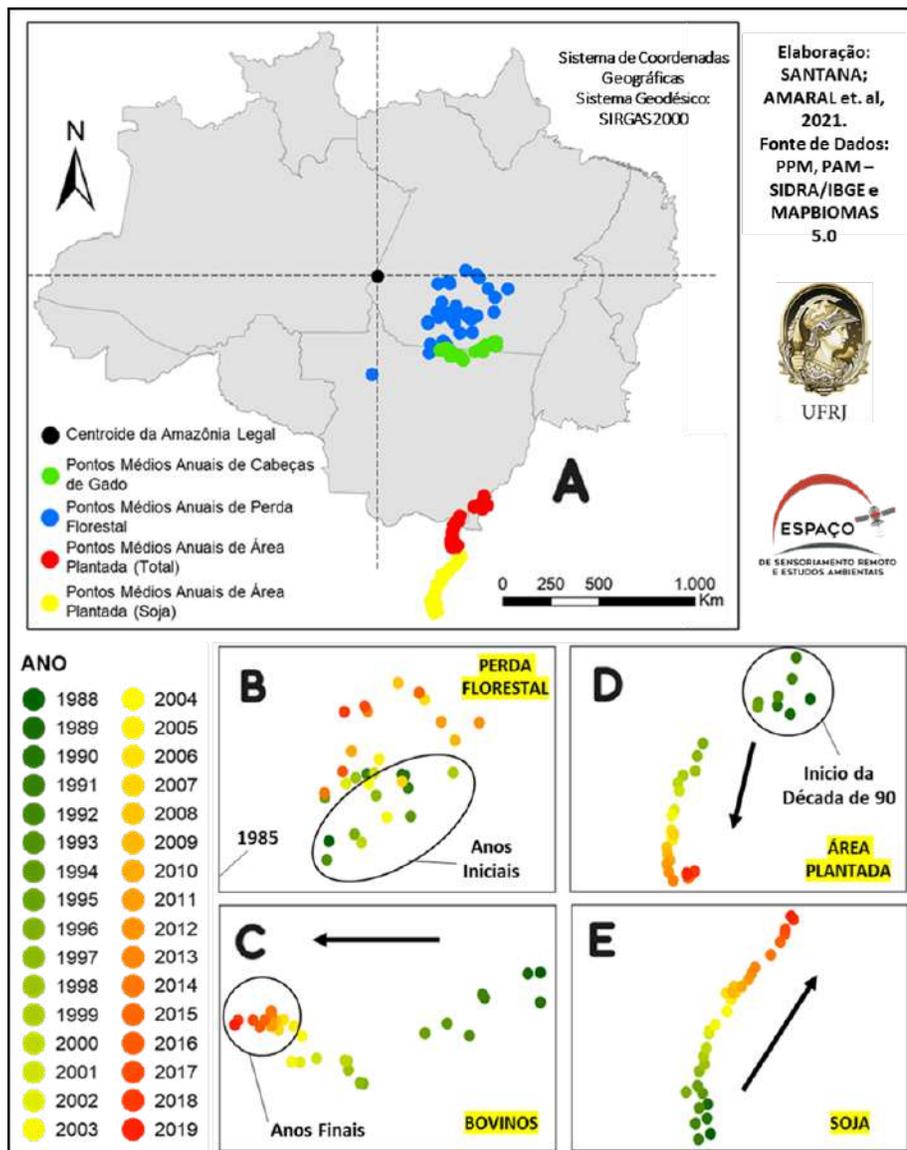
A Figura 7.9A apresenta a espacialização geral de cada variável. É importante frisar que, como os dados plotados são ponderados pelo total de cada município, a localização do ponto médio depende do arranjo de forças de cada ano, e seu deslocamento indica a direção do avanço de determinado fenômeno. Dessa forma, o primeiro resultado que se tem analisando a imagem é que as duas variáveis de área plantada se concentram nos municípios do extremo sul da área de estudo, sendo a soja ainda mais concentrada na área. Um segundo resultado é a maior descentralização da produção de bovinos e da perda florestal. Mesmo que ainda mais presente na parte mais a sul e a leste da Amazônia legal, tal produção é mais dispersa, o que ratifica os resultados encontrados anteriormente.

Uma terceira observação é a proximidade dos pontos médios da variável bovinos e perda florestal, o que pode ajudar a inferir a correlação entre essas duas variáveis, assim como apontado pelas análises anteriores.

Analisando o deslocamento temporal das variáveis, comparando primeiramente o comportamento das variáveis de área plantada (Figuras 7.9D e 7.9E), entende-se que, embora haja um forte desdobramento da soja na Amazônia Legal, a soja se diferencia dos outros cultivos, visto que, ao longo da sua trajetória, caminha em direção ao norte, enquanto que os outros cultivos em direção ao sul. A primeira evidência que pode ser colocada, com base nisso, é que as áreas agrícolas não sojicultoras possuem uma dispersão maior na área, mesmo que se concentrem em MT, TO e PA. Enquanto que a soja possui um padrão concentrado no MT e, como mostrado na Figura 7.9, avançando cada vez mais para norte. A variável Área Plantada geral torna-se cada vez mais dependente das áreas de plantio da soja, e, assim, os pontos médios tendem a se encontrar num futuro próximo, já que cada vez mais a porcentagem de soja dentro dos sistemas agrícolas amazônicos aumenta.

A variável Perda Florestal (Figura 7.9B), quando espacializada, retrata um comportamento disperso. Ou seja, por não apresentar um modelo uniforme ao longo do tempo, sua trajetória é marcada por uma descentralização, como já foi mostrado quando analisamos os padrões de supressão. Analisando ainda a Figura 7.9B, percebem-se os anos iniciais de perda florestal mais ao sul. Esse comportamento corrobora o diagnóstico produzido nos mapas de trajetórias, isto é, de que os desflorestamentos nos períodos iniciais se concentraram mais ao sul da Amazônia Legal, principalmente no estado de MT; e, com o passar dos anos, esse padrão ficou mais equilibrado em toda parte leste da Amazônia. Por fim, é possível visualizar (ainda na mesma figura) um padrão atual de interiorização do desflorestamento, e isso pode estar sendo causado pelas novas flechas, anteriormente citadas neste trabalho, e pelo aumento da supressão em AM, RO e interior do PA.

Figura 7.9 – Disposição do centroide e dos pontos médios de área plantada anual total, área plantada de soja; (A) perda florestal e cabeças de gado; (B) centros de massa de perda florestal; (C) centros de massa de bovinos; (D) centros de massa de área plantada total; (E) centros de massa de área plantada de soja.



Fonte: os autores. Dados: PAM e PPM (SIDRA/IBGE).

Por fim, o deslocamento temporal da variável Bovinos (Figura 7.9C) mostra-nos a grande relação que o desflorestamento possui com a criação de gado. É evidente na figura o padrão de interiorização, na direção oeste da produção, e (como já visto) isso está relacionado aos grandes avanços do pasto em grande parte das novas frentes de desflorestamento, dada pela consolidação das áreas de espinha de peixe no interior do PA e em RO. Outra observação que pode ser feita é a rapidez do avanço da variável a oeste, nos anos das maiores taxas de desflorestamento da Amazônia, ressaltando-se que o padrão se mantém, quando essa taxa cai e o deslocamento se torna muito menos abrupto.

Dessa forma, é possível entender como os sistemas agropecuários da região condicionam a organização e o avanço do desflorestamento, levando em conta que tanto o padrão de produção da pecuária e agrícola quanto o padrão de suas coberturas se repetem.

7.6 PADRÕES ESPACIAIS DAS DINÂMICAS REGIONAL E LOCAL

Os resultados da pesquisa expostos até aqui nos mostram que a natureza complexa dos padrões de desflorestamento na Amazônia não pode ser atribuída a um único fator, o que é corroborado por outras pesquisas, como a de Alencar *et al.* (2004). Além dos condicionantes gerais apresentados na parte anterior, observa-se no território a presença de diversos sistemas espaciais, que afetam diretamente a dinâmica de contenção e de avanço da devastação da cobertura florestal. Salienta-se a importância de considerar também, como uma das principais causas, o papel do governo, ator responsável na promoção de ações que influenciam diretamente nesses sistemas, modificando a dinâmica do desflorestamento. Dentre algumas políticas implementadas, destaca-se principalmente a criação de rodovias como um importante vetor atrativo; e as áreas protegidas como um notório vetor repulsivo. Vale ressaltar ainda os gerenciamentos dos recursos hídricos, devido à importância dos rios na dinâmica florestal. Com base nisso, nesta última parte, pretende-se entender como esses sistemas espaciais territorializados podem mudar o padrão do desflorestamento na Amazônia Legal.

Nessa análise específica, utilizaram-se bases de Unidades de Conservação (UC) e Territórios Indígenas (TI), obtidos do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC), do Ministério do Meio Ambiente; a base

de corpos hídricos, disponível no site da Agência Nacional de Águas (ANA); e de rodovias, disponíveis no site do *MapBiomass*[®]. Ao relacionar os padrões espaciais desses sistemas, com os padrões da supressão florestal, é possível analisar o papel que aqueles assumem na dinâmica da área.

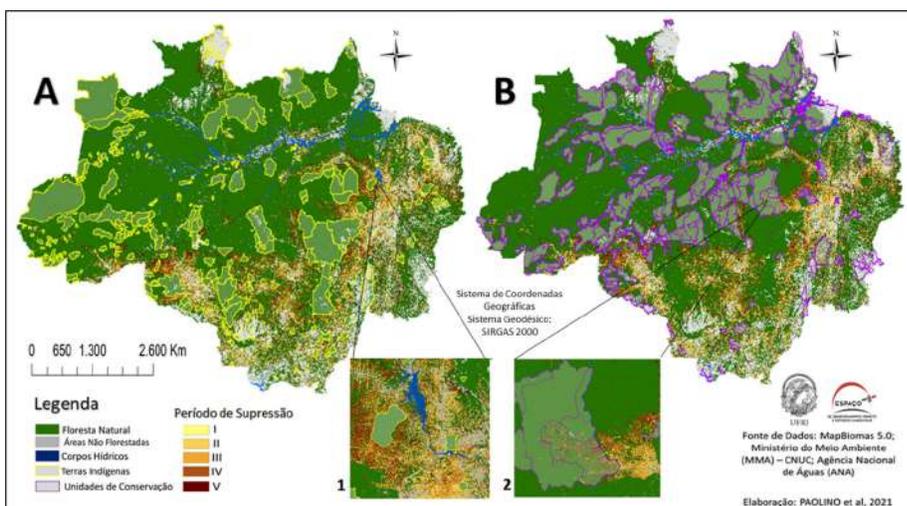
Observa-se, do cruzamento do mapa de supressão da floresta por períodos com as Terras Indígenas (Figura 7.10A) e as Unidades de Conservação (Figura 7.10B), que suas delimitações se encontram principalmente em áreas de floresta natural. Nesse caso, é importante destacar um ponto de análise importante, que são os fragmentos de floresta que resistem às ramificações de supressão, principalmente, na supressão em que posteriormente é ocupada por pastagem. A Figura 7.10A(1) expõe a situação do Território Indígena Parakanã, no Pará, criado em 1991 e que, desde então, vem sofrendo pressão das perdas florestais ao redor de todo seu limite e permanece resistindo à ameaça de supressão. Nesse exemplo, é evidente o potencial de repulsão dos territórios ambientais e socioambientais, fazendo com que a supressão seja minimamente retardada ao longo do tempo. Entretanto, salienta-se que esse padrão não é uma regra. Uma das localidades que valem ser destacadas é a Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu, representada na Figura 7.10B(2). Atualmente, a região está numa área invadida pela supressão, assim como o seu entorno, apesar de ser protegida por leis que preveem sua preservação.

Dessa forma, é certo que, nas classes analisadas, a supressão não avança em certos tipos de fragmentos florestais, e a hipótese de tais fragmentos serem áreas protegidas por legislação confirma-se. Entretanto, quando esses fragmentos não estão devidamente protegidos ou possuem legislações mais fracas (caso de uma Área de Proteção Ambiental, como mostrado), tornam-se, com grande facilidade, áreas também vulneráveis à supressão florestal.

Outros fatores também podem ser observados como fatores locais influenciadores da supressão, os quais podem ser associados diretamente ao modelo de uso e ocupação do solo e aos objetos de infraestrutura urbana (tais como as rodovias) ou fatores naturais (como os rios). Ao analisar o comportamento da supressão em face das rodovias federais (Figura 7.11B), pode-se observar uma interligação entre as suas dinâmicas de espacialização. A relação entre a abertura de estradas e o desmatamento na Amazônia brasileira é conhecida, desde a criação da Rodovia Transamazônica, também conhecida como BR-230 (OLIVEIRA, 2009). Nota-se que, ao longo da BR-230, a qual atravessa áreas urbanas e rurais, há uma forte presença da supressão florestal

em todo seu percurso, como representado na Figura 7.11B(2). Esse tipo de padrão é fortemente observado em toda a área, deixando clara a tendência de que, ao contrário das áreas protegidas na Amazônia Legal, as rodovias se comportam como um agente atrativo da supressão florestal.

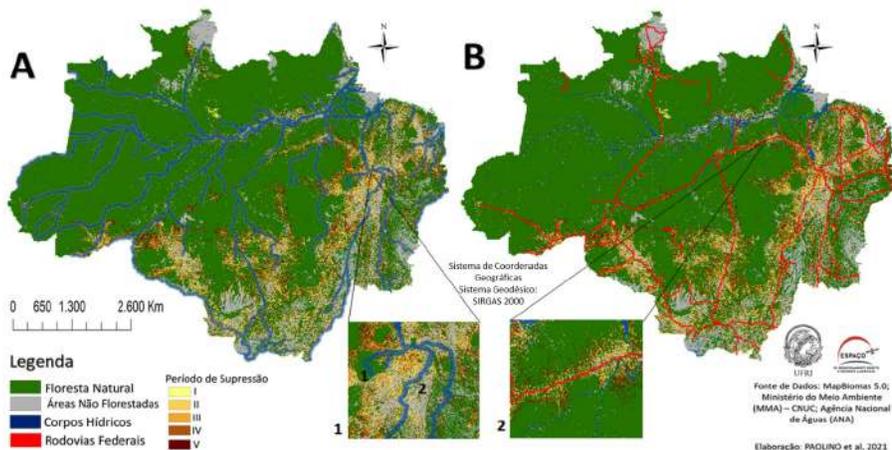
Figura 7.10 – Mapa cruzado da supressão florestal por período em: A - terras indígenas, com destaque para a Terra Indígena Parakanã (1); e B - Unidades de Conservação, com destaque para a Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu (2).



Fonte: os autores. Dados: MapBiomias 5.0[®], CNUC, MMA e ANA.

Como pode ser visto no mapa acerca da hidrografia (Figura 7.11A), os rios possuem um comportamento inconstante, podendo ser atrativo ou repulsivo, em face do desmatamento; o que difere em relação ao sistema das áreas protegidas e das rodovias. Nota-se que, em áreas com maior presença de rodovias, como é o caso de trechos do Rio Araguaia, representados na Figura 7.11A(1.2), são as que estão mais suscetíveis aos efeitos nocivos da supressão florestal. Todavia, os rios que estão localizados dentro e/ou no entorno de áreas protegidas, como algumas partes do Rio Itacaiúnas, representadas na Figura 7.11A(1.1), mostraram-se afastados das regiões afetadas pela supressão. Assim, supõe-se que os rios não possuem uma influência direta e única, mas podem amplificar outras variáveis.

Figura 7.11 – Mapa cruzado da supressão florestal por período, com a hidrografia da Amazônia Legal (A), com a identificação da parte do rio Itacaiúnas (1.1) e da parte do rio Araguaia (1.2); e com rodovias federais (B), com identificação da parte da Rodovia Transamazônica, BR-230 (2).



Fonte: os autores. Dados: *MapBiomas 5.0*® CNUC, MMA e ANA.

Constata-se, dos resultados gerados, que os sistemas espaciais analisados atuam diretamente na organização do desflorestamento da Amazônia Legal. A presença deles pode frear ou expandir a supressão florestal no território, sendo essencial o monitoramento do entorno dessas áreas.

7.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Resultados expressivos de um panorama dos padrões de desflorestamento na Amazônia Legal puderam ser apresentados neste trabalho, levando em consideração diferentes aspectos, tais como a própria supressão, as coberturas que ocupam posteriormente essas áreas suprimidas; e suas condicionantes gerais e locais, que podem afetar esses padrões, o que atende claramente os objetivos delineados no capítulo.

Levando em conta o conjunto de investigação, que foi pautado em saber exatamente “quanto”, “quando”, “onde” e “para o que” se perde floresta em todo o processo de supressão, fica claro ainda que a metodologia utilizada foi satisfatória. Dessa forma, é possível compreender que essas mesmas questões guiarão pesquisas, na identificação de “quem” promoveu (e promove) o desflorestamento na região. Além disso, por essas análises, foi possível ressaltar a importância do entendimento desses padrões,

fornecendo a base para pesquisas focadas nas causas das supressões e as que visam a previsão de ocorrências de novos desflorestamentos.

Cabe ressaltar ainda que toda a metodologia da criação desse panorama foi pautada nas bases teóricas e metodológicas da Geoeologia da Paisagem e da geoinformação. Com base nisso, foi possível o uso e integração de diferentes dados geoinformacionais, dando origem a formas de representação passíveis de análises geoeológicas, que auxiliaram na percepção de características e de como variáveis espaciais se comportam perante o desflorestamento.

É relevante apontar a dificuldade de trabalhar com um conjunto de dados abrangente, tanto temporalmente quanto espacialmente. Apesar disso, foi possível, com as representações geradas, abarcar a linha temporal disponibilizada, de modo a compreender os padrões espaçotemporais da supressão florestal. Portanto, com base no presente estudo, é possível dedicar-se a outras abordagens, visto que, entre os diversos resultados obtidos, observa-se uma imensa complexidade de novos dados e informações, que podem ser analisados e dar suporte a novas hipóteses e, conseqüentemente, a novas análises.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes) pela bolsa de doutorado recebida; e o laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais da Universidade Federal do Rio de Janeiro pelo suporte estrutural e intelectual.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOVAY, R. *Amazônia: por uma economia do conhecimento da natureza*. São Paulo: Editora Elefante, 2020.
- ADEODATO, S.; VILLELA, M.; BETIOL, L. S.; MONZONI, M. *Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo*. São Paulo: FGV; RAE, 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA).
- ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS). *Dados abertos da Agência Nacional de Águas e saneamento básico: dados abertos para a gestão de recursos hídricos*. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/>. Acesso em: 8 abr. 2020
- ALENCAR, A. *et al. Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica*. Manaus: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (Ipam), 2004.

- AMARAL, F. G. *et al.* Análise espaço-temporal das culturas de milho, soja e cana no estado de Goiás no período de 1990 a 2011 com a utilização das geotecnologias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17., 25 a 29 de abril de 2015, João Pessoa. *Anais [...]*. João Pessoa: INPE, 2015. p. 4.180-4.187.
- BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. *Geoinformação e monitoramento ambiental na América Latina*. São Paulo: Senac, 2008.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. *Estudos avançados*, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 71-86, 2005.
- BRASIL. *Lei nº 1.806, de 6 de janeiro de 1953*. Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia, cria a superintendência da sua execução e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 1966.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Download de dados geográficos*. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- BUZAI, G. D.; BAXENDALE, C. A. *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica*. 2. ed. Buenos Aires: Lugar Editorial, 2011.
- CLEMENTE, A. M. *et al.* Spatial-temporal patterns of bean crop in Brazil over the period 1990–2013. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, Brasília, v. 6, n. 4, p. 107, 2017.
- COPPIN, P. *et al.* Review article digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International journal of remote sensing*, [s.l.], v. 25, n. 9, p. 1.565-1.596, 2004.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. *Megadiversidade*, Manaus, v. 1, n. 1, p. 113-123, 2005.
- FEARNSIDE, P. M. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *Forest ecology and management*, [s.l.], v. 90, n. 1, p. 59-87, 1997.
- GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. What drives tropical deforestation. *LUCC Report series*, Louvain, Belgium, v. 4, p. 116, 2001.
- GOMES, P. C. da C. *Quadros geográficos: uma forma de ver, uma forma de pensar*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2017.
- HANNA, S. P. Maps and diagrams. In: GOMEZ, B.; JONES III, J. P. (ed.). *Research methods in geography: a critical introduction* Oxford, Wiley-Blackwell, 2010. p. 259-278.
- HERMUCHE, P. M. *et al.* Dynamics of sheep production in Brazil. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, [s.l.], v. 2, n. 3, p. 665-667, 2013.

HUGGETT, R.; PERKINS, C. Landscape as form, process and meaning. In: HERBERT, D. T.; MATTHEWS, J. A. (ed.). *Unifying geography: common heritage, shared future* London, UK, 2004. p. 224-239.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Downloads*. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/>. Acesso em: mar. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Produção agrícola municipal (PAM) - sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA*. Disponível em: <https://SIDRA.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: mar. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Produção pecuária municipal (PPM) - sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA*. Disponível em: <https://SIDRA.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas>. Acesso em: mar. 2021.

KIRBY *et al.* The future of deforestation in the Brazilian Amazon. *Futures*, [s.l.], v. 38, n. 4, 2006.

KRÜGER, E. L. Uma abordagem sistêmica da atual crise ambiental. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, UFPR, Curitiba, v. 4, 2001.

LOUREIRO, V. R. Amazônia: uma história de perdas e danos, um futuro a (re) construir. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 16, n. 45, p. 107-121, 2002.

LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDIZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, [s.l.], v. 25, p. 2.365-2.407, 2010.

MANTIN, Y.; BERTAZZON, S. Modeling. In: GOMEZ, B.; JONES III, J. P. (ed.). *Research methods in geography: a critical introduction*. Oxford, Wiley-Blackwell, Roudledge, 2010. p. 26-40.

MARGULIS, S. Quem são os agentes dos desmatamentos na Amazônia e por que eles desmatam. [s.l.], *Word Bank Internal Paper*, 2002.

MORAN, E. F. Ecosystem ecology in biology and anthropology: a critical assessment. In: MORAN, E. F. (ed.). *The ecosystem approach in anthropology: from concept to practice*. Michigan, University of Michigan Press, 1990. p. 3-40.

MORAN, E. F.; GILLET-NETTING, R. *Human adaptability: an introduction to ecological anthropology*. 3. ed. New York, Westview Press, 1982.

MORAN, E. F.; OSTROM, E. (org.). *Ecosistemas florestais: interação homem-ambiente*. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2009.

NEVES, E. G. *Arqueologia da Amazônia*. Rio de Janeiro: Zahar, 2006.

OLIVEIRA, F. de. A reconquista da Amazônia. In: D'INCAO, Maria A.; SILVEIRA, Isolda M. da (org.). *A Amazônia e a crise da modernização*. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi; ICSA/UFPA, 2009. (Coleção Eduardo Galvão).

PIVELLO, V. R.; METZGER, J. P. Diagnóstico da pesquisa em ecologia de paisagens no Brasil (2000-2005). *Biota neotropica*, Fapesp, São Paulo, SP: v. 7, n. 3, p. 21-29, 2007.

PROJETO MAPBIOMAS - MAPBIOMAS. *Coleção 5.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. Disponível em: <http://mapbiomas.org/>. Acesso em: 7 abr. 2021.

RISSER, P. G. Landscape ecology: state of the art. In: LANDSCAPE heterogeneity and disturbance. New York: Springer, 1987. p. 3-14.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; AVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova economia [online]*, v. 19, n. 1, p. 41-66, 2009.

RODRÍGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da; CAVALCANTI, A. P. B. *Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental*. Fortaleza: Editora UFC, 2004.

SANTANA, B. da S. F.; AMARAL, F. G.; CRUZ, C. B. M. Análise da dinâmica espaço-temporal das áreas plantadas de soja e cana-de-açúcar no estado de Goiás. In: JORNADA DE GEOTECNOLOGIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO - JGEOTEC, 5., 9 a 12 de novembro de 2020, Niterói, UFF, Geopartners. *Anais [...]*. Niterói, Geopartners 2020. p. 160-170.

VICENS, R. S.; RODRÍGUEZ, J. M. M.; CRONEMBERGER, F. M. A paisagem físico-geográfica: identificação e classificação. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 64, n. 1, p. 202-219, 2019.

WATSON, R. T. *et al.* *Land use, land-use change and forestry: a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 2000.

WECKMÜLLER, R.; VICENS, R. S. As geotecnologias e a detecção de trajetórias evolutivas da paisagem: possibilidades metodológicas e aplicações. *Revista Brasileira de Geografia Física*, UFPE, Recife, PE, v. 11, n. 6, p. 2.140-2.159, dez. 2018.

MUDANÇAS NA COBERTURA DE FLORESTA ATLÂNTICA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (1984 – 2016)

Rômulo Weckmüller
Raúl Sánchez Vicens

8.1 INTRODUÇÃO

A transformação dos sistemas terrestres é um fenômeno inerente à utilização dos recursos naturais pelo ser humano, como premissa para a subsistência e desenvolvimento das sociedades humanas, sejam elas tradicionais, sejam industrializadas. Com o surgimento da agricultura, 11 mil anos atrás, a domesticação de plantas e animais aumentou a produção de alimentos, o que levou ao rápido incremento populacional, ao surgimento dos assentamentos humanos e ao início do comércio e das efetivas transformações na cobertura vegetal e do uso das terras. Desde a Revolução Industrial, o impacto das atividades humanas tem sido ampliado, com a exploração de diferentes fontes de energia (em particular, os combustíveis fósseis); e pelo grande incremento da população mundial, ancorado no desenvolvimento do comércio global, na mecanização da agricultura e nos avanços tecnológicos, principalmente, em áreas como Nutrição e Saúde.

Com a conversão de ecossistemas naturais em sistemas específicos de uso da terra (agricultura ou áreas urbanas, por exemplo), serviços geocológicos existentes são diminuídos em favor de serviços desejados, como a produção de alimentos ou a exploração de matérias-primas (DEFRIES; FOLEY; ASNER, 2004; FOLEY *et al.*, 2005). No intuito de mitigar as consequências negativas resultantes das mudanças, é necessário entender “onde”, “como” e “por que” elas ocorrem.

Em termos gerais, as mudanças são produzidas por uma variedade de vetores de transformação, em diferentes escalas espaciais e temporais,

comumente interligadas (LAMBIN; GEIST, 2006). Esses vetores podem ser causas diretas ou imediatas, que normalmente atuam a escalas locais, assim como causas de fundo ou subjacentes, que operam em escalas regionais ou mesmo globais. Por exemplo, a extração de madeira ou a expansão das terras cultivadas afetam diretamente o desmatamento, enquanto que as dinâmicas demográficas ou as políticas de subsídios econômicos o fazem de forma indireta e modulam a intensidade dos vetores imediatos.

Em resumo, o uso da terra é o componente central das mudanças ambientais. A busca pela sustentabilidade dos sistemas terrestres passa obrigatoriamente pelo entendimento dos padrões de distribuição espacial das mudanças no uso e pela determinação das relações de causalidade com os diferentes vetores de transformação.

No âmbito de uma abordagem espaçotemporal, que demanda o estudo das mudanças na cobertura e uso da terra, o sensoriamento remoto multitemporal emerge como a mais importante ferramenta na sua cartografia e no seu monitoramento. Muitos dos sensores que compõem o Sistema de Observação da Terra adquirem dados em diferentes escalas espaciais, com diferentes resoluções espectrais e temporais.

Entre todos, os dados provenientes do imageamento pelos satélites *Landsat* constituem o maior registro contínuo da superfície terrestre, contabilizando em janeiro de 2015 um acervo de imagens de mais de 5,5 milhões de cenas (WULDER *et al.*, 2016). Desde o início, em 1972, com o sensor *Multispectral Scanner* e, posteriormente, com o advento dos sensores *Thematic Mapper*, em 1982; e *OLI*, em 2013, o imageamento tem sido praticamente contínuo, e soluções técnicas têm sido implementadas para maximizar a resolução espacial e espectral, assim como otimizar a consistência radiométrica entre os sensores. Cabe ainda destacar o grande avanço que representou o acesso aos dados *Landsat*, a partir de 2008, quando o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, em inglês) disponibilizou todo o acervo de imagens para *download* livre, com uma acurácia geométrica sem precedentes.

Em termos de pré-processamento das imagens, têm sido desenvolvidos algoritmos para correção atmosférica, normalização radiométrica e geração de máscaras para nuvens e sombra. Isso confere grande qualidade às séries temporais *Landsat*, com aumento considerável do potencial para a detecção de mudanças, diminuindo os erros com falsas mudanças (WULDER *et al.*, 2016).

Por sua vez, o aumento no volume de imagens que pode ser atualmente processado automaticamente permite realizar análises com base na trajetória das variáveis físicas de cada *pixel*, atravessando uma grande coleção de imagens de diferentes datas (KENNEDY *et al.*, 2007, 2010; 2012; POWELL *et al.*, 2010; GRIFFITHS *et al.*, 2012; FRAGAL *et al.*, 2016). Isso tem representado um grande avanço metodológico sobre o método tradicional de análise bitemporal, abrindo espaço para o desenvolvimento de novas tecnologias, tais como a detecção de mudanças com base em trajetórias ou a classificação de séries temporais, utilizando algoritmos de aprendizado de máquina (*Machine Learning*).

8.2 OS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS

Detectar mudanças significa identificar alterações na superfície terrestre, por meio da análise de imagens da mesma área, coletadas em diferentes datas. A análise multitemporal de imagens de satélite permite a avaliação de dinâmicas espaciais, como os processos de urbanização, catástrofes naturais, desmatamentos e outras alterações na paisagem, sejam de origem natural, sejam de origem antrópica (SINGH, 1989). Tendo em vista a impossibilidade de listar todas as aplicações das técnicas de detecção de mudanças na cobertura da terra, e reconhecendo que há muito potencial a ser explorado, Lu *et al.* (2010) destacam que o pesquisador precisa definir bem a aplicação da sua pesquisa, para assim escolher bem a técnica mais adequada aos seus objetivos.

Existem muitas técnicas para a análise multitemporal, e cada uma possui uma forma própria de lidar com a detecção e a classificação das mudanças. Não existe um método universalmente aceito. Os parâmetros de escolha dessas técnicas dependem do objetivo da pesquisa e/ou da preferência por parte do pesquisador por determinada ferramenta (COPPIN *et al.*, 2004; JENSEN, 2009). Para se obter uma boa detecção de mudanças, a técnica utilizada deve fornecer as seguintes informações: (1) variação de área de mudança; (2) distribuição espacial dos tipos alterados; (3) trajetórias de tipos de cobertura da terra; e (4) avaliação da precisão da detecção das mudanças (LU *et al.*, 2010).

Os primeiros estudos sobre a diversidade de técnicas de detecção de mudanças, assim como uma comparação entre elas, datam dos anos 1970. Weismiller *et al.* (1977) analisaram a diferenciação de imagens, por meio de pós-classificação e de análise composta, porém sem controle de campo.

Na década de 1980, vários trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de comparar os resultados de diversas técnicas de detecção de mudanças, mas ainda sem ultrapassar os limites de uma análise qualitativa. Como um dos trabalhos pioneiros, Singh (1989) realizou uma extensa comparação entre várias técnicas de detecção de mudanças, além de verificar a acurácia daquelas. O autor classificou os métodos de detecção de mudança em dois tipos, a saber: por comparação entre classificações e por comparação direta.

A partir da década de 1990, aumenta a diversidade e complexidade das técnicas de detecção de mudanças. Deer (1995) propôs uma divisão das técnicas em três categorias: detecção de alterações com base em *pixel*, detecção baseada em recurso e baseada em objetos. Já Coppin e Bauer (1996) sistematizaram diversas metodologias de detecção de mudanças no uso e cobertura da terra, focando suas aplicações em ecossistemas de floresta. Ambos os trabalhos enfatizam a importância da etapa de pré-processamento nas imagens (correções geométricas e radiométricas), para o desempenho na detecção de mudanças, qualquer que seja a técnica escolhida.

Nos anos 2000, com o ganho nas resoluções espaciais, espectrais e temporais dos sensores, uma série de novas técnicas começaram a surgir. Lu *et al.* (2010) generalizaram vários métodos, entre eles: operação aritmética, transformação, comparação de classificação, modelos avançados, integração de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), análise visual e alguns outros métodos. Eles também discutiram a importância do pré-processamento e avaliaram a precisão dos métodos para a escala de detalhe.

Métodos analíticos para detecção e mapeamento de mudanças na cobertura e uso da terra com imagens *Landsat* têm aumentado progressivamente, desde o começo do programa *Landsat* (SINGH, 1989; COPPIN *et al.*, 2004). A maioria dessas abordagens se utiliza de conjuntos de imagens multitemporais, que são comparadas por diferentes vias, para extrair diferenças espectrais que resultam das mudanças na cobertura da terra (LU *et al.*, 2010). Ainda, a grande maioria se concentra nas análises em um (ou mais) pares de imagens, o que tem sido consagrado como método de análise bitemporal (COPPIN *et al.*, 2004). Tais abordagens têm vários inconvenientes, porque muitos detalhes espaciais e temporais dessas mudanças permanecem desconhecidos. Embora as mudanças possam ser bem detectadas com essas abordagens (porque há mudança espectral suficiente), processos sutis, tais como as modificações na cobertura vegetal, ou tendências de longo prazo, tais como a degradação das florestas, são difíceis de mapear usando apenas pares de imagens.

Para suprir essas deficiências, novas abordagens fundamentadas em séries temporais processam longas sequências de imagens, visando identificar tendências de longo prazo nos dados, basicamente por meio de análises de regressão (HOSTERT; RODER; HILL, 2003; RODER *et al.*, 2008). Câmara (2020) destaca que, na maioria dos casos, esses algoritmos que detectam trajetórias utilizam regressões lineares; o que, de acordo com o autor, é um bom suporte para o reconhecimento dos eventos, pois esse método possibilita classificar toda a série de imagens em classes de trajetórias.

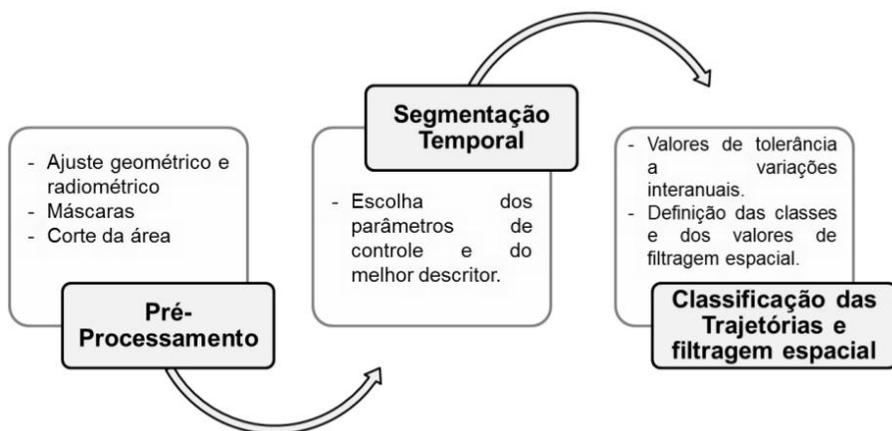
Para explorar plenamente toda a série temporal do *Landsat*, alguns estudos utilizam uma sequência de múltiplas comparações consecutivas para identificar tendências no tempo (COHEN *et al.*, 2002; JIN; SADER, 2005; OLSSON, 2009). Embora essa abordagem de análise de sequências de dados bitemporais tenha se mostrado poderosa, ela não aproveita plenamente as relações entre as imagens que compõem toda a série multitemporal e, geralmente, não conseguem separar as mudanças sutis ou contínuas dos ruídos inerentes à série temporal, causados pelas condições de imageamento (ângulo de iluminação, condições atmosféricas e derivações do sensor), dinâmicas fenológicas da vegetação ou erros de normalização geométricas e radiométricas entre as imagens.

8.3 A DETECÇÃO DE MUDANÇAS COM BASE EM TRAJETÓRIAS: O ALGORITMO *LANDTRENDR*[®]

Para melhorar a relação sinal/ruído na detecção de mudanças, algumas abordagens vêm utilizando algoritmos de encaixe ou ajuste da curva multitemporal de determinados parâmetros espectrais (HOSTERT; RODER; HILL, 2003; RODER *et al.*, 2008; VIEDMA *et al.*, 1997; VOGELMANN; TOLK; ZHU, 2009). Na essência, esses algoritmos captam tanto as mudanças abruptas quanto os processos lentos de alternância entre estados dinâmicos da cobertura. O algoritmo de detecção de mudanças com base em trajetória, desenvolvido por Kennedy *et al.* (2007), fornece estimativas tanto sobre desvios bruscos da trajetória (como a intensidade e a data da perturbação) quanto de processos contínuos e lentos (como a revegetação). O método baseia-se no melhor ajuste da curva temporal de cada *pixel*, em relação a quatro trajetórias reconhecidas numa área de floresta. Posteriormente, Kennedy *et al.* (2010) introduziram e testaram o algoritmo *LandTrendr*[®] (*Landsat-based detection of Trends in Disturbance and Recovery*) para extrair trajetórias de mudanças na cobertura da terra, com base em séries temporais *Landsat*.

O *LandTrendr*[®] é um pacote de algoritmos de detecção de mudanças florestais baseado em *pixels*, desenvolvido por Kennedy *et al.* (2010), que objetiva gerar trajetórias espectrotemporais que expressam os eventos ocorridos no *pixel* no decorrer do tempo; resumidamente, em três fases: pré-processamento, segmentação temporal e classificação das trajetórias (Figura 8.1).

Figura 8.1 – Fases de um projeto baseado no pacote de algoritmos *LandTrendr*[®].



Fonte: os autores.

O *LandTrendr*[®], além de estar disponível gratuitamente, dispõe de um guia do usuário, que detalha bem toda a organização de pastas, processamento de dados de entrada e execução do algoritmo. Esse guia é fundamental, visto que a ferramenta não possui interface gráfica, sendo executada por código no software *Envi IDL*[®]. Recentemente, em Kennedy *et al.* (2018), o *LandTrendr*[®] foi adicionado como uma função no *Google Earth Engine*^{®8}, o que facilitou muito seu manuseio, visto que possui uma interface mais amigável, além de banco de dados e processamento em nuvem.

Kennedy *et al.* (2010) defendem que a aplicação bem-sucedida do algoritmo depende da compreensão do seu modo de funcionamento, pois o mesmo algoritmo busca identificar modificações duradouras na cobertura florestal, ao longo da série temporal, em intervalos de tempo anuais. Ou seja, não é adequado para identificar tendências sazonais ou fenológicas, as quais são consideradas como ruído.

⁸ Disponível gratuitamente em: <http://github.com/KennedyResearch/LandTrendr-2012>.

Por gerar trajetórias de forma arbitrária, o algoritmo precisa de parâmetros de controle bem precisos, para evitar falsas mudanças. Para contornar tal problema, as imagens também devem ter um ajuste geométrico com uma qualidade *subpixel*, uma correção atmosférica e/ou normalização radiométrica, além de estarem convertidas em valores de reflectância de superfície. Para cada imagem, deve estar associada uma máscara de nuvem e sombras de nuvens. Uma vez que a série temporal de imagens e suas respectivas máscaras tenham sido obtidas e processadas, são geradas as trajetórias espectrotemporais, de modo individual, para cada *pixel*. Paralelamente é realizado um processo que Kennedy *et al.* (2010) chamam de segmentação temporal, processo esse que ajusta as trajetórias do *pixel* em segmentos.

Essa trajetória, com seus segmentos, pode ser baseada em diferentes descritores, como a reflectância de superfície de faixas espectrais (bandas); ou em índices que resultem da operação entre essas bandas, tais como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, traduzido), o NBR (Índice de Queimada Normalizado, traduzido); ou ainda em imagens resultantes da transformação *tasseled cap*, a saber: *brightness* (brilho), *greenness* (verdor) e *wetness* (umidade).

Na literatura, são vários os trabalhos que utilizam esse algoritmo em estudos de mudança na paisagem. Kennedy *et al.* (2012) aplicaram o *Landtrendr*[®] analisando padrões de desmatamentos e recuperações vegetais em áreas protegidas públicas e privadas, além das ecorregiões de uma floresta temperada no noroeste dos Estados Unidos. Griffiths *et al.* (2012) adotaram as trajetórias evolutivas geradas por esse algoritmo em uma cena *Landsat* que corresponde à parte da região dos Cárpatos, no leste da Romênia, para entender o comportamento da cobertura da terra nos principais acontecimentos na Europa, entre 1984 e 2010, concluindo que o colapso do socialismo provocou uma diminuição drástica no desmatamento e o abandono de muitas terras agrícolas, enquanto que a ascensão da União Europeia contribuiu para a retomada de cultivos nessas áreas agrícolas. Fragal *et al.* (2016) utilizam as trajetórias para mensurar a perda de florestas de várzea num trecho do Baixo Rio Amazonas, entre 1984 e 2009. Weckmüller e Vicens (2019) utilizaram o *LandTrendr*[®] para entender a magnitude, duração e idade das mudanças florestais no estado do Rio de Janeiro, entre 1984 e 2016; e concluíram que o *LandTrendr*[®] obteve uma acurácia entre 65% e 70% de acerto, nas classes de trajetórias propostas. Kennedy *et al.* (2018) implementaram os algoritmos *LandTrendr*[®] na plataforma *Google Earth Engine*[®], devido ao grande acervo de imagens e capacidade de processamento em

nuvem deste. Os autores conseguiram entre 85% e 95% de concordância entre os resultados do algoritmo no *Envi IDL*[®] e no *software* da *Google*[®].

8.4 O PRÉ-PROCESSAMENTO, A SEGMENTAÇÃO TEMPORAL E A CLASSIFICAÇÃO DE TRAJETÓRIAS

Para a detecção de mudanças na paisagem, o pré-processamento é de fundamental importância, pois minimiza diferenças geométricas e radiométricas entre as imagens, que podem resultar em falsas mudanças (MAS, 1999). De acordo com Coppin e Bauer (1996), essas falsas mudanças podem ser resultantes das diferenças de absorção e espalhamento atmosféricos, devido a variações no vapor de água e/ou nas concentrações de aerossóis na atmosfera, em momentos distintos no tempo; diferentes ângulos do posicionamento solar no momento de aquisição; problemas de calibração dos sensores; entre outros.

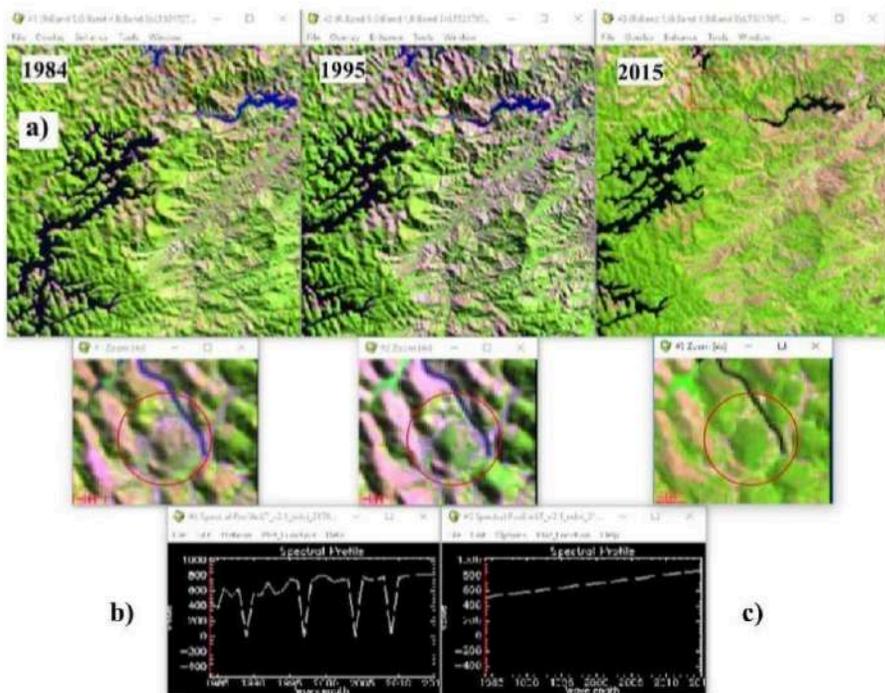
Lu *et al.* (2010) destacam que, antes de implementar a detecção de mudanças, as seguintes condições devem ser atendidas: (1) um registro preciso das imagens multitemporais; (2) correção atmosférica e/ou normalização radiométrica entre as imagens; (3) estados fenológicos semelhantes entre as imagens; e (4) seleção de imagens com mesma resolução espacial e espectral, se possível. Coppin e Bauer (1996) consideram as correções geométricas e radiométricas, assim como as normalizações, como as mais importantes técnicas de pré-processamento para a detecção de mudanças.

O conceito de segmentação temporal é importante, pois difere-se do uso da palavra “segmentação”, usada até então na literatura com cunho estritamente espacial. A segmentação temporal do algoritmo *LandTrendr*[®], resumidamente, consiste na simplificação de uma trajetória espectral temporal, identificando quebras estatísticas do comportamento linear, entre as imagens inicial e final da série (Figura 8.2).

As trajetórias espectrotemporais expressam a sucessão de eventos ocorridos com a cobertura florestal, enquanto que os segmentos que compõem as trajetórias expressam momentos críticos da mudança da cobertura florestal. O termo “momento crítico” é adotado para o segmento da trajetória que expressa remoção de florestas (distúrbio) ou o segmento que expressa sucessão primária e secundária (recuperação). Dessa forma, a trajetória espectrotemporal é definida por uma sequência de segmentos, cada qual formado por dois vértices, ligados por uma reta, que generalizam e/ou simplificam

as assinaturas espectrais temporais de mudanças florestais, sejam elas desmatamentos, sejam regenerações (FRAGAL, 2015; WECKMÜLLER, 2018).

Figura 8.2 – Telas do algoritmo *LandTrendr*[®] no Envi[®]: (a) composições RGB 543 Landsat TM 5, datadas de 1985, 1990 e 2010 (datas na própria imagem), de uma amostra de mudança, com destaque para recuperação gradual da vegetação; (b) curva espectral original; e (c) curva espectral ajustada, em segmentos da classe de trajetória destacada.



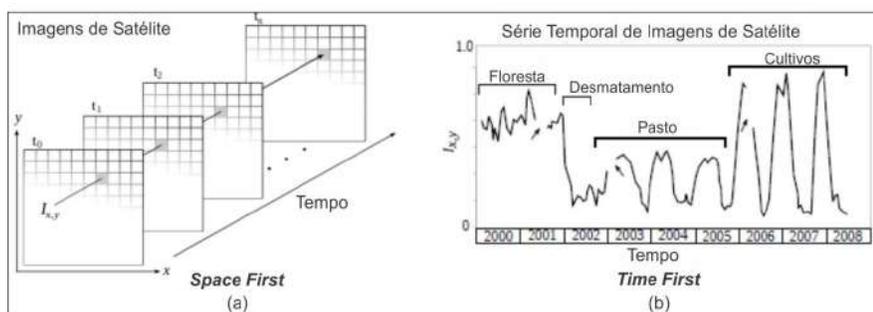
Nota: os “vales” observados na curva B correspondem a nuvens (valor 0) que não entraram no processamento. Esses gráficos são do NDVI (eixo y) ao longo de toda a série temporal (eixo x).

Fonte: Weckmüller (2018).

Câmara *et al.* (2016) defendem a classificação de trajetórias em séries temporais como uma quebra de paradigma nos estudos de mudança. Até agora, a variável espaço era priorizada em relação ao tempo; ou seja, os mapeamentos eram feitos para cada data, com comparação posterior dos seus resultados, com o paradigma chamado de “*Space First*” (Figura 8.3a). A partir desse momento, há uma mudança importante nesse paradigma, pois a variável tempo passa a ser a mais importante, com o uso de séries

temporais, o que é denominado “*Time First*” (Figura 8.3b). Dessa maneira, o mapa deixa de ser um resultado absoluto, exigindo o complemento de uma assinatura espectral-temporal de suas classes de mudança (MAUS *et al.*, 2016). O uso de linguagens de programação e ambientes computacionais em nuvem dirige-se a ser uma tendência nesse campo científico, tendo em vista sua maior capacidade de processamento de vastos bancos de dados.

Figura 8.3 – (a) Uma matriz tridimensional de imagens de satélite, onde o *pixel* $I(x, y)$ é classificado separadamente, priorizando a variável espaço; (b) uma série temporal de índice de vegetação $I(x, y)$, na localização do *pixel* (x, y) , priorizando a variável tempo.



Nota: as setas indicam lacunas de dados.

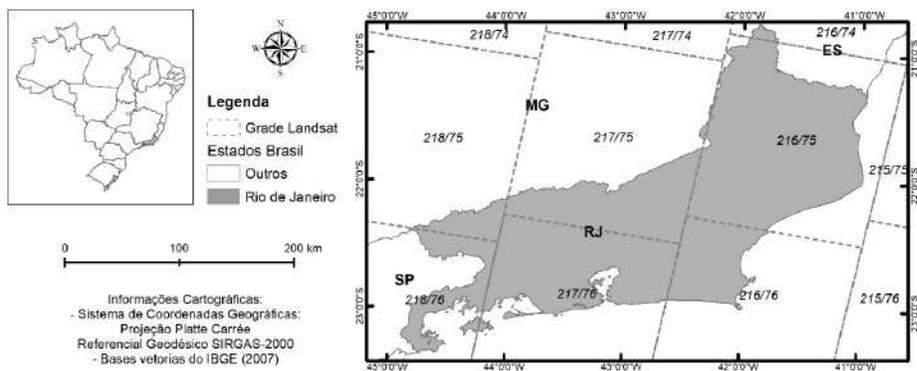
Fonte: adaptada de Maus *et al.* (2016).

O desenvolvimento de algoritmos automatizados que usam séries temporais para detecção de mudanças florestais em grandes áreas geográficas cria um novo problema para validação. Os dados de referência de validação podem ser difíceis de obter, porque as observações históricas para o período e área de interesse podem ser raras. Com o objetivo de otimizar o processo de validação, Cohen *et al.* (2010) desenvolveram o *TimeSync*[®], uma ferramenta de visualização de séries temporais que facilita a identificação de pontos amostrais na trajetória classificada em comparação com imagens históricas da mesma área geográfica, parte do acervo do *software Google Earth*[®]. Essas ferramentas de visualização são importantes, pois possibilitam o uso do índice *Kappa*, que, apesar de ser um dos mais utilizados para validação na literatura, é simples e efetivo. Weckmüller e Vicens (2018) consideram que a análise da matriz de confusão é tão importante quanto o índice *Kappa*, pois permite identificar a principal fonte de erros da classificação (se a fonte é proveniente do algoritmo e/ou do pesquisador), por meio dos erros de comissão e omissão.

8.5 O BIOMA MATA ATLÂNTICA E O ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Com uma área de 43.778 km², o estado do Rio de Janeiro está localizado na Região Sudeste do Brasil, estendendo-se latitudinalmente entre o Oceano Atlântico, ao sul; e os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, ao norte. A cobertura total da sua superfície por imagens *Landsat* é obtida com um total de sete cenas (Figura 8.4).

Figura 8.4 – Localização do estado do Rio de Janeiro e cobertura total de cenas *Landsat*.



Fonte: os autores.

As paisagens físico-geográficas do estado organizam-se hierarquicamente em três unidades de ordem superior, distribuídas espacialmente numa estrutura aproximada de faixas paralelas de orientação nordeste-sudoeste. Um eixo de montanhas de clima tropical e subtropical de altitude, úmido e hiperúmido, separa a depressão tectônica interplanáltica do Rio Paraíba do Sul das planícies e baixadas litorâneas, ambas com clima tropical úmido e subúmido.

A maior parte das montanhas forma um bloco tectônico central, constituído de rochas cristalinas pré-cambrianas, com escarpas íngremes e maciços pré-montanhosos, úmidos e frequentemente nublados, nas partes mais elevadas das encostas, que são voltadas para o oceano; com predomínio de cambissolos, neossolos litólicos, abundantes afloramentos rochosos, cobertos por floresta perenifolia montana e submontana. As escarpas e os degraus estruturais delimitam planaltos de reverso, com elevações superiores a 600 metros e com montanhas de até 2.000 metros de elevação; com clima subtropical de altitude; também com solos pouco desenvolvidos e floresta perenifolia montana e alto montana, com campos de altitude nas maiores elevações. Seguem-se ao

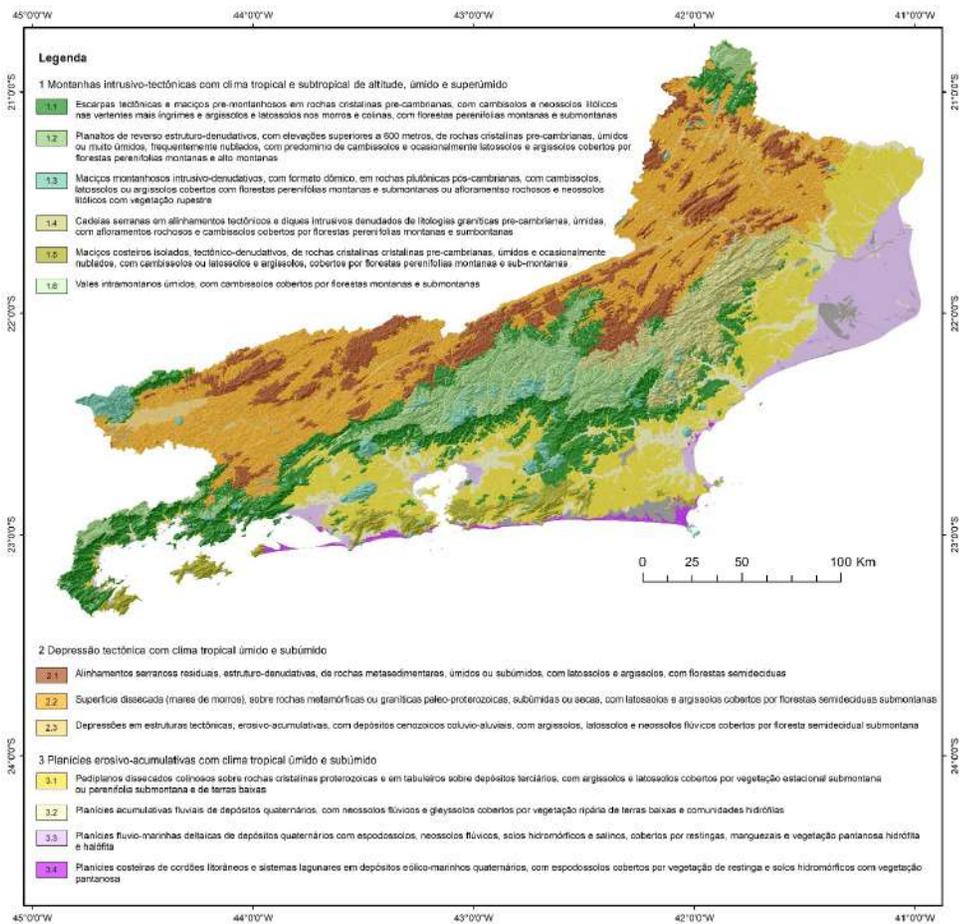
bloco tectônico cadeias serranas paralelas, separadas por vales intramontanos, em alinhamentos estruturais e diques intrusivos de litologias graníticas pré-cambrianas, com abundantes afloramentos rochosos e cambissolos, nas encostas menos íngremes; e florestas montanas e submontanas. De forma descontínua e espalhados por todo o estado, aparecem maciços montanhosos intrusivo-denudativos, em formato dômico, sobre rochas plutônicas pós-cambrianas. Parte desses maciços, desenvolvidos sobre rochas alcalinas cretáceas, variam de morros com elevações de até 500 metros até montanhas com elevações superiores a 1.000 metros, muito úmidas e frequentemente nubladas; com florestas montanas e altomontanas. Outra parte é constituída por pontões graníticos altos ou muito altos, com vertentes muito íngremes desprovidas de solos, com vegetação rupestre. Finalmente, isolados da faixa montanhosa, alinham-se ao longo do litoral maciços costeiros formados por blocos soerguidos estruturo-denudativos, sobre rochas cristalinas pré-cambrianas, úmidos e, ocasionalmente, nublados; com latossolos, argissolos e cambissolos, cobertos por florestas montanas e submontanas.

Na bacia tectônica do Paraíba do Sul predomina uma superfície dissecada erosivo-denudativa, formando mares de morros, sobre rochas metamórficas ou graníticas paleo-proterozoicas, subúmida ou até seca, com latossolos e argissolos vermelho-amarelos, cobertos por floresta semi-decidual submontana. Distribuem-se por toda a depressão alinhamentos serranos residuais, de rochas metassedimentares, úmidos ou subúmidos, com argissolos avermelhados, cobertos por florestas semidecíduais. Na depressão tectônica de Resende, colmatada de sedimentos cenozoicos, desenvolveram-se terraços erosivos sobre depósitos terciários, com argissolos e latossolos, cobertos por florestas semidecíduais; e planícies aluviais, com neossolos flúvicos e vegetação ripária.

A maior parte das baixadas e planícies litorâneas é formada por uma extensa superfície erosivo acumulativa, em pediplano dissecado, formada por colinas residuais, sobre rochas cristalinas proterozoicas; tabuleiros costeiros sobre sedimentos terciários e planícies colúvio-aluviais, de depósitos quaternários. O regime de umedecimento varia bastante, de úmido a seco, com latossolos e argissolos, cobertos por vegetação estacional submontana ou perenifólia de terras baixas, em áreas mais úmidas. Uma extensão considerável é ocupada pelo Delta do Paraíba do Sul, uma planície fluvio-marinha de sedimentos quaternários, formada por cristas de praias, terraços fluviais em deltas intralagunares; e depressões lacuno-palustres, com regimes variados de inundação, onde se desenvolveram solos hidromórficos, flúvicos

orgânicos ou salinizados, com vegetação pantanosa e restingas. Nos fundos de vales dos rios de maior porte, como o São João, o Macaé e o Macacu, estendem-se planícies aluviais de depósitos quaternários, com neossolos flúvicos, cobertos por vegetação ripária de terras baixas. Finalmente, ao longo de faixas estreitas que acompanham a linha de costa, há planícies costeiras, formadas por cordões litorâneos transgressivos; e sistemas lagunares, com depósitos marinhos e eólicos quaternários, com espodosolos, cobertos com restinga; e gleyssolos ou organossolos, com vegetação higrófito e halófito. A Figura 8.5 apresenta o mapa de unidades de paisagem de 2ª ordem do estado do Rio de Janeiro, usado como base para as análises nesse trabalho.

Figura 8.5 – Unidades de paisagem de 2ª ordem do estado do Rio de Janeiro.



Fonte: adaptada de Cronemberger (2014).

O estado possui uma área considerável de floresta e ecossistemas naturais do bioma Mata Atlântica, tais como manguezais, restingas e campos de altitude, que, somados, representam aproximadamente 30% da sua área total. Sendo um estado predominantemente montanhoso, as encostas íngremes têm sido responsáveis por esse quadro de remanescentes. No entanto, vários vetores de transformação levam a mudanças constantes, que conformam a evolução da cobertura e uso da terra. Programas de incentivo em diferentes escalas governamentais, em particular, para o desenvolvimento da infraestrutura industrial e logística; o desenvolvimento da infraestrutura urbana, mediante a aplicação de recursos voltados para a realização de grandes eventos na década passada; assim como as políticas aplicadas no meio rural ou políticas ambientais respondem pelas transformações socioeconômicas recentes no estado, mergulhado numa crise econômica que afeta todos os setores da economia e da sociedade.

8.6 EVOLUÇÃO DAS FLORESTAS DO RIO DE JANEIRO ENTRE 1984 E 2016

Principais trajetórias

O processo de detecção de mudanças, com base na trajetória dos dados na série temporal de imagens *Landsat*, identificou 58.969 ha de áreas de florestas no estado do Rio de Janeiro, que apresentaram algum tipo de trajetória associada a mudanças na sua cobertura, como detalhado no Quadro 8.1. Esse valor representa aproximadamente 6% das florestas observadas em 1984. Ou seja, nos 32 anos de análise, predominou a invariância das florestas. Agrupando as classes de supressões e de recuperações, percebe-se que as trajetórias de perdas florestais correspondem a 34.419 ha (64% do total da área que apresenta mudanças), enquanto que as de recuperações respondem por 19.699 ha (36%). Note que não foi computada no cálculo da proporção a classe “Recuperação (Silvicultura)”, pois esta não foi considerada como uma regeneração efetiva de áreas de floresta, pelo seu comportamento cíclico, representando uma área de cultivo. Os limiares de mudanças, parâmetros de segmentação e detalhes do método podem ser consultados em Weckmüller e Vicens (2019).

Quadro 8.1 – Área em hectares das classes de trajetórias florestais do Rio de Janeiro.

Classes de Trajetórias Florestais	Área (ha)	Áreas agrupadas (ha)
Áreas Invariantes	4.310.697	4.310.697
Desmatamento Abrupto	10.905	34.419
Desmatamento Duplo	185	
Desmatamento Gradual	23.329	
Desmatamento seguido de recuperação	53	19.699
Recuperação	19.341	
Recuperação Gradual	305	
Recuperação (Silvicultura)	4.850	4.850

Fonte: os autores.

Quanto às características (ano inicial, duração e magnitude), as supressões florestais são em sua maioria antigas, com aproximadamente 60% das ocorrências durante a década de 1980. Quanto à duração dessas supressões, há dois picos de ocorrência: um com perda vegetacional abrupta, entre um e três anos; e um com degradação contínua da paisagem, com perda sucessiva entre 29 e 32 anos de duração; representando 25% e 40% do total, respectivamente. Todas as perdas de floresta na área tiveram média magnitude no NDVI, entre 0,2 e 0,4 (Figura 8.6).

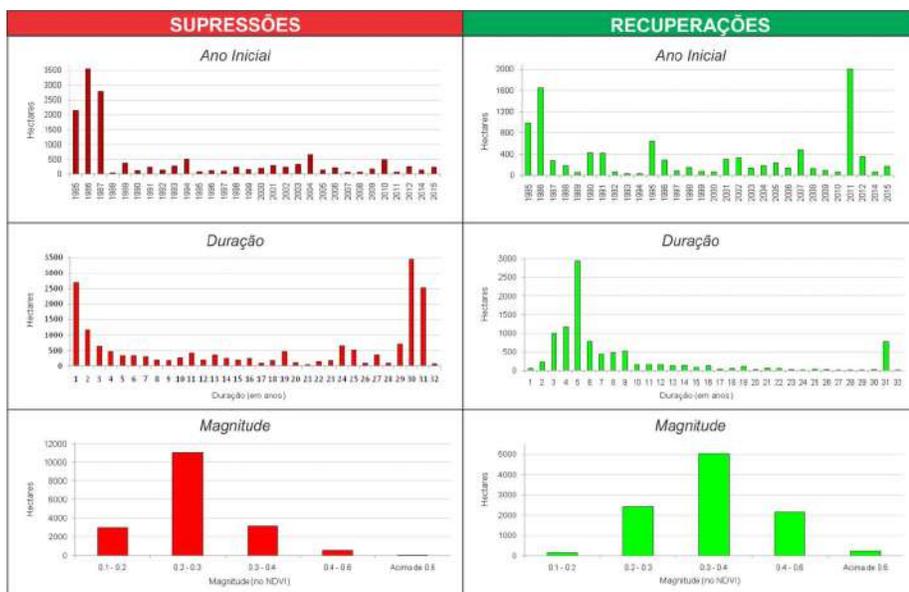
Em síntese, as perdas florestais foram mais antigas e graduais, ou seja, a degradação começou na década de 1980 e continuou por grande parte dos 32 anos de análise deste capítulo. Essas supressões concentraram-se no interior do estado, sobretudo na Região Serrana, caracterizada pelas recorrentes catástrofes ambientais de deslizamentos e enchentes.

As recuperações florestais ocorreram em dois principais momentos do período de análise: entre 1985 e 1986, foram 25% do total; e somente o ano de 2011 representou 20% dos ganhos florestais. Quase 60% desses ganhos foram rápidos, ocorreram entre três e seis anos de duração. Vale destacar ainda que 10% dos ganhos foram graduais, com 31 anos de duração. Assim como as supressões, as recuperações também foram, em sua maioria, de média magnitude no NDVI (Figura 8.6).

Em síntese, as recuperações florestais no estado foram bem distribuídas quanto à sua ocorrência, parte delas antiga, parte delas mais recente. No

entanto, em sua maioria, as recuperações tiveram um comportamento mais abrupto, não condizente com o observado na natureza sem interferência antrópica. Há de serem aprofundados os estudos quanto a essas recuperações, com campos e análises de imagens em alta resolução, pois tudo indica ser uma floresta plantada. Apenas pouco mais de 10% desses ganhos florestais foram graduais, o que indica fortemente uma sucessão florestal.

Figura 8.6 – Resumo das características das trajetórias florestais (ano inicial, duração e magnitude).



Fonte: os autores.

A idade das florestas secundárias

Entender a paisagem numa perspectiva temporal é fundamental para ações de planejamento e/ou gestão. A possibilidade de se obter o ano inicial das recuperações florestais é um dos subprodutos mais interessantes e úteis dos algoritmos *LandTrendr*[®], pois permite conhecer a idade dessas recuperações. A associação da idade com os valores de duração e magnitude possibilita-nos entender a natureza dessa recuperação (natural ou antrópica).

A velocidade de regeneração da floresta tropical depende da intensidade da perturbação sofrida (WHITMORE, 1990). Consultando a literatura,

observa-se que o tempo estimado para regeneração de algumas florestas tropicais americanas residiu entre 150 e 200 anos (UNESCO/PNUMA/FAO, 1980). Já Saldarriaga e Uhl (1991) estimaram que são necessários aproximadamente 140 a 200 anos para que a floresta tropical de terra firme estabelecida em áreas de cultivo abandonadas apresente valores de biomassa similares aos da floresta madura na Amazônia venezuelana. Mesmo as florestas tropicais de terras baixas, que crescem num ritmo mais rápido que as montanas e semidecíduas, levam tempo próximo ao supracitado para se regenerarem (EWEL, 1980; TABARELLI; MANTOVANI, 1999).

Sendo assim, de acordo com a literatura, fica inviável a recuperação total de florestas no tempo de análise desse trabalho (entre 1984 e 2016; no máximo, 32 anos). Logo, consideraram-se todas as recuperações florestais observadas (exceto silvicultura) como sendo florestas secundárias. Veloso *et al.* (1991, p. 149) reforçam essa constatação, quando definem as florestas secundárias como sendo “as áreas onde houve intervenção humana para o uso da terra, seja com finalidade mineradora, agrícola ou pecuária, descaracterizando a vegetação primária”; definição essa condizente com os estágios sucessionais previstos na Resolução Conama n.º 6/1994.

O mapa de ano inicial das recuperações florestais possibilitou a obtenção das idades das florestas secundárias do estado do Rio de Janeiro. A definição de uma legenda apropriada levou em conta opinião de especialistas da área e o histograma do ano inicial das recuperações. A classificação das florestas secundárias segundo a idade pode ser vista no Quadro 8.2, e sua distribuição no estado está representada no mapa da Figura 8.7.

Quadro 8.2 – Classificação das florestas secundárias segundo a idade.

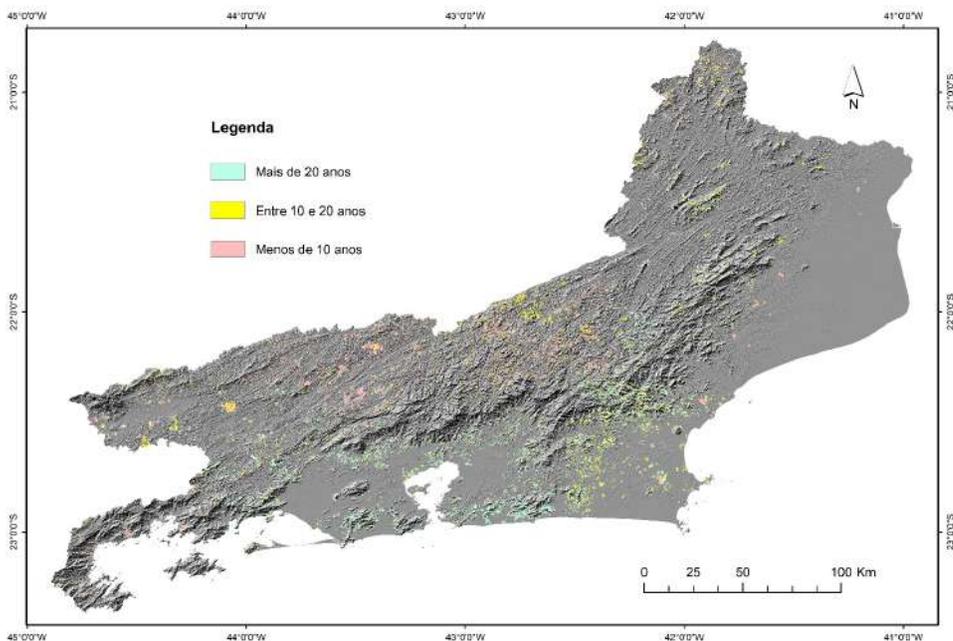
Ano Inicial da Recuperação	Idade das Florestas Secundárias
1984 - 1990	Antiga (mais de 20 anos)
1991 - 1995	
1996 - 2000	Média (entre 11 e 20 anos)
2001 - 2005	
2006 - 2010	Recente (10 anos ou menos)
2011 - 2016	

Fonte: os autores.

Analisando o mapa de idade das florestas secundárias (Figura 8.7), observa-se uma predominância de recuperações florestais recentes no

interior do estado, enquanto que as mais antigas estão, em sua maioria, mais próximas ao litoral. Observação essa totalmente condizente com os resultados obtidos relacionando a idade das florestas secundárias com suas características morfométricas do relevo; visto que o relevo próximo ao litoral é mais plano e baixo e, no interior, mais ondulado e alto, devido à presença da Serra do Mar, suas escarpas e os planaltos em seu reverso.

Figura 8.7 – Idade das florestas secundárias no estado do Rio de Janeiro.



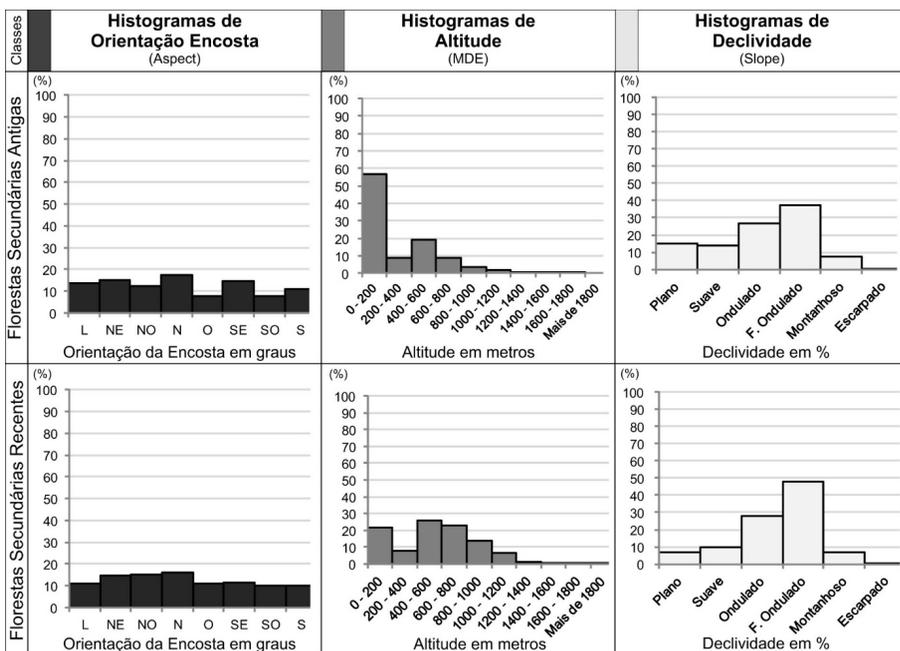
Fonte: os autores.

Como complemento à análise da idade das florestas secundárias, elas foram relacionadas às características morfométricas do relevo, geradas do Modelo Digital de Elevação (MDE), do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Dois subprodutos desse MDE foram gerados: a declividade e a orientação das encostas. Para a altitude, foram criados intervalos de 200 metros. Para a orientação da encosta, foram criadas oito classes, com intervalo de 45 graus, representando os pontos cardeais e colaterais. A declividade foi dividida em seis classes de acordo com legenda desenvolvida pela Embrapa (2006), em que o relevo é considerado plano de 0% a 3%; suave, de 3% a 8%; ondulado, de 8% a 20%; fortemente ondulado, de 20% a 45%; montanhoso, de 45% a 75%; e escarpado, acima de 75%.

Quanto à ocorrência das recuperações florestais no relevo, a Figura 8.8 apresenta os histogramas de frequência das duas classes predominantes (florestas secundárias antigas e recentes) relacionadas às três características morfométricas do relevo analisadas: altitude, declividade e orientação da encosta.

Em relação às recuperações antigas, observa-se que estas estão bem distribuídas entre as orientações de encosta, tendo um pouco de destaque naquelas voltadas para norte. Acredita-se que, por essa orientação apresentar uma característica climática mais seca, não haja tanto interesse comercial associado, permitindo o desenvolvimento da recuperação florestal. Quase 60% dessa classe antiga ocorreu em áreas baixas (entre 0 e 200 metros de altitude). Vale destacar ainda 20% de ocorrência na faixa entre 400 e 600 metros. A declividade dessa classe concentra-se, em sua maioria, em relevos fortemente ondulados e ondulados, respectivamente, que, somados, representam quase 70% das ocorrências.

Figura 8.8 – Histogramas de frequência das florestas secundárias antigas e recentes relacionadas às características morfométricas do relevo.



Fonte: os autores.

Já nas recuperações mais recentes também se observa uma distribuição mais homogênea entre as orientações de encosta, tendo um pouco de

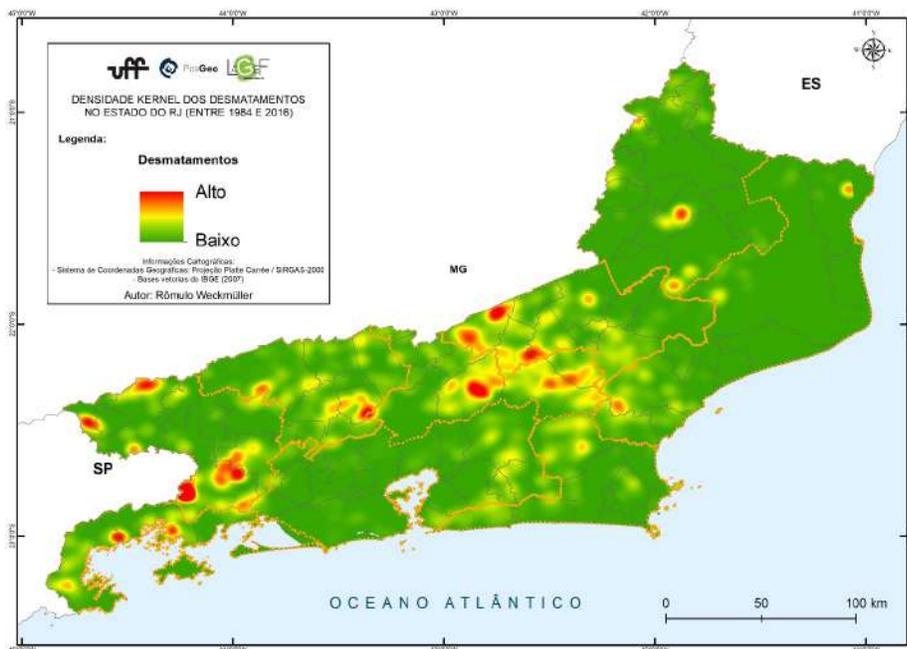
destaque naquelas voltadas para norte. Acredita-se nos mesmos motivos supracitados para essa predominância. Diferentes da classe anterior, as vegetações secundárias mais recentes têm uma maior ocorrência em áreas mais altas, na faixa entre 400 e 800 metros de altitude, correspondendo a 50% do fenômeno. A declividade dessa classe também se concentra em relevos fortemente ondulados e fortemente ondulados, respectivamente, mas que, somados, representam mais que a classe de florestas secundárias antigas, com quase 80% do total.

A distribuição espacial das mudanças

As mudanças detectadas por meio da classificação das trajetórias correspondem a pequenas áreas distribuídas por todo o estado. Dessa forma, a melhor visualização e compreensão do padrão de distribuição espacial pode ser feita mediante indicadores de densidade *kernel*, como apresentados nas Figuras 8.9 e 8.10, para as trajetórias de supressão e recuperação florestais, respectivamente.

A densidade de ocorrência das supressões florestais concentra-se principalmente em duas áreas do estado: na Região Serrana, especialmente, entre os municípios de Teresópolis, Nova Friburgo, Sumidouro e Sapucaia, áreas bem montanhosas, com escarpas e planaltos no reverso de escarpas. Nessa área, as manchas de densidade chegam ao seu nível mais alto. Numa outra área, porém, com menor adensamento, a supressão distribui-se pelas encostas da Costa Verde, principalmente nos municípios de Angra dos Reis, Rio Claro e Pirai. Adensamentos de áreas de supressão da vegetação acontecem de forma esparsa no sul e no norte do estado (Figura 8.9).

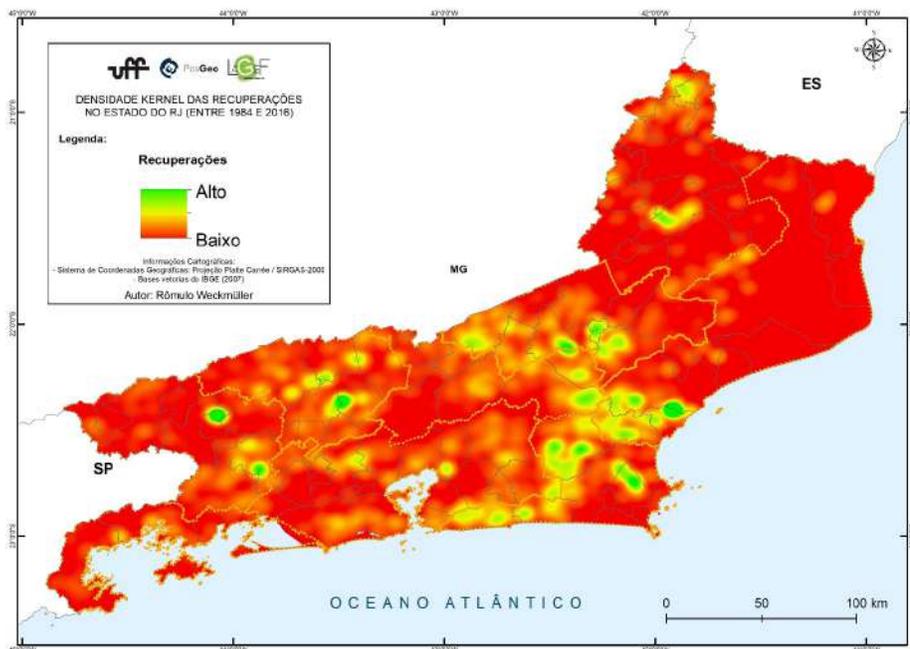
Figura 8.9 – Densidade *kernel* das supressões florestais no estado do Rio de Janeiro, entre 1984 e 2016.



Fonte: os autores.

Quanto às recuperações, os principais adensamentos estão nas escarpas e maciços pré-montanhosos da Região Serrana e continuam pela baixada, em direção à Região dos Lagos, na transição entre as paisagens montanhosas e as planícies litorâneas, nos municípios de Nova Friburgo, Casimiro de Abreu, Rio das Ostras e as serranias de Macaé. Ocupam áreas de importantes bacias hidrográficas do estado, como as dos Rios São João e Macaé. Outros adensamentos distribuem-se nos maciços costeiros, nos planaltos da Serra do Mar e do município de Varre-Sai, no extremo norte do estado; e em núcleos isolados, nas depressões do Rio Paraíba do Sul e dos Rios Pomba e Muriaé (Figura 8.10).

Figura 8.10 – Densidade *kernel* das recuperações florestais no estado do Rio de Janeiro, entre 1984 e 2016.



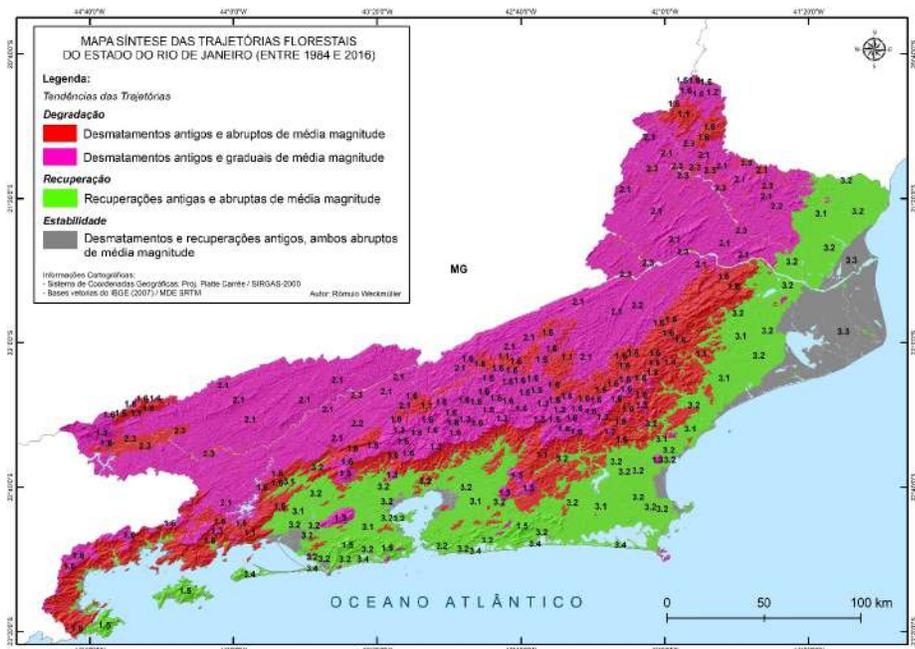
Fonte: os autores.

Em se tratando de mudanças na cobertura de florestas do estado, num período de pouco mais de 30 anos, as supressões estiveram restritas às áreas de florestas remanescentes no ano inicial (1984). Já a maior parte da revegetação esteve associada ao abandono de atividades agropecuárias; e, em menor medida, à recuperação após distúrbios (como os incêndios florestais ou os movimentos de massa nas encostas). A distribuição espacial de trajetórias de desmatamento e revegetação abrange uma ampla diversidade de tipos de paisagens. Contudo, considerando o tipo de mudança predominante nas unidades de paisagem, associado a magnitude, duração e ano de início dos distúrbios, é possível caracterizar a ocorrência das diferentes trajetórias segundo os padrões físico-geográficos, como apresentado no mapa da Figura 8.11.

Na síntese do tipo de trajetória, foi considerada a magnitude das mudanças em valores de NDVI, de forma que valores do índice inferiores a 0,2 e superiores a 0,3 caracterizam mudanças de pequena e grande magnitudes, respectivamente. Dependendo da duração, tanto o desmatamento quanto a

revegetação foram considerados mudanças abruptas, quando aconteceram em períodos inferiores a cinco anos. Já com durações superiores aos 26 anos foram consideradas mudanças graduais. Em relação à idade das mudanças, foram consideradas antigas, aquelas que tiveram início há mais de 20 anos, comparadas às mudanças recentes, que tiveram início nos últimos 10 anos.

Figura 8.11 – Síntese das trajetórias florestais do estado do Rio de Janeiro (entre 1984 e 2016), por unidade de paisagem de 2ª ordem.



Nota: consultar legenda da Figura 8.5. Fonte: os autores.

Em todos os tipos de paisagens predominam mudanças antigas de média magnitude (variação do NDVI, antes e depois da mudança, com valores entre 0,2 e 0,3). Em geral, os desmatamentos são mais frequentes nas paisagens montanhosas e na depressão tectônica do Rio Paraíba do Sul, enquanto que a revegetação é predominante nas baixadas e planícies litorâneas. Os desmatamentos abruptos aconteceram predominantemente nas escarpas e nos degraus estruturais, que delimitam os planaltos da Serra do Mar, da Mantiqueira e de Varre-Sai, incluindo os maciços pré-montanhosos, as cadeias serranas do Desengano e alguns maciços costeiros. Esse tipo de mudança também foi mais frequente na depressão de Resende. Nos

planaltos e em toda a depressão tectônica do Rio Paraíba do Sul, predominam desmatamentos graduais, que foram igualmente frequentes em maciços intrusivos, como o Gericinó-Mendanha, Tanguá e o Morro de São João.

Trajetórias de revegetação rápida predominam nas baixadas e planícies litorâneas, assim como na maioria dos maciços costeiros, incluindo a Ilha Grande. Nas planícies fluviomarinhas, como o Delta do Paraíba do Sul, não há predomínio de nenhuma das duas trajetórias, tendo sido mantida uma condição de estabilidade.

8.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência na identificação e no mapeamento das principais trajetórias evolutivas nas áreas de floresta do estado do Rio de Janeiro permite evidenciar que a utilização de séries temporais representa um ganho considerável na detecção de mudanças por sensoriamento remoto, pois consegue-se captar com precisão toda a dinâmica inerente a esse tipo de análise. Todos os *pixels* do mapa final de trajetórias têm associada a eles uma curva espectrotemporal, que representa seu histórico no espaço geográfico. Essas informações só foram possíveis graças ao uso de séries temporais.

O *LandTrendr*[®] foi capaz de detectar trajetórias evolutivas das coberturas florestais do Rio de Janeiro de maneira automatizada. Para tal, bastam limiares *booleanos* do que são considerados distúrbios e recuperações na paisagem, para que o algoritmo detecte automaticamente as trajetórias nas curvas espectrotemporais. Com uma taxa de acerto que variou entre 60% e 75% nas classes de desmatamentos e recuperações, pode-se dizer que essa metodologia de detecção de trajetórias é bastante confiável.

Tanto para a escolha do melhor descritor (e seus parâmetros na segmentação temporal) quanto para a definição dos limiares *booleanos* de separação dos tipos de mudanças (na etapa de classificação das trajetórias), *labelfit*, foi muito importante uma boa amostragem de mudanças, previamente identificadas na paisagem ou obtidas por meio dos mapeamentos de florestas, para a construção da máscara. Considera-se que maior rigor nessa etapa de coleta de amostras temporais é fundamental para o êxito da classificação.

Entre 1984 e 2016, as florestas do estado mantiveram-se praticamente invariantes, tendo sofrido, apenas em 6% da sua área algum tipo de trajetória de mudanças. A predominância de trajetórias de desmatamentos era

esperada, devido ao longo histórico desse fenômeno no estado do Rio de Janeiro, desde os antigos ciclos econômicos até as atuais pressões, provocadas pelo inchaço populacional e pelo mercado imobiliário. Interessante destacar que, nas regiões escarpadas do estado, a supressão vegetal detectada foi abrupta, condizente com fenômenos de movimentos de massa, naturais dessas regiões. Já nos planaltos de reverso, regiões com melhores condições de ocupação e/ou exploração econômica dos remanescentes florestais nas áreas montanhosas, predominou o desmatamento gradual.

A grande ocorrência de recuperações florestais nas planícies erosivo-acumulativas deve ser analisada com atenção, pois o tempo rápido ou abrupto de revegetação (menos de cinco anos) pode indicar florestas plantadas para exploração econômica (silvicultura, por exemplo). Vale destacar ainda que a tendência de recuperação florestal detectada, apesar de positiva, deve ser entendida com duas ressalvas: boa parte da supressão florestal nessa área é muito antiga, anterior ao período de análise, em razão de os primeiros grandes núcleos de urbanização do estado terem se iniciado no litoral. Além disso, boa parte da pressão populacional e econômica nessa área acontece sobre outros tipos de cobertura, não contemplados pelo algoritmo, por exemplo: restingas, pastagens, terras agrícolas, áreas urbanas, entre outros.

Os mapeamentos das características de cada grupo de trajetórias oferecidas pelo algoritmo *LandTrendr*[®] (duração, idade e magnitude) resultam muito úteis para auxiliar no entendimento desses fenômenos, além de condizentes com as particularidades de cada unidade de paisagem. Embora deva ser observada com cautela, a representação por meio de um mapa-síntese das trajetórias predominantes em cada unidade tipológica de paisagem permite uma melhor interpretação das condições físico-geográficas onde ocorrem determinadas trajetórias de mudanças nas florestas.

A metodologia testada com os remanescentes de florestas presentes no estado do Rio de Janeiro, considerando o período analisado, chama a atenção para o grande potencial na utilização de séries temporais e algoritmos de classificação, na detecção de mudanças florestais, podendo ser replicada para outras áreas florestais, com outras realidades. A ferramenta de utilização de grandes conjuntos de dados temporais para detecção de mudanças, com base em trajetórias, deve continuar evoluindo no futuro, facilitando o monitoramento da cobertura vegetal e a tomada de decisão, no âmbito do gerenciamento das atividades humanas e da qualidade ambiental dos sistemas terrestres.

REFERÊNCIAS

CÂMARA, G. On the semantics of big Earth observation data for land classification. *Journal of Spatial Information Science*, [s.l.], v. 20, p. 21-34, 2020.

CÂMARA, G. *et al.* Using dynamic geospatial ontologies to support information extraction from big Earth observation data sets. *In: GISCIENCE 2016 CONFERENCE. Anais [...]*. Montreal, Canada. Disponível em: <https://doi.org/10.21433/B3115W54K25v>. Acesso em: 1 ago. 2020.

COHEN, W. B. *et al.* Characterizing 23 years (1972–95) of stand replacement disturbance in forests with Landsat imagery. *Ecosystems*, [s.l.], v. 5, p. 122-137, 2002.

COHEN, W. B.; YANG, Z.; KENNEDY, R. E. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 2. TimeSync - tools for calibration and validation. *Remote Sensing of Environment*, [s.l.], v. 114, p. 2.911-2.924, 2010.

COPPIN, P. R.; BAUER, M. E. Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. *Remote Sensing Reviews*, [s.l.], v. 13, p. 207-234, 1996.

COPPIN, P. R. *et al.* Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, v. 9 n. 5, p. 1.565-1.596, 2004.

CRONEMBERGER, F. M. *Paisagens da Serra do Mar: uma análise geocológica da dinâmica da paisagem*. 2014. 159 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

DEER, P. *Digital change detection techniques in remote sensing*. Technical report (Electronics and Surveillance Research Laboratory, Australia), 1995. (DSTO-TR-0169).

DEFRIES, R. S.; FOLEY, J. A.; ASNER, G. P. Land-use choices: balancing human needs and ecosystem function. *Frontiers in Ecology and the Environment*, [s.l.], v. 2, p. 249-257, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Brasília, DF, 2006.

EWEL, J. Tropical succession: manifold routes to maturity. *Biotropica*, [s.l.], v. 12, p. 2-7, 1980.

FOLEY, J. A. *et al.* Global consequences of land use. *Science*, [s.l.], v. 309, p. 570-574, 2005.

- FRAGAL, E. H. *Reconstrução histórica de mudanças na cobertura florestal em várzeas do baixo Amazonas utilizando o algoritmo Landtrendr*. 2015. 126 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), São José dos Campos, 2015.
- FRAGAL, E. H.; SILVA, T. S. F.; NOVO, E. M. L. M. Reconstructing historical forest cover change in the Lower Amazon floodplains using the LandTrendr algorithm. *Acta Amazonica*, v. 46, n. 1, p. 13-24, 2016.
- GRIFFITHS, P. *et al.* Using annual time-series of Landsat images to assess the effects of forest restitution in post-socialist Romania. *Remote Sensing of Environment*, [s.l.], v. 118, p. 199-214, 2012.
- HOSTERT, P.; RODER, A.; HILL, J. Coupling spectral unmixing and trend analysis for monitoring of long-term vegetation dynamics in Mediterranean rangelands. *Remote Sensing of Environment*, [s.l.], v. 87, p. 183-197, 2003.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Malha municipal 2006*. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/download/geociencias.shtm>. Acesso em: 1 ago. 2020.
- JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente*. Uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: ed. Parentese, 2009.
- JIN, S.; SADER, S. A. Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*, [s.l.], v. 94, p. 364-372, 2005.
- KENNEDY, R. E.; COHEN, W. B.; SCHROEDER, T. A. Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics. *Remote Sensing of Environment*, v. 110, p. 370-386, 2007.
- KENNEDY, R. E. *et al.* Spatial and temporal patterns of forest disturbance and regrowth within the area of the Northwest Forest Plan. *Remote Sensing of Environment*, [s.l.] v. 122, p. 117-133, 2012.
- KENNEDY, R. E. *et al.* Implementation of the LandTrendr algorithm on Google Earth Engine. *Remote Sensing*, [s.l.], v. 10, n. 691, p. 1-10, 2018.
- KENNEDY, R. E.; YANG, Z.; COHEN, W. B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr - temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment*, [s.l.] v. 114, p. 2.897-2.910, 2010.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J. *Land use and land cover change*. Local processes and global impacts. Berlin; Heidelberg; New York: Springer Verlag, 2006.

LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDIZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, [s.l.], v. 25 n. 12, p. 2.365-2.407, 2004.

MAUS, V. *et al.* A time-weighted dynamic time warping method for land-use and land-cover mapping. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, [s.l.], v. 9, n. 8, p. 3.729-3.739, 2016.

MAS, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 139-152, 1999.

POWELL, S. L. *et al.* Quantification of live aboveground forest biomass dynamics with Landsat time-series and field inventory data: a comparison of empirical modeling approaches. *Remote Sensing of Environment*, [s.l.], v. 114, p. 1.053-1.068, 2010.

OLSSON, H. A method for using Landsat time series for monitoring young plantations in boreal forests. *International Journal of Remote Sensing*, [s.l.], v. 30, p. 5.117-5.131, 2009.

RODER, A. *et al.* Trend analysis of Landsat-TM and -ETM+ imagery to monitor grazing impact in a rangeland ecosystem in Northern Greece. *Remote Sensing of Environment*, [s.l.], v. 112, n. 2.863-2.875, 2008.

SALDARRIAGA, J. G.; UHL, C. Recovery of forest vegetation following slash-and-burn agriculture in the upper rio Negro. In: MCKENZIE, J. L. *Rain forest: regeneration and management*. New York: Blackwell, 1991. p. 303-312.

SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, [s.l.], v. 10 n. 6, p. 989-1.003, 1989.

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. A regeneração de uma floresta tropical montana após corte e queima (SP). *Revista Brasileira de Biologia*, [s.l.], v. 59, n. 2, p. 239-250, 1999.

UNESCO/PNUMA/FAO. *Ecosistemas de los bosques tropicales*. Paris: FAO, 1980.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: IBGE/DERNA, 1991.

VIEDMA, O.; MELIÁ, J.; SEGARRA, D.; GARCÍA-HARO, J. Modeling rates of ecosystem recovery after fires by using Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, [s.l.], v. 61, p. 383-398, 1997.

VOGELMANN, J. E.; TOLK, B.; ZHU, Z. Monitoring forest changes in the southwestern United States using multitemporal Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, [s.l.], v. 113, p. 1.739-1.748, 2009.

WECKMÜLLER, R. *Trajatórias evolutivas das coberturas florestais do estado do Rio de Janeiro utilizando os algoritmos LandTrendr*. 2018. 123 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2018. Disponível em: <http://goo.gl/9KuJnK>. Acesso em: 1 ago. 2020.

WECKMÜLLER, R.; VICENS, R. S. As geotecnologias e a detecção de trajetórias evolutivas da paisagem: possibilidades metodológicas e aplicações. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, PE, v. 11, n. 6, p. 2.140-2.159, 2018.

WECKMÜLLER, R.; VICENS, R. S. Detecção de mudanças florestais em séries temporais utilizando os algoritmos Landtrendr: estudo de caso no estado do Rio de Janeiro. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, SP, v. 37, p. 44-57, 2019.

WEISMILLER, R. A. *et al.* Change detection in coastal zone environments. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, [s.l.], v. 43, p. 1.533-1.539, 1977.

WHITMORE, T. C. *An introduction to tropical rain forests*. London: Oxford University Press; Blackwell, 1990.

WULDER, M. A. *et al.* The global Landsat archive: status, consolidation, and direction. *Remote Sensing of Environment*, [s.l.], v. 185, p. 271-283, 2016.

MAPEAMENTO DE ÁREAS VEGETADAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO POR SENSORES REMOTOS

Diego Vicente Sperle da Silva

Carla Bernadete Madureira Cruz

9.1 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro é uma área peculiar e desafiadora para o mapeamento por sensores remotos no contexto brasileiro. A forte sazonalidade da vegetação nativa, chamada de Caatinga, é a característica mais expressiva do semiárido e, ao mesmo tempo, a que mais impõe desafios. A etimologia da palavra “Caatinga” é “mata branca”, em tupi-guarani, em referência à perda de folhas dessa vegetação, nos períodos de secas sazonais, deixando a vegetação com aspecto esbranquiçado. Essa característica, observada pelos povos originários do Brasil, é uma das mais importantes para o mapeamento de vegetação no semiárido brasileiro.

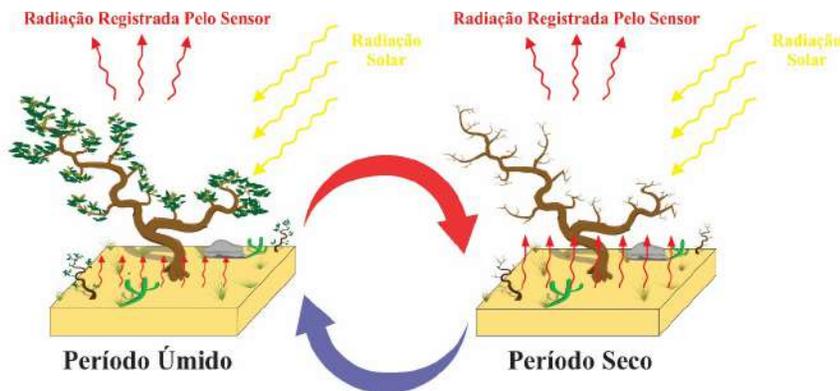
Como a vegetação de Caatinga é adaptada ao estresse hídrico, em períodos secos, ela perde folhas, embora em períodos úmidos, e até mesmo em curtos períodos de chuva, ela recupere rapidamente as folhagens. Logo, em poucos dias, a vegetação pode sair de um aspecto completamente sem folhas para um aspecto verdejante.

É importante destacar que a disponibilidade hídrica, embora sazonal, não é homogênea em toda a região do semiárido. Aspectos pedológicos, litológicos, geomorfológicos e estruturais do terreno afetam a hidrologia da Caatinga; e, conseqüentemente, aspectos fisionômicos da vegetação. Logo, alguns locais podem concentrar água subterrânea, por exemplo, e permitir que a vegetação tenha uma maior disponibilidade de água, mesmo em períodos relativamente longos sem chuvas.

É evidente que os aspectos citados anteriormente com influência sobre a hidrologia operam em todas as comunidades vegetais. A particularidade da Caatinga, nesse caso, é que a resposta vegetal e a heterogeneidade paisagística resultante (incluindo a fisionomia da vegetação) são próprias e muito mais dinâmicas. Sendo assim, a vegetação responde muito rapidamente à disponibilidade hídrica, e as comunidades vegetais e a fisionomia da vegetação alteram-se bastante no espaço por fortes controles ambientais.

Na Figura 9.1, é possível ver um esquema mostrando a dinâmica sazonal entre o período seco e úmido da Caatinga. Apesar de ser uma ilustração esquemática, é possível destacar pontos importantes no desafio de mapear a Caatinga por sensoriamento remoto.

Figura 9.1 – Esquema mostrando a sazonalidade da Caatinga e a relação com o sensoriamento remoto.



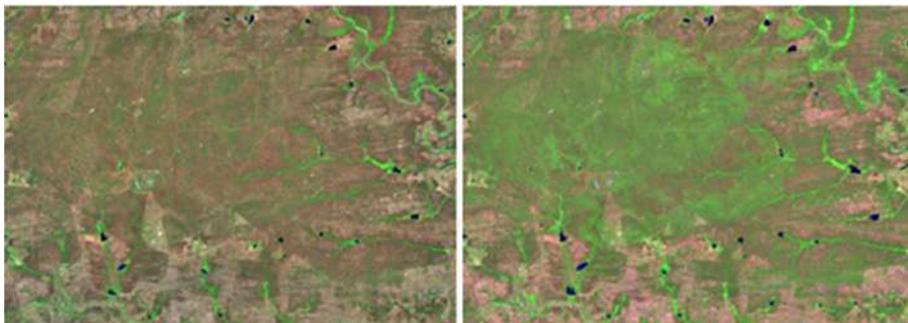
Fonte: os autores.

Uma das fontes de radiação eletromagnética que um sensor remoto passivo vai registrar é a interação da radiação solar incidente com os materiais da superfície terrestre. Isso inclui folhas, troncos, rochas, galhos, construções, entre outros. Essa interação da radiação eletromagnética solar com os materiais ocorre de diversas formas; contudo, não é o objetivo deste texto detalhar esses aspectos, que são descritos em detalhes em outros trabalhos, como em Jensen (2009). No caso da Caatinga, a perda de folhas típica dessa vegetação muda a assinatura espectral dos alvos de forma sazonal.

Em outras palavras, uma imagem de uma área da Caatinga em um período seco terá uma assinatura espectral completamente diferente da mesma área em um período úmido. E essa mudança é tão significativa que o uso de imagens isoladas provavelmente causará erros de interpretação. Isso ocorre pelo fato de a perda de folhas no período seco expor parte de solos, sedimentos, rochas e troncos, além de causar mudanças no aspecto da vegetação rasteira, que passa a apresentar um aspecto amarronzado e menos verde (na faixa da luz visível do espectro eletromagnético). Logo, os sensores registram a assinatura de diversos materiais diferentes em áreas vegetadas, pela perda de folhas. Outros fatores, como a presença de umidade nos tecidos vegetais e solo, também influenciam essa assinatura. Tudo isso se traduz em uma dificuldade de limitar a real área da vegetação de Caatinga, já que a assinatura espectral das folhas é um dos principais parâmetros utilizados ao se mapear vegetação por sensoriamento remoto. Além disso, a grande interferência da assinatura espectral de solos, sedimentos e rochas, que acabam sendo expostos à radiação solar incidida sobre a assinatura dos tecidos vegetais nesses períodos secos, dificulta a delimitação correta de áreas cobertas por algumas fisionomias da Caatinga.

A Figura 9.2 mostra essa sazonalidade em imagens *Landsat 8* de uma mesma área do semiárido paraibano. As imagens têm poucas semanas de diferença e mostram essa forte alteração no aspecto vegetal, na composição em cores naturais, refletindo o resultado da forte sazonalidade da Caatinga nos dados adquiridos por sensores remotos.

Figura 9.2 – Imagens *Landsat 8*, em composição colorida, mostrando a forte sazonalidade da Caatinga.



Fonte: USGS (2020).

Antes de falarmos especificamente do mapeamento da vegetação do semiárido, será preciso uma abordagem conceitual mais ampla e minuciosa. Já que a Caatinga e outras coberturas vegetais do semiárido brasileiro, como espécies vegetais introduzidas artificialmente, são bastante diferentes da vegetação de outras partes do país, e isso exige uma abordagem conceitual e metodológica completamente diferente da usual.

Nesse contexto, mapear coberturas vegetais no semiárido do Brasil necessita de uma reflexão metodológica profunda e de um conhecimento detalhado do funcionamento geossistêmico das paisagens semiáridas, embora seja possível emergir diferentes soluções técnicas dessas reflexões. Nos parágrafos seguintes, serão apresentados pontos de partida, metodológicos e conceituais, para o mapeamento de vegetação no semiárido brasileiro, que poderão ser aplicados sob diversas abordagens, a partir de dados de sensores remotos.

9.2 O SEMIÁRIDO E A CAATINGA

Como a Caatinga é frequentemente chamada de bioma, é necessária uma rápida definição de bioma. Coutinho (2006), em uma revisão do conceito de bioma, indica que o termo é originário do grego, em que “bio” significa vida e “oma” significa massa. O autor também ressalta que há uma confusão entre o termo “formação” e “bioma”: formação apenas se relaciona com a vegetação, enquanto bioma (que se refere a fauna, vegetação e relação com o meio físico) é uma comunidade biológica. Por esse motivo, ainda, os termos “bioma” e “biota” são muitas vezes tidos como sinônimos.

Logo, um bioma pode ser definido por uma unidade grande e discernível ou, nas palavras de Odum (2001, p. 606): “[...] os climas regionais interagem com a biota e o substrato regionais para produzir unidades de comunidades amplas, facilmente reconhecíveis, designadas biomas”, e complementa que “bioma é a unidade de comunidade terrestre mais ampla que convém reconhecer”.

Ab’Sáber (2003) elucida que há pouca alteração química das rochas da região semiárida do Brasil, e, com isto, os solos são rasos e sensíveis. Há a prevalência de drenagens intermitentes, associadas à pouca frequência de chuvas, que variam de 350 mm a 600 mm por ano; e ainda ocorrência de anos secos, devido à falta de regularidade no total de precipitações.

A Figura 9.3 mostra um dos rios tributários do Rio Taperoá, no estado da Paraíba, no período de janeiro de 2018, mostrando a intermitência da drenagem, que perde completamente a água em seu leito nos períodos secos. Essa intermitência na drenagem é comum no semiárido brasileiro, onde a maior parte dos rios (principalmente, os de menor ordem) apresenta esse comportamento. Os processos erosivos fluviais podem ser observados nas margens e leitos dos rios, que, não raras vezes, sofrem um aumento brusco de volume de água em períodos úmidos, causando enxurradas.

Figura 9.3 – Rio tributário do Rio Taperoá, em janeiro de 2018, apresentando leito completamente seco.



Fonte: acervo dos autores.

Nesse contexto, a Caatinga é um bioma que está sob grande estresse hídrico e apresenta uma forte sazonalidade. Quanto às características dessa vegetação, que é adaptada ao clima semiárido, Odum (2001, p. 640) discorre que “contém folhosas de pequena dimensão, de madeira densa, com frequência bizarramente retorcida e espinhosas; as folhas são pequenas e caem durante a estação seca”.

Contudo, o que Odum (2001) chama de estações secas, na verdade, são períodos secos, já que não há um padrão cíclico de duração e frequência bem marcados; e isto será discutido em detalhe posteriormente. Isso

ocorre pelo fato de fatores climáticos regionais estarem associados com fenômenos globais, como o *El Niño*, vulcanismo e dipolo atlântico, que influenciam a ocorrência, duração e frequência das secas no semiárido brasileiro (MELO, 1999).

Entretanto, há relação entre um fenômeno climático global (como o *El Niño*) e os efeitos climáticos locais (como a continentalidade e o efeito orográfico), na composição da complexidade climática do semiárido brasileiro (COSTA, 2012).

Segundo o IBGE (2012), pode-se substituir o termo “Caatinga” por “savana-estépica”, termo originalmente desenvolvido para designar uma fisionomia vegetal onde não há uma dominância de árvores. É importante destacar esse aspecto, já que, na literatura internacional, são encontrados mapeamentos e outras pesquisas que nomeiam a Caatinga como savana; principalmente, em abordagens que utilizam recortes globais de vegetação.

O endemismo de espécies do semiárido brasileiro, além de dinâmicas físico-naturais específicas, torna o uso do termo “Caatinga” mais apropriado para diferenciar esse bioma de outros que se desenvolvem em climas semelhantes ou com fisionomias similares no mundo.

A Caatinga é um tipo de floresta tropical sazonal seca; e, apesar de essas florestas existirem em diversas partes do mundo, a Caatinga é um exemplo típico localizado na América do Sul (SOUZA, 2020). Toda essa vegetação adaptada à escassez de água está evidentemente em equilíbrio com o clima regional. Com isso, há um equilíbrio da vegetação da Caatinga com o clima semiárido, sendo considerado, assim, um clímax climático (IBGE, 2012).

Apesar de a Caatinga se apresentar como um clímax climático no contexto regional, ela é bastante heterogênea, apresentando uma grande variedade fitofisionômica, que pode variar de uma vegetação rasteira e rarefeita até uma vegetação densa, com muitas árvores e arbustos. Essa heterogeneidade é derivada de diversos fatores; contudo, os principais são: a disponibilidade irregular de água no terreno (ou seja, locais onde há maior aporte de água subterrânea ou próximo de corpos hídricos apresentam fisionomias de Caatinga mais densas); e diferenças nos solos, que também influenciam fortemente na estrutura e fisionomia da vegetação no semiárido (IBGE, 2012; ODUM, 2001; AB’SÁBER, 2003; SOUZA, 2020).

Andrade-Lima (1981) destaca que as fisionomias menos densas da Caatinga podem ser fruto da degradação decorrente da ocupação humana milenar na região. Contudo, essa hipótese ainda precisa ser mais bem

verificada, com base em estudos palinológicos (pólen e esporos), a fim de estabelecer a evolução da cobertura vegetal nessa região climática.

Como já foi pontuado, a Caatinga também tem um elevado número de espécies endêmicas (espécies que só ocorrem nesse bioma e que não são encontradas em outros locais do mundo), e algumas dessas espécies estão ameaçadas de extinção. Apesar disso, algumas espécies presentes na Caatinga também são encontradas em outros biomas, já que existem enclaves locais de vegetação adaptada ao clima semiárido em biomas como a Amazônia (AB'SÁBER, 2003).

Esses enclaves de outros biomas na Caatinga (e também enclaves de Caatinga em outros biomas) são evidências das variações climáticas que ocorreram no passado recente do planeta, causando a retração e expansão de diversos biomas. Esses momentos foram fundamentais para a evolução e dispersão de espécies animais e vegetais na América do Sul. Trabalhos como Silva e Souza (2018) discutem em detalhe aspectos ecológicos da vegetação de Caatinga.

Nesse contexto, Silva (2011) destaca que as dinâmicas de expansão e retração da Caatinga no Brasil ocorreram de forma frequente no período Quaternário (de 2,58 milhões de anos até o recente). O principal responsável por essas dinâmicas foram as glaciações (eras glaciais); já que, em períodos glaciais, o clima em que hoje é o território brasileiro se tornava mais seco e a vegetação de Caatinga se expandia. O contrário ocorreu em períodos interglaciais, mais úmidos, em que a Caatinga retraía. Uma das evidências mais contundentes dessas retrações e expansões não só da Caatinga, mas de outros biomas presentes na América do Sul, são os muitos enclaves de alguns biomas em outros.

É apontado por Ab'Sáber (2003) e Brasil (2021) que a Caatinga é um dos biomas que mais foram devastados, já que houve diversos projetos de desenvolvimento regional da Região Nordeste que não levaram em conta os impactos ambientais e o uso sustentável do bioma, além do longo histórico de ocupação humana.

O manejo da Caatinga é extremamente delicado pelos inúmeros motivos supracitados, contudo existe uma problemática não citada por Ab'Sáber (2003), que é o aumento das taxas de erosão dos solos, associada ao desmatamento e à agropecuária. Esse aumento promove a remoção de sedimentos que podem vir a diminuir a vida útil de barragens e açudes por assoreamento, muito utilizados para o abastecimento de água na região.

Concomitante à erosão dos solos, existe o problema da salinização deles, o que pode evoluir para possíveis áreas de desertificação, processo que será debatido em detalhes em um tópico posterior. Sendo assim, imprecisões e nuances do termo serão abordadas em outro tópico. Até entrarmos nessa discussão, o termo “desertificação” deve ser entendido como a transformação de uma área não desértica em um deserto, embora o termo envolva grande complexidade.

A salinização ocorre de um conjunto variado de processos que podem atuar de forma conjunta e complementar, entre eles: a irrigação com água salobra, drenagem inadequada e altas taxas de evapotranspiração (naturais do clima semiárido), as quais podem concentrar sais no solo.

A salinização dos solos é um problema mais comum em áreas de clima semiárido e árido, em regiões planas ou rebaixadas; contudo, pode ocorrer em outros climas, havendo cerca de 10% das terras no planeta com esse problema, em algum grau de desenvolvimento, muitas vezes, sendo irreversível (SENTIS, 1996).

O mecanismo de salinização dos solos é complexo, embora algumas etapas possam ser descritas. Sentis (1996) explica que, quando a água da irrigação é perdida, em razão de evapotranspiração, ocorre um acúmulo de sais presentes na água na superfície do solo; e, como em regiões áridas e semiáridas, não há excessos de chuva para lixiviar esse acúmulo de sais, a tendência é um acúmulo cada vez maior. O mesmo autor enfatiza o papel da drenagem (natural ou artificial) na prevenção desse fenômeno, já que uma boa drenagem evitará o acúmulo de sais na superfície, visto que serão carreados para as mesmas drenagens ou para camadas mais profundas do solo.

Sentis (1996) também destaca outro processo causado pela má drenagem na irrigação desses solos, que é a ressalinização, causada pelo retorno para a superfície de sais, outrora lixiviados, para camadas mais profundas do solo. E isso pode ser agravado pela irrigação artificial, já que sais, nas mais variadas concentrações, estão sempre presentes na água para irrigação.

Nesse contexto, o uso de água salobra (ou seja, com concentrações relativamente elevadas de sais) para irrigação no semiárido brasileiro é comum, já que, muitas vezes, a água é obtida de poços e açudes, os quais podem conter uma concentração maior de sais. Logo, a irrigação constante com água salobra, associada a altas taxas de evapotranspiração e drenagem

inadequada, causa acúmulo de sal no solo, já que as altas temperaturas favorecem a evapotranspiração do solvente (água) e a concentração do soluto (sais).

Quando o acúmulo de sais chega a uma determinada concentração, o solo torna-se tóxico para a maior parte dos vegetais. Isso gera uma retroalimentação positiva, já que, cada vez mais, haverá menos vegetação recobrindo o solo, que, ao se tornar cada vez mais exposto e mal drenado, ficará mais suscetível a erosão e aquecimento solar, que causará um aumento de temperatura do solo; o que, em longo prazo, tende a evoluir para possíveis núcleos de desertificação.

Contudo, os solos dessa região apresentam uma boa fertilidade natural (AB'SÁBER, 2003), resultante de um fraco intemperismo químico. Ou seja, os nutrientes não são lixiviados do solo, com a mesma facilidade com que ocorre em áreas tropicais úmidas, por exemplo. Isso favorece bastante a agricultura na região, embora muitos cuidados devam ser tomados pelas particularidades desse clima, principalmente, em relação a irrigação.

Espécies introduzidas também são muito comuns na Caatinga, por exemplo, a algaroba (*Prosopis juliflora*), que foi inserida no semiárido brasileiro em 1922 (MELO, 1999) e que hoje é uma característica marcante na paisagem da região, podendo formar florestas apenas de algaroba, conhecidas localmente como “algarobais”. Uma característica fundamental, a qual difere as comunidades de algaroba da vegetação nativa, é que as algarobas se mantêm com folhas e verdejantes nos períodos secos, mesmo que sejam longos. É comum existir indivíduos de algaroba entre a vegetação nativa ou vegetando às margens de drenagens intermitentes, sendo uma espécie introduzida que precisa ser levada em conta ao fazer mapeamentos de vegetação no semiárido brasileiro.

Recentemente, em face das discussões sobre mudanças climáticas e a possível influência humana no clima global, por meio da emissão de gases estufa; associado aos tratados internacionais de sequestro e emissão de CO₂, emergiu o debate sobre o papel dos ecossistemas no sequestro de carbono.

Giongo (2011) discute a fundo o papel da Caatinga no sequestro de carbono, assim como as emissões de gases estufa, ocasionados pela degradação desse bioma. O autor também faz uma reflexão sobre a relação dos solos da Caatinga com o sequestro de carbono, e, nesse contexto, a degradação da Caatinga pode ter uma dimensão climática de escala global e, ainda, uma dimensão geopolítica. Embora não seja o objetivo deste texto entrar em

pormenores políticos e de preservação e conservação da Caatinga, esses detalhes merecem ser pontuados e tangenciados. Isso ocorre pelo fato de o esforço para cartografar e conhecer esse bioma estar frequentemente relacionado com esforços de preservação e conservação.

Quanto à delimitação do semiárido, do ponto de vista legal, a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Sudene), pela Resolução n.º 107/2017, define três critérios científicos para a delimitação do semiárido brasileiro. São eles: a precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm, o índice de Aridez de Thorntwaite igual ou inferior a 0,50 e o percentual diário de *deficit* hídrico igual ou superior a 60%; considerando todos os dias do ano. Logo, por essa resolução, todo município que tenha um desses critérios satisfeitos em qualquer porção de seu território faz parte do semiárido brasileiro.

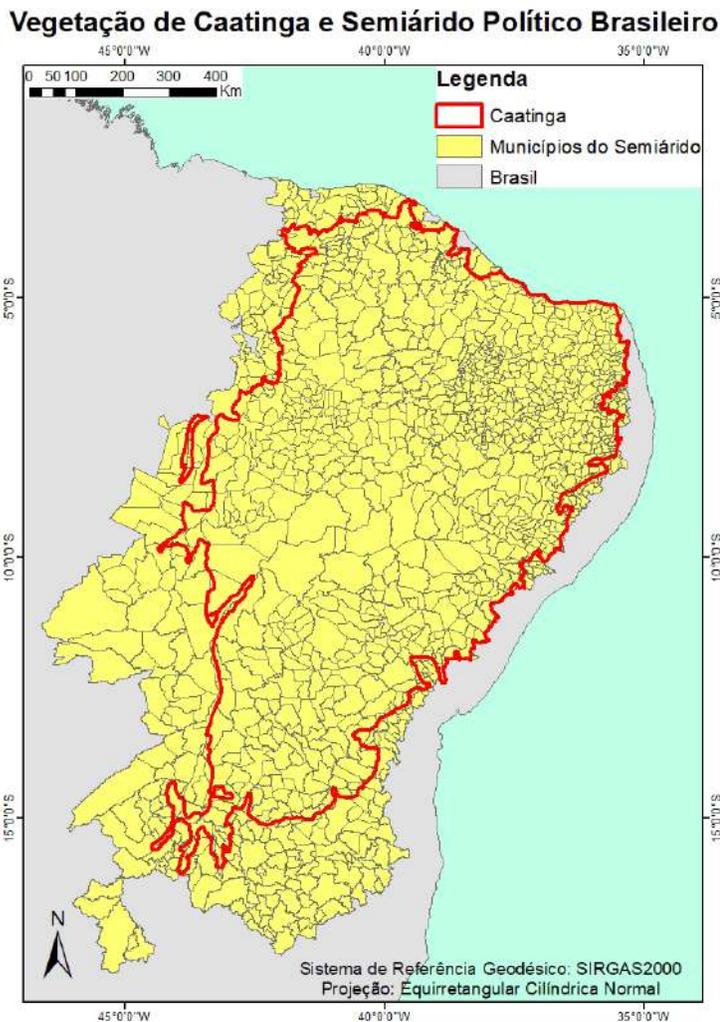
É importante ressaltar que, sob os critérios da resolução citada, o semiárido é tratado como uma região de limites políticos, e não físicos. Isso ocorre pelo fato de os limites da região passarem a ser os limites dos municípios localizados na borda da região semiárida climática, como pode ser visto na Figura 9.4.

É fundamental destacar que o limite do polígono que delimita a ocorrência da vegetação de Caatinga (o qual, como foi discutido, é o bioma que recobre toda a região semiárida) é menor do que o limite do semiárido, conforme definido pela Superintendência de Desenvolvimento do Sudeste (Sudene) (BRASIL, 2017). No total, são 1.262 municípios incluídos como pertencentes ao semiárido brasileiro, pela superintendência.

Sendo assim, o semiárido brasileiro pode ter uma conotação física, em que é definido por limites climáticos e, conseqüentemente, pelo bioma Caatinga. Ou uma conotação política, em que é definido pelos limites políticos dos municípios inseridos no clima semiárido, mesmo que parcialmente.

Ambas as dimensões, físicas ou políticas, dialogam de forma direta, já que a gestão ambiental e a elaboração de políticas públicas se dão na esfera política; embora o bioma seja conformado como resultado de fatores físicos, estabelecidos naturalmente, ainda que, de alguma forma, modificados pela ação antrópica.

Figura 9.4 – Mapa mostrando os limites dos municípios pertencentes ao semiárido (que delimitam o semiárido político) e a cobertura vegetal da Caatinga.



Fonte: adaptada de dados vetoriais da Sudene (BRASIL, 2017) e do IBGE (2020).

9.3 PROPOSTAS DE CLASSIFICAÇÃO DE CAATINGA

Como foi mencionado, a Caatinga não é um bioma homogêneo, sendo composta por uma enorme diversidade de paisagens. As transições entre as paisagens que compõem a Caatinga são gradativas, e isso é uma questão importante a considerar ao se mapear esse bioma.

Existem diversas propostas de classificação de tipologias de Caatinga, que utilizam critérios variados. E, como não há uma padronização das classificações, nos esforços de mapeamento por diferentes grupos de pesquisa e órgãos públicos e privados no Brasil, a integração de dados torna-se bastante difícil.

Algumas classificações serão apresentadas, com ênfase nas que podem ser utilizadas em sensoriamento remoto, embora algumas delas tenham sido pensadas exclusivamente para esse uso. Algumas vantagens e desvantagens de cada uma delas também serão citadas. É importante destacar que não é o objetivo deste texto esgotar o assunto, que é bastante amplo.

Uma das primeiras propostas de classificação de Caatinga é de Andrade-Lima (1981), em que a classificação de Caatinga leva em conta as espécies dominantes. Esse autor discute a profunda relação das tipologias de Caatinga com o solo, o clima e a geologia. Essa classificação também considera uma possível influência humana nas tipologias de Caatinga, sendo destacada a possível influência da degradação da vegetação, em decorrência das atividades socioeconômicas, no aspecto da vegetação de Caatinga, sobretudo aquela de baixo porte.

Essa classificação é pouco aplicável em técnicas de mapeamento que utilizam sensoriamento remoto, já que necessita da identificação de espécies. Logo, é uma classificação que tem grande necessidade de mapeamento de campo, além de exigir treinamento na identificação de espécies vegetais.

Veloso e Góes-Filho (1982) propuseram outra classificação de Caatinga, aplicável até certo ponto em mapeamentos por sensoriamento remoto. É importante destacar que os autores consideram Caatinga como um tipo de estepe. Essa classificação pode ser vista no Quadro 9.1.

Quadro 9.1 – Tipologia da região fitoecológica de estepe.

Região Fitoecológica da Estepe (Caatinga e Campanha Gaúcha)	Arbórea Densa	Sem palmeiras
		Com palmeiras
	Arbórea Aberta	Sem palmeiras
		Com palmeiras
	Parque	Sem palmeiras ou sem floresta de galerias
		Com palmeiras ou com floresta de galerias
	Gramíneo-Lenhosa	Sem floresta de galerias
		Com floresta de galerias

Fonte: Veloso e Góes-Filho (1982).

A classificação de Veloso e Góes-Filho (1982) é autoexplicativa, não sendo necessária uma análise mais profunda de cada uma das classes, já que, na nomenclatura, estão presentes os aspectos fisionômicos e dos grupos vegetais que as diferenciam. A presença de palmeiras nas subdivisões de algumas classes pode impossibilitar a aplicação dessa classificação, com base em dados de sensores remotos, principalmente os de média ou baixa resolução espacial.

Uma classificação mencionada em IBGE (2012) foi a proposta por George Eiten, sendo esta mais detalhada, com diversas classes novas, que não existem na classificação anterior, como pode ser observado na Quadro 9.2.

É uma classificação estritamente fisionômica, em que o aspecto da vegetação como um todo prevalece na separação das classes. Essa classificação acrescenta uma categoria de Caatinga, a Caatinga Amazônica, a qual não está associada ao clima semiárido regional e que apresenta suas próprias subclasses. Como essa classificação foi desenvolvida com alto grau de detalhe, foi necessária a criação da tipologia Caatinga Amazônica, para designar e subdividir os enclaves de vegetação que possuem fisionomia semelhante ao da Caatinga que cobre o semiárido brasileiro. Como o propósito do presente trabalho é estritamente a vegetação do semiárido, as classes fora dessa região climática foram omitidas.

Quadro 9.2 – Classificação de Caatinga de George Eiten.

Caatinga	Florestal
	De arvoredo
	Arbóreo-arbustiva fechada
	Arbóreo-arbustiva aberta
	Arbustiva aberta
	Arbustiva fechada
	Savânica
	Savânica lajeada

Fonte: IBGE (2012).

Chaves *et al.* (2008) propuseram uma classificação de tipologias de Caatinga segundo a qual as características morfoestruturais da vegetação são utilizadas como parâmetro para a separação de cada classe. Essa classificação tem a particularidade de ter sido desenvolvida para aplicação em sensoria-mento remoto e consiste em quatro níveis categóricos: Tipo, Grupo, Classe e Subclasse. No Quadro 9.3, é possível observar as categorias de tipo e grupo, em que o porte da vegetação é o principal critério de separação dos grupos.

Quadro 9.3 – Proposta de classificação de tipologia de Caatinga.

Tipo	Grupo
Vegetação Natural de Caatinga	Arbóreo (> 4,5 m)
	Subarbóreo (> 3 m e < 4,5 m)
	Arbustivo (> 1,5 m e < 3 m)
	Subarbustivo (< 1,5 m)

Fonte: adaptado de Chaves *et al.* (2008).

Quanto às classes, Chaves *et al.* (2008) definem que o critério a ser seguido é a ordem decrescente de classes dominantes (quando for possível as identificar) e incluindo até três níveis. Um exemplo de aplicação das classes pode ser visto no Quadro 9.4, com a apresentação das 10 classes do grupo Caatinga Arbórea.

Vale ressaltar que todos os grupos têm 10 subclasses, resultantes da combinação entre as morfologias predominantes. Isso gera uma infinidade de classificações derivadas, o que pode ser útil em algumas aplicações e conjuntos de dados de sensores remotos. Por outro lado, pode haver um número excessivo de classes, se todas as subclassificações forem utilizadas, o que pode gerar problemas de integração e análise de dados.

Quadro 9.4 – Classes do grupo Caatinga Arbórea.

Grupo	Classe
Arbórea (> 4,5 m)	Arbórea
	Arbórea Subarbórea
	Arbórea Arbustiva
	Arbórea Subarbustiva
	Arbórea Subarbórea Arbustiva
	Arbórea Subarbórea Subarbustiva
	Arbórea Arbustiva Subarbórea
	Arbórea Arbustiva Subarbustiva
	Arbórea Subarbustiva Arbustiva
	Arbórea Subarbustiva Subarbórea

Fonte: adaptado de Chaves *et al.* (2008).

As subclasses referem-se à porcentagem de cobertura vegetal no substrato e correspondem a: muito densa (> 80%), densa (> 60% e < 80%), aberta (> 40% e < 60%), rala (> 20% e < 40%) e muito rala (< 20%) (CHAVES *et al.*, 2008). Os autores associam, ainda, os parâmetros de classificação mencionados anteriormente com valores absolutos de Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL), com base em dados de sensoriamento remoto orbital.

Contudo, as classificações anteriores não levam em conta as bases físicas (como as características geomorfológicas) que compõem o substrato onde há exploração biológica da flora, na divisão das classes de Caatinga. Nesse contexto, surge uma classificação mais recente, desenvolvida por Cavalcanti (2014) e apresentada no Quadro 9.5.

Quadro 9.5 – Classificação de subgrupos de Caatinga e formações associadas.

Nome	Descrição
Caatinga Lenhosa	Dominada por elementos lenhosos (árvores e arbustos). A flora não é influenciada por corpos hídricos. Pode ser subdividida em Caatinga lenhosa aberta, caso as copas das árvores não se toquem, ou fechada, caso as copas das árvores se toquem ou entrelacem.
Caatinga gramíneo-lenhosa	Vegetação dominada por elementos herbáceos, com presença de indivíduos lenhosos (árvore ou arbustos), esparsos ou em agrupamentos isolados.
Caatinga-parque	Vegetação com a presença de palmeiras e elementos lenhosos da Caatinga, distribuídos ao longo de um corpo hídrico.
Caatinga rupestre	Vegetação que cresce sobre os lajedos (afloramentos rochosos), normalmente, dominada por bromeliáceas e cactáceas.
Formação higrófila	Vegetação que cresce nas proximidades de corpos hídricos e apresenta flora cosmopolita ou introduzida.

Fonte: Cavalcanti (2014).

Levando em conta todas as propostas apresentadas, a de Cavalcanti (2014) é a mais versátil para aplicação em diferentes metodologias que utilizam sensoriamento remoto. Isso ocorre pelo fato de as classes integrarem características geossistêmicas (podendo ser utilizadas com dados de sensores de diferentes resoluções, especialmente, resoluções temporais e espaciais) e apresentarem uma relativa simplicidade de identificação em campo. Uma discussão mais aprofundada sobre as classificações de Caatinga está presente em Silva e Cruz (2018).

9.4 DEGRADAÇÃO OU DESERTIFICAÇÃO?

Os processos de degradação ambiental são frequentemente levados em conta e cartografados ao se trabalhar com a cartografia de biomas. Na Caatinga, a degradação ambiental tem um desdobramento conceitual, muitas vezes, polêmico e impreciso, que é a desertificação.

O termo “desertificação” tem muitos significados, alguns deles conflitantes, o que gera desentendimento e uma grande confusão, quando o termo é aplicado. Verstraete (1986) aborda os diversos significados de desertificação pontuando que muitos deles são confusos e contraditórios,

sendo praticamente impossível falar do termo sem definir um viés. O mesmo autor aborda a origem histórica do termo, quando a palavra “desertificação” foi introduzida pela primeira vez por Aubréville, em 1943, para nomear casos extremos de “savanização” na África, caracterizados pela ocorrência da invasão de espécies xerófitas, intensa erosão e mudanças físico-químicas dos solos. Já a savanização é o processo, conforme observado por Aubréville, em que florestas tropicais e subtropicais são substituídas por savanas, em decorrência da degradação antrópica.

Verstraete (1986) também considera que diversos termos foram cunhados para designar a degradação de áreas semiáridas, como “xerotização”, “desertização”, “aridização”, “aridificação”, entre muitos outros, citados pelo autor. Ele identifica que, na primeira metade do século XX, a preocupação contida nesses termos era a expansão dos desertos; mas, a partir da década de 1970, o foco tornou-se a degradação de áreas não desérticas, por processos internos, e não por uma “invasão externa” de um deserto.

Já Kovda (1982) aborda o fenômeno de desertificação e aridização como um fenômeno predominantemente natural, potencializado pela ação humana. Esse autor ressalta que, ao longo do período Quaternário (com o fim da última glaciação), as condições pedogenéticas, geomorfológicas, climáticas e outras condições físico-químicas (as quais definem as áreas susceptíveis à desertificação hoje) se estabeleceram no planeta Terra.

Posteriormente aos trabalhos dos autores supracitados, a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (*United Nations Convention to Combat Desertification* – UNCCD) define desertificação como a “degradação de terras em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de diversos fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas” (UNCCD, 1994, p. 3).

No mesmo documento das Nações Unidas, é possível ver uma definição de degradação de terras (no documento, chamada de *land degradation*), significando a:

[...] redução ou perda, em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, da produtividade biológica e econômica e da complexidade de áreas de cultivo alimentadas pela chuva, área de cultivo irrigada ou área de pastagem, floresta e bosques resultantes de usos da terra ou um processo ou combinação de processos, incluindo processos decorrentes de atividades humanas e padrões de habitação, como:

- (i) Erosão de solos causada por vento e/ou água.
- (ii) Deterioração de propriedades física, química e biológica ou econômicas do solo; e
- (iii) Perda de vegetação natural à longo prazo. (UNCCD, 1994, p. 4).

A Corte Europeia de Auditores (*European Court of Auditors* – ECA) utiliza a definição de desertificação da UNCCD (1994), mas complementa que as atividades humanas que contribuem para a desertificação:

[...] resultam na diminuição da produção de alimentos, infertilidade do solo, diminuição da resiliência natural da terra e redução da qualidade da água. A desertificação causa pobreza e pode resultar na perda de meios de subsistência, obrigando as pessoas afetadas a migrar. (ECA, 2018, p. 3)

Além disso, o mesmo documento ressalta que: “[...] a desertificação não implica a presença de desertos. Pode ocorrer longe de qualquer deserto climático e a presença ou ausência de um deserto próximo não tem relação direta com o processo de desertificação” (ECA, 2018, p. 4).

Essas definições e considerações supracitadas da ECA (2018) geram enorme confusão na aplicação do termo “desertificação”, já que fica extremamente difícil separar o termo “degradação de terras” de “desertificação”, embora “desertificação” seja uma forma de degradação de terras. Mas a confusão repousa na pergunta: “quando a ‘degradação de terras’ não é ‘desertificação?’”.

Além disso, a ECA (2018) utiliza a pobreza como uma das consequências da desertificação, sem definir o que é entendido como pobreza. E isso gera outro problema, já que pobreza não é algo fácil de ser definido e mensurado, principalmente, sem um viés etnocêntrico. Porém, como o documento não se aprofunda nesse ponto, a discussão sobre o que é pobreza não será levada adiante, ainda que seja necessário pontuar o problema que envolve o termo.

A discussão supracitada mostra como o conceito de desertificação se torna extremamente impreciso, tendo sido utilizado em diversas regiões climáticas, muitas vezes, como sinônimo de degradação, como é discutido por Glantz e Orlovsky (1983).

Nesse contexto, desertificação tem uma conotação física e política, gerando uma interface que, a depender da aplicação desse conceito difuso,

possuirá foco e critérios de definição de áreas desertificadas (ou susceptíveis à desertificação) que poderão ser inteiramente políticos, inteiramente físicos ou, ainda, híbridos.

Robbins (2010) detalha que existem três problemas nas pesquisas envolvendo a interface humanos/ambiente: o problema dos fluxos e conexões; o problema das fronteiras e categorias; e o problema dos impactos e influências. O autor fala em seu texto sobre problemáticas envolvendo trabalhos de campo, embora a reflexão possa ser extrapolada, em alguns casos. No contexto dessa discussão, o “problema dos impactos e influências” é o mais relevante, sendo ele definido da seguinte forma:

[...] determinar se e como as ações humanas influenciam sistemas naturais torna-se uma questão difícil de definir “mudança” nos sistemas que costumam ser altamente dinâmicos, o que significa que o estudo de campo requer o isolamento dos principais fatores de mudança, estabelecendo linhas de base e entendendo o ambiente inerente variabilidade. (ROBBINS, 2010, p. 243)

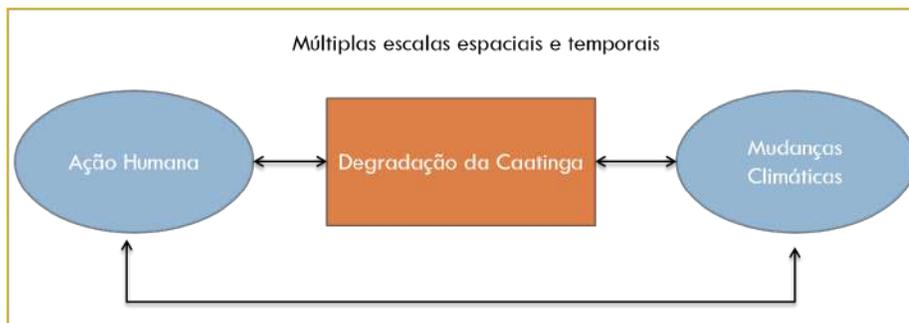
Logo, é extremamente difícil entender as extensões da ação humana na “mudança” ambiental, embora a influência antrópica no ambiente seja evidente. O problema repousa não em identificar que há influência humana, mas sim em determinar a extensão e contribuição dela na mudança. No caso da degradação e desertificação, essa reflexão deve estar sempre clara, já que há uma sobreposição de fatores naturais e antrópicos, retroalimentando-se, em múltiplas escalas temporais e espaciais.

A Figura 9.5 mostra essa relação entre a degradação da Caatinga com a atividade humana e mudanças climáticas. Um fato importante é que essas interações ocorrem em diferentes escalas temporais.

Isso leva ao questionamento se há desertificação, no contexto físico, ocorrendo no semiárido brasileiro; ou se os processos de degradação na área acabam sendo chamados de desertificação devido à frouxidão do termo. Robbins (2010) também fala que estudos envolvendo desertificação são mais atraentes, quando acompanhados de rigorosos dados paleoambientais, o que não é verificado em muitos trabalhos que utilizam sensoriamento remoto.

Por esse motivo, para escapar de critérios e conceitos confusos ou subjetivos demais, a utilização do termo “degradação”, para designar perdas nas funcionalidades biológicas e danos sociais e econômicos no semiárido, é mais prudente, caso não haja dados robustos para apoiar a tese de desertificação.

Figura 9.5 – Esquema mostrando a contribuição da ação humana e das mudanças climáticas na degradação da Caatinga.



Fonte: os autores.

Contudo, é inegável que, na literatura sobre o semiárido brasileiro, o termo “desertificação” é extremamente frequente, embora a força de uso não acompanhe o rigor na definição do que, efetivamente, signifique objetivamente esse processo. Muitos trabalhos recentes, como os de Fernandes e Dantas (2010), Ribeiro *et al.* (2016) e Aquiles *et al.* (2017), constituem exemplos da utilização do termo “desertificação” na última década; e, embora os autores mencionados tenham apresentado uma definição para o termo, as definições não deixam de ser ambíguas.

9.5 BIG EO DATA APLICADO AO MAPEAMENTO DE VEGETAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O sensoriamento remoto não exclui outras formas de aquisição de dados sobre o terreno, tais como os trabalhos de campo. E é importante lembrar que não é possível extrair todos os atributos mensuráveis de trabalhos de campo por meio de sensoriamento remoto. Contudo, diversos dados da superfície do planeta se tornam acessíveis, em frequência e custo vantajosos para algumas aplicações. Assim, a associação de dados de campo com os de sensoriamento remoto, em certa medida, seria sempre desejável, até mesmo para validações.

O uso do sensoriamento remoto tem fatores limitantes, como mencionado. O mesmo ocorre com diversas outras formas de aquisição de dados e de observação, cabendo ao pesquisador fazer escolhas e ter consciência de tais limitações. E, no contexto do semiárido brasileiro, o sensoriamento remoto orbital é a melhor, mais barata e mais completa base de dados disponível.

Entretanto, a limitação mais evidente é a disponibilidade temporal dos dados sobre a área de estudo, já que dados de sensoriamento remoto têm uma disponibilidade relativamente curta (dependendo do objetivo do trabalho) e descontínua na superfície do planeta, embora essa limitação possa não ser um problema, dependendo dos objetivos e objetos de estudo, uma vez que, a partir da década de 1980, há dados de sensoriamento remoto gratuitos disponíveis para praticamente todo o globo, com resoluções temporais e espaciais adequadas para muitas aplicações.

Recentemente, a produção de dados de sensoriamento remoto tornou-se crescente, assim como outros dados georreferenciados. Com isso, pesquisas que necessitam de dados de sensores remotos produzidos na última década não terão dificuldade em encontrar produtos, tanto pagos quanto gratuitos, de sensores das mais diversas resoluções espaciais, temporais, espectrais e radiométricas.

Sobre isso, Chi *et al.* (2016, p. 1) dizem que “não é exagero falar que toda a Terra se tornou digital”, devido à quantidade massiva de dados produzidos sobre a superfície do planeta; entre eles, dados de sensoriamento remoto. Os mesmos autores dizem que somos geradores de informações espaciais móveis, já que, com base em redes sociais e dispositivos, produzimos dados espaciais o tempo todo, em que quintilhões de dados são produzidos diariamente, sendo esses dados denominados *big data*. Quando dados massivos se referem à observação do planeta, podem ser chamados de *Big Earth Observation Data* (ou, simplesmente, *Big EO Data*).

Esses dados podem ser utilizados para diversos fins, seja por governos, seja por empresas. Contudo, lidar com esse grande volume de dados (e ter *insights* sobre ele) é extremamente complexo, além de o processamento e análise em tempo razoável ser difícil (CHI *et al.*, 2016).

Big data pode ser definido por três V's: volume, variedade e velocidade. Em sensoriamento remoto, o volume de dados é massivo, e parte deste está disponível gratuitamente. A variedade envolve dados multifontes, multitemporais e multirresoluções. A velocidade envolve tanto o aumento da velocidade de produção de dados quanto de processamento (CHI *et al.*, 2016).

Como a degradação do semiárido brasileiro assim como possíveis núcleos de desertificação na região têm uma dimensão escalar dentro da história humana, as séries de dados espaciais disponíveis podem nos dar pistas sobre a evolução desse processo, nas últimas décadas. Para isso, faz-se necessária uma metodologia que consiga tirar proveito da enorme série de dados disponíveis sobre a superfície do planeta. E ainda per-

mita a integração e processamento de séries temporais longas e grandes volumes de dados, ao mesmo tempo que minimize os problemas que o trabalho com volumes massivos de dados acarreta.

Recentemente, as metodologias envolvendo sensoriamento remoto estão passando por uma forte mudança, muitas vezes considerada uma mudança de paradigma. Para entender essa mudança, é fundamental entender dois termos: *space first* e *time first*. Câmara *et al.* (2016) abordam que, tradicionalmente, os estudos envolvendo mudanças temporais na superfície terrestre envolvem a classificação estática de cada cena (momento em que a imagem foi adquirida) e, em seguida, a identificação da mudança. Contudo, os autores propõem uma abordagem diferente, em que os eventos são mais importantes. Logo, o valor do *pixel* em si, em uma imagem de sensor remoto, deixa de ter significado para o mapeamento; o que será mapeado, então, serão as variações de cada *pixel* na série temporal, o que definirá um evento.

As metodologias que envolvem o valor do *pixel* em cada momento estático de tempo são associadas ao conceito *space first*, já que o espaço terá maior peso na classificação da imagem. Já as metodologias que utilizam a variação temporal de cada *pixel* são associadas ao conceito *time first*, em que a variação temporal de cada *pixel* é o parâmetro principal da classificação.

A mudança do paradigma *space first* para *time first* é o que está ocorrendo nas metodologias de sensoriamento remoto nos últimos anos. Isso se deve, em grande parte, ao surgimento do processamento em nuvem, que permite a redução do custo de processamento e de armazenamento de uma quantidade enorme de dados, já que o processamento pode ser dividido em vários computadores; e, muitas vezes, utilizando servidores extremamente potentes das próprias plataformas. Isso muda radicalmente as abordagens aplicadas ao sensoriamento remoto e amplia as possibilidades de modelagem e aplicações.

Tradicionalmente, o estudo de vegetação do semiárido, degradação e desertificação no Brasil e no mundo utilizando sensoriamento remoto é predominantemente ligado ao paradigma *space first*, em que as áreas desertificadas são cartografadas de imagens de datas diferentes e em um intervalo de tempo determinado. Em seguida, é feita uma comparação entre as áreas desertificadas, a fim de identificar as mudanças ocorridas.

Um exemplo dessa abordagem é o trabalho de Lamqadem, Saber e Pradhan (2018). Embora essa metodologia seja válida e proporcione o

entendimento do fenômeno, dentro de uma perspectiva em que a distribuição espacial dos resultados deste processo é central, ela não permite a análise de nuances temporais de evolução do processo e de suas tendências espaçotemporais.

Nesse contexto, o paradigma *time first* tem grande potencial em estudos envolvendo desertificação e outros processos e fenômenos. Essa forma de analisar um conjunto de dados de sensoriamento remoto permite identificar os padrões de mudanças ao longo do tempo e, sob tais padrões de mudança, classificar diferentes fenômenos; podendo ser classificados ainda os diferentes comportamentos temporais de um mesmo fenômeno. Essa metodologia é descrita por Câmara *et al.* (2016) e Maus *et al.* (2016) e apresenta um potencial de detalhamento temporal alto, na identificação de mudanças sutis ao longo do tempo, como dos ciclos de agricultura.

Nesse contexto, os fenômenos e processos são segmentados e classificados temporalmente, e não espacialmente, sendo uma metodologia ideal para aplicações em fenômenos e atividades cíclicas e não cíclicas. Assim, uma grande quantidade de padrões de segmentação temporal pode ser utilizada, levando em conta as especificidades dos objetos de estudo.

Esse tipo de metodologia pode descortinar padrões de evolução diferentes de áreas degradadas (ou em processo de degradação), quiçá, podendo permitir a distinção de degradação de diferentes origens. Além de permitir a utilização de um conjunto de dados volumoso e de séries temporais detalhadas, que outra metodologia não permitiria, ou envolveria custos e tempo de processamento proibitivos.

Atualmente, a plataforma ideal para esse processamento é o *Google Earth Engine*[®], que, além de ser gratuito, possui uma série extensa de dados abertos gratuitos. A utilização de linguagens de programação *JavaScript* e *Python* pela plataforma pode constituir um complicador inicial, embora, superado o aprendizado e familiarização com essas linguagens, haja uma infinidade de possibilidades de aplicações.

Séries de dados *Modis*, em que estão disponíveis *rasters* (imagens matriciais) de umidade de solo, NDVI, temperatura de superfície, entre outros, além das bandas espectrais, podem ser processadas de forma integrada, a fim de entender as dinâmicas de áreas degradadas (ou em processo de degradação), assim como identificar características da vegetação nativa

ou introduzida. Isso permitirá maior compreensão do fenômeno e de como ele se comporta ao longo do tempo.

Além disso, o código de processamento que será gerado pode ser replicado a qualquer momento e rapidamente. Isso torna a metodologia proposta replicável e dinâmica, contribuindo para o monitoramento contínuo do semiárido, por qualquer pessoa que queira replicar o código.

Outro ponto importante é que o *Google Earth Engine*[®] é uma plataforma colaborativa. Isso permite que outros pesquisadores possam contribuir e aperfeiçoar metodologias propostas. Podendo também adaptá-la às especificidades de outras áreas similares.

Contudo, para a aplicação do paradigma *time first*, é preciso conhecer bem o fenômeno e/ou processo que está sendo estudado. Logo, no caso da degradação no semiárido brasileiro, é necessário entender os ciclos naturais da Caatinga, os fatores naturais de retração e expansão da vegetação; além das atividades antrópicas que degradam a Caatinga e que podem evoluir para um processo de desertificação. Com isso, uma classificação temporal mais acurada será possível sob o paradigma *time first*, em que se espera que essas nuances tenham assinaturas temporais diferentes.

Como a vegetação de Caatinga (e o estado de conservação desta) é um ótimo indicador de degradação ambiental no semiárido, mapear a evolução da cobertura vegetal (e do seu estado de conservação) ao longo de uma série temporal de imagens de sensores remotos possibilita compreender a evolução das áreas vegetadas e os vetores de degradação.

Uma das ferramentas para a construção de modelos em sensoria-mento remoto são os índices, e estes são excelentes para a construção de séries temporais. Com base nestes, é possível criar produtos derivados de operações matemáticas entre as bandas que compõem as cenas que estão sendo estudadas. Um desses índices é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI), que, segundo Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012), é um índice utilizado para monitorar a vegetação, e com o qual é possível a construção de perfis sazonais e temporais da vegetação, permitindo a comparação anual. Existem diversos outros índices de vegetação, tais como o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (*Soil-Adjusted Vegetation Index*, Savi) e o Índice de Vegetação Atmosfericamente Resistente (*Atmospherically Resistant Vegetation Index* – Arvi); e a escolha pela aplicação de cada um vai depender dos dados utilizados e dos objetivos do estudo.

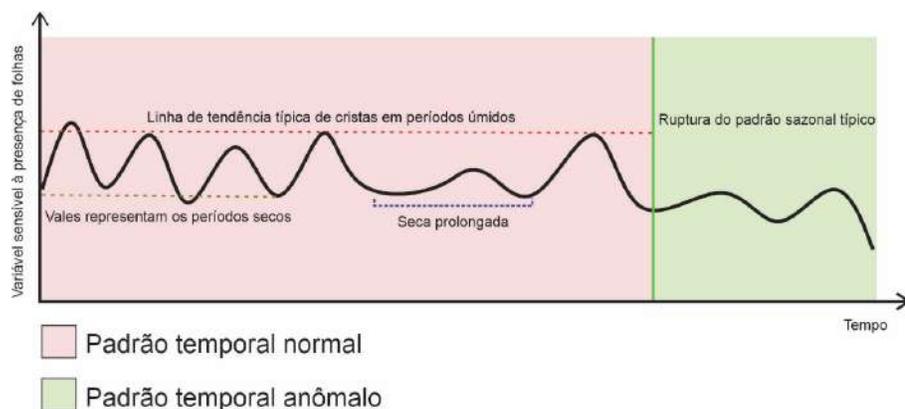
Para fins didáticos, a Figura 9.6 mostra um gráfico hipotético de uma série temporal de um *pixel* ou conjunto de *pixels*, em uma coleção de dados de um sensor remoto: no eixo das ordenadas, inclui-se alguma variável (que pode ser um índice de vegetação ou de resposta espectral) sensível à presença de folhas na vegetação. Logo, quanto maior o valor dessa mesma variável, maior a presença de folhas. Enquanto que, no eixo das abscissas, inclui-se a variável temporal. Com isso, é possível observar a evolução da variável sensível à presença de folhas ao longo do tempo.

Observa-se a oscilação sazonal da presença de folhagens na Caatinga; e, embora as cristas e vales não coincidam, elas seguem uma linha de tendência. Isso ocorre pelas próprias variações na aquisição dos dados e em razão de os períodos úmidos e secos não serem exatamente iguais em relação à disponibilidade e à indisponibilidade hídrica. Períodos de seca mais prolongados também poderão ser observados nessas séries temporais, já que fazem parte das dinâmicas climáticas do semiárido.

O grande diferencial na análise de séries temporais é que, por esta, é possível identificar rupturas nos padrões sazonais naturais. Na Figura 9.6, isso é ilustrado pela área verde do gráfico, em que o padrão sazonal típico de perda e recuperação de folhagem (mesmo havendo secas prolongadas eventuais) é fortemente alterado a partir de determinado estágio da série temporal.

Além disso, há o potencial de replicação da metodologia para os dados vindouros de forma mais prática e rápida, já que, diferentemente do paradigma *space first*, não será necessária a modelagem da classificação de cada cena individualmente. Isso fomenta a mitigação de risco e o planejamento ambiental de fronteiras de degradação no semiárido no Brasil. Assim, ajuda a identificar e investigar agentes e atividades causadoras de degradação, mesmo que ainda não compreendidos ou identificados por completo. Além da possibilidade de produção de dados atualizados sobre a Caatinga e o semiárido.

Figura 9.6 – Esquema mostrando uma série temporal hipotética de uma variável, obtida de sensoriamento remoto sensível à presença de folhas, para o caso da Caatinga.



Fonte: os autores.

Sendo assim, o *time first* também constitui uma forma de investigação acerca da dinâmica de processos, apresentando grande potencial de modelagem das dinâmicas que são dificilmente percebidas por outros métodos. Isso associado ao fato de a plataforma *Google Earth Engine*[®] disponibilizar um grande acervo de dados livres, para o processamento dos usuários, o que está mudando o modo como são geradas, processadas e disponibilizadas grandes quantidades de dados espaciais (*Big EO Data*).

9.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se um aumento cada vez mais expressivo dos mapeamentos envolvendo sensoriamento remoto que utilizem o paradigma *time first*. No caso do semiárido, essa mudança resultará em novas metodologias e soluções para o mapeamento de vegetação na região, além da exploração do *Big EO Data*. Isso ocasionará a geração de novos produtos cartográficos envolvendo o semiárido que explorem o potencial do enorme conjunto de dados de sensores remotos produzidos nas últimas décadas.

Isso não significa que os mapeamentos que utilizem o paradigma *space first* se tornem obsoletos ou deixem de ter aplicabilidade. Apenas que um leque maior de possibilidades estará disponível para mapear a vegetação e outras coberturas do semiárido, utilizando dados de sensores remotos.

Por fim, a grande demanda por integração de produtos cartográficos e dados de diferentes fontes, além da necessidade de mapeamentos de grandes áreas, será muito beneficiada com o uso progressivo do processamento de dados em nuvem. Isso garante maior velocidade de processamento e a possibilidade de uso de métodos, como a segmentação temporal, que antes enfrentava a barreira da limitação do processamento local. Além da grande aplicabilidade na detecção de mudança na cobertura do terreno para áreas extensas, em velocidades cada vez maiores.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. *Domínios da natureza*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatinga dominium. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 4, p. 149-153, 1981.
- AQUILES, F. *et al.* Desertificação no Nordeste brasileiro: uma análise das vulnerabilidades socioeconômicas do município de Irauçuba/CE. *Revista Espacios*, Caracas, v. 38, p. 39, 2017.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Biodiversidade brasileira. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira.html>. Acesso em: 14. fev 2018
- BRASIL. *Resolução do Conselho Deliberativo da Sudene nº 107, de 27 de julho de 2017*. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do semiárido brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência. *D.O.U.*, Brasília, DF, n. 176, 13 set. 2017. Seção 1, p. 48.
- CÂMARA, G. *et al.* Using dynamic geospatial ontologies to support information extraction from big Earth observation data sets. *In: GISCIENCE CONFERENCE: NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE. Annals [...]*. Montreal, Canada, 2016.
- CAVALCANTI, L. C. S. *Cartografia de paisagens*. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- CHAVES, I. de B.; LOPES, V. L.; FOLLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 21, n. 2, p. 204-213, 2008.
- CHI, M. *et al.* Big data for remote sensing: challenges and opportunities. *Proceedings of the IEEE*, Estados Unidos, v. 104, n. 11, p. 2.207-2.219, 2016.

COSTA, J. de A. O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. *Revista Científica do IFAL*, Maceió, v. 1, n. 4, p. 71-82, 2012.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. *Acta Bot. Bras.*, Brasília, v. 20, n. 1, mar. 2006.

EUROPEAN COURT OF AUDITORS (ECA). *Desertification in the EU*. June 2018. Disponível em: https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/BP_DESERTIFICATION/BP_DESERTIFICATION_EN.pdf. Acesso em: 18 jun. 2020.

FERNANDES, J. D.; DANTAS, A. J. Desertificação no Nordeste: uma aproximação sobre o fenômeno do Rio Grande Norte. *HOLOS*, Natal, ano 25, v. 3, p. 147-161, 2010.

GIONGO, V. Balanço de carbono no semiárido brasileiro: Perspectivas e Desafios. In: LIMA, R. C. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; PEREZ-MARIN, A. M. (ed.). *Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro*. Campina Grande: INSA-PB, 2011.

GLANTZ, M. H.; ORLOVSKY, N. S. Desertification: a review of the concept. *Desertification Control Bulletin*, Nairóbi, v. 9, p. 15-22, 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Malhas territoriais*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 30 mar. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Manual técnico da vegetação brasileira*. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. [S. l.]: Parêntese Editora, 2009.

KOVDA, V. A. To prevent aridization, combat salinity. *Environmental Conservation*, Newcastle, v. 9, n. 4, p. 323-327, 1982.

LAMQADEM, A. A.; SABER, H.; PRADHAN, B. Assessment of desertification in an arid oasis using remote sensing data and spectral index techniques. *Remote Sens.*, Basiléia, v. 10, n. 12, p. 1.862, 2018.

MAUS, N. *et al.* A time-weighted dynamic time warping method for land-use and land-cover mapping. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Guangzhou, v. 9, n. 8, p. 3.729-3.739, 2016.

MELO, J. C. O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. *Revista Raízes*, Campina Grande, ano 18, n. 20, 1999.

ODUM, E. P. *Fundamentos de ecologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. *Sensoriamento remoto da vegetação*. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

RIBEIRO, E. P. *et al.* Climate change and desertification in the semiarid region of northeastern Brazil. *Revista Geama*, Recife, v. 5, n. 1, 2016.

ROBBINS, P. F. Human-environment field study. In: GOMEZ, B.; JONES, J. P. (org.). *Research methods in geography: a critical introduction*. [S. l.]: Wiley, 2010.

SENTIS, I. P. *Soil salinization and land desertification*. Logroño: Geoformas Ediciones, 1996.

SILVA, A. C.; SOUZA, A. F. Aridity drives plant biogeographical sub regions in the caatinga, the largest tropical dry forest and woodland block in South America. 2018. *PLoS ONE*, Califórnia, v. 13, n. 4, p. e0196130. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196130>. Acesso em: 20 mar. 2020.

SILVA, D. V. S; CRUZ, C. B. M. Tipologias de caatinga: uma revisão em apoio a mapeamento através de sensoriamento remoto orbital e Geobia. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 35, p. 2.236-2.878, 2018.

SILVA, M. L. A. Dinâmica de expansão e retração de cerrados e caatingas no período quaternário: uma análise segundo a perspectiva da teoria dos refúgios e redutos florestais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 6, p. 1.275-1.291, 2011.

SOUZA, D. D. *Adaptações de plantas da Caatinga*. São Paulo, Editora Oficina de Textos, 2020.

UNITED NATIONS CONVENTION ON CONSERVATION AND DESERTIFICATION (UNCCD). *Elaboration of an international convention to combat desertification in countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa*. Final text of the convention, note by the secretariat. New York: United Nations General Assembly, 1994.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). *Imagens Landsat 8*. Disponível em: <http://www.usgs.gov/>. Acesso em: 4 jun. 2020.

VELOSO, H. P.; GÓES-FILHO, L. *Fitogeografia brasileira: classificação fisionômico-ecológica da vegetação neotropical*. Salvador: IBGE, 1982.

VERSTRAETE, M. M. Defining desertification: a review. *Climatic Change*, [s.l.], v. 9, n. 1-2, p. 5-18, 1986.

DINÂMICAS URBANAS E FLORESTAIS DAS REGIÕES METROPOLITANAS DE RIO DE JANEIRO E SÃO PAULO: UMA TRAJETÓRIA AO LONGO DE 34 ANOS (1985 A 2018)

Julia Silva de Queiroz Lourenço Vaz

Rodrigo Gomes da Silva

Carla Bernadete Madureira Cruz

10.1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

Os processos de crescimento urbano e aumento populacional são, na prática, inevitáveis. A ampliação das áreas urbanas tornou-se ininterrupta desde os primeiros sinais de urbanização, que aconteceram com a formação das primeiras sociedades (FREITAS, 2009). Essa tendência de crescimento das cidades em escala global acontece de forma acelerada, quando, já em 2007, mais de 50% da população mundial se encontrava no ambiente urbano. Nesse seguimento, a expansão urbana e o desenvolvimento interno das cidades, que acompanha sua ampliação territorial, acabam criando intensas relações que, em muitos casos, são marcadas por interdependências em diferentes graus, desencadeando, assim, o processo de metropolização. Além disso, o processo de conurbação também pode ser impulsionado com a fusão das áreas urbanas de municípios limítrofes, onde se estabelece uma mancha urbana com grande extensão, que se apresenta de maneira contínua sobre a superfície, ultrapassando todos os limites político-administrativos das cidades que compõem a mancha (FREITAS, 2009). Esses processos, portanto, estão na gênese das regiões metropolitanas (RMs), que, normalmente, concentram maiores índices populacionais, maior desenvolvimento tecnológico e maior desigualdade social.

De maneira não dissemelhante, as tendências de expansão urbana e aumento populacional também acontecem no Brasil, e, conseqüentemente, não só o surgimento como o aumento da complexidade interna das RMs aqui existentes acabam sendo fomentados, sobretudo, a partir da segunda metade do século XX. No início do processo de metropolização do Brasil, que data de fins da década de 1960, o estabelecimento de RM era de competência federal e seguia critérios predefinidos. A partir da criação da Constituição federal de 1988, a criação de RM passa a ser de competência dos estados, não seguindo mais critérios padronizados.

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) apresentam maior notoriedade, já que são as mais populosas do país, com maior PIB e maior influência em âmbito nacional. Segundo a pesquisa *Regiões de Influência das Cidades* (Regic), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e publicada em 2020 (ano-base 2018), o arranjo populacional de SP ocupa isoladamente a posição de maior hierarquia urbana do país, a de grande metrópole nacional, concentrando em seu arranjo 21,5 milhões de habitantes, em 2018; e 17,7% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, em 2016. No segundo nível, denominado metrópole nacional, está o Rio de Janeiro, com forte presença nacional e 12,7 milhões de habitantes. Esse conceito de arranjo populacional considerara dois ou mais municípios que apresentem manchas urbanas contíguas. Esses municípios são indissociáveis, como unidades urbanas, apresentando-se altamente conurbados. É interessante observar, no relatório da Regic 2018, que o arranjo populacional se aproxima em grande parte da delimitação das RMs. Dessa forma, essas duas RMs apresentam extrema relevância para estudos que revelem suas dinâmicas e particularidades.

10.2 ÁREAS DE ESTUDO

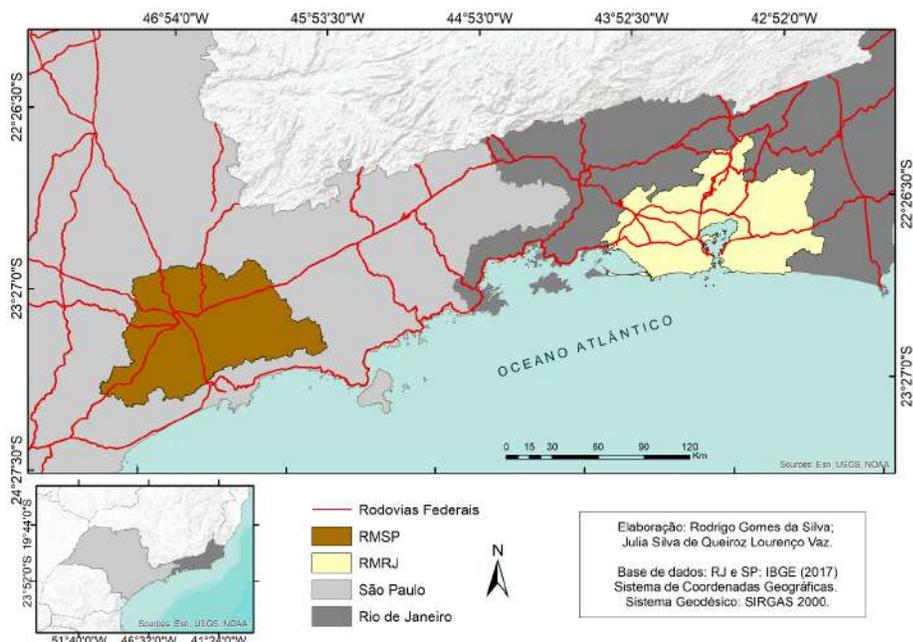
Ainda no início da década de 1970, começaram a ser constituídas no Brasil as primeiras RMs, que foram estabelecidas pelo Governo Federal, ainda no período do governo militar. A necessidade de criação das RMs surge em decorrência do grande processo de metropolização, que acontece no Brasil, com destaque para São Paulo e Rio de Janeiro, desde a década de 1960. Tendo isso em vista, tornou-se necessário um plano de gestão que atendesse às demandas de leis específicas para toda a mancha urbana que se consolidava e se complexificava sobre a superfície, ultrapassando os

limites político-administrativos (SILVA; LOURENÇO; CRUZ, *et al.*, 2020). Entre as primeiras RMs estabelecidas no Brasil, intituladas pelo IBGE como sendo de “primeira geração”, estão a RMSP e a RMRJ.

Localizada na Região Sudeste brasileira, conforme é mostrado no mapa de localização (Figura 10.1), a RMSP é composta por 39 municípios, onde ocupa uma área de pouco mais de 7.900 km². Sua população residente, segundo estimativas do IBGE para o ano de 2018, é de 21,5 milhões de pessoas, o que corresponde a 47,54% de toda a população do estado de São Paulo. Além disso, vale salientar a importância econômica em âmbito nacional que a RMSP possui, com PIB que equivale a 56% do PIB estadual e 18% do PIB nacional.

A RMRJ, como mostrado no mapa de localização das duas RMs consideradas (Figura 10.1), está igualmente localizada no Sudeste, é composta por 22 municípios e possui área de pouco mais de 6.700 km². A população residente nessa RM é de 13 milhões de pessoas, e o seu PIB representa 64% do PIB do estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2020).

Figura 10.1 – Mapa de localização das Regiões Metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro.



Fonte: os autores. Dados do IBGE (2017).

Devido à proximidade espacial, como é possível visualizar na Figura 10.1, essas RMs possuem fortes relações, que são marcadas pelos mais variados fluxos econômicos, comerciais e de pessoas.

A incontrollável ampliação desses processos, que acompanha, na maioria das vezes, falta de planejamento e estruturação para a área em expansão, acaba gerando diversos níveis e tipos de pressões ambientais, o que torna a cidade, segundo Spósito (2003 *apud* ÁVILA e PANCHER, 2015), uma expressão máxima de apropriação da natureza. Sendo assim, como consequência da urbanização não planejada, pode-se citar impermeabilização dos solos, grande geração de lixo, desequilíbrio térmico, destruição da biodiversidade local, entre outros.

Nesse sentido, a qualidade de vida, no que se refere à população das cidades, acaba sendo prejudicada, devido à carência por áreas vegetadas, que são indispensáveis para garantir qualidade ambiental e de vida da população. Isso ocorre porque a vegetação arbórea pode estabilizar superfícies (por meio do enraizamento das plantas), reduzir a velocidade dos ventos, melhorar a qualidade da água, filtrar o ar, diminuir as partículas em suspensão e fazer o equilíbrio da umidade presente no ar, por exemplo (ARRUDA *et al.*, 2013).

Considerando os benefícios ambientais supracitados, destaca-se a importância das florestas no meio total ou, majoritariamente, urbano, que agem, como já exemplificado, diretamente na elevação da qualidade de vida da população que está situada nas cidades. Essa necessidade de cobertura vegetal no meio urbano pode ser ainda mais intensificada quando se trata de grandes aglomerações urbanas, que se expressam de forma contínua sobre a superfície, ignorando limites territoriais, como é o caso das RMs, que surgem da união dos processos de metropolização e conurbação, gerando uma mancha urbana contínua (FREITAS, 2009).

Segundo Cavalheiro e Del Piccha (1992), como bem destaca Arruda *et al.* (2013), a Organização das Nações Unidas (ONU), por meio da Organização para a Alimentação e a Agricultura (*Food and Agriculture Organization* – FAO) e da Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization* – OMS), estabelece como recomendação o valor de 12 m² de cobertura vegetal por habitante, para que uma dada população viva no meio urbano com boa qualidade de vida. No Brasil, divergindo da recomendação internacional, a Sociedade Brasileira de Arborização Urbana eleva a recomendação para 15 m² de cobertura por habitante enquanto valor ideal. Sendo assim, torna-se indispensável a adoção de metodologias que permitam mensurar as florestas

pertencentes à cidade, como os Índices Espaciais de vegetação (GRISE *et al.*, 2018), na tentativa de auxiliar na tomada de decisão, no que se refere ao meio urbano, à sua ampliação e, por consequência, ao impacto gerado na população.

10.3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

A fim de espacializar os fenômenos estudados para o recorte da RMRJ e da RMSP, foi utilizado um grande conjunto de dados do *Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (Mapbiomas[®])*, além de dados de contagem de população, obtidos da base de dados de censo do IBGE.

Dos dados do *Mapbiomas[®]*, foram extraídas as manchas urbanas e as manchas de floresta para a RMSP e a RMRJ referentes aos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2018, que puderam ser sobrepostos e analisados em ambiente SIG, por meio do *software ArcMap[®]*. A classe que contempla as manchas urbanas é denominada Infraestrutura Urbana e envolve, sobretudo, as áreas construídas da superfície, enquanto que a classe de Florestas Naturais contempla áreas savânicas, manguezais e florestas plantadas.

Os dados de população foram obtidos do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), dessa vez com intervalos maiores e que correspondiam exatamente aos censos demográficos realizados. Dessa forma, para os anos de 1980, 1991, 2000 e 2010, foram utilizados dados dos Censos Demográficos; e, para os demais anos, 2015 e 2018, dados de estimativas populacionais.

O *Mapbiomas[®]* foi criado em 2015, de uma iniciativa de monitoramento livre e colaborativo, como um projeto multi-institucional, fruto da parceria de grandes instituições, como universidades, empresas ligadas ao mercado tecnológico e organizações não governamentais (ONGs). O projeto oferece um mapeamento anual de uso e cobertura de solo para todo o Brasil, desde o ano de 1985 até 2019 (sua última coleção lançada), com diversas classes de uso e cobertura de todo o território nacional.

Com processamento e automatização feitos do *Google Earth Engine[®]*, o *Mapbiomas[®]*, em sua técnica de mapeamento da superfície, utiliza as mais avançadas tecnologias (ROSA *et al.*, 2019) e, dessa forma, lida com enormes quantidades de dados geoespaciais, de imagens provenientes dos satélites *Landsat 5 e 8*, ambos com 30 m de resolução espacial. Vale ainda destacar que

o conjunto de dados do *MapBiomass*[®] se insere em uma grande tendência: o *Big Earth Observation Data* (ou *Big EO Data*). Isso se dá porque o projeto foi capaz de aumentar consideravelmente a capacidade de processamento em nuvem, além da produção e da disponibilização dos dados de observação da Terra, que possibilitam a realização de análises em âmbito global. Por essa ótica, destaca-se a relevância das análises geradas pelo *MapBiomass*[®], tendo em vista o grande desafio, financeiro e científico, para que se desenvolvam tecnologias que permitam o manuseio de conjuntos de *big data* (VINHAS *et al.*, 2017).

Índice Espacial

O Índice Espacial de Floresta Urbana Total (GRISE *et al.*, 2018) será usado para calcular a quantidade de floresta por habitante, para as RMs de São Paulo e Rio de Janeiro, bem como para cada um dos municípios que as compõem. Apesar de, na metodologia usada como base para este estudo, serem considerados apenas os dados de floresta urbana inseridos em cidades, será considerada toda a área florestada inserida na totalidade das RMs.

Esse cálculo consiste na divisão entre a cobertura vegetal total encontrada em um determinado limite político-administrativo (nesse caso, das RMs e seus municípios) e o número total de habitantes da mesma área, como mostrado na fórmula da Figura 10.2.

Os dados de cobertura vegetal, como já relatado, são os disponibilizados pelo projeto *MapBiomass*[®], que, por conseguinte, foram tratados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Por outro lado, os dados populacionais são parte das estimativas populacionais do IBGE para o ano de 2018, já que, nesse ano, não foi realizado censo demográfico. O resultado do índice mostra quantos metros quadrados de floresta existem por habitante de cada RM (ou de municípios que a compõem).

Figura 10.2 – Índice Espacial de Floresta Urbana Total (IEFUT).

$$\text{IEFUT} = \frac{\Sigma \text{ da área total de floresta urbana (m}^2\text{)}}{\text{N}^\circ \text{ total de habitantes da RM/município}}$$

Fonte: os autores, com base em Grise *et al.* (2018).

10.4 RESULTADOS E ANÁLISES

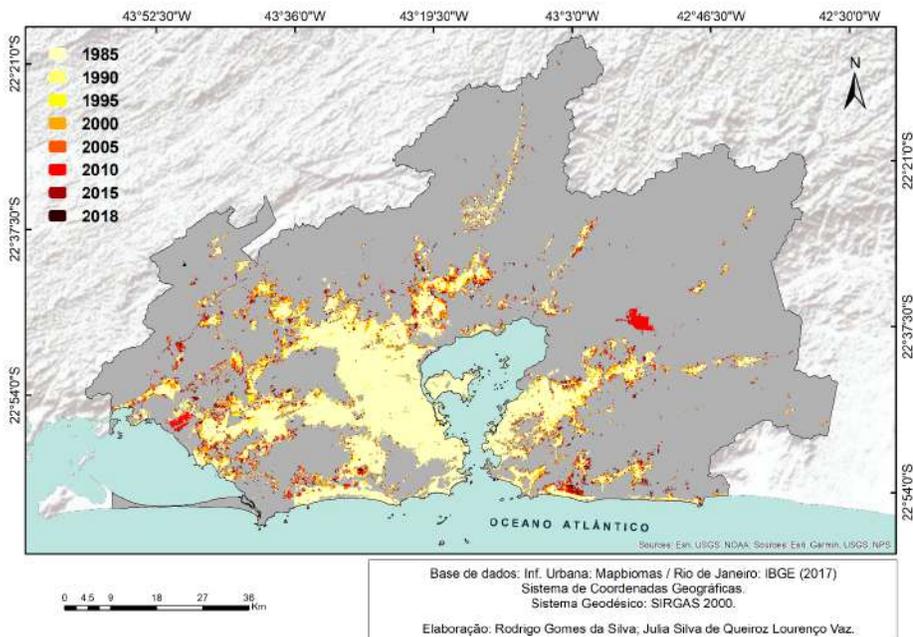
Análises relacionadas à expansão urbana e à dinâmica populacional das regiões metropolitanas

Os mapas que mostram as áreas urbanas das RMRJ e RMSP referentes aos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2018 são representados nas Figuras 10.3 e 10.4. Com base nesses mapas, é possível observar a grande mancha urbana conurbada das RMs consideradas e qual o padrão predominante *a priori* de expansão urbana. Além disso, também é possível observar em quais momentos a expansão urbana se fez mais ou menos significativa.

Tanto na RMRJ (Figura 10.3) quanto na RMSP (Figura 10.4), é possível observar que se trata de duas grandes manchas urbanas, resultado do processo de conurbação entre os municípios que a compõem, extremamente consolidadas desde 1985. O que se detecta, a partir desse ano, são adições urbanas periféricas, com base nas franjas das respectivas manchas urbanas.

Esse padrão de crescimento urbano seria *a priori* o padrão de extensão, como identificado em Gonçalves *et al.* (2019), que analisam os padrões de expansão urbana para duas cidades amazônicas, Sinop e Itaituba, pelo *software Urban Analysis*[®]. Além do padrão de extensão (novos desenvolvimentos de áreas externas e contíguas à mancha urbana principal), as autoras identificaram a ocorrência de outros dois padrões, como o padrão de preenchimento (quando ocorre o surgimento de novas áreas urbanas inseridas em áreas já urbanizadas) e o *leapfrog* (que se configura como o surgimento de novas áreas urbanas, de forma não contígua à mancha urbana principal). Gonçalves *et al.* (2019) observam, portanto, que o padrão de crescimento predominante das manchas urbanas de Sinop e de Itaituba foi o de extensão, semelhante ao identificado *a priori* tanto na RMRJ quanto na RMSP. Ou seja, um crescimento que se dá pela franja da mancha principal.

Figura 10.3 – Mapa de expansão da área urbana da RMRJ ao longo de 34 anos.

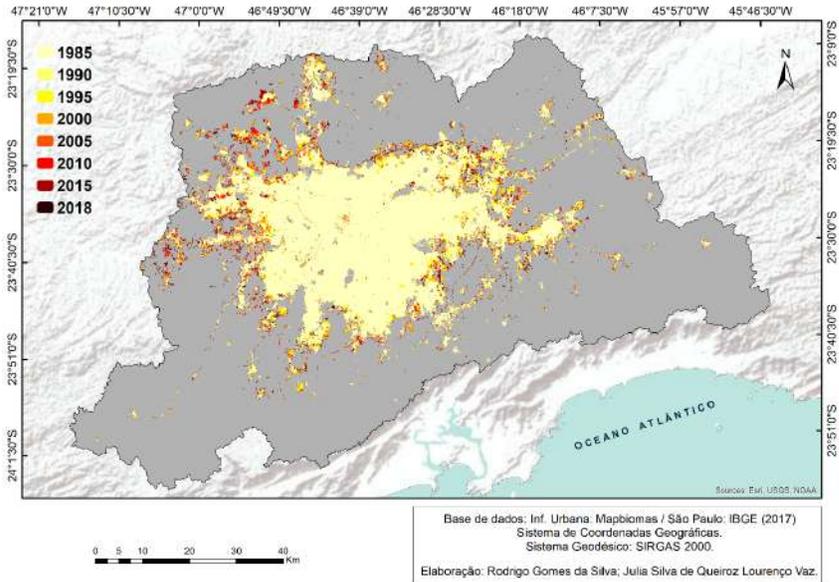


Fonte: os autores. Dados do MapBiomas® e do IBGE (2017).

Ademais, também é possível visualizar, nas duas RMs, uma expansão de área urbana mais dispersa, que não se dá pela franja e não se conecta com a mancha principal, o que Gonçalves *et al.* (2019) classificam como *leapfrog*.

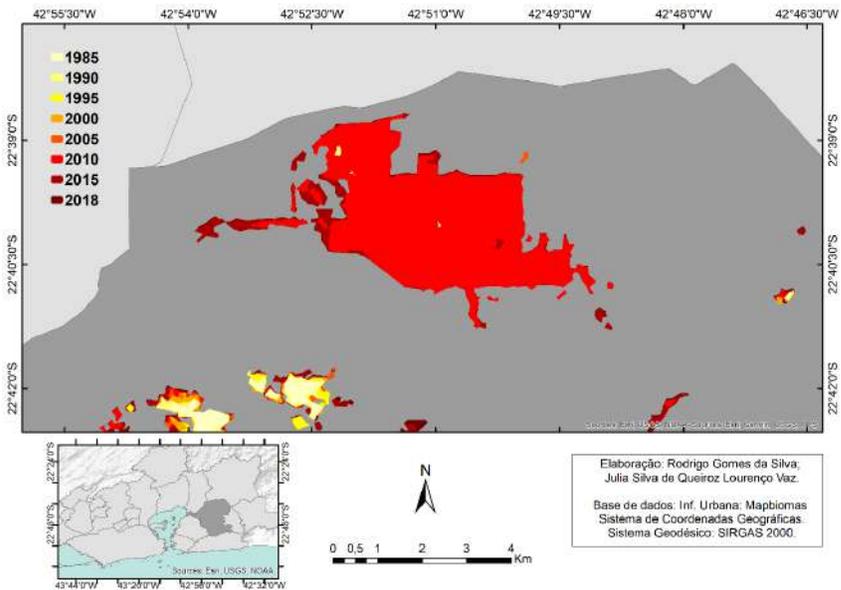
Na RMRJ, o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj) pode ser citado como um exemplo desse padrão, onde, em 2010, pode-se observar o surgimento de uma grande área urbana inserida em um entorno de matriz não urbanizada no município de Itaboraí, RJ (Figura 10.5). Esse parque industrial, financiado pela Petrobras, começou a ser construído em 2006, com a previsão da ocupação de 45 milhões de m², alterando não somente as dinâmicas espaciais, mas também o perfil econômico, industrial, ambiental e mesmo populacional da região (DIAS *et al.*, 2013).

Figura 10.4 – Mapa de expansão da área urbana da RMSP ao longo de 34 anos.



Fonte: os autores. Dados do MapBiomias® e do IBGE (2017).

Figura 10.5 – Mapa da região de localização do Comperj, Itaboraí (RJ).



Fonte: os autores. Dados do MapBiomias®.

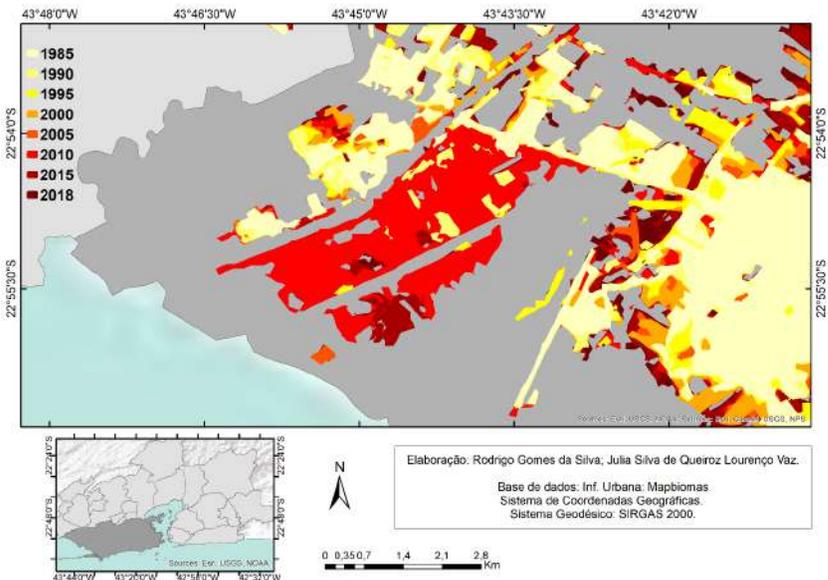
O surgimento de uma outra extensa área urbana é encontrado no município do Rio de Janeiro, onde se consolidou a Companhia Siderúrgica da América do Sul (Figura 10.6). Atualmente com o nome de Ternium Brasil, trata-se de uma das maiores siderúrgicas da América do Sul, que começou a ser construída em 2006 (assim como o Comperj), mas no bairro de Santa Cruz, na capital do RJ, onde ocupa uma área de cerca de 10 milhões de m². De forma semelhante ao que houve com a instalação do Comperj, gerou diversos impactos regionais, sobretudo ambientais e na qualidade de vida dos moradores do entorno da siderúrgica (TAVARES, 2019).

O município de Cajamar, situado na região norte da RMSP, foi palco de uma expansão urbana diferenciada, que se deu mais recentemente, principalmente, na segunda metade da década de 2000 (CAJAMAR, 2021). Observando o mapa da Figura 10.7, é possível identificar uma grande expansão urbana nesse município, entre 2010 e 2015, sobretudo, no distrito de Jordanésia. Isso pode ser justificado pela elevada migração de grandes empresas nacionais e internacionais, focadas no mercado logístico e industrial, tendo a alocação nesse município, especialmente porque ele é cortado pelas rodovias BR-050, SP-354 e SP-348, algumas das principais vias estaduais, fazendo ligação direta com o maior centro financeiro não só do estado de São Paulo, mas do Brasil. Dessa forma, essas grandes obras para construção de grandes galpões e centros de produção (tais como Marabraz, Semp Toshiba e Amazon) aumentaram significativamente a área urbana do município.

As grandes rodovias podem ser destacadas pelo seu papel fundamental nos caminhos preferenciais da urbanização. Em alguns casos, o entorno das rodovias aparece como sendo o núcleo de maior adensamento urbano de uma cidade ou, até mesmo, a única porção de um território onde é possível identificar a presença de mancha urbana.

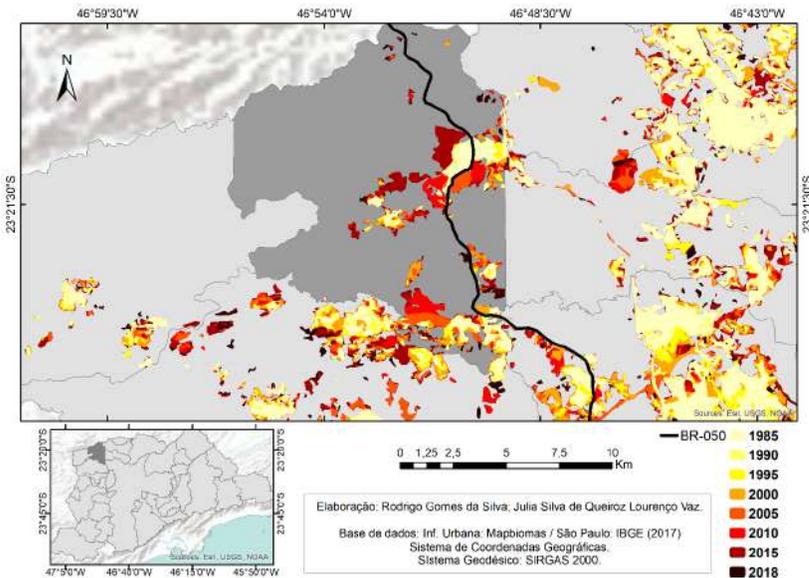
A ampliação da área urbana e o aumento populacional estão, na maioria das vezes, muito conectados, uma vez que o crescimento de um pode condicionar o aumento do outro. Segundo o Ipea, em 2010, a população do município do Rio de Janeiro representava 53% de toda população da RMRJ. O mesmo estudo também revelou em 2010 que o município de São Paulo abrigava 57% de toda população da RMSP.

Figura 10.6 – Mapa da região de localização da Ternium Brasil, Rio de Janeiro (RJ).



Fonte: os autores. Dados do MapBiomias®.

Figura 10.7 – Município de Cajamar (SP) e sua expansão urbana.

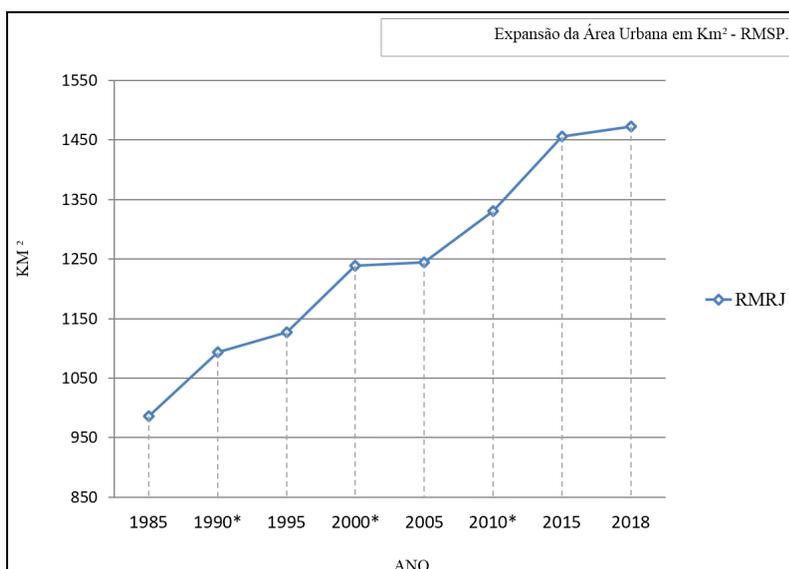


Fonte: os autores. Dados do MapBiomias® e do IBGE (2017).

Nesse sentido, para que fosse possível observar o comportamento desses aspectos, foram elaborados gráficos de expansão de área urbana e crescimento da população absolutos, tanto para a RMRJ (Figuras 10.8 e 10.9) quanto para a RMSP (Figuras 10.10 e 10.11). E ainda gráficos de taxa média de crescimento, por intervalos de cinco anos (Figuras 10.12 e 10.13), para análise do ritmo de expansão urbana. Nas Figuras 10.8 e 10.9, é possível observar que houve um aumento contínuo tanto da população absoluta quanto da área urbana. Entretanto, apesar de sempre crescente, alguns intervalos se destacam por apresentarem um crescimento mais acelerado.

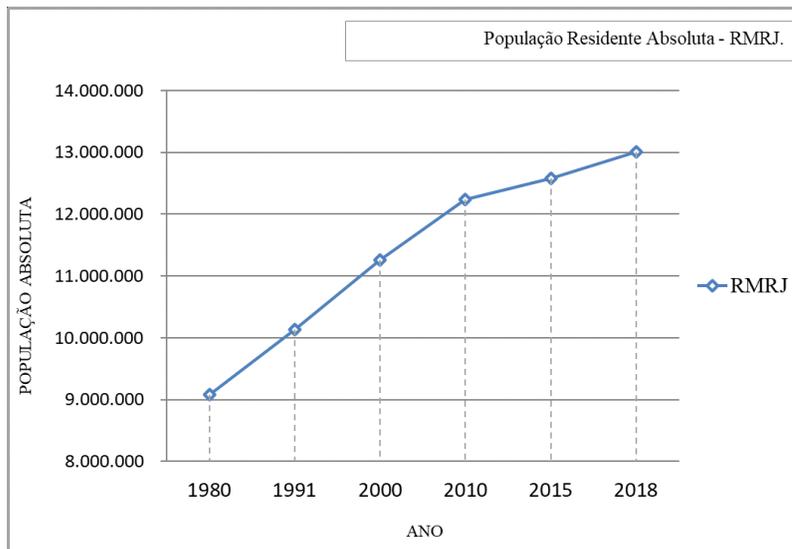
Na RMRJ, entre os anos de 1990/1991 e 2000, ocorreu um significativo aumento de área urbana, representando mais de 145 km². Já o aumento da população foi de mais de 1,1 milhão de pessoas. Grandes empreendimentos já citados, como o Comperj e a Ternium Brasil, alteraram a mancha urbana dessa RM, em um curto intervalo de tempo, como mostra a Figuras 10.8. Além de ampliarem a área urbana, essas grandes construções, nos dois casos, geraram milhares de empregos, tanto na construção como para atuação profissional nessas empresas, atraindo trabalhadores de todo o estado do Rio de Janeiro. Nesse sentido, também ocorre uma contribuição dessas construções para o crescimento populacional da RM, que, entre 2000 e 2010, apresentou um aumento significativo, conforme a análise do gráfico na Figura 10.9.

Figura 10.8 – Expansão da área urbana em km² na RMRJ.



Fonte: os autores. Dados do MapBiomass[®].

Figura 10.9 – População residente absoluta na RMRJ.



Fonte: os autores Dados do IBGE, Censos Demográficos de 1991, 2000 e 2010; e Estimativa da População 2018.

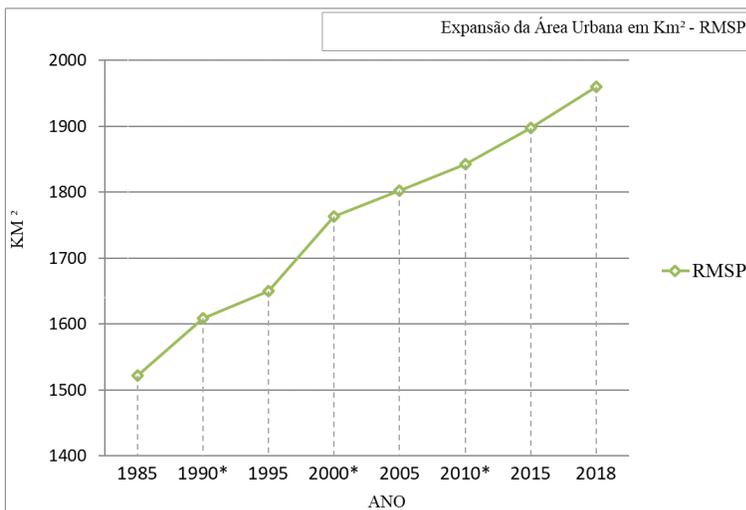
A seguir, para a RMSP, observa-se um aumento de área urbana (Figura 10.10), significativo em todos os anos, ao analisarmos os dados absolutos. Isso pode ser apontado com base no fato de não serem observados patamares (“degraus”) nos gráficos, como é observado na RMRJ (Figuras 10.8 e 10.9). Enquanto para a RMRJ, de 2000 para 2005, o aumento de área urbana foi pouco significativo (sendo representado por um pequeno platô), na RMSP isso não é observado no gráfico. Com relação aos dados absolutos de população, as duas RMs apresentam um comportamento muito semelhante, com a RMSP começando a apresentar aparente tendência de queda, a partir de 2015 (Figura 10.11). A RMRJ não apresenta tal comportamento, mostrando uma aparente tendência de crescimento constante ao longo dos anos (Figura 10.9).

As Figuras 10.12 e 10.13 apresentam as taxas de crescimento médio, em intervalos, para a expansão urbana e para o crescimento populacional de ambas RMs, respectivamente. No caso da expansão urbana (Figura 10.12), desde o primeiro intervalo (1985-1990), as duas RMs têm um ritmo de crescimento semelhante.

Esse ritmo fica ainda mais próximo em 1995-2000, quando as duas RMs têm crescimento quase equivalente, com aumento de pouco mais de 22 km² ao ano. Entre 2000 e 2005, observa-se uma desaceleração do

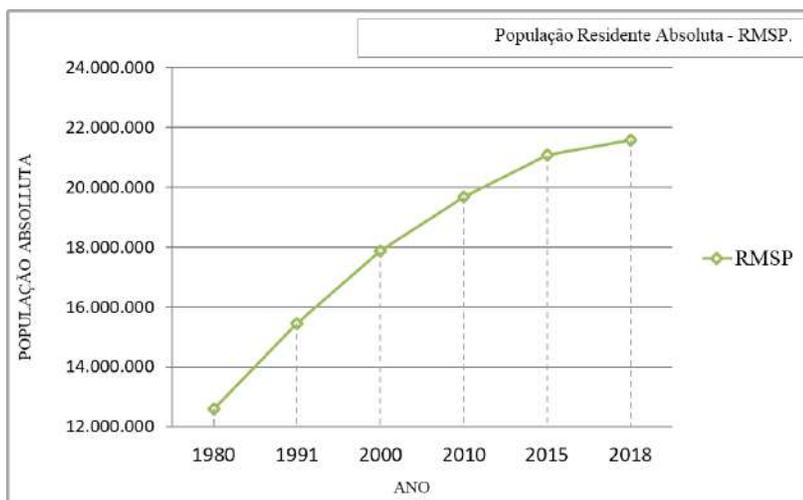
ritmo de expansão urbana da RMRJ. Porém, é no intervalo 2005-2010 que as taxas de expansão entre as duas RMs se distanciam, culminando em uma inversão total da tendência no período entre 2010-2015.

Figura 10.10 – Expansão da área urbana em km² na RMSP.



Fonte: os autores. Dados do *MapBiomias*®.

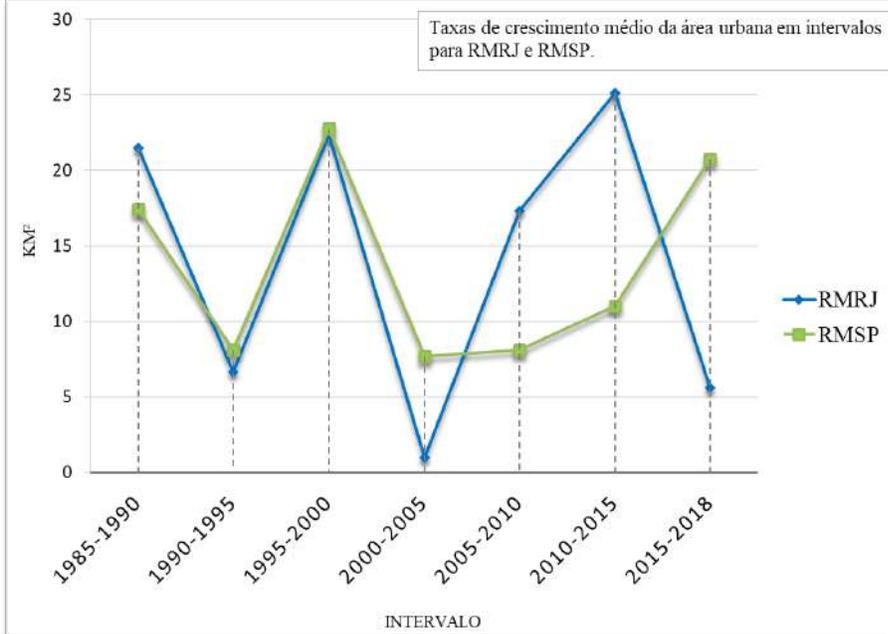
Figura 10.11 – População residente absoluta na RMSP .



Fonte: os autores. Dados do IBGE, Censos Demográficos de 1991, 2000 e 2010; e Estimativa da População 2018.

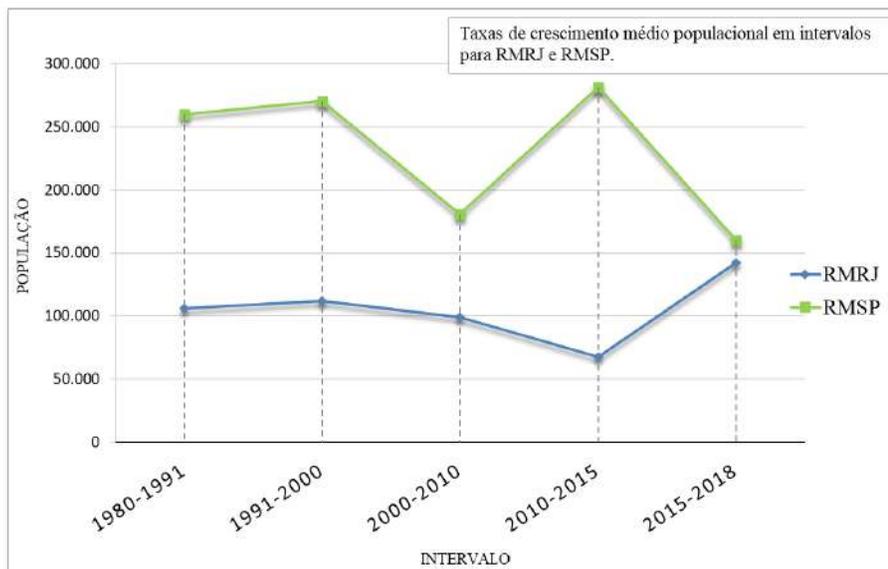
O período de maior crescimento da RMRJ, 2005-2010, foi justamente quando se iniciaram as obras do Comperj e da Ternium Brasil. Portanto, tais construções funcionaram como impulsionadores do aumento expressivo da média de crescimento da mancha urbana. A Figura 10.12 apresenta o gráfico da taxa média anual de crescimento populacional, e percebe-se que a evolução desta, para as duas RMs, foi distinta em todo o período, com a RMSP apresentando taxas intensamente superiores às da RMRJ. No entanto, a partir de 2010, observa-se uma tendência de queda da taxa da RMRJ e de aumento da taxa da RMSP. Entre 2010 e 2015, observa-se a maior taxa de crescimento populacional da RMSP e a menor da RMRJ. Finalmente, entre 2015 e 2018, as taxas de ambas RMs aproximam-se significativamente, estando a RMRJ em tendência de aumento; e RMSP, de queda.

Figura 10.12 – Taxas de crescimento médio da área urbana, em intervalos, para RMRJ e RMSP.



Fonte: os autores. Dados do MapBiomias®.

Figura 10.13 – Taxa de crescimento médio populacional, em intervalos, para RMRJ e RMSP.



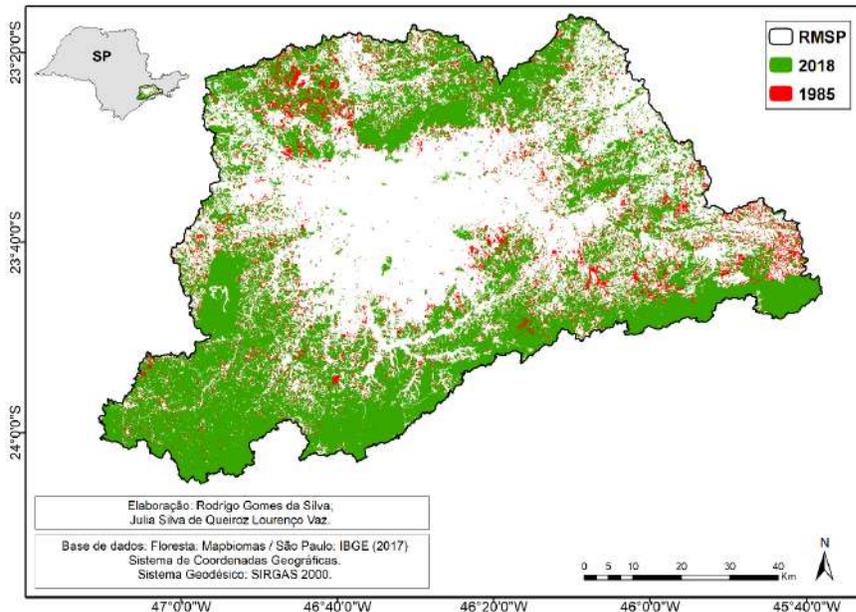
Fonte: os autores. Dados do IBGE, Censos Demográficos de 1991, 2000 e 2010; e Estimativa da População 2018.

Dinâmica de áreas florestadas das regiões metropolitanas

A dinâmica espaçotemporal das áreas florestadas nas Regiões Metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro são mostradas nas Figuras 10.14 e 10.15. Além da produção desses mapas, que consiste na sobreposição de manchas de diferentes anos, foi feito um cálculo simples, que expressa a perda ou o ganho global de áreas florestadas nas RMs, durante o período de análise (1985 a 2018). No caso da RMSP, identificou-se uma perda global de 4,85% de área florestada, enquanto que na RMRJ houve um ganho global de 5,3% no período considerado.

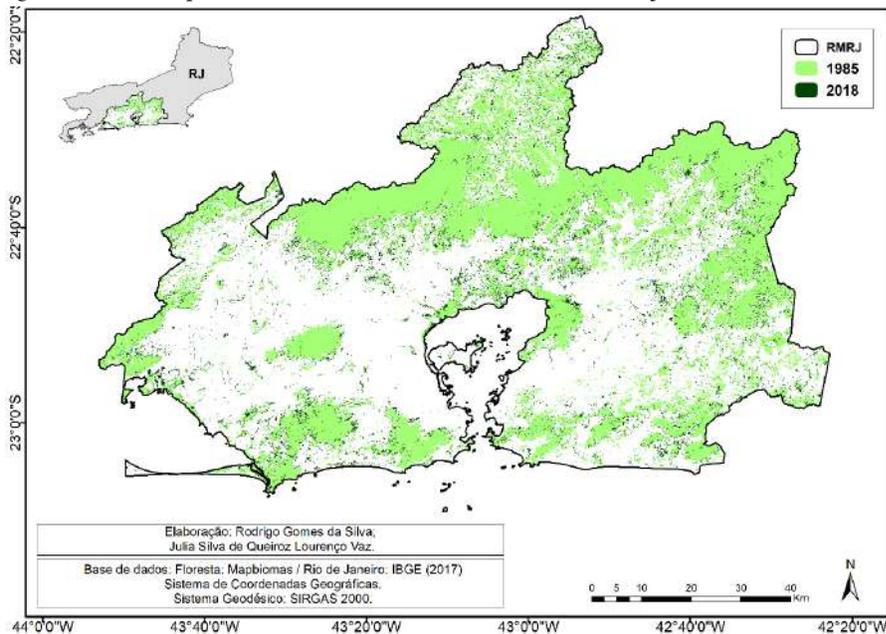
Ao analisar a Figura 10.14, que dispõe o mapa de dinâmica florestal urbana da RMSP, observam-se intensas perdas, que se apresentam de forma extensa e concentrada, sobretudo nas subregiões norte e leste (indicadas pela cor vermelha no mapa). Além disso, também vale destacar que, nessa RM, observam-se importantes perdas no interior dos fragmentos. Ou seja, grandes áreas que foram desflorestadas, inseridas em um entorno, majoritariamente, florestado. Por outro lado, o que se observa na Figura 10.15 (que representa a dinâmica florestal urbana da RMRJ) é um ganho de áreas florestadas mais pulverizado e bem distribuído ao longo da região (representado na cor verde escura no mapa).

Figura 10.14 – Mapa da dinâmica das florestas urbanas na RMSP.



Fonte: os autores. Dados do MapBiomas® e do IBGE (2017).

Figura 10.15 – Mapa da dinâmica das florestas urbanas na RMRJ.

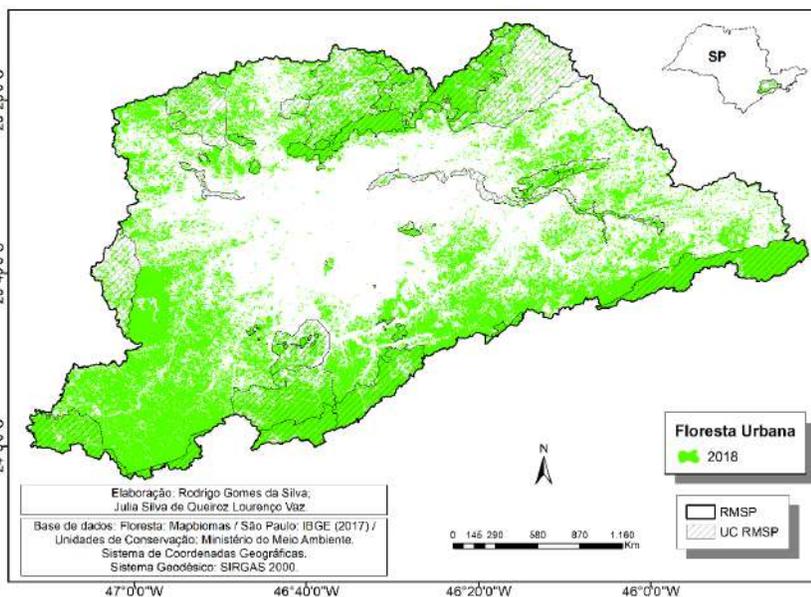


Fonte: os autores. Dados do MapBiomas® e do IBGE (2017).

Pelas Figuras 10.16 e 10.17, dispostas a seguir, é possível observar a distribuição de florestas no ano de 2018, associada às Unidades de Conservação (UC) presentes em ambas as RM. Pode-se identificar *a priori* que os fragmentos de florestas mais extensos e íntegros estão inseridos em UCs. Nesse sentido, para que fosse possível mensurar a relevância e eficiência das UCs, para cada RM, foi calculada a porcentagem de floresta que está inserida em UCs: 50,95% e 37,45%, para a RMRJ e RMS, respectivamente. Assim, reforça-se o papel fundamental desenvolvido por essas UCs na existência e preservação das florestas inseridas nas RMs em análise.

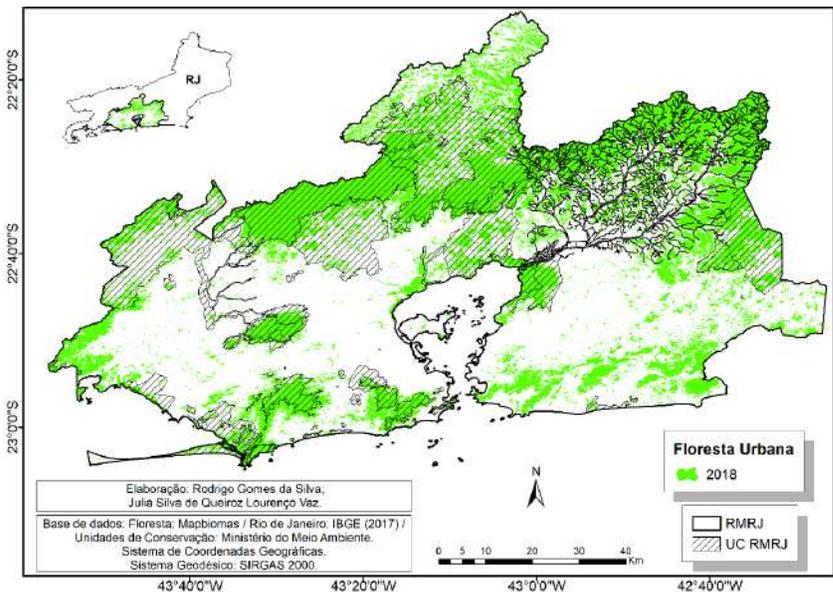
O resultado do Índice Espacial de Floresta Urbana (IEFU), proposto por Grise, Biondi e Araki (2018), pode ser observado na Figura 10.18, sendo aplicado ao limite total das RMs e a suas respectivas cidades-sede. Destaca-se que a RMRJ apresenta índices mais elevados nos dois casos, com 45,77 m²/hab. para a cidade do Rio de Janeiro e 215,22 m²/hab. para toda a RMRJ. Por outro lado, a cidade de São Paulo apresentou um índice de 34,36 m²/hab., enquanto que toda a RMS, índice de 162,21 m²/hab.

Figura 10.16 – Mapa de unidades de conservação e floresta urbana na RMS.



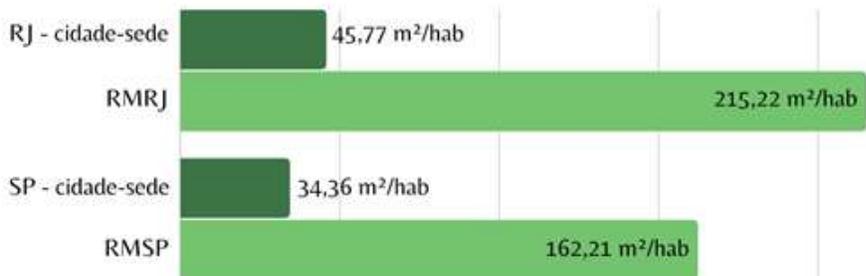
Fonte: os autores. Dados do MapBiomass®, do IBGE (2017) e do MMA (2020).

Figura 10.17 – Mapa de unidades de conservação e floresta urbana na RMRJ.



Fonte: os autores. Dados do MapBiomas®, do IBGE (2017) e do MMA (2020).

Figura 10.18 – Índice Espacial de Florestas Urbanas aplicado às RMRJ e RMSP e a suas respectivas cidades-sede.



Fonte: os autores. Dados do MapBiomas® e do IBGE.

O índice foi calculado também para cada uma das cidades que compõem ambas as RMs, destacando-se os três maiores e três menores índices municipais (Figura 10.19). Nesse sentido, observa-se que, apesar de a RMRJ possuir maior índice global superior (bem como de sua cidade-sede), a RMSP possui a cidade com

maior índice (município de Jujutiba), com seus 14.831,35 m² de floresta por habitante da cidade. A RMSP também apresentou o menor índice para a cidade de São Caetano do Sul, que, de acordo com os dados do *Mapbiomas*[®], não possui áreas de floresta em seus limites territoriais. Além disso, cabe destacar, na RMRJ e na RMSP, a grande amplitude existente entre os índices (de 0,01 a pouco menos de 10 mil, na RMRJ; e de 0 a pouco menos de 15 mil, na RMSP). Isso mostra as diferentes realidades de paisagens observadas dentro das duas maiores e mais influentes RMs do país.

Figura 10.19 – Índice espacial aplicado às cidades que compõem as duas RMs.

RMRJ	RMSP
3 MAIORES ÍNDICES MUNICIPAIS (M²)/HAB	3 MAIORES ÍNDICES MUNICIPAIS (M²)/HAB
CACHOEIRAS DE MACACU - 9.929,58	JUQUITIBA - 14.831,35
GUAPIMIRIM - 2.885,88	SALESÓPOLIS - 11.292,90
RIO BONITO - 2.527,34	SÃO LOURENÇO DA SERRA - 9.908,92
3 MENORES ÍNDICES MUNICIPAIS (M²)/HAB	3 MENORES ÍNDICES MUNICIPAIS (M²)/HAB
SÃO JOÃO DE MERITI - 0,01	SÃO CAETANO DO SUL - 0,00
NILÓPOLIS - 1,05	CARAPICUÍBA - 5,11
BELFORD ROXO - 5,34	DIADEMA - 5,14

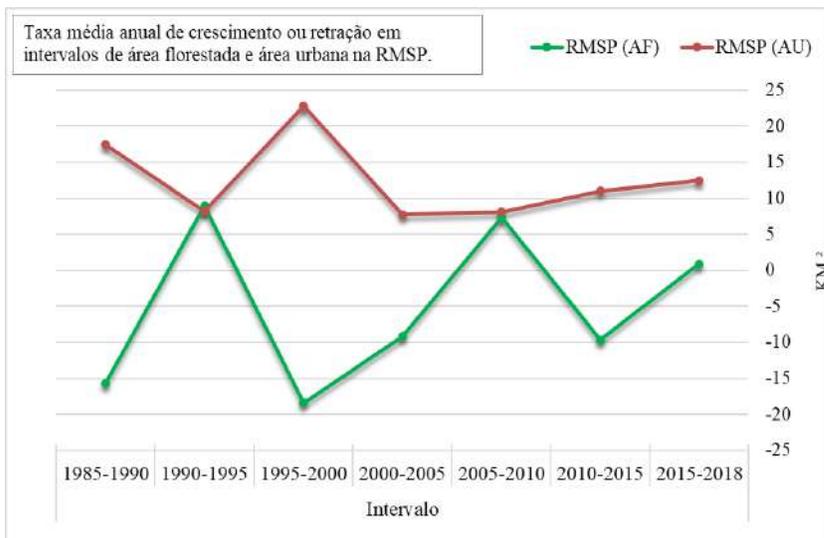
Fonte: os autores. Dados do *MapBiomas*[®] e do IBGE.

Os gráficos a seguir (Figuras 10.20 e 10.21) expressam a taxa média anual de crescimento (quando apresenta valores maiores que 0) ou retração (quando apresenta valores menores que 0) de área urbana e florestal para a RMSP e a RMRJ. Os dados de área urbana são fruto de um estudo prévio desenvolvido por Silva *et al.* (2019) sobre a dinâmica da expansão urbana para as mesmas RMs.

O comportamento inverso entre as duas variáveis é passível de ser observado nos dois casos. Na RMSP (Figura 10.20), a inversão entre a dinâmica de floresta e a área urbana estabelece-se já no primeiro intervalo e, com exceção do quarto e do sétimo intervalos, é observada ao longo de todo o período da análise comparativa. Um comportamento semelhante observa-se na RMRJ (Figura 10.21), que também se comporta de forma majoritariamente inversa, com apenas dois intervalos que não seguem esse padrão, assim como na RMSP. O desempenho oposto que existe em

quase todos os intervalos sugere que boa parte das perdas florestais está ligada ao surgimento de novas áreas urbanas. No entanto, isso não pode ser afirmado, tendo em vista, a necessidade de estudos que detalhem melhor para quais áreas a expansão urbana se direciona e avança.

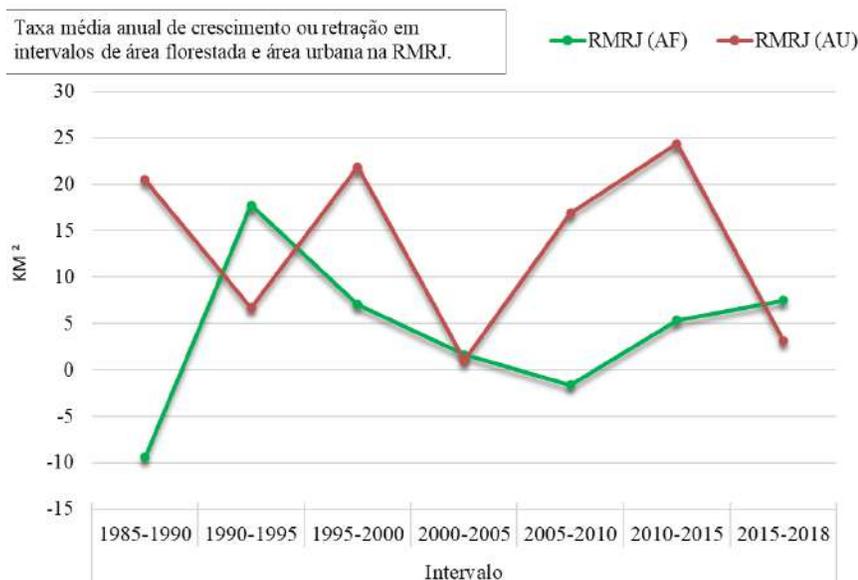
Figura 10.20 – Taxa média anual de crescimento ou retração, em intervalos, de área florestada e área urbana na RMSP.



Fonte: os autores. Dados do *MapBiomass*® e do IBGE.

Cabe destacar a sintonia existente entre o observado nos gráficos e as perdas e ganhos globais de floresta, calculados para ambas as RMs. A RMSP, que apresentou uma perda global ao longo dos 34 anos de análise, apresenta retração florestal em quase todos os intervalos de análise. Por outro lado, a RMRJ, que apresentou ganho global de áreas de floresta, mostra ganho florestal nos intervalos considerados.

Figura 10.21 – Taxa média anual de crescimento ou retração em intervalos de área florestada e área urbana na RMRJ.



Fonte: os autores. Dados do *MapBiomias*[®] e do IBGE.

10.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na análise da dinâmica socioespacial da RMRJ e da RMSP, foi possível detectar, dentre as duas, similaridades e diferenças na sua trajetória no que diz respeito ao crescimento populacional e à expansão urbana, absolutos e relativos. Esses dois tipos de informação são capazes de revelar diferentes fenômenos socioespaciais, já que as taxas mostram a velocidade com a qual a variável se comporta no espaço. Foi possível perceber que a RMRJ e a RMSP possuem uma trajetória semelhante em muitos períodos, ao longo dos 34 anos de análise (e desde 1985); e praticamente inversas em outros. Pode-se também associar taxas de expansão urbana e de crescimento populacional com grandes empreendimentos, que teriam atraído pessoas e, portanto, contribuído para um crescimento maior de determinados municípios.

Além dessa análise, também foi possível identificar particularidades, semelhanças e padrões encontrados no que se refere à dinâmica interna das florestas, ao longo do mesmo período, a fim de permitir as comparações

realizadas. Nesse sentido, destaca-se *a priori* a grande relevância das UCs que se situam nessas RMs, as quais são responsáveis por abrigar grande parte (ou a maioria) das florestas existentes, como ocorre no caso da RMRJ. Outrossim, o comportamento, majoritariamente inverso das porções florestais e manchas urbanas também merece atenção, pois tal comportamento, que se repete nas duas RMs, sugere um elevado grau de interdependência na dinâmica de perdas e de ganhos entre as coberturas supracitadas.

Nesse contexto, fica evidente a total apropriação de uma cartografia digital dos fenômenos dinâmicos no fator tempo. A cartografia digital dos fenômenos dinâmicos, aliada ao *Big EO Data* e ao avanço tecnológico, permite que análises como as realizadas acima sejam viáveis e possam contribuir enormemente para a tomada de decisão, por parte dos poderes públicos e da iniciativa privada. A identificação de padrões e a resposta para a pergunta fundamental da Geografia, “o porquê do onde”, levam à revelação diferenciada dos mais variados fenômenos, tais como o comportamento de doenças (como a COVID-19, causada pelo novo coronavírus), eventos de queimada, desmatamento e mudanças no uso e cobertura da terra em geral. O Projeto *MapBiomass*[®] é uma grande fonte de geoinformação, tendo sido o principal responsável por viabilizar as análises realizadas neste capítulo, em associação com outras fontes, como dados censitários e unidades de conservação ambiental; todos fundamentais para dar resposta a tantas perguntas feitas ao longo do desenvolvimento e realização da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, L. E. V. de; SILVEIRA, P. R. de S.; VALE, H. S. M.; SILVA, P. C. M. da. Índice de área verde e de cobertura vegetal no perímetro urbano central do município de Mossoró-RN. *Revista Verde*, Pombal, PB, v. 8, n. 2, p. 13-17, 2013.

ÁVILA, M. R. de; PANCHER, A. M. Estudo das áreas verdes urbanas como indicador de qualidade ambiental no município de Americana - SP. *Revista Brasileira de Cartografia*, Uâberlândia, MG, v. 67, n. 3, jul. 2015.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil (D.O.U.)*, Brasília, DF, 1988.

CAJAMAR. Câmara Municipal de Cajamar. História. Disponível em: <https://www.cmdc.sp.gov.br/historia>. Acesso em: 1 ago. 2020.

CAVALHEIRO, F.; DEL PICCHIA, P. C. D. Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 4, 1992, Vitória. *Anais [...]*. Vitória, PMV, 1992. p. 29-38.

DIAS, A. P.; SOUZA, A. A.; MAIA, A. B.; BERZINS, F. A. J. Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj): impactos socioambientais, violação de direitos e conflitos na Baía de Guanabara. *Revista Ética e Filosofia Política*, São Paulo, SP, v. 1, n. 16, 2013.

FALCÓN, A. *Espacios verdes para una ciudad sostenible: planificación, proyecto, mantenimiento y gestión*. Barcelona: ed. Gustavo Gilli, 2007.

FREITAS, R. Regiões metropolitanas: uma abordagem conceitual. *Humanae*, Recife, PE, v. 1, n. 3, p. 44-53, 2009.

GLOBAL LOGISTIC PROPERTIES (GLP). Busca por galpões mantém ritmo de expansão em SP. *GLP*, 3 set. 2019. Disponível em: <https://www.glprop.com.br/noticia/busca-por-galpoes-mantem-ritmo-de-expansao-em-sp>. Acesso em: 1 ago. 2020.

GONÇALVES, G. C.; AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S. Caracterização da expansão urbana e seus padrões em duas cidades amazônicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos, *Anais [...]*, Santos, Galoá, 2019.

GRISE, M. M.; BIONDI, D.; ARAKI, H. Índices espaciais da floresta urbana de Curitiba-PR. *Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, Curitiba, v. 13, n. 4, p. 1-14, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo agropecuário, florestal e aquícola*. 2017. Disponível em: <http://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>. Acesso em: 1 ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Estatísticas - cidades e estados*. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html>. Acesso em: 1 ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Regiões de influência das cidades 2018*. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15798-regioes-de-influencia-das-cidades.html>. Acesso em: 1 ago. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS (IPEA). *Atlas do desenvolvimento humano nas regiões metropolitanas brasileiras*. Disponível em: <https://>

www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&id=24037. Acesso em: 1 ago. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS (IPEA). *Projeto de governança metropolitana no Brasil*. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/redei-ipea/images/pdfs/governanca_metropolitana/projeto_governanca_oficina1_rj.pdf. Acesso em: 1 ago. 2020.

PROJETO MAPBIOMAS BRASIL (MAPBIOMAS). *Coleções da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. 2019. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 1 ago. 2020.

ROSA, M.; SHIMBO, J. Z.; AZEVEDO, T. Mapbiomas: mapeando as transformações do território brasileiro nas últimas três décadas. In: SIMPÓSIO DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA, RAD, 8., São Paulo, 2019. *Anais [...]*. Editora UFV, São Paulo, SP, 2019.

SCHNEIDER, M. *Câmara Municipal de Cajamar: trajetórias e lutas*. São Paulo: Porto de Ideias, 2006.

SILVA, R. G.; LOURENÇO, J. S. Q.; CRUZ, C. B. M. Uma análise comparativa das dinâmicas sócio espaciais das regiões metropolitanas de Rio de Janeiro e São Paulo nos últimos 34 anos com suporte do geoprocessamento. In: JGEOTEC, 5., 9 a 12 nov. 2020, Rio de Janeiro. *Anais [...]*. Geopartners, Niterói, 2020.

SPOSITO, M. E. B. Os embates entre as questões ambientais e sociais no urbano. In: CARLOS, A. F.; LEMOS, A. I. G. (org.). *Dilemas urbanos: novas abordagens sobre a cidade*. São Paulo: Contexto, 2003.

TAVARES, T. R. R. Atividade siderúrgica e sofrimento ambiental: rompimento do metabolismo socioecológico pela Companhia Siderúrgica do Atlântico/Ternium em Santa Cruz (Rio de Janeiro) e suas consequências sociais. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPEGE - ENANPEGE, 13., São Paulo, *Anais [...]*, [s.n], 2019.

VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. de; FERREIRA, K. R.; CAMARA, G. Web services for big Earth Observation data. *Revista Brasileira de Cartografia*, Uberlândia, MG, v. 69, n. 5, 2017.

MODELAGEM DINÂMICA DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO: PERSPECTIVAS FUTURAS

Vandré Soares Viégas

Carla Bernadete Madureira Cruz

Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza

11.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

As reflexões sobre dinâmicas do espaço e do tempo encontram-se presentes em diferentes momentos da Ciência. Da ciência clássica à moderna, cientistas de diferentes épocas têm se debruçado sobre questões complexas acerca da relação entre temporalidade e espacialidade. Ainda que os diferentes campos científicos forneçam pontos de vista distintos sobre um mesmo fenômeno, a questão da percepção de manifestações dinâmicas tem ganhado destaque na análise ambiental, também por sua característica preditiva.

As estruturas e os padrões espaciais são considerados como manifestações espaciais/temporais de processos que ocorrem em diferentes planos de escala (FORMAN, 1995). Esses processos e estruturas, que incluem fluxos de matéria e energia, encontram-se numa dinâmica que alterna causa e efeito, o que significa dizer que os processos que ocorrem na paisagem geram padrões e estruturas que, unificadamente, são influenciados e guiados por estruturas espaciais dominantes (LANG; BLASCHE, 2009). As estruturas da paisagem só podem ser compreendidas pela percepção de como foram sua formação e posteriores alterações pelo homem. A influência humana e sua manifestação espacial sobre a paisagem são retratadas pelas especificidades do uso do solo, variando a complexidade da expressão humana no espaço.

As cidades são bons exemplos de sistemas complexos. Por uma ótica sistêmica, sistemas complexos são aqueles que evoluem dinamicamente,

de maneira interligada, com fatores subjacentes que influenciam e são influenciados, tanto em termos espaciais quanto temporais, constituindo-se em sistemas adaptativos, que “aprendem” com os eventos passados e se retroalimentam (CARVALHO, 2019). O desenvolvimento urbano trouxe mudanças sociais, econômicas e tecnológicas, principalmente, nos países em desenvolvimento, onde cidades se espalham a taxas elevadas e as áreas metropolitanas estão emergindo. Em grande parte, a expansão urbana nos países em desenvolvimento amplia-se nas áreas periféricas, sem necessariamente aumentar a infraestrutura local, com diversas consequências negativas para o desenvolvimento urbano, muito por conta das relações de proximidade e redes urbanas envolvidas.

A pesquisa sobre os mecanismos de expansão urbana e detalhamento da paisagem está cada vez mais em voga nas ciências ambientais e sociais. Muito por conta do avanço tecnológico e computacional, tem surgido um campo de estudos comumente conhecido como informática urbana. A informática urbana é uma abordagem interdisciplinar para compreender, gerenciar e projetar a cidade usando teorias e métodos sistemáticos baseados em novas tecnologias de informação (GOODCHILD *et al.*, 2021). Tal abordagem utiliza modelos espaciais computacionais, mineração de dados (*data mining*), inteligência artificial (*artificial intelligence*) e aprendizagem profunda (*deep learning*), modelagem baseada em agentes, microsimulação, modelagem de autômatos celulares, para gerar respostas rápidas, em face de uma dinâmica de mudanças que tem sido cada vez mais intensa.

Um dos pontos mais interessantes na informática urbana é que a abordagem não se restringe a cidades. É, acima de tudo, uma metodologia capaz de identificar mudanças nas paisagens, segundo diferentes escalas de espaço e de tempo. Nesse contexto, o sensoriamento remoto tem sido uma importante ferramenta capaz de fornecer dados multitemporais, valendo-se de múltiplos registros de um determinado fenômeno terrestre, obtidos por meio do espaço (resolução espacial) e do tempo (resolução temporal), os quais podem ser úteis na identificação de fenômenos não fixos, de modo que se torna possível traçar previsões.

Ainda que as modelagens computacionais dinâmicas, ou seja, modelos que são modificados pela inserção ou retirada de variáveis durante um certo intervalo de tempo, tenham se focado em áreas urbanas, são diversas as áreas que podem ser beneficiadas com essa abordagem. Previsão e detecção do desmatamento, cenários de safras e colheitas, previsões ambientais

são algumas das áreas beneficiadas. Entre as abordagens mais comuns, tem se dado um grande destaque à automatização celular, para geração de cenários e elucidação de variáveis, que afetam o *feedback* de um sistema. Embora os autômatos celulares fossem utilizados por matemáticos, áreas como a Biologia, a Química e a Geografia têm utilizado esse método para construir modelos científicos operacionais que buscam compreender o estado evolutivo de um sistema, seja este um composto químico reagente à água, seja uma doença infecciosa ou um sistema urbano.

O grande desafio geográfico é aliar o conceito matemático aplicado às grandes redes, que se interligam no espaço. Rodovias, hidrografia, relevo, atratividade de núcleos urbanos são alguns dos fatores responsáveis pela modificação da paisagem e que, costumeiramente, não são analisados em conjunto, quando se trata de grandes áreas. A automatização celular tem ganhado espaço pela fácil integração com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), capacidade de lidar com grandes áreas e com tempo de processamento reduzido. Sua utilização, em conjunto com variáveis explicativas, permite compreender as razões da disposição espacial dos objetos que poderiam *a priori* parecer aleatoriamente organizados. Com base em recursos probabilísticos em conjunto, é possível traçar previsões do tipo “E se?” Ou seja, o que aconteceria se uma atividade poluidora se concentrasse próximo a uma unidade de conservação? Como seria o crescimento urbano ou o desmatamento, se os atuais padrões se mantivessem? E, se forem alterados, quais seriam as variáveis que favoreceriam a pressão sobre áreas naturais? Essas são algumas questões a que a abordagem dinâmica por autômatos celulares pode responder.

A construção de modelos dinâmicos

Atualmente, as análises ambientais têm contado com modos eficientes para monitorar mudanças no uso da terra, por meio do sensoriamento remoto orbital. Para citar um exemplo, a capacidade de monitorar perdas florestais na Amazônia atualmente é a maior já vista em qualquer outro momento da história, um grande feito decorrente da percepção de mudanças no espaço e no tempo, segundo trajetórias evolutivas. Entre diversas possibilidades de avaliação prévia de efeitos das alterações em determinados usos da terra, os SIGs, em consonância com técnicas específicas, têm permitido a construção de metodologias capazes de modelar cenários e projetar mudanças, antes que ocorram.

Imaginemos uma cidade fictícia que possui diferentes usos de terra (como o agrícola), presença de vegetação intraurbana, indústrias, escolas, comércio. Essa cidade consiste em um conjunto de usos da terra, que influenciam e são influenciados pelo espaço ao seu redor, segundo diferentes divisões de usos. Se dividirmos essa cidade fictícia em parcelas de uso de terra, obteremos um conjunto possível de probabilidades para o estado de cada parcela: urbano ou não urbano.

Com o tempo, cada uma dessas parcelas poderá alterar seu estado, transformando-se de não urbano para urbano, por exemplo, ou simplesmente não vai se alterar, mantendo a configuração espacial. É intuitivo considerar que o estado de uma parcela próxima vai interferir de maneira mais intensa na probabilidade de mudanças, se comparado a parcelas ou condições mais distantes. É o mesmo que dizer que, em um terreno abandonado ao lado da sua casa, em uma grande cidade, há maior probabilidade de ocorrer uma construção do que em uma área agrícola completamente distante dos grandes centros e circundada com vegetação nativa. Cada um dos usos influencia e é influenciado pela estrutura ao seu redor, sendo submetido a um conjunto de regras de transição, que costumam estar impressas em padrões identificáveis, no decorrer do tempo. Essas regras de transição são capazes de determinar como uma parcela transita de um estado para outro, implicando no processo de desenvolvimento local, sendo expressas por um conjunto de instruções condicionais, do tipo “*Se/Então*” (LIU, 2009).

Os usos de modelos dinâmicos na área urbana não são exclusivos da modernidade e podem ser datados desde 1826. Von Thünen, ainda no século XIX, utilizou-se desses conceitos dinâmicos para a construção de um modelo clássico de produção agrícola que utilizava três fatores distintos e variáveis: i) a distância dos agricultores para o mercado; ii) os preços cobrados pelos agricultores por seus produtos; iii) o aluguel da terra. Com base nas condições econômicas das propriedades e da distribuição agrícola em Mecklenburg (Alemanha), von Thünen construiu a hipótese de que a intensidade de uso da terra era inversamente proporcional à distância do mercado. Muitos modelos de expansão urbana se relacionam com a premissa de von Thünen, como o modelo de Localização Industrial, de Weber (1969), ou a Teoria do Lugar Central, de Walter Christaller (1966).

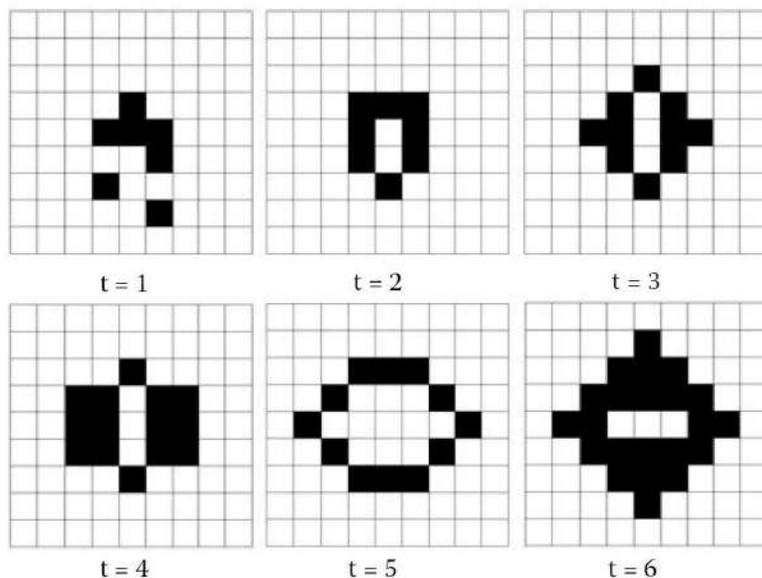
Entretanto, desde o modelo de von Thünen, esse tipo de abordagem enfrenta dificuldades relacionadas ao aspecto temporal. Afinal, com o passar

do tempo, a distância dos agricultores para o mercado pode diminuir; assim como os preços, que impactam no aluguel de terra. Historicamente, a união do fator espacial e temporal, em modelos dinâmicos, foi sendo uma barreira percebida e, felizmente, superada. Os anos 1970 e 1980 verificaram efetivos avanços na representação espacial de modelos urbanos, quando modelos de autômatos celulares (ACs) (*Cellular Automata*) começaram a ser utilizados em larga escala (ALMEIDA, 2003). Modelos celulares (ou um Autômato Celular) representam a superfície terrestre, tais como uma matriz, onde cada célula tem um número de estados possíveis, que mudam ao longo do *tempo*, como resultado da aplicação de regras de transição (LONGLEY *et al.*, 2013).

A aplicação de AC na análise ambiental não nasce necessariamente da ciência geográfica, mas é adaptada e aprimorada por esta. Baseando-se nos primórdios da computação, os autômatos celulares nascem da concepção de cientistas como John von Neumann, que utilizou o primeiro conceito de célula automatizada, em algoritmos que deveriam se autorreproduzir, dentro de um espaço celular. O conceito evoluiu de tal forma que, em 1970, o matemático John Holton Conway criou o “Jogo da Vida” (Figura 11.1), que pode ser compreendido como um autômato celular que simulava alterações do *status* de uma célula, dentro de um espaço composto de uma grade regular bidimensional. O estado de uma célula, entre viva ou morta, dependia do estado imediato de um conjunto de oito células (quatro diagonais e quatro ortogonais). Há três regras de transição, a cada passo, no jogo: a) uma célula morta com exatamente três vizinhas vivas torna-se uma célula viva; b) uma célula viva com duas ou três vizinhas vivas permanece viva; e c) em todos os outros casos, a célula morre ou permanece morta.

A automação celular tem sido utilizada em duas categorias de modelos: dinâmicos e probabilísticos. Liu (2009) define o modelo dinâmico como aquele concentrado em processos e funções, por meio do tempo; e probabilístico, como o que envolve o uso de probabilidades e produz uma gama de resultados possíveis, em vez de uma única previsão.

Figura 11.1 – Uma simulação simples, baseada no “Jogo da Vida” de Conway.



Notas: células pretas estão vivas; células brancas estão mortas; e t = etapa de tempo.

Fonte: adaptada de Liu (2009).

Ainda segundo Liu (2009), os ACs possuem cinco princípios básicos que regem sua aplicação: (a) Célula, unidade espacial básica (no sensoria-mento remoto, pode corresponder ao *pixel*); (b) Estado, define os atributos do sistema (em estudos de mudanças de uso e cobertura do solo, referem-se a classes, tais como urbano, vegetação e corpos hídricos); (c) Vizinhança, conjunto de células que interagem entre si; para tanto, existem dois tipos de vizinhança [a de von Neumann, como um conjunto de quatro células (norte, sul, leste e oeste da célula central); e a de Moore, pelo conjunto de oito células, que, além das direções de von Neumann, inclui nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste]; (d) Regra de Transição, como o estado de uma célula se altera, em resposta ao estado de células vizinhas; e, finalmente, (e) Tempo, que corresponde à dimensão temporal que será analisada e, geralmente, expressa em tempos discretos.

11.2 OBJETIVOS

ACs podem representar sistemas dinâmicos complexos de maneira rápida e simples, portanto têm sido uma ferramenta útil para modelar sistemas

antrópicos e naturais. Ainda que essa abordagem seja mais comum de ser verificada em estudos nos últimos 10 anos, por conta dos avanços dos SIGs e da computação, a modelagem dinâmica e probabilística não trata um tipo específico de estudo, o qual nasceu há pouco tempo. A compreensão de relações espaciais, que nem sempre são visíveis ao olhar do analista, é um ponto de extrema importância para outras áreas, além da urbana, como na análise das trajetórias do desmatamento. Com a união do conceito de AC e os modelos dinâmicos, é possível revelar condições históricas do desmatamento em uma área, pela percepção das pressões locais, ao longo do tempo, de maneira que seja possível compreender quais impactos uma área tem sofrido historicamente; sendo um tipo de projeção probabilística, galgada em preceitos físicos, geográficos e computacionais, afastando-se de abordagens determinísticas.

Ou seja, não se trata somente de “prever” uma ocorrência. Esse tipo de abordagem é útil para compreender mudanças no espaço e no tempo, que contam com causas variáveis e são também adequados para projetar cenários que ocorrem em escalas geográficas maiores, tais como em casos envolvendo regiões.

Dessa forma, o objetivo do presente capítulo é compreender a dinâmica verificada na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, entre 1985 e 2019, considerando intervalos discretos de cinco anos e utilizando modelos dinâmicos, por meio de autômatos celulares, implementados no *software Dinamica EGO*[®]. A identificação das tendências que compõem a paisagem no tempo presente será a base para a análise de tendências para o ano de 2030.

11.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Entendida como o conjunto de centros urbanos, funcionalmente articulados entre si, a rede urbana brasileira apresenta uma complexa espaçotemporalidade, herdada dos primeiros núcleos, criados no século XVI; e de processos díspares de ocupação do território e urbanização (CORRÊA, 2018). O longo processo de construção da rede urbana no Brasil modificou-se de núcleos isolados (localizados prioritariamente em áreas litorâneas) para uma rede bastante diferenciada, principalmente, nos grandes centros urbanos. A diferenciação entre as regiões é um signo do novo perfil urbano nacional, a partir da multiplicidade de fluxos internos,

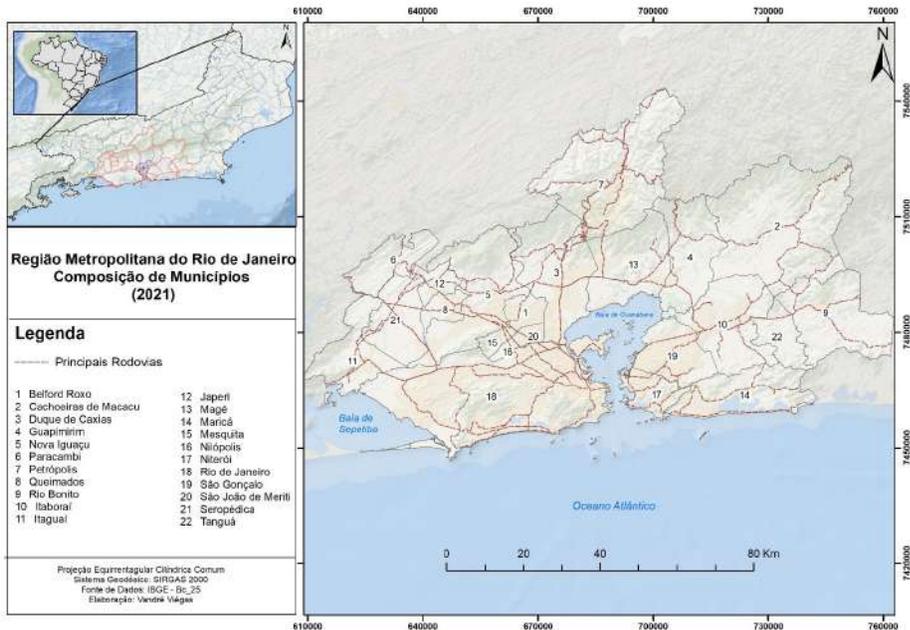
incorporação de novas áreas no processo produtivo, modernização e expansão industrial (e comercial).

As áreas metropolitanas brasileiras podem ser compreendidas como uma das expressões espaciais mais significativas do modelo de urbanização brasileiro, refletindo os sistemas econômico, institucional e ideológico prevalentes no país (ABREU, 1987). A questão metropolitana, como tema de debate de gestão integrada, não é atual; e expressa-se em necessidades político-administrativas de gestão do território, de maneira unificada e em escalas geográficas maiores do que o município. Em face do dinamismo permanente da ampliação de sua escala de influência (a diversidade social, em seu interior), o processo de metropolização atingiu proporções impressionantes (em termos de tamanho e complexidade), o que torna qualquer análise que não seja baseada em um sistema aberto e mutável inadequada para abordar o caso (OLIVEIRA, 2014).

Criada em 1974, após a fusão dos estados da Guanabara e do Rio de Janeiro, a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) conta hoje com 22 municípios, número esse que foi alterado diversas vezes, desde sua criação. Com um total populacional de 12,8 milhões de habitantes (IBGE, 2019), a RMRJ permanece como uma região de análise complexa, cujos atributos sociais e de infraestrutura representam um desafio.

A RMRJ tem passado por profundas transformações socioterritoriais decorrentes do intenso crescimento urbano, a partir de 1970; e da tendência de inflexão urbana, no século XXI (RIBEIRO, 2013). As mudanças socioeconômicas em curso atuam diretamente nas diferentes manifestações, expressas pelo uso da terra. A atual composição de municípios da RMRJ é apresentada na Figura 11.2.

Figura 11.2 – Composição de municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.



Fonte: os autores. Dados: base cartográfica contínua do estado do Rio de Janeiro, 1:25.000, obtida do IBGE.

Um dos atributos mais notáveis na RMRJ é a grande urbanização do território, cujos registros de crescimento são verificados desde os anos de 1950. A mancha urbana continua se expandindo em todas as direções. Entre a década de 1970 e o final da década de 2000, a mancha urbana da RMRJ cresceu 89,4%; já entre a década de 90 e 2000 o crescimento foi de 29,4% (RIBEIRO, 2013). Como a taxa de urbanização tem diminuído nas últimas décadas, a expansão territorial que ocorre na RMRJ dá-se, principalmente, em direção à periferia, provocada pela baixa disponibilidade de áreas passíveis de ocupação em sua capital, mas também por conta da ampliação de redes e do surgimento de novos espaços de trabalho, principalmente, nos primeiros anos do século XXI.

A questão de áreas disponíveis para ocupação passa diretamente pelos fatores espaciais naturais e construídos. O processo de expansão do tecido urbano do Rio de Janeiro foi, desde o começo, o de uma dura luta contra os obstáculos naturais (SOUZA, 2000). Ponto paisagístico bastante característico da composição urbana carioca, com seu contraste acentuado entre

relevo e edificações, mar e montanhas, sempre foi notado como argumento de beleza; que, de fato, existe, mas há de se considerar que os mesmos fatores responsáveis pela beleza cênica também são um tipo de condicionante dificultadora da expansão urbana em certas direções. Historicamente, o desenvolvimento urbano carioca serve de exemplo de como a ação do Homem pode modificar intensamente os fatores naturais ao seu redor. Desmonte de morros, aterros sanitários, poluição, canalização de rios são apenas alguns dos fatores históricos de degradação, distribuídos desigualmente no solo carioca, enquanto parcelas de população mais vulneráveis concentram a maior parte desses “reveses”, impostos a certos lugares considerados mais distanciados dos centros de comando e poder da cidade.

O futuro da RMRJ não se mostra animador. Diversas são as questões para se pensar em um futuro próximo, de maneira a agir sobre esses fatores, antes que a intensidade de mudanças se torne tão grande que seja improvável reverter seus impactos mais profundos. Manguezais; áreas de preservação ambiental (como as Serras da Tiririca, os maciços da Tijuca e da Pedra Branca); áreas de preservação integral, sustentável; o parcelamento do uso do solo; perdas de moradia; mudanças de áreas centrais; ocupações em áreas sujeitas à inundação e aos deslizamentos; transportes; dificuldade de manutenção da proteção de unidades de conservação (UCs); deterioração do espaço; inflexão urbana. Esses são apenas alguns temas, entre tantos, que devem ser abordados de maneira dinâmica, visando projetar cenários do tipo “o que ocorrerá se?”

11.4 MODELAGEM ESPAÇOTEMPORAL DA DINÂMICA DA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (1985 – 2020)

Modelos de simulação espacial baseados em autômatos celulares têm se tornado populares, sendo acoplados em diferentes *softwares* de SIG, tais como: *Dinamica EGO*[®], *IDRISI*[®], *Land Transformation Model*[®] (*LTM*) e o *Simulador do Ambiente da Cidade (Saci)*[®]. O avanço no uso dos AC (e sua convergência com SIG) tem permitido aos especialistas desenvolver estudos preditivos sobre diversas áreas e fenômenos (como queimadas, dinâmicas florestais, mudanças de uso e cobertura da terra; e crescimento urbano).

Os anos são escolhidos de maneira que cada processo do modelo esteja associado com um período socioeconômico específico da RMRJ. Como os anos 1980, conhecidos pelo baixo crescimento econômico e aumento das desigualdades sociais; os anos 1990, marcados por um novo

período de estabilização monetária, com a criação do Plano Real, em 1994 (e o início de uma política neoliberal, a partir da segunda metade dos anos de 1990). O terceiro período, a partir dos anos 2000, é caracterizado por um momento neodesenvolvimentista, combinado com a expansão de políticas sociais e de aumento do emprego e renda. Os intervalos a cada cinco anos são recomendados pela literatura como passo temporal ideal para a geração de cenários. Até o desenvolvimento desse estudo, o *Projeto MapBiomás*[®] não havia divulgado o mapeamento para 2020, ano esse que também fora modelado no processo.

Para o estudo desenvolvido neste capítulo, utiliza-se o *software Dinamica EGO*[®], para simulação e geração de um cenário prognóstico. Como *input*, o *Dinamica* utiliza dados matriciais, em dois diferentes anos, geralmente, referentes a mapas de uso da terra e variáveis estáticas (e dinâmicas), que são divididas por condições que se alteram na execução do modelo. Variáveis (ou condicionantes) estáticas referem-se a distâncias a um determinado uso da terra, tais como: distância a núcleos urbanos, pastagem, água ou floresta. As variáveis dinâmicas são contidas num arquivo chamado *cube raster*, que contém todos os dados selecionados, considerados como relevantes para a descrição da área de estudo. Normalmente, variáveis dinâmicas tratam de fatores naturais ou construídos, como relevo, declividade, rodovias, hidrografia, áreas protegidas e zoneamento, em que a escolha das melhores condições pode ser feita por meio da análise dos seus pesos de evidência. Ainda que não seja um *input* (entrada de dados), um dos primeiros resultados gerados no processo de modelagem trata da quantificação de mudanças *pixel a pixel*, pelo método de matrizes de transição, que vai comandar todo o processo de modelagem seguinte, à medida que indica as principais transições na área de estudo e indica quais transições devem ser as mais relevantes para serem analisadas.

As matrizes de transição representam numericamente as mudanças ocorridas entre os dois anos, inseridos como *input*. Refere-se e referem-se às mudanças, *pixel a pixel*, que ocorrem entre o intervalo temporal escolhido, enquanto que a sua saída é dada em termos de porcentagens de transição, para cada uso. As matrizes de passos múltiplos permitem verificar quais transições ocorreram entre T1 e T2 (definidores de um intervalo de tempo) e suas respectivas taxas líquidas no período.

As variáveis inseridas no modelo são categorizadas pelo somatório dos pesos de evidências (*Weights of Evidence*, W), que são baseados no Teorema da

Probabilidade Condicional de Bayes, que, basicamente, refere-se à propensão que um dado uso (*e.g.*, pasto para infraestrutura urbana), considerando que uma evidência, denominada como variável explicativa (*e.g.*, proximidade com estradas) já ocorreu (ALMEIDA, 2003). Os Pesos de Evidência representam a influência de cada variável na probabilidade espacial de uma transição $i \Rightarrow j$ e são calculados da seguinte forma:

$$O\{D \vee B\} = \frac{P\{D \vee B\}}{P\{\underline{D} \vee B\}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\log\{D|B\} = \log\{D\} + W^+ \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: W^+ é o Peso da Evidência da ocorrência do evento D, dado um padrão espacial B.

A pós-probabilidade espacial de uma transição $i \Rightarrow j$, dado um conjunto de dados espaciais (B, C, D, ... N), é expressa da seguinte forma (SOARES-FILHO *et al.*, 2007):

$$P\{i \Rightarrow j | B \cap C \cap D \dots \cap N\} = P\{i \Rightarrow j | B \cap C \cap D \dots \cap N\} = \frac{e^{\sum W_n^+}}{1 + e^{\sum W_n^+}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: B, C, D e N são os valores de k variáveis espaciais, que são medidas na localização (x, y) e representadas por seus pesos W_n^+ .

Quanto maior e mais positivo (W^+) for um peso de evidência, isso significa que será maior a atração para favorecer uma transição de uso da terra (p. ex., desmatamento – floresta para pasto), enquanto que valores negativos representam uma barreira impeditiva para essa alteração de uso. Dessa forma, combinando diferentes pesos de evidência, *pixel a pixel* (Autômato Celular – AC), são gerados mapas de probabilidade de transição de acordo com as variáveis dinâmicas e estáticas inseridas.

A única condição exigida na seleção de variáveis é que estas sejam independentes entre si. Para essa avaliação, o *Dinamica EGO*[®] fornece uma etapa na qual se gera uma série de testes de correlação, que podem indicar maior ou menor valores entre si. Essa análise é feita por medidas dos testes do Índice de Cramer e da Incerteza da Informação Conjunta. Os valores

variam de 0 a 1, de nenhuma a total correlação espacial, respectivamente. Segundo Bonham-Carter (1994), valores de correlação acima de 0,5 devem ser descartados do modelo final, para garantir a independência dos resultados. Após a adequação dos valores, os pesos podem ser utilizados para calibrar o modelo de simulação final, por meio de testes, inserindo ou retirando variáveis.

Para a construção do prognóstico, a regra do AC no *Dinamica EGO*[®] é feita por meio de duas funções de transição (*patcher e expander*), para reproduzir os padrões espaciais, cujos parâmetros de entrada se referem a métricas da paisagem, como tamanho médio, variância e isometria das manchas de mudanças, a serem simuladas (SOARES-FILHO *et al.*, 2002). Tais valores podem ser obtidos tanto pela função interna *Landscape Metrics* (métricas da paisagem) quanto por outro *software* gratuito, específico para estudos fractais, como o *Fragstats*[®]. Após a etapa de inserção das métricas de paisagem, o último procedimento a ser executado é a validação do modelo.

O processo de validação é feito utilizando uma referência modelada, em comparação com o mapa de uso do tempo final, inserido na primeira etapa. Embora ainda não haja consenso sobre qual técnica seria mais apropriada (nem qual ajuste definiria um limiar de aceitação do modelo), atualmente, o *Dinamica EGO*[®] utiliza técnicas de comparação por limiares de resolução denominadas de múltiplas janelas. Esse ajuste usa uma função de decaimento exponencial com a distância para comparar a distribuição de classes de células ao redor de uma célula central (GODOY; SOARES-FILHO, 2007). Essa validação é equivalente à estatística *Kappa* e à similaridade *Fuzzy*, que leva em consideração a incerteza da localização de uma categoria, dentro da vizinhança de uma célula (GODOY; SOARES-FILHO, 2007). O resultado obtido do modelo *Fuzzy* e do índice *Kappa* (que varia de 0 a 1), conjuntamente, representa a qualidade final do modelo. Os valores *Kappa* e o desempenho são apresentados no Quadro 11.1.

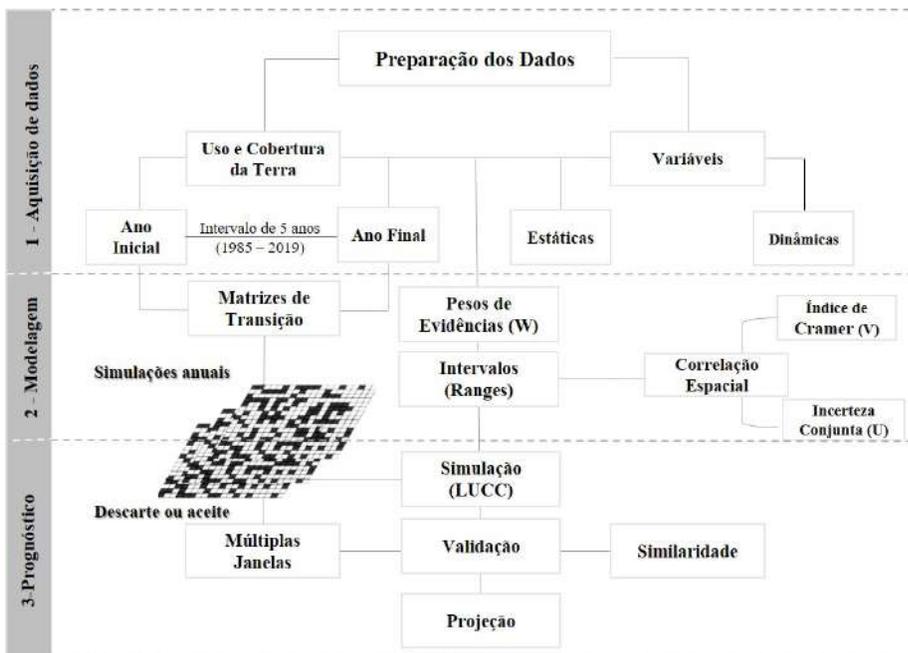
Quadro 11.1 – Índice *Kappa*.

Índice <i>Kappa</i>	Desempenho
< 0	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

Fonte: Fonseca (2000).

O fluxograma empregado no *Dinamica EGO*[®] (adequado ao presente trabalho) é apresentado na Figura 11.3. As etapas de construção do modelo de mudanças no uso e cobertura da terra (*Land-Use and Cover Change – Lucc*) envolvem: 1) identificação e construção de um conjunto de dados representativos da área de estudo; 2) quantificação das mudanças de maneira automatizada e *pixel a pixel*; 3) identificação das variáveis mais ou menos relevantes no processo dinâmico da paisagem; 4) calibração e identificação de correlações espaciais; 5) prognóstico para um ano específico, utilizando-se como base as tendências verificadas no presente (ou em uma sucessão temporal); e 6) validação. Olhar o passado é a primeira etapa necessária para se compreender a dinâmica de uma região (ou, mesmo, para prever cenários). É ainda uma ferramenta filosófica para compreender a essência do fenômeno pesquisado. Afinal, de que esse objeto é feito? Qual é o padrão? Os cenários preditivos serão, então, revelados com base na compreensão dos fatores do passado, mas impressos no presente.

Figura 11.3 – Metodologia para a geração de prognósticos.



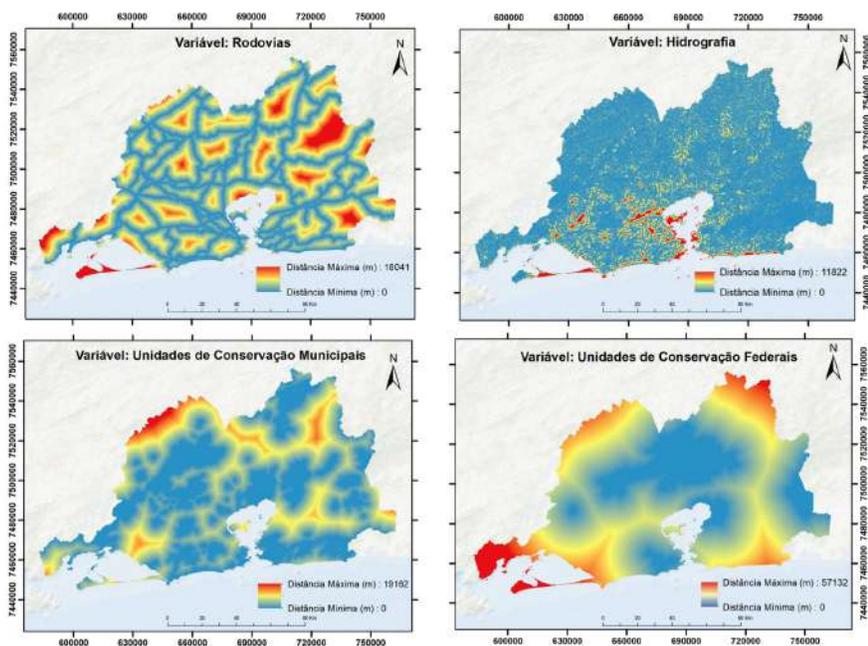
Fonte: os autores.

Estruturação dos dados

Os dados de uso e cobertura da terra que abrangem o período 1980-2020 referem-se a dados secundários de uso e cobertura da terra, obtidos por sensoriamento remoto (SR) e fornecidos por meio da plataforma do *Projeto MapBiomas*[®]. A série histórica do *MapBiomas*[®] baseia-se em classificações obtidas de imagens da série *Landsat* (sensores *Thematic Mapper, TM*; e *Operational Land Imager, OLI*), cuja resolução espacial é de 30 metros. Os dados são, então, recortados para a área de estudo e reclassificados de maneira que os 24 usos provenientes do *MapBiomas*[®] sejam agrupados em classes maiores, buscando facilitar o processo de modelagem, uma vez que, quanto maior for o número de variáveis, maior será o tempo de processamento e complexidade envolvidos. As classes são agrupadas segundo os critérios do *Manual Técnico de Uso da Terra* (IBGE, 2013). De maneira que são diferenciadas por: 1) Áreas Naturais Florestadas (ANF): Formação Florestal Natural, Floresta Plantada, Manguezais; 2) Naturais Não Florestadas (NNF): Campo Alagado, Formação Campestre, Apicum, Afloramentos Rochosos, Praias e Dunas; 3) Áreas Antrópicas Agrícolas (AAG): Pastagem, Agricultura e Cultivos; 4) Áreas Antrópicas Não Agrícolas (ANA): Infraestrutura Urbana e Mineração; e 5) Água: Corpos Hídricos (em geral).

Considerando questão física da RMRJ e componentes espaciais anteriormente expostos, foram selecionadas como variáveis dinâmicas: Declividade e Relevo, pré-processadas pelo Projeto Topodata, mantido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2021). Dados de rodovias e hidrografia foram obtidos pela base cartográfica contínua do estado do Rio de Janeiro, na escala 1:25.000, BC 25 _RJ (IBGE); os limites de Unidades de Conservação Federais e Unidades de Conservação Municipais, pelo portal *GeoINEA*, com dados referentes ao ano de 2020. Os dados obtidos em formato vetorial foram convertidos para matrizes, com auxílio do *software QGIS*[®], e posteriormente têm suas distâncias calculadas para todo o entorno da RMRJ, pelo *functor Calc*, no *Dinamica EGO*[®]. Deste mesmo *software*, a função *Distance Map* calcula a distância euclidiana (em metros) entre as células, e os produtos gerados são apresentados na Figura 11.4. É por meio das distâncias incorporadas para toda a área de estudo que se consegue determinar os pesos de evidência. Como variáveis estáticas, são consideradas as distâncias para as cinco classes reclassificadas.

Figura 11.4 – Variáveis dinâmicas e mapas de distância.



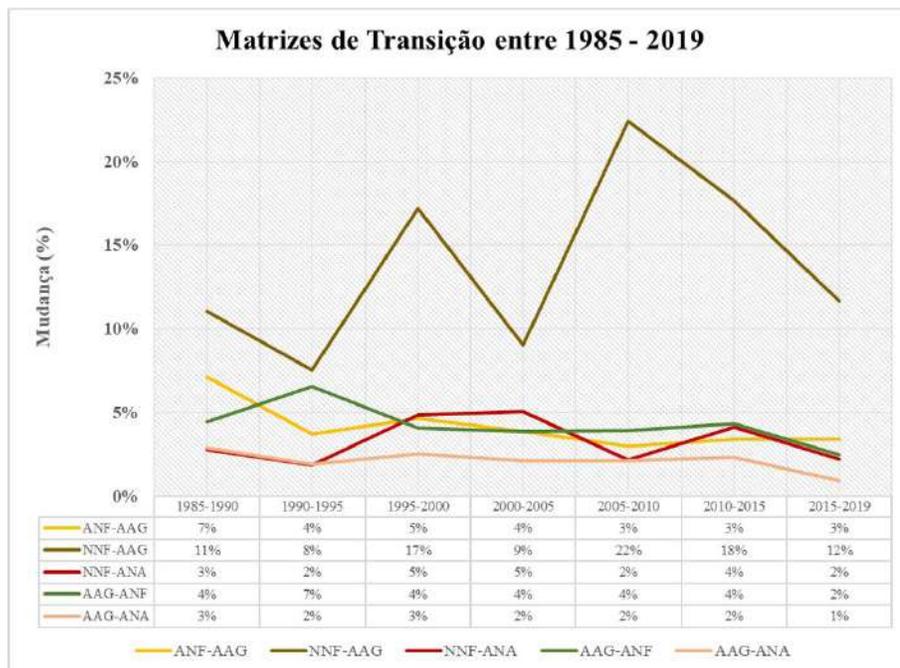
Fonte: os autores.

Análise das mudanças

Como primeiro resultado, são obtidas as matrizes de transição para os intervalos temporais 1985-1990, 1990-1995, 1995-2000, 2005-2010, 2010-2015 e 2015-2019. Em todos os intervalos temporais, foi possível verificar as transições que ocorreram de forma mais intensa na RMRJ. A observação dessas transições guia as próximas etapas, à medida que apresenta quais serão as mudanças mais participativas e, portanto, aquelas que devem seguir no processo de modelagem, tendo em vista que mudanças que representam valores menores que 1% devem ser descartadas, para ajustar a qualidade final do modelo, como também pela efetiva diminuição do tempo necessário de processamento.

Dessa forma, foi possível verificar que as maiores transições observadas foram entre Áreas Naturais (tanto ANF quanto NFF), que se transformaram em Antrópicas Agrícolas. Em outra via de análise, transições relevantes também foram identificadas, no sentido de urbanização (classes que se tornaram ANA); e um padrão constante de reflorestamento (tornou-se ANF). A fim de facilitar a visualização, foi construído um gráfico-resumo das cinco principais transições, verificadas para cada intervalo temporal (Figura 11.5); onde: a) ANF-AAG, desmatamento, conversão de floresta para fins agrícolas; b) NNF-AAG, transição de Cobertura Natural Não Florestada para fins agrícolas; c) NNF-ANA, urbanização de áreas Naturais Não Florestadas; d) AAG-ANF, provável Reflorestamento; e) AAG-ANA, urbanização de áreas de pastagem e/ou agrícolas; f) ANF-ANA, desmatamento seguido de urbanização.

Figura 11.5 – Gráficos de matrizes de transição entre 1985 e 2019.



Fonte: os autores.

Nota-se que a maior transição verificada, considerando todos os intervalos analisados, foi aquela entre Naturais Não Florestadas e Antrópicas Agrícolas. Para compreender detalhadamente quais classes estavam influenciando essa alteração abrupta, foi preciso analisar o conjunto total de classes não generalizadas do *MapBiomias*[®]. Em nova análise das transições, confere-se uma alteração de 39,9% de Formação Campestre, que se torna Pastagem; e 15,9%, da classe Campo Alagado para Mosaico de Agricultura e Pastagem. Esse é um resultado preliminar, mas que indica um crescimento das áreas antrópicas (como um todo), em direção a áreas naturais. Felizmente, as transições foram capazes ainda de captar uma possível regeneração da vegetação, pela curva AAG-ANF, principalmente, entre 1990 e 1995.

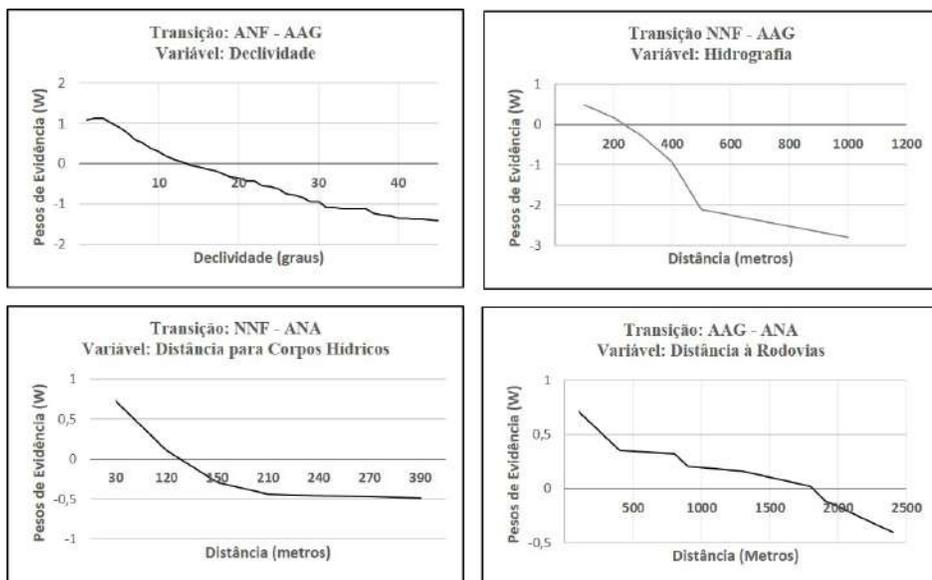
O indicativo de crescimento de áreas agropastoris também é verificado pela transição de áreas florestais, que são desmatadas (ANF-AAG) a uma taxa média de 4,1%, em 34 anos; ocorrendo de maneira praticamente constante no período, com um pequeno acréscimo, entre os anos de 1990 e 1995. O desmatamento em função da pastagem é maior do que quando

comparado à mudança de cobertura florestal para áreas construídas, que, em todo período, se mantém a uma taxa inferior a 0,5%. Curiosamente, na RMRJ, o padrão de urbanização verificado dá-se em direção às áreas naturais não florestadas e, posteriormente, para áreas de pastagem. Como supracitado, a conversão de floresta para urbano não é prioritária, seguindo inicialmente uma etapa de desmatamento, que se transforma em área de pastagem e que, posteriormente, se urbaniza.

O passo seguinte consistiu na geração dos pesos de evidência para as quatro principais transições identificadas. Nessa etapa, excluíram-se as mudanças cujas taxas eram inferiores a 1%. A principal questão respondida pelos pesos de evidência trata da probabilidade de ocorrência de cada transição, em face das variáveis dinâmicas e estáticas, identificando condições que podem favorecer ou desfavorecer uma mudança. Os pesos de evidência buscam retratar probabilidades de repetição dos eventos entre os intervalos estudados e, com isso, mitigar possibilidades de aleatoriedade no modelo final, após a identificação de possíveis correlações entre as variáveis. Como, no trabalho, não foram apresentadas correlações iguais ou superiores a 0,50, pelos índices de Cramer e Incerteza Conjunta, nenhuma variável precisou ser excluída do modelo.

A Figura 11.6 mostra as quatro principais transições identificadas pelas matrizes e suas relações causais com as principais variáveis que favorecem a ocorrência da alteração representada. As diferenças de valores apresentadas nos eixos X e Y ocorrem por conta da categorização interna do próprio *Dinâmica EGO*[®], que calcula as faixas de alteração pela estrutura do próprio dado; e as mudanças que ocorrem em uma determinada variável, ao longo da área de estudo. Por se tratar de uma análise multitemporal, foram calculados os intervalos de pesos para todas as faixas temporais e suas respectivas médias, no período. Pesos positivos favorecem a transição, enquanto que os negativos as desfavorecem.

Figura 11.6 – Pesos de evidência e relações de variáveis.



Nota: a) gráficos superiores – transições classes naturais; b) gráficos inferiores – urbanização.
 Fonte: os autores.

Nas classes naturais alteradas (ANF e NNF), a transição entre Áreas Naturais Florestadas e Antrópicas Agrícolas tem uma forte relação com baixos graus de declividade, na RMRJ. Pelos valores plotados no gráfico, inclinações de até 15 graus favoreceram o desmatamento, enquanto que valores acima deste foram uma barreira para a ocorrência do evento. Isso significa dizer que a transição analisada, no período de 1985 a 2019, tem ocorrido prioritariamente em áreas mais planas, tendo o relevo como uma condição de barreira. Especificamente, a transição ANF-AAG é aquela que traduz, de fato, um processo de desmatamento, verificado pelas matrizes de transição. Por se tratar da maior pressão que envolve os ambientes de floresta, esta pode ser uma transição útil para verificar o estágio de conservação das variáveis Unidades de Conservação (federais e estaduais), como apresentado no gráfico da Figura 11.7.

Nas Unidades de Conservação, nota-se que aquelas sob responsabilidade federal são as unidades cujo peso de evidência é menor no desmatamento para fins agrícolas; ou seja, pode-se considerar um efeito de “barreira” para essa categoria, até cerca de 1.600 m. Contudo, as Unidades de Conservação Municipais possuem um estágio mais positivo, o que indica a ocorrência de transições próximas aos seus limites, no caso, em cerca de

100 metros de distância. É importante ressaltar que, para ambas as categorias, respeita-se uma tolerância (em cerca de 100 metros de distância) para a probabilidade de ocorrência de transições, sendo superior no caso das Unidades Municipais; o que configura, para todos os casos, uma parcela de proteção, a partir dos primeiros 100 metros.

Figura 11.7 – Relação entre o desmatamento e Unidades de Conservação.



Fonte: os autores.

Com relação à mudança entre NNF-AAG, notou-se que a variável hidrografia foi aquela que mais respondeu positivamente nas faixas de proximidade. Ainda que, graficamente, pareça haver um efeito barreira, o que ocorre é um favorecimento da modificação, em cerca de 200 metros de proximidade. A variável hidrografia também traduz um direcionamento preferencial das áreas antrópicas agrícolas, considerando que foi verificada, pela análise geral dos dados do *MapBiomias*[®], uma migração da classe mosaico de agricultura e pastagem em direção a campos alagados.

No que diz respeito às transições de urbanização, é encontrado um padrão semelhante ao verificado na variável hidrografia. Com relação ao NNF, a urbanização tem ocorrido preferencialmente às margens dos corpos hídricos. Indiretamente, a mudança entre naturais não florestadas e antró-

picas mostra como as áreas de bordas de rios, lagos e lagoas são aquelas que mais têm sido modificadas no período de análise. Outro ponto de destaque é a percepção da mudança antrópica agrícola para antrópica não agrícola, que ocorre sob forte influência da proximidade com as rodovias, até cerca de 2,0 km.

Após a obtenção das probabilidades de transição, a alocação das mudanças pelo modelo celular, no *Dinamica EGO*[®], utiliza a função *patcher*, que se dedica apenas à expansão ou à contração de manchas já existentes de certa classe, para simulação da paisagem (SOARES-FILHO *et al.*, 2007). Para a etapa de construção do modelo de 2019, que vai indicar a necessidade (ou não) de reformulação de variáveis, foram inseridos: Tamanho Médio da Mancha – 0,9 ha (*pixel* 30 x 30 m); Variância – 0,9 ha; e Isometria – 1.0. Como o objetivo dessa etapa é criar um modelo comparativo com o real e a posterior validação, os valores do tamanho médio da mancha, como o *pixel*, não permitirão a criação de novas manchas, somente vão expandir aquelas já existentes. Para identificação das trajetórias futuras, serão inseridas as métricas da paisagem de cada classe no Tempo 1 (T1).

O arquivo de saída será dado em termos de passos temporais entre as duas datas. Ou seja, serão quatro mapas (quatro anos de intervalo, entre 2015 e 2019), que representam a paisagem simulada para os anos 2016, 2017, 2018 e 2019. O último ano simulado servirá como situação de referência, em comparação ao ano de 2019 real, para verificar o ajuste espacial *Fuzzy*, validando os parâmetros das variáveis estáticas e dinâmicas, assim como os pesos de evidência. Essa etapa permite compreender a fidelidade das probabilidades analisadas.

O ajuste do modelo simulado para 2019, na janela de 11 x 11 *pixels*, foi de 84%. Levando em consideração que a resolução espacial dos dados do *MapBiomass*[®] é de 30 metros e o raio de procura da janela tem a metade dessa resolução, pode-se considerar que o modelo foi assertivo em até 50%, em uma resolução de aproximadamente 60 metros. Segundo Almeida (2003), pode ser considerado satisfatório um modelo que obtiver resultados superiores a 45%, pelo método de decaimento exponencial. Como não há um consenso quanto a um índice específico voltado para a validação da simulação celular, utiliza-se em conjunto a estatística *Kappa*, para certificar a precisão final do modelo. O coeficiente *Kappa* é uma das variáveis que podem ser quantificadas, após construir a matriz de confusão, sendo um índice que retrata o grau de concordância dos dados; gerando, assim, um aspecto de confiabilidade

e precisão dos dados classificados (PERROCA; GAIDZINSKI, 2003). O resultado da estatística *Kappa* é apresentado no Quadro 11.2.

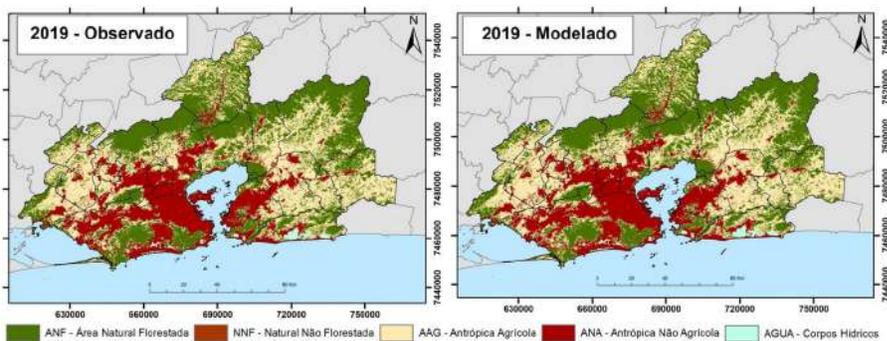
Quadro 11.2 – Estatística *Kappa* do modelo (2019).

Classe	ANF	NNF	AAG	ANA	Água	Total	Acerto Global	<i>Kappa</i>
ANF	808	0	31	0	0	839	96%	0
NNF	0	10	0	0	0	10	100%	0
AAG	43	2	767	6	0	818	94%	0
ANA	0	0	8	316	0	324	98%	0
Água	0	0	0	0	14	14	100%	0
Total	851	12	806	322	14	2005	96%	0
<i>Kappa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0,93

Fonte: os autores.

De acordo com a literatura, o valor obtido do índice $k = 0,93$ é considerado excelente ($0,8 < k \leq 1,0$). A exatidão global do modelo foi de 96%. A comparação entre o ano observado de 2019 (utilizado como verdade, dado do *MapBiomass*[®]) e o 2019 modelado é apresentada na Figura 11.8.

Figura 11.8 – Comparação entre o observado (2019) e a simulação feita no *Dinamica EGO*[®] (2019).



Fonte: os autores.

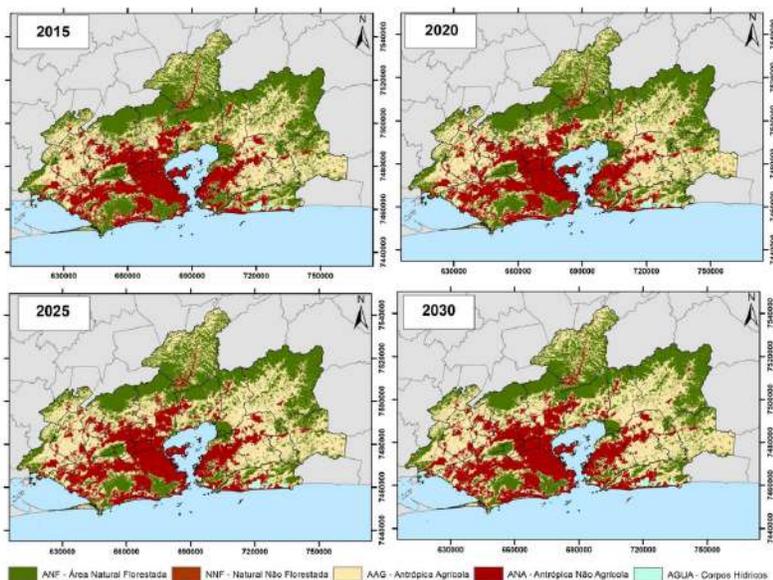
Porque se recomenda a utilização do último ano de análise para a criação do cenário futuro, foi utilizado o intervalo entre 2015-2019 como

base para o prognóstico. O mapa do ano inicial é então inserido no *software Fragstats*[®], para geração das métricas da paisagem, que serão utilizadas como base. São gerados 10 mapas, e cada um representa a paisagem anual entre 2020 e 2030. Os anos de 2015 (observado), 2020, 2025 e 2030 (modelados) são apresentados na Figura 11.9.

Ainda que, por conta da escala do mapeamento, não seja possível identificar grandes alterações, as simulações permitem identificar um crescimento urbano além do município do Rio de Janeiro, expandindo-se em direções periféricas da Baixada Fluminense, como em Guapimirim e Magé (Figura 11.10). Em áreas com maior presença de componentes florestais fragmentados, é possível notar um prognóstico de desmatamento e conversão para o uso agrícola.

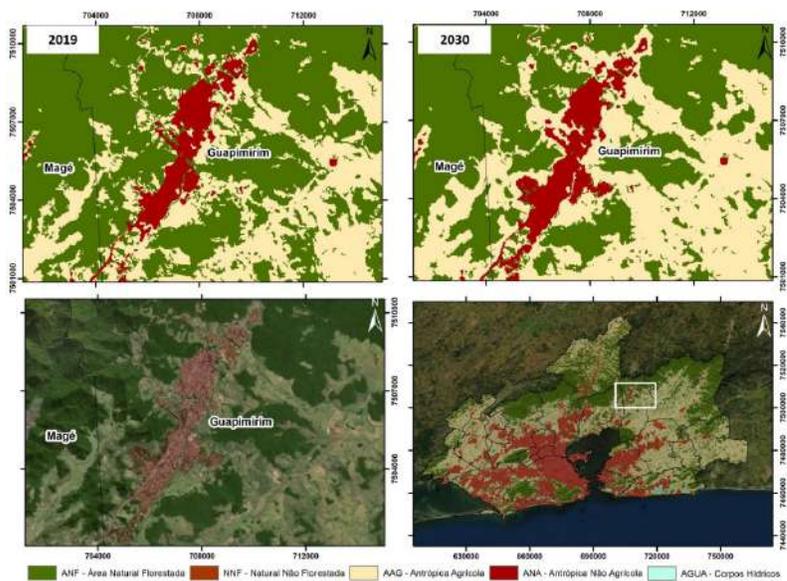
Especificamente, o modelo prognóstico indica um crescimento fragmentado, ou seja, sem a expansão ou retração de grandes núcleos, mas uma intensificação do crescimento urbano espalhado, o que pode ser analisado pela análise da expansão dos tamanhos médios das manchas analisadas (Figura 11.11). Com forte crescimento de áreas antrópicas, agrícolas ou não, o prognóstico central para a RMRJ é de um cenário de riscos naturais, pela diminuição dessas áreas, sequencialmente, desde 2015.

Figura 11.9 – Simulações entre 2015 e 2030.



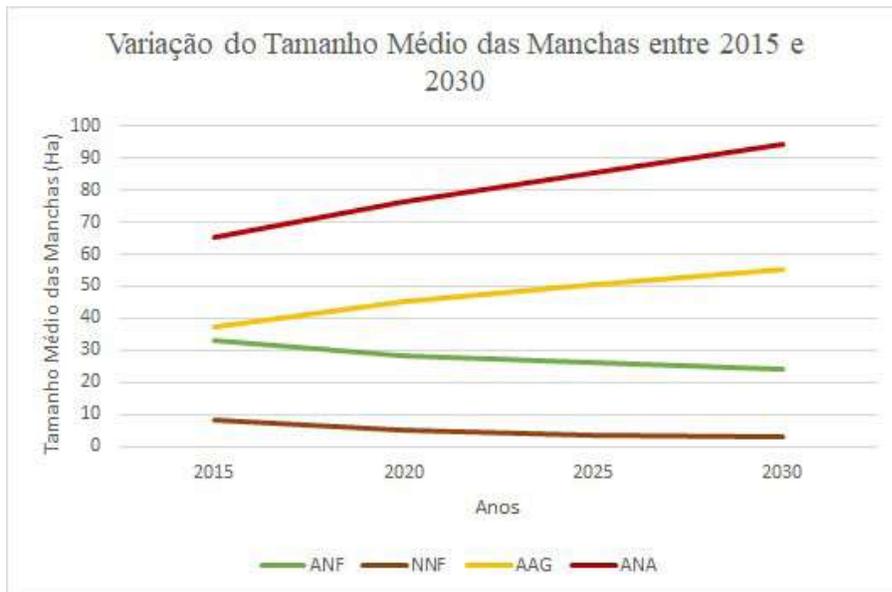
Fonte: os autores.

Figura 11.10 – Prognóstico de desmatamento (2030).



Fonte: os autores.

Figura 11.11 – Variação do tamanho médio das manchas entre 2015 e 2030.



Fonte: os autores.

11.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pela abordagem dinâmica proposta, nota-se que o cenário da RMRJ para 2030 não é nada animador. São verificadas diferentes difusões da expressão antrópica, seja para fim agrícola, seja para fim de urbanização. Florestas e áreas naturais não florestadas estão no centro da discussão sobre os riscos envolvidos na continuidade dos processos verificados entre 1985 e 2019. O processo de espraiamento urbano, fragmentando-se em direção às áreas periféricas, ilustra um cenário de interesse econômico e político. Como o histórico de expansão urbana no Rio de Janeiro não reflete necessariamente um aumento da infraestrutura e disponibilidade de serviços, espera-se um aumento da desigualdade social, e também ambiental.

Levando em consideração que as Unidades de Conservação Municipais são aquelas sob maior risco, caberá ainda à gestão local a criação de estruturas e normativas de proteção. Considerando que o modelo comparativo para o ano de 2019 teve um acerto global de 98% para áreas urbanas, pode-se refletir que o cenário para 2030 tem alto grau de assertividade, o que, por si só, representa um grau suficientemente alto para levantar preocupação dos setores civis e de planejamento ambiental.

Quanto ao processo de modelagem ambiental, o conjunto de variáveis escolhido e utilizado mostrou-se bastante representativo e permitiu compreender como a “cidade do passado” nos trouxe até aqui. Da mesma forma como tais variáveis interferiram no futuro do modelo, novas alterações poderão alterar o cenário previsto. A expansão de novas rodovias e a canalização de rios ou mudanças nos códigos florestais podem alterar completamente o futuro da RMRJ. Sendo assim, um modelo não necessariamente reflete a realidade com 100% de certeza, mas fornece importantes subsídios para o planejamento ambiental, trazendo um vislumbre da cidade que esperamos; e o que poderemos encontrar, se as práticas não forem modificadas. Porém, esse cenário fica para outro momento. Na “cidade por conhecer”.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. A. *Evolução urbana do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: IPLANRIO/Jorge Zahar, 1987.

ALMEIDA, C. M. de. *Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as*

idades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil. 2003. 351 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

BONHAM-CARTER, G. F. *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS*. 2. ed. Kindlington: Pergamon Press, 1994.

CARVALHO, G. *Cenários futuros para cidades inteligentes*. São Paulo: Trilha Treinamentos e Consultoria, 2019.

CHRISTALLER, W. *Central places in Southern Germany*. Tradução de C. W. Baskin. [s.l.], Prentice-Hall, 1966.

CORRÊA, R. L. *Caminhos paralelos e entrecruzados*. São Paulo: Editora Unesp, 2018.

FONSECA, L. M. G. *Processamento digital de imagens*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, 2000.

FORMAN, R. T. T. *Land mosaics. The ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

GEOINEA base de dados geoespaciais. Disponível em: <https://inea.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=00cc256c620a4393b3d04d2c34acd9ed>. Acesso em: 1 abr. 2021.

GODOY, M.; SOARES-FILHO, B. S. *Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual*. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

GOODCHILD, M. F. *et al. Urban informatics*. The International Society for Urban Informatics; Singapore: Springer, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Estimativas da população dos municípios para 2019*. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria de Pesquisas - DPE, Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS, 2019. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2019/estimativa_dou_2019.pdf. Acesso em: 1 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Manual técnico de uso da terra*. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE DADOS ESPACIAIS (INPE). *Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil*. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 1 abr. 2021.

LANG, S., BLASCHKE, T. *Análise da paisagem com SIG*. Tradução de Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LIU, Y. *Modelling urban development with geographical information systems and cellular automata*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2009.

LONGLEY, P. A. *et al. Sistemas e ciência da informação geográfica*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, L. D. Geografia urbana e desenvolvimento sustentável: notas acerca da reestruturação espacial contemporânea. In: OLIVEIRA, F. G. de; FREIRE, D. G.; JESUS, G. M. de; OLIVEIRA, L. D. de. *Geografia urbana: ciência e ação política*. Rio de Janeiro: Consequência, 2014.

PERROCA, M. G.; GAIDZINSKI, R. R. Sistema de classificação de pacientes: construção e validação de um instrumento. *Rev. Esc. Enf. USP*, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 153-68, ago. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/reeusp/a/fWd7mDvPcHGJYWTqcCybsvc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 1 abr. 2021

PROJETO MAPBIOMAS BRASIL - MAPBIOMAS. *Coleções da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. 2019. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 1 abr. 2021

RIBEIRO, L. C. Q. *A ordem urbana na metrópole do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Letra Capital/Observatório das Metrópoles, 2013.

SOARES-FILHO, B. S. *et al.* Dinâmica – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological modelling*, [s.l.], v. 154, n. 3, p. 217-235, Sep. 1, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00059-5). Acesso em: 1 abr. 2021

SOARES-FILHO, B. S. *et al.* Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. *Revista Megadiversidade*, [s.l.], v. 3, n. 1-2, dez. 2007. Disponível em: http://csr.ufmg.br/modelagem_sistemas_dinamicos/megadiversidade_v3__n1_2__dez_2007.pdf. Acesso em: 1 abr. 2021.

SOUZA, M. L. *O desafio metropolitano: um estudo sobre a problemática socioespacial das metrópoles brasileiras*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

WEBER, A. *Theory of the location of industries*. Chicago: Chicago U.P., 1969.

PARTE III

**NOVAS ABORDAGENS
METODOLÓGICAS, AQUISIÇÃO
E VISUALIZAÇÃO DE DADOS
GEOINFORMACIONAIS**

REPRESENTAÇÃO DE DADOS TRIDIMENSIONAIS DE ÁREAS URBANAS: UM ESTUDO DE CASO NO CENTRO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Luiz Felipe Salomon Guaycuru de Carvalho

Rafael Silva de Barros

Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza

12.1 PANORAMA DE TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE MODELOS APLICADOS AO MEIO URBANO

Há décadas, o sensoriamento remoto vem se desenvolvendo como área de estudo, e as tecnologias aplicadas para fins de avaliação, planejamento e estudo de solo e relevo evoluem a cada dia.

Quando se trata de tecnologias aplicadas ao meio urbano, contudo, esse avanço mostra-se historicamente mais lento no que diz respeito à capacidade das tecnologias de se adaptarem ao meio e representarem-no com a mesma qualidade quanto a nível de resolução espacial e detalhes apreendidos das feições de interesse que possam caracterizar esse meio.

O trabalho de representação do espaço urbano é tarefa que precisa incluir as diferentes formas, cores e detalhes presentes nesse meio, uma vez que se trata de um conjunto plural de sobreposições constantemente em transformação.

De acordo com Lewis (1979), a interpretação da paisagem segue alguns axiomas clássicos. Para tanto, pode-se adequar o uso de tecnologias de sensoriamento remoto e imageamento, para melhor conduzir esse trabalho, sobretudo quando se tratar da interpretação do ambiente urbano. A modelagem tridimensional vem apoiar essa afirmação, figurando como importante recurso de apoio à interpretação de paisagem no meio urbano. Contudo, é necessário verificar a correta adequação das tecnologias utilizadas para esse fim, visto que cada tecnologia apresenta uma ou várias limitações para esse tipo de aplicação.

É de suma importância mencionar que a perspectiva adotada neste capítulo diz respeito à aliança entre os campos fundamentais da Cartografia e da Paisagem (ALPERS, 1983), sem os quais seria impossível construir as correlações entre formas urbanas, como aqui explicitado. Desse modo, pode-se esperar a correta apreensão dos significados dos modelos digitais de elevação (MDE) aplicados como produtos cartográficos (BARROS, 2006); e, ainda, fazer a captura de diferentes visadas de feições selecionadas, de modo a verificar sua identidade topológica, como seria vista por um observador, sobretudo, com base em uma posição de perspectiva ampla da cidade — do mar, por exemplo⁹.

Além disso, defende-se no presente trabalho a hipótese de que, somente se respeitadas determinados critérios de identificação, já mapeados e que servem de balizamento para a adequação de determinado recurso ao trabalho a ser desenvolvido, é possível utilizar-se de alguma tecnologia de sensoriamento remoto e, mais especificamente, de geração de modelos tridimensionais. Para esse processo, foi gerado um método que envolve a análise e verificação da aderência da tecnologia ao modelo gerado, conforme se explicará adiante.

Desse modo, verifica-se que a paisagem depende fundamentalmente da observação, e, embora haja diversas variáveis envolvidas, a feição assume um estado de permanência, nem sempre identificável; um verdadeiro desafio para sua correta interpretação, especialmente em se tratando de análise cartográfica, e não da observação *in loco*.

Simuladores são campo fértil para essa discussão, em que se vê representada uma paisagem para aplicação em específico, como o caso de jogos digitais e simuladores de voo, como também simuladores de cidades e de manobrabilidade de navios aplicados (ou não) na área profissional; e recriando os mais diversos tipos de situações e condições de operação. Em todos esses casos, ocorre uma importante interface: a localização do observador, por meio da visualização da paisagem, em sua perspectiva. Essa é uma condição fundamental para a organização espacial georreferenciada e fiel às formas de edifícios e demais equipamentos presentes no meio urbano.

Para melhor representar essa questão, é importante contextualizar algumas tecnologias e suas aplicações. São muitas as tecnologias hoje disponíveis para a representação geométrica. Contudo, apenas algumas são aderentes ao ambiente urbano.

⁹ A paisagem urbana, vista a partir do mar, foi o estudo de caso levado a cabo no desenvolvimento da dissertação, que deu origem a esse capítulo (GUAYCURU DE CARVALHO, 2021). A paisagem urbana, vista do mar, foi o estudo de caso levado a cabo no desenvolvimento da dissertação que deu origem a este capítulo (GUAYCURU DE CARVALHO, 2021).

Analisando qualitativamente algumas das tecnologias, podemos iniciar essa discussão apresentando o MDE gerado de um par estereoscópico proveniente de um sensor orbital de altíssima resolução, tal qual o *WorldView 3*[®], por exemplo. Esse tipo de modelo, já extensamente testado e aplicado em áreas não populosas, rurais e naturais, mostra-se extremamente eficiente, quando se trata de geração de modelos tridimensionais dessas áreas. Suas resoluções radiométrica e espacial são adequadas para divisar detalhes cartográficos, importantes para o estudo e reconhecimento de bacias fluviais (TAYLOR; MAATHUIS.; WANG, 2008), ao passo que apresenta diversos defeitos de formação, quando aplicado a áreas urbanas. Isso porque, apesar da altíssima resolução espacial (em torno de 30 centímetros), ainda apresenta limitações para distinguir as mudanças de forma e radiométricas abruptas que ocorrem em poucos metros na área urbana (OLIVEIRA, 2011).

Outra tecnologia disponível e aplicável a ambientes urbanos é a geração de modelos tridimensionais por fotogrametria aérea. Cabe realizar uma contextualização: sensores aerotransportados são comuns e muito utilizados, justamente, quando se requer um nível de detalhamento espacial grande para o modelo. Contudo, é uma aquisição historicamente cara, chegando a custar US\$ 2 a 5 por acre, contra um máximo típico de US\$ 0,50 por acre, no imageamento por sensores orbitais (IOWA STATE UNIVERSITY, 2016).

A alternativa que surge há pouco tempo é o imageamento aéreo via Veículo Aéreo Não Tripulado (Vant) (ou *drones*), aeronave não tripulada dotada de instrumentação semelhante à que iria a bordo de aeronaves convencionais de imageamento aéreo; porém com custos de operação significativamente menores e que tem, sobretudo, o custo reduzido com o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis para o voo e flexibilizações de uso legal do equipamento, em grande parte dos países.

A popularização do seu uso até mesmo tem incentivado o emprego da tecnologia de fotogrametria digital, por meio de fotografias nos mais diversos campos, incluindo a geração de modelos tridimensionais de áreas urbanas. Um exemplo disso é o seu uso em documentação do patrimônio histórico-cultural da cidade do Rio de Janeiro, conduzido por uma equipe interdisciplinar na Fundação Getúlio Vargas (FGV-RJ) (LEMOS *et al.*, 2019).

Outra forma de composição de modelos tridimensionais, em ambiente urbano é a construção de formas, via modelagem em *softwares CAD* (*Computer Aided Design*). Com a grande oferta de informações sobre os tipos de edificações e ocupações de solo, em grandes cidades como o Rio de Janeiro,

é possível obter dados de dimensões, que podem ser a base para construção manual e semiautomática de modelos tridimensionais, lançando-se mão desses programas. Muito utilizados na Arquitetura, tais dados podem ser usados na construção de modelos que se assemelhem, em forma e posição geográfica, às feições reais, servindo de base para popular as áreas urbanas, recriadas digitalmente como maquetes eletrônicas e, como é o caso desse estudo, simuladores de manobra.

Esses modelos podem ser georreferenciados e aplicados a um modelo digital de terreno (MDT) prévio, para modelagem de área urbana, e podem ter tanto um caráter fiel ao real quanto um caráter caricatural, de modo a representar um determinado contexto urbano, por meio de suas características principais (RICE III *et al.*, 2004).

Até hoje, muitas das aplicações que pretendem recriar cidades fazem uso da população disponível de modelos em *CAD* de edifícios urbanos, para caracterizar o espaço, em conjunto com ruas, parques e outros aparelhos urbanos. Segundo Peres (2009), muitas das empresas de *videogames* que necessitam de modelos acurados de diversas regiões pelo mundo, para serem inseridos em seus produtos, ainda gastam muitas horas de desenvolvimento do *game* em modelagem dos edifícios e feições urbanas características em *CAD*, apenas para pontuar um exemplo da aplicabilidade da tecnologia.

Contudo, o uso de uma tecnologia isolada, conforme constatou-se, não permite a apreensão de formas para o objetivo específico de identificar feições urbanas com base em uma visualização do mar, especialmente em se tratando da geração de modelos tridimensionais, por meio de pares estereoscópicos obtidos de sensores orbitais, mesmo aqueles de altíssima resolução.

Partindo dessa conclusão sobre a aplicação da metodologia, utilizando MDE de pares estereoscópicos orbitais, passou-se então a adotar uma nova abordagem tecnológica que permitisse a aplicação das técnicas de análise.

Essa conclusão não invalida as contínuas tentativas de se aplicar a tecnologia do MDE de pares estereoscópicos orbitais na análise urbana, uma vez que podem ter sua função, principalmente, a depender da escala da análise. Alguns autores já procuraram, sem desenvolvimentos futuros até o momento, propor a aplicação dessa tecnologia em regiões litorâneas, com foco em planejamento urbano (MAGAROTTO *et al.*, 2013). Esse tipo de abordagem reforça a opção de utilizar outros meios de acesso aos modelos

tridimensionais urbanos, no presente momento, de modo a melhor caracterizar o espaço em questão e permitir a análise.

Considerando que se dispõe de diversas abordagens técnicas para recriar digitalmente modelos de feições urbanas, foi preciso utilizar adequações de algumas dessas técnicas e mesclá-las, a fim de criar o espaço urbano propício à análise, fosse essa adequação referente ao modelo da feição em si, fosse à sua própria vizinhança, que pode compor a análise.

Por padrão, entende-se que o ideal seria a obtenção dos modelos digitais de feições de interesse, por intermédio de modelos *CAD* (*Computer Aided Design* ou desenho assistido por computador) aplicados sobre terreno. Para isso, poder-se-ia, mais uma vez, fazer uso de diversos métodos diferentes; porém, como o objetivo desse trabalho é reconhecer as formas em si, optou-se pela escolha da tecnologia mais disponível, considerando-se o trajeto proposto.

Tal trajeto é, por substância, um compêndio de técnicas já aqui descritas e que se farão presentes no uso dos *softwares* selecionados.

12.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

O principal objetivo deste trabalho foi construir uma metodologia de aplicação da tecnologia de geração de modelos tridimensionais de cidades, com fins ao desenvolvimento de cenários, para simuladores de manobra de embarcações de grande porte, que possuem exigência de treinamento e atualização de tripulação profissional, para demandar portos por todo o mundo. No Brasil, a existência de simuladores de manobra para esse propósito, em específico, é recente, portanto os desafios envolvidos no desenvolvimento de sistemas que possam ser rapidamente e eficientemente construídos são grandes. Uma das importantes etapas de desenvolvimento do sistema, que conta com a construção do modelo do navio (matemática e visualmente), de condições meteorológicas, de ferramentas de interação dos alunos com o sistema, conforme o foco desse trabalho, é a construção do ambiente de simulação, composto da área navegável e da cidade (e seus detalhes de paisagem).

A importância da construção do cenário não diz respeito somente à construção de feições com formas definidas, mas, principalmente, à construção de uma paisagem identificável por um observador posicionado no mar. Esse é um desafio por si só, já que a cidade possui sua paisagem definida

não somente da posição relativa das feições e do relevo, como também da hora do dia, da condição meteorológica, do tráfego e da posição relativa do observador. Portanto, não basta que se ajustem algumas feições ao cenário, mas que se apreenda toda uma paisagem, composta conforme suas diversas formas, vizinhanças, arruamentos, praças, iluminação etc.

Este capítulo pretende explorar o importante aspecto da geração de modelos digitais de feições urbanas, típicas de simuladores de manobra de navios, uma vez que serão selecionadas edificações de referência visual para a navegação como estudos de caso, para a aplicação da metodologia proposta. O mesmo procedimento, contudo, pode ser reproduzido em virtualmente quaisquer outras aplicações em que se faça necessária a apreensão de modelos digitais de aparelhos urbanos, identificáveis visualmente e relativamente à sua vizinhança.

Essa aplicação, portanto, posiciona o observador pela ótica do mar e, analogamente à geração dos modelos urbanos, também pode ser reproduzida para diferentes posições de observação, de modo a reproduzir quaisquer paisagens urbanas e em diferentes visadas.

Por fim, este capítulo pretende despertar o interesse na apropriação de produtos digitais disponíveis para visualização, uso e aplicação geográficos; especialmente, em ambiente urbano, para o planejamento e desenvolvimento de áreas urbanas, principalmente, aquelas litorâneas e portuárias, conforme o estudo de caso apresentado a seguir.

12.3 DESENVOLVIMENTO

De modo a colocar em prática as premissas visitadas anteriormente, foi necessário criar uma metodologia que suportasse as análises e consequentes avaliações necessárias à validação da paisagem em ambiente digital, apreendida por meio das tecnologias escolhidas.

O método em questão envolve um processo iterativo, isto é, cíclico, que possa ser revisitado diversas vezes ao longo do processo de captura do modelo tridimensional de certas feições selecionadas, da análise do modelo pela ótica de desenvolvimento da forma da feição urbana e, por fim, da sua avaliação, pela aderência aos objetivos da pesquisa; nesse estudo de caso, aplicada ao reconhecimento da paisagem urbana litorânea do centro periférico da cidade do Rio de Janeiro, compreendido pelo Píer Mauá e suas redondezas.

Esse breve processo pode requerer, além da captura dos modelos tridimensionais, sua eventual edição, para correção de imperfeições que possam afetar o entendimento do espaço.

De modo a melhor avaliar a adequação de determinado modelo digital, é preciso recorrer a um artifício subjetivo de avaliação. Esse recurso, o desenho à mão, por sua vez, também chamado de esboço ou rascunho, já há muito é realizado nas mais diversas áreas científicas, como elaborado por Martin Kemp, um historiador de arte, convidado pela revista americana *Nature* para “analisar os meios visuais da Ciência” (ALLOA *et al.*, 2015; KEMP, 2003). Serve ainda, vastamente à Geografia e à Cartografia, em trabalhos de campo, na composição do chamado “caderno de campo”, em que se faz necessária a apreensão de detalhes que, muitas vezes, somente podem ser adquiridos rapidamente dessa forma, seja com o nível de detalhamento que for.

Por isso, é importante ressaltar que esse método pode ainda ser entendido como um processo desempenhado sobre o modelo gerado (ou obtido), que permite melhor entendimento das camadas de significado que se deseja acessar, principalmente as que dizem respeito ao reconhecimento da forma do modelo. Essa acepção pode estar relacionada, muitas vezes, aos detalhes arquitetônicos de forma e às informações históricas, que precedem a existência da feição na atualidade; e que se refletem na visualidade do modelo e como um determinado espaço se apresenta na realidade.

Uma questão relevante é que o método parte da captura ou geração do modelo tridimensional, ao passo que essa etapa se torna determinante para o resultado da avaliação sobre o produto gerado. Os primeiros ensaios mostraram que a tecnologia ideal é uma mescla dos recursos possíveis, disponíveis no momento de publicação deste capítulo, uma vez que incluem fotogrametria por voo de *drones*, MDTs e modelos construídos em *CAD*, juntos numa mesma cena, para a composição da cidade virtual, recriando feições com diferentes níveis de detalhe de forma e arquitetônicos.

A presente preocupação é exclusivamente com o reconhecimento da paisagem, portanto pode-se dispor de diferentes meios para obtê-la tridimensionalmente e em ambiente digital. Para tanto, há uma infinidade de dados disponíveis para visualização, que podem ser capturados, com auxílio de *software* específico, diretamente da placa de vídeo.

A captura dos modelos tridimensionais para manipulação foi realizada por intermédio do *Google Maps*[®]. Esse *software* foi utilizado não só

como ferramenta de busca por locais e trajetos urbanos, mas também como repositório de consulta de modelos tridimensionais (exibindo opções de “construções 3D”).

A ferramenta, já disponível para interação do público em geral na internet, figura como uma importante plataforma de informações da cidade, sobrepondo camadas de informação que, somente por meio da interação com o usuário, são passíveis de serem acessadas. Trata-se de um repositório de acesso à informação que não apresenta ainda limites de expansão, em termos de sua interatividade e aplicabilidade (TARDIN, 2018). A Figura 12.1 mostra o alvo a ser capturado na tela de exibição do programa.

Figura 12.1 – Modelo do Mosteiro de São Bento.



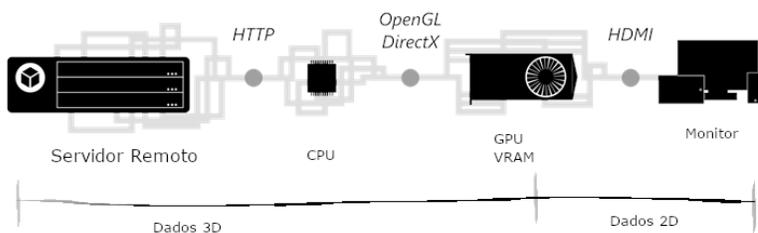
Fonte: os autores, adaptada *Google Maps*®. Imagem capturada por Luiz Felipe S. G. de Carvalho.

Para capturar os modelos tridimensionais, também se utilizou a ferramenta *open source Maps Model Importer*®, v. 0.2.1, uma interface de usuário (*Graphical User Interface – GUI*) que possibilita justamente a apreensão de um determinado modelo tridimensional da plataforma *Google Maps*®. Utilizado em conjunto com a ferramenta *open source Render Doc*®, permite a captura de qualquer informação gráfica no computador, diretamente do processamento da placa de vídeo, como uma malha editável, uma vez que essa informação é processada de modo análogo ao que ocorre na geração de modelos tridimensionais. Essa conjunção dos três *softwares* mencionados permite ainda obter os dados geoespaciais dos metadados do modelo armazenado, de suma importância para o correto georreferenciamento do modelo, no caso de reuso em aplicações de modelagem geoespacial.

Após a apreensão do modelo, uma vez salvo no disco rígido do computador, aquele pode ser aberto no *software Blender*[®], v. 2.82, por meio de importação simples, com auxílio do *plugin Maps Model Importer*[®], v. 0.2.1, gerando um modelo tridimensional, que se apresenta na interface de usuário, como um recorte espacial do que for enquadrado na tela do computador e seguindo a resolução configurada para a placa gráfica (MICHEL, 2020).

É importante entender o processo pelo qual passa a imagem tridimensional, que é renderizada no computador pela placa gráfica, de forma a ser exibida ao usuário. Segundo Elié Michel (2020), o dado tridimensional chega até a placa localmente, sendo passível de captura, como uma foto. A grande diferença entre esse tipo de captura e a captura de tela (como em *print screen*) é que, no primeiro caso, a captura é uma informação tridimensional que pode ser manipulada em um *software* como o *Blender*[®]. A Figura 12.2 mostra como o dado tridimensional viaja desde os servidores que o disponibilizam até a tela do computador do usuário, passando pela placa gráfica local (*Graphics Processing Unit – GPU*). É importante destacar que o dado é tridimensional até a *GPU*; mas, quando é exibido na tela, torna-se bidimensional.

Figura 12.2 – Trajeto do modelo tridimensional até a tela do computador pessoal.



Fonte: os autores, com base em Michel (2020).

A partir desse momento, com o modelo salvo no disco rígido, inicia-se o processo de apreensão dos elementos característicos, com base na execução de esboços da feição, de modo a contemplar o que poderia trazer maior contribuição à reconstrução (ou reprodução) do edifício, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e em três dimensões (3D), com o mínimo de esforço computacional e com máximo

reconhecimento de sua forma. O esboço, em si, não parte do modelo tridimensional, mas sim de outra referência do edifício representado, de modo que o artista possa fazer uma interpretação da forma da feição, conforme esta é apreendida visualmente, sem julgamentos de mérito, mas suficientemente subjetiva para que, quando comparada ao modelo tridimensional *a posteriori*, sirva de validação quanto aos elementos presentes no modelo tridimensional, que auxiliam na sua identificação.

Adicionalmente, experimentou-se reconhecer no modelo as características que identifiquem sua forma primordial, tal qual apreendido no modelo digital, por meio da apreciação do esboço, gerando conclusões baseadas em sua tipologia, sua posição relativa à vizinhança e suas camadas de significado.

A constatação em relação ao uso dos esboços, como parte da pesquisa por formas visuais dos edifícios, remete ao procedimento proposto nesse trabalho, indicando três fases, que incluem: i) a captura do modelo digital; ii) a elaboração do esboço manual; e iii) a aplicação dos critérios de identificação da forma; que correspondem às três primeiras etapas do fluxograma de trabalho, por meio do qual a) gera-se (ou apreende-se) a forma digital; b) decide-se pela ilustração do edifício, selecionando empiricamente seus elementos de interesse; e c) procede-se à análise acerca da forma observada (Figura 12.3).

Pode-se explicitar o fluxo de trabalho de tal modo que a primeira etapa seja a coleta dos dados tridimensionais. Avaliados os defeitos de formação maiores e intrínsecos do processo de captura, decide-se inicialmente se é possível prosseguir ou não.

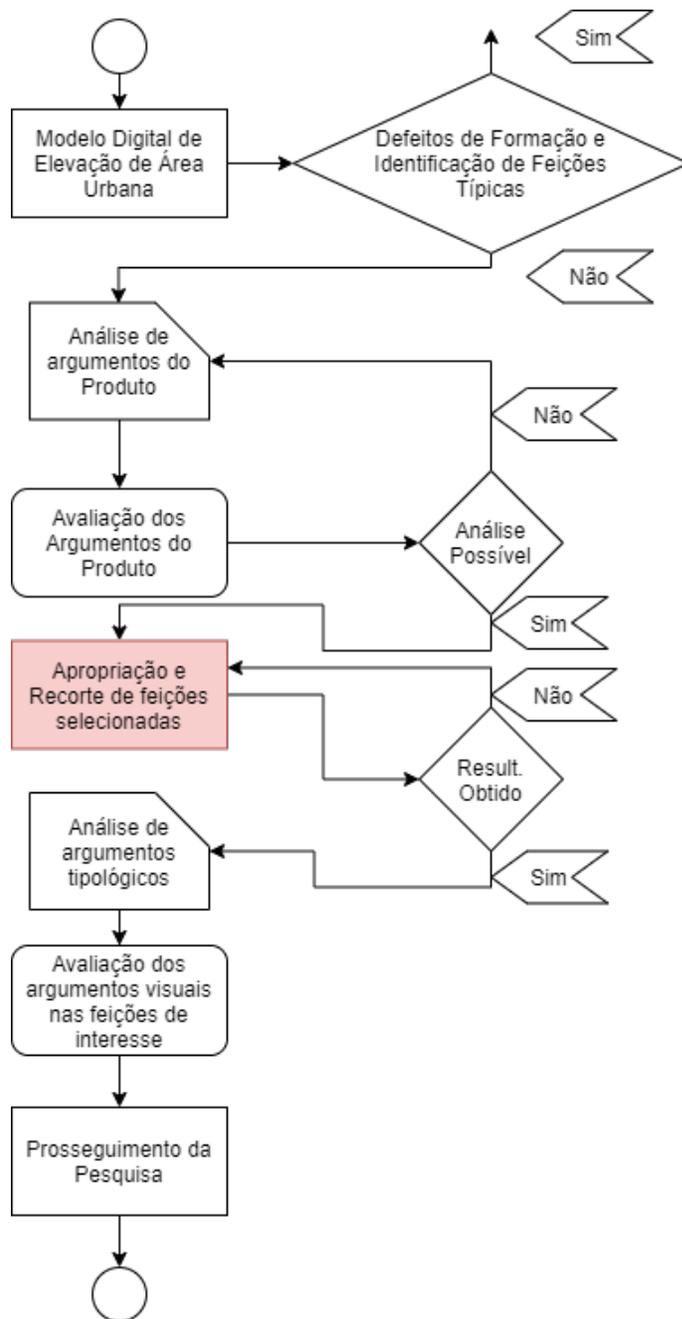
A primeira análise diz respeito aos argumentos do produto, ou seja, se é possível reconhecer formas das feições de interesse (ou feições de referência) para sua identificação e localização na paisagem. Essa etapa diz respeito a problemas de formação que permitam o uso do modelo tridimensional, mas que, eventualmente, possam impedir o reconhecimento da feição. Trata-se de uma análise visual qualitativa das feições mais relevantes para o objetivo do recorte.

A avaliação é justamente o processo decisório, que condena ou aprova as feições escolhidas e/ou o produto como um todo, com base nesses argumentos. A análise seguinte, com respeito à forma, será possível, porém, somente se tal verificação for positiva.

A análise seguinte prosseguirá sobre os argumentos tipológicos em cada feição selecionada, e, para tanto, utilizar-se-á o recurso do esboço, para que seja possível ter um material que apresente, de forma simultaneamente visual e qualitativa, os elementos de forma, que permitem a sua identificação — tal como foi conduzido para a cidade de Paris (DOERCH *et al.*, 2012), porém em menor escala e sem amostragem ou aprendizado de máquina (*machine learning*), visto que o mais relevante nessa etapa é utilizar um recurso que apresente os elementos que devem constar no modelo tridimensional, e não estabelecer um padrão de reconhecimento de máquina.

Após a avaliação de todas as feições de interesse presentes no modelo tridimensional, pode ser avaliada a aderência do modelo à paisagem e se, para o caso de um navegante a bordo de um navio (ou um aluno a bordo de um simulador de manobras), pode-se fazer a apreensão e o reconhecimento da paisagem do ponto de vista selecionado.

Figura 12.3 – Fluxograma ilustrativo do método.



Fonte: os autores.

O processo repete-se até que todos os edifícios selecionados tenham sido digitalmente importados para um recorte específico a cada um deles, passando estes a constar individualmente na documentação da pesquisa.

É de suma importância que os edifícios selecionados estejam dentro do campo de visão do navegante e que estes, preferencialmente, figurem como auxiliares ou referenciais à navegação, de modo que sejam oficialmente incluídos nas cartas de auxílio à navegação do local, as cartas náuticas (DHN, 1995), conforme ilustra a Figura 12.4 (Baía de Guanabara). Essa é uma maneira prática de se validar o processo aqui explanado.

Figura 12.4 – Trecho da Carta Náutica 1501.



Fonte: Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 2021).

12.4 RESULTADOS OBTIDOS

Segundo Argan (2000), a tipologia somente pode ser caracterizada por meio de uma série de edifícios que constituem um conjunto de semelhanças, a ponto de torná-los, todos, parte de um mesmo tipo. Tal conceito nada mais é que uma reprodutibilidade baseada em sucessos de obras (arquitetônicas) expostas no ambiente urbano e que são replicadas em determinada área. Como ressalta Tourinho (2014), a criação de uma obra de arte arquitetônica parte da concepção de formas mais básicas e conhecidas para criar elementos únicos, que podem ser entendidos como inovadores (ou “obras de arte arquitetônicas”).

David Harvey (1992) explica (em parte) no livro *A Condição Pós-Moderna*, de sua autoria, por que há tamanha diversidade de formas na cidade

pós-moderna, composta de fragmentos; e por que tipificar uma forma por inspeção direta pode se tornar uma tarefa difícil, já que tais fragmentos são múltiplos em significados e, portanto, mistos, compostos e plurais.

É interessante observar que o campo da tipologia arquitetônica tem por base as mais diversas formulações envolvendo forma e função, incluindo o livre arbítrio do projetista em se apropriar de tendências, noções artísticas e, até mesmo, de proporções matemáticas (SPREIREGEN, 1965), para criar uma forma. Essa forma, por sua vez, pode ser adaptada à função, no chamado funcionalismo arquitetônico; porém, ocorre um intenso debate sobre se a forma não deve ser primordial no projeto arquitetônico, em detrimento da função (ROCHA, 2016; SENNETT, 2018); discussão essa que não cabe ser contemplada nesse trabalho, uma vez que se debruça sobre formas já conhecidas e, portanto, com funções determinadas; e não na criação arquitetônica em conformidade com as vigências do urbanismo atual, noções de inclusão social, entre outras questões que podem emergir em trabalhos e artigos futuros que venham a empregar a proposta de processo ora apresentada.

Ressalta-se a análise desenvolvida anteriormente, em que se descartou a possibilidade do uso de modelos digitais de elevação provenientes de sensores orbitais, já que o nível de detalhamento por geração não atende a requisitos de identificação das formas urbanas, bem como pelo fato de que a tecnologia atual ainda não permite a edição ao nível esperado. Ainda que haja sensores orbitais de altíssima resolução espacial, eles não são aderentes à aplicação de análise e verificação de formas urbanas, no nível de detalhe apontado nesse trabalho como necessário.

Partindo do objetivo geral deste capítulo, pode-se apresentar os recortes dos modelos digitais identificados e posteriormente apropriados da plataforma *Google Maps*[®], por meio da tecnologia de extração, por captura direta na placa de vídeo, proporcionando uma visualização objetiva das feições de interesse, incluindo os edifícios-alvo e suas vizinhanças mais próximas. Com a escala de detalhes que o modelo permite observar, percebe-se a manifestação dos itens componentes da forma, à distância de um observador posicionado no mar, e, assim, percebe-se o potencial de captura de informações das redondezas desse edifício, para o entendimento da paisagem.

Trata-se, com isso, de apontar a tecnologia de extração e visualização do modelo digital recortado, com base no qual se observa a cena e se estabelece uma determinada percepção espacial e temporal, fixada naquele modelo e no entorno, suas vizinhanças, além da distribuição do espaço ao

redor. Essa escolha, um tanto induzida pelas limitações da tecnologia, faz com que seja fixado também o nível de detalhamento presente nos modelos. Diferentemente dos MDE de matriz orbital, essas extrações apresentam não só o aspecto volumétrico da feição, como também muitos detalhes arquitetônicos, dos quais o artista pode se apropriar para conduzir os esboços (e traços caricaturais) na sequência, já que o *Google Maps*[®] inclui tanto modelos gerados por fotogrametria quanto modelos construídos em CAD, alternando a tecnologia, dependendo da área coberta.

Além do processo de seleção das feições, extração do modelo digital e consequente aplicação dos critérios elencados anteriormente para desenvolver os ensaios previstos nesse estudo de caso (para todos os três edifícios selecionados), conduziu-se uma interpretação, por intermédio da composição artística de cada um dos artistas convidados a representar manualmente os edifícios selecionados.

Estas duas etapas — a extração do modelo e a composição artística do edifício —, por sua vez, convergiram na análise dos elementos do esboço, presentes no modelo digital a uma determinada escala de identificação de forma (muito mais detalhada que aquela oferecida por um sensor ótico orbital, por exemplo), com base nos elementos tipificados pelas mãos do artista e pela adoção de estratégias de diferenciação da tipologia de cada edifício. Essa tipificação é bastante tradicional na Arquitetura, tendo já sido extensamente explorada por Gian Carlo Argan e muitos outros autores (CARVALHO, 2008; TOURINHO, 2014), discutindo sua finalidade dentro do contexto social da cidade; e para o *ethos* do arquiteto e urbanista.

Uma vez adotada a tecnologia de representação do modelo tridimensional dos edifícios (das áreas urbanas) e elencados os critérios de análise e avaliação, retornou-se à seleção das feições de maior interesse prático, a fim de obter os resultados desejados conforme os objetivos.

Entendeu-se que há muito mais oferta de informações urbanas na cidade do Rio de Janeiro e, portanto, dentro da área de interesse. Os acontecimentos urbanísticos que se deram na cidade nos últimos anos, por ocasião da realização da Copa do Mundo de Futebol (2014) e dos Jogos Olímpicos (2016), também tornam a cidade, mais especificamente o seu centro (posicionado fora do centroide geográfico), mais atrativa, do ponto de vista das diversas opções de feições disponíveis, como também nos acervos públicos de modelos tridimensionais, como o *3D Warehouse*[®], criado pela empresa

Google® e mantido pela contribuição da comunidade de modeladores tridimensionais, ao redor do mundo.

Para fins práticos, optou-se por eleger ainda edifícios de grande reconhecimento e interesse público, a maioria deles localizada no Centro do Rio de Janeiro, de modo a gerar interesse na escolha deles, por serem pontos turísticos e de importância regional, portanto passíveis da aplicação dos critérios de identificação de forma, conforme proposto nesse trabalho.

Além disso, cabe pontuar a permanência da busca por feições que se configurem como pontos de importância para a navegação estimada e costeira, constantes na Carta Náutica 1501, de referência da área da Baía de Guanabara, fazendo com que a escolha tenha se dado seguindo o Quadro 12.1.

Quadro 12.1 – Feições de interesse selecionadas.

Local	Imagens	Descrição
<p>Edifício Rio Branco número 1 – RB1</p>	 <p>Edifício RB1 visto da Praça Mauá, Rio de Janeiro. Fonte: A. Jacob¹⁰</p>	<p>Edifício contemporâneo, ponto de referência para navegação. Centro, Rio de Janeiro.</p>

¹⁰ Imagem cedida sob licença Wikimedia Commons 4.0, disponível em <https://tinyurl.com/yxtn8gdb>.

<p>Mosteiro de São Bento</p>	 <p>Mosteiro de São Bento, Rio de Janeiro¹¹</p>	<p>Edifício histórico, ponto de referência para navegação. Centro, Rio de Janeiro.</p>
<p>Edifício Touring</p>	 <p>Edifício Touring, Rio de Janeiro. Fonte: Fusviusbsas¹²</p>	<p>Escolhido pela representatividade e visibilidade no Cais do Porto do Rio de Janeiro.</p>

Fonte: os autores.

Os edifícios foram escolhidos com base em uma busca por endereços na área do Centro do Rio de Janeiro (portanto, compreendidos na área de interesse), de modo a manter a relação entre forma e visibilidade, na ótica do observador no mar, utilizando-se a ferramenta de busca geoespacial *Google Maps*[®] como visualizador da paisagem da área, em prévia do recorte escolhido. Além disso, a área é muito familiar, a um dos autores. Luiz F.S.G. de Carvalho, que tem desenvolvido produtos digitais da área, em contexto educacional e anteriormente a esse trabalho, o que contribui para a identificação de feições de interesse.

¹¹ Imagem cedida sob licença Wikimedia Commons 4.0, disponível em <https://tinyurl.com/3zxwy6zk>.

¹² Imagem cedida sob licença Wikimedia Commons 4.0, disponível em <https://tinyurl.com/y2dcwdry>.

Nesse ponto, foram extraídos os modelos digitais conforme a proposta metodológica e em consonância com o quarto passo do fluxograma (Figura 12.3). Evidentemente, dada a já verificada capacidade de representação que a tecnologia escolhida provê, não foi necessário realizar nenhuma correção no modelo obtido para se alcançarem os objetivos propostos; portanto, os três primeiros passos tornam-se hipotéticos, no caso de se trabalhar com um modelo que exija algum tipo de edição, para se tornar analisável; como o caso de um modelo formado de uma nuvem de pontos, por extração a *laser*, por exemplo.

O passo seguinte, para todos os edifícios selecionados, portanto, foi executar a Análise dos Argumentos do Produto, evidentes nos modelos digitais extraídos. Entretanto, ainda sem uma seleção dos mais característicos, para o apropriado reconhecimento da função. Para tanto, o esboço caricatural apropriado de Rice III (2004) foi escolhido como meio de análise. O referido esboço serviu ainda como o diagrama proposto por Lynch (2010), para contribuir ativamente na organização do raciocínio morfológico da área urbana ao redor, buscado em cada caso.

Portanto, como resultado da avaliação caricatural, considerando os esboços apresentados, podemos avaliar os estudos edilícios e morfológicos, caso a caso, apontando para os aspectos que elencamos. Os desenhos aqui apresentados podem ser classificados como “Desenhos de Esboço”, na Arquitetura (CARDOSO, 2005); e procuraram ater-se sempre mais à forma volumétrica, tal como proposto por Rice III, para um desenho de caricatura.

Por fim, segue-se a repetição do processo, para chegar a uma caricatura, o que se daria em iterações seguintes do processo aqui proposto e que, para ilustrar, conduziu uma passagem pelo fluxograma, como a uma fotografia documental do processo e exemplificação do uso da tecnologia de extração do modelo; e acepção da sua forma, por meio do esboço.

O modelo tridimensional capturado do edifício do Mosteiro de São Bento (Figura 12.5) representa quase integralmente o edifício real e suas características. A captura permitiu obter um modelo relativamente leve, em termos de dados de imagem, mas robusto, em termos de detalhamento, sendo facilmente importado para o *software* de modelagem *Blender 2.82*[®]. Então, pôde-se escolher uma vista, para melhor visualização do edifício e de seus arredores, melhor contextualizando o espaço de interesse e, sobretudo, identificando-o em meio à paisagem de vizinhos próximos e

da posição diferenciada sobre um promontório à beira-mar. Com base nessa imagem, pôde-se avaliar o nível de simplificação adotado pelo artista em relação à imagem de referência.

Figura 12.5 – Esboço (A) e Modelo (B) do Mosteiro de São Bento.



Fonte: os autores, com base em esboço gentilmente cedido pela artista visual Marcella Araújo, em 2020 (A); e imagem e modelo obtidos de Google® (GOOGLE, 2021c) (B).

Utilizando um estudo de referência sobre essa edificação, em específico Vantini *et al.* (2018), pôde-se verificar quais elementos arquitetônicos de identificação dessa construção foram eleitos pelos autores como fundamentais para o reconhecimento do edifício.

Entre os elementos primordiais exaltados no desenho estão:

- Construção em um quadrilátero erguido sobre altas fundações.
- Sensação de rigidez do edifício, externando um dos aspectos maneiristas.
- Fachadas e cômodos de excessivo comprimento e altura. (VANTINI *et al.*, 2018).

Entre os argumentos utilizados, os autores identificam o estilo arquitetônico maneirista do início do século XVII, presente nas formas do edifício principal, como um padrão seguido por diversas outras igrejas no mundo, no período de sua construção, permitindo ao observador identificar esse edifício na paisagem e reconhecer sua função como igreja.

Ao importar o modelo tridimensional do Edifício Rio Branco 1 (RB1) do *software* de captura para o *software* de modelagem tridimensional, percebeu-se o grande volume vertical que a malha trouxe consigo. Em uma área em que as verticalizações são comuns, esse edifício ainda se evidencia vertical na paisagem recortada do modelo, com poucos vizinhos próximos. O modelo foi composto ainda pelo Edifício A Noite, vizinho próximo, e por outros edifícios de menores proporções, o que causa um problema de visualização imediato no modelo, já que essa vizinhança dificulta a visualização do edifício RB1, assim como na realidade.

O modelo poderia ser facilmente editado para destacar isoladamente o edifício-alvo, já que os detalhes tridimensionais, apesar de muitos, são de fácil identificação. Contudo, optou-se por ater-se ao que a paisagem apresenta, para melhor compreender o edifício e seu lugar geográfico urbano como referência visual, sobretudo à navegação.

A primeira análise do esboço mostra claramente um aspecto primordial no que diz respeito a edifícios altos: sua razão de aspecto. Percebe-se que o edifício é alto porque apresenta, claramente, representada no esboço, sua altura como dimensão muito maior que qualquer outra dimensão espacial (largura e profundidade). No entanto, essas são algumas das referências que o artista teve ao analisar o esboço, para inferir alguma análise em relação à forma que aparece no modelo.

No entanto, no caso do edifício RB1 (Figura 12.6), apesar de a inspeção direta remeter a um edifício comercial (devido à posição relativa), situado no centro comercial da cidade, é preciso verificar a sua visualidade pelos diferentes ângulos em que ela pode ser observada, que remetam às suas premissas arquitetônicas e que sejam visíveis, mesmo por um observador a grande distância, do que decorre o fato de o edifício também ser referência para a navegação.

Figura 12.6 – Comparação entre o esboço (A) e o modelo digital do Edifício Rio Branco 1 (RB1).



Fonte: os autores, com base em esboço do autor Luiz F. S. G. de Carvalho (A) e imagem e modelo do Edifício Rio Branco 1 obtidos de Google® (GOOGLE, 2021a).

Mais um edifício icônico, não escolhido ao acaso, o Edifício RB1 é, até hoje, um dos edifícios que mais se destacam na paisagem urbana litorânea do Rio de Janeiro (e da área da Baía de Guanabara). Trata-se de um dos edifícios comerciais mais destoantes da paisagem do centro urbano carioca e, portanto, passível do questionamento da sua onipresença no centro da cidade do Rio de Janeiro como um representante de edifícios comerciais.

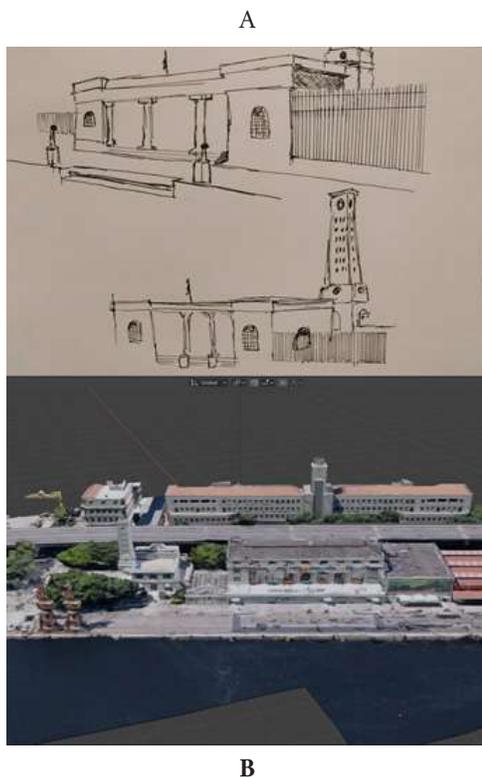
Por fim, o Edifício Touring (Figura 12.7) é um edifício conhecido e, assim como o Mosteiro de São Bento, figura como referência para a navegação de quem chega ao Rio de Janeiro pela Baía de Guanabara, via mar, apesar de sua pouca altura. Isso porque um dos motivos de tal visibilidade é sua posição geográfica. Localiza-se no ponto mais nobre do Porto do Rio de Janeiro e figura como porta de entrada, até hoje, para os turistas que chegam à cidade, em navios de cruzeiro que atracam no Píer Mauá.

O modelo tridimensional capturado exibe o edifício com muitos detalhes, até mesmo arquitetônicos, e com uma grande profusão de edifícios de mesma altura próximos, o que, *a priori*, dificulta a observação, conforme pode ser constatado na Figura 12.7.

Outro aspecto marcante do modelo é que as áreas de tonalidade escura, como o próprio mar da Baía de Guanabara, são de difícil discernimento para as áreas não modeladas, o que provoca uma confusão, aos olhos do observador desatento, tanto da paisagem próxima do mar quanto da interface do próprio *software*.

Conforme proposto então, essa combinação de passos dá origem a um fluxograma processual que permite a replicação em quaisquer outras construções com que se deseje relacionar forma e visualização espacial, além, talvez, de outros predicados do elemento urbano; relacionando, assim, por meio de tecnologia digital, aspectos inerentes à percepção de paisagem e, ainda, cartográficos, em ambiente urbano.

Figura 12.7 – Montagem comparativa entre o modelo digital (A) e o esboço (B) do Edifício Touring.



Fonte: os autores, com base no esboço do autor Luiz F. S. G. de Carvalho (A) e da imagem e do modelo (B) do Edifício Touring, obtidos de Google® (GOOGLE, 2021b).

12.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O exercício de experimentar diferentes aproximações tecnológicas, para se obter um modelo tridimensional acurado das formas das feições urbanas, levou ao melhor entendimento do que já há disponível para o pesquisador interessado nesse meio. Além de um repositório de modelos tridimensionais extenso, como o do *Google 3D Warehouse*¹³ ou do *Sketchfab*[®], populado dia a dia pela comunidade internacional de modelagem tridimensional, há de se perceber a grande variedade existente de formas de se gerar um modelo tridimensional urbano. O pesquisador interessado pode conduzir uma pesquisa por edifícios de interesse, que podem já ter sido desenvolvidos pela comunidade e estar disponíveis para *download*; mas o modelo sempre pode ser gerado como uma maquete virtual (via modelagem em *software CAD*) ou por estereoscopia, com base em dados com resolução espacial, como os fornecidos pelos sensores a bordo de Vants e aviões.

O caso aqui estudado abrigou a justificativa da reprodução de uma área de interesse para a navegação já muito modificada ao longo dos anos de sua permanência, mas altamente identificável em nível morfológico, por suas formas mais características. Para tanto, estudamos aqui uma imensa gama de detalhes que podem ser obtidos, desde a construção de modelos tridimensionais, via imagens orbitais de pares estereoscópicos, até a modelagem, detalhe a detalhe, de elementos arquitetônicos, em modelos *CAD* de feições urbanas isoladas, o que exige cuidado ao selecionar as escalas de visualização, para permitir a identificação de elementos importantes.

Verificou-se o grande potencial de adesão imediata da tecnologia utilizada nesse trabalho, para implementação direta em *softwares* de simulação e modelagem de *games*, como esperado, uma vez que a alta portabilidade das malhas de feições urbanas geradas por captura permite edição e correção e ainda pode ser facilmente interpretada e geolocalizada de acordo com suas posições reais, conferindo um alto grau de realismo para esse tipo de aplicação.

Portanto, vê-se essa pesquisa como um ponto de partida para desenvolvimentos futuros em que o pesquisador possa, primeiramente, aplicar o processo ora proposto em outros estudos de casos e em outras áreas de conhecimento, expandindo os entendimentos sobre edificações urbanas e o seu papel na paisagem, sobretudo, em se tratando de regiões urbanas litorâ-

¹³ Acesso à plataforma *Google 3D Warehouse*[®] em 24/3/2020, via <https://tinyurl.com/y353hdfc>.

neas, que passam (ou passaram) por reformas, explorando as modificações (e, principalmente, as ressignificações). Assim como para o pesquisador interessado em apropriar-se desse processo, no intuito de estudar o planejamento e a expansão urbanas, a infraestrutura de marinas e de acesso ao mar. Essa pesquisa pode ser útil ao desenvolvedor de simulação e *videogames*, ao recriar fielmente uma cidade, com seus elementos mais essenciais, de modo a consumir o mínimo de recursos computacionais e com o maior reconhecimento visual possível.

Por fim, entende-se como fronteira a interoperabilidade dos recursos disponíveis (e, quiçá, gratuitos e de código aberto), para executar todas essas análises, para além do nível acadêmico, cooperando com o esforço de tornar a Ciência mais acessível a todos, com qualidade e confiabilidade.

REFERÊNCIAS

- ALLOA, E. *et al. Pensar a imagem*. [S. l.]: Autêntica Editora, 2015.
- ALPERS, S. *Arte de descrever: a arte holandesa no século XVII*. São Paulo: EdUSP, 1983.
- ARGAN, G. C. *Projeto e destino*. São Paulo: Editora Ática, 2000.
- BARROS, R. S. de. *Avaliação de modelos digitais de elevação obtidos a partir de sensores orbitais*. 2006. 172 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- CARDOSO, C. A. P. *Formas arquitetônicas: possibilidades em ambiente computacional*. 2005. 229 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.
- CARVALHO, J. P. de. *A tipologia dos edifícios de apartamentos e sua relação com o tecido urbano da cidade: um estudo de suas transformações nos últimos 40 anos*. 2008. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA DA MARINHA (DHN). Carta Náutica 1501 Baía de Guanabara. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav-cartas-raster/baia-de-guanabara>. Acesso em: 25 sep. 2021.
- DOERCH *et al.* What makes Paris looks like Paris? *ACM Transactions on Graphics*, [s.l.], v. 31, n. 4, p. 101-109, 2012.

- GOOGLE. Imagem e modelo do Edifício Rio Branco 1 (RB1), Rio de Janeiro (RJ). 2021a. Disponível em: <https://tinyurl.com/25x9kxr6>. Acesso em: 13 jul. 2021.
- GOOGLE. Imagem e modelo do Edifício Touring, Rio de Janeiro (RJ). 2021b. Disponível em: <https://tinyurl.com/hjhet5a4>. Acesso em: 13 jul. 2021.
- GOOGLE. Imagem e modelo do Mosteiro de São Bento, Rio de Janeiro (RJ). 2021c. Disponível em: <https://tinyurl.com/r4cnt94x>. Acesso em: 13 jul. 2021.
- GUAYCURU DE CARVALHO, L. F. S. *Análise de modelos digitais de elevação de áreas urbanas: um estudo de caso no centro da cidade do Rio de Janeiro*. 2021. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.
- HARVEY, D. *A condição pós-moderna*. 17. ed. Tradução de Adail Ubirajara Sobral; Maria Stela Gonçalves. São Paulo: Loyola, 1992.
- IOWA STATE UNIVERSITY. *The source matters for getting the most out of aerial imagery*. 2016. Disponível em: <https://crops.extension.iastate.edu/cropnews/2016/03/source-matters-getting-most-out-aerial-imagery>. Acesso em: 13 jul. 2021.
- KEMP, M. Science in culture. *Nature*, [s.l.], v. 426, n. 6.964, p. 232, 2003.
- LEMOS, D. L. da S.; SÁ, A. M. E.; SOUZA, R. R. Padrões para documentação de réplicas digitais em 3D: o caso de esculturas modernistas no espaço público do Rio de Janeiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 20., ENANCIB, 2019, Santa Catarina. *Anais [...]*. Santa Catarina: Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Ciência da Informação, 2019. p. 153-172. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.11959/brapci/122745>. Acesso em: 13 jul. 2021.
- LEWIS, P. Axioms for reading the landscape. In: MEINING, D. W.; JACKSON, J. B. (org.). *The interpretation of ordinary landscapes*. [s.l.]: Oxford University Press, USA, 1979. 272p. p. 11-32.
- LYNCH, K.; CAMARGO, J. L. *A imagem da cidade*. 2. ed. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2010.
- MAGAROTTO, M. G.; SILVA, C. P.; COSTA, M. F. Desenvolvimento de modelos SIG 3D aplicado a zonas costeiras. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES ESRI PORTUGAL - EUE, 11., 2013, Culturgest. *Anais [...]*. Portugal: Culturgest; ESRI Portugal, 2013.
- MICHEL, É. Importing actual 3D models from Google Maps. Disponível em: <https://blog.exppad.com/article/importing-actual-3d-models-from-google-maps>. Acesso em: 13 jul. 2021.

NAVEGAÇÃO, D. de H. E. *Carta 12000, INT 1: símbolos, abreviaturas e termos usados nas cartas náuticas brasileiras*. Rio de Janeiro: Diretoria de Hidrografia e Navegação, DHN, Marinha do Brasil, 1995.

OLIVEIRA, L. F. *Análise de modelos digitais de superfície gerados a partir de imagens do sensor Prism/Alos*. 2011. 184 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnica; Saneamento ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

PERES, O. M. Modelagem urbana e cidades visuais: fundamentos e convergências. *In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL – ENANPUR*, 13., 2009, Santa Catarina. *Anais [...]*. Florianópolis: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 2009.

RICE III, G. G. *et al.* Caricaturing buildings for effective visualization. *In: Architecture in the Network Society [22nd eCAADe Conference Proceedings / ISBN 0-9541183-2-4]* Copenhagen (Denmark), 15-18 September 2004, p. 222-227.

ROCHA, C. C. Ideais de urbanismo: reflexões sobre os seus princípios funcionalistas e a Arquitetura do cotidiano. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, Belo Horizonte, v. 23, n. 33, p. 8-21, 2016.

SENNETT, R.; MARQUES, C. *Construir e habitar: ética para uma cidade aberta*. [S. l.]: Record, 2018.

SPREIREGEN, P. D. *Urban design: the architecture of towns and cities*. [S. l.]: McGraw-Hill, 1965.

TARDIN, R. *Análise, ordenação e projeto da paisagem: uma abordagem sistêmica*. [S. l.]: Rio Books, 2018.

TAYLOR, P.; MAATHUIS, B. H. P.; WANG, L. Digital elevation model based hydro - processing digital elevation model based hydro-processing. *Geocarto International*, p. 37-41, Aug. 2011, 2008.

TOURINHO, H. L. Z. Tipologia urbana: sobre a derivação de um conceito da arquitetura do edifício para o urbanismo. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 141, 2014.

VANTINI, A. C. F. *et al.* Mosteiro de São Bento: a arquitetura imponente na paisagem urbana do Rio de Janeiro. *Colloquium Socialis*, Presidente Prudente, SP, v. 2, n. Especial 2, p. 677-684, 2018.

ESTIMATIVA DE ALTURA DE MANGUEZAL MEDIANTE LEVANTAMENTO POR VANT MULTIRROTOR COM CÂMERA RGB

*Rafael Silva de Barros
Caio de Lima Boa Morte*

13.1 INTRODUÇÃO

A determinação da altura da vegetação, em geral, é uma tarefa pouco exata, dadas as dificuldades envolvidas: visualizar e/ou acessar a parte mais alta de uma árvore não é fácil, especialmente, dentro de uma floresta. Como a estimativa é feita para alguns indivíduos, tomados amostralmente, há ainda a necessidade de extrapolar os valores encontrados para toda a área de interesse. Ainda que se meça (ou estime) a altura de todos os indivíduos, de uma ou mais parcelas, será necessário o cálculo dos valores médios, para a área de estudos. Muitas estimativas dependem da visualização do topo da árvore e usam técnicas visuais e/ou cálculos geométricos. Observar o topo de uma árvore isolada ou, mesmo, na borda de um fragmento pode não ser uma tarefa tão fácil e/ou precisa. Porém, observar os topos das copas, de dentro de um fragmento, é ainda mais complicado, porque, em geral, é muito difícil conseguir definir qual é o topo de qual árvore, estando dentro da floresta, pois as copas misturam-se, o sub-bosque pode dificultar, não há ângulo para se observar o topo etc. Os resultados dessas estimativas acabam apresentando exatidões muito variadas, a depender das condições, do operador, do método, do local, da característica da vegetação.

A melhor forma de se obter a altura da vegetação pode ser por meio do uso de *Light Detection And Ranging* (Lidar), pois se aumenta em muito a exatidão dessas estimativas, além de ser possível estimar a altura de toda a área de estudo, sem necessidade de interpolação, pela altura de alguns poucos indivíduos. Como, por meio do *Lidar*, é possível obter dados para geração

de Modelo Digital de Terreno (MDT) e Modelo Digital de Superfície (MDS), a estimativa pode ser feita para qualquer terreno. É possível, ainda, obter a estimativa usando dados de *Radio Detection and Ranging* (Radar), desde que sejam adquiridos dados nas Bandas P e X. Barros *et al.* (2013) mostram as exatidões de MDS e MDT, oriundos de dados de *Radar*, com essas bandas e de MDT, produzido de dados *Lidar*, todos em área de floresta ombrófila densa. O MDT *Lidar* apresenta LE90 de 4,14 m, enquanto o MDT e MDS *Radar* apresentaram LE90 de 7,72 m e 2,24 m, respectivamente. Cruz *et al.* (2011) já haviam testado o MDS dos mesmos dados *Lidar* de Barros *et al.* (2013), encontrando LE90 abaixo de 1,5 m. É possível ver que as exatidões dos MDTs não estavam tão boas quanto se espera. Isso demonstra que, apesar de o *Lidar* e o *Radar*, em Banda P, prometerem ultrapassar as copas das árvores e chegar ao solo, isto pode não acontecer a contento, quando a vegetação é muito densa, especialmente, quando existem sub-bosques ou raízes aéreas. Nesse sentido, Almeida *et al.* (2020) chamam a atenção para a necessidade de aquisição de dados *Lidar*, com altura e distância entre faixas de voo planejadas, para garantir que uma quantidade suficiente de pontos atinja o solo. Apesar de todos os benefícios de uso dos produtos oriundos de *Lidar*, seu custo ainda pode ser muito elevado para diversas atividades, de forma que nem sempre se tem acesso a tais dados.

Para áreas pequenas (até algumas poucas centenas de hectares) e com pouca variação na altimetria, a utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado (Vant) pode trazer uma melhoria nas estimativas de altura de copas das árvores, visto que a exatidão dos MDS gerados por Vant tem sido tão boa quanto as obtidas por *Lidar* em áreas abertas, conforme Boa Morte *et al.* (2020), Coelho (2019) e Ferreira (2014).

Nesse sentido, este capítulo retrata a investigação referente ao desenvolvimento de uma metodologia para estimativa da altura de floresta de mangue, numa parte da Reserva Biológica de Guaratiba, utilizando um Vant Multirrotor comercial de baixo custo. A área de interesse engloba cerca de 3 hectares e foi realizada a estimativa da altura das copas das árvores que cobrem o solo naquela área com base na diferença de elevação entre o Modelo Digital de Superfície (MDS) gerado e o Modelo Digital de Terreno (MDT), estimado pelo MDS, dada a altíssima resolução das imagens obtidas para a composição do modelo. Para se chegar aos resultados, foram feitos diferentes experimentos, para redução da quantidade de pontos de controle e para a geração do MDT (pelo MDS) e do Ortofotomosaico. Santos (2021) aponta que, valendo-se da nuvem de pontos gerada pelo processo de

fotogrametria, é possível realizar diferentes métodos de interpolação para a geração de MDTs e que, por isso, esse ainda é um caminho a ser aprofundado, a fim de obter metodologias e estimativas com melhor precisão e agilidade.

De acordo com Lagomasino *et al.* (2016), conhecer a métrica da altura da vegetação é importante, pois é um dos dados necessários para o cálculo de estoque de carbono. Por meio desse cálculo, é possível mensurar a quantidade de gases do efeito estufa, que podem ser lançados na atmosfera, caso determinada vegetação não seja conservada. Um outro fator importante da medida do estoque de carbono é a possibilidade de captação de recursos, com base em medidas REDD+ (Redução de Emissões decorrentes do Desmatamento e da Degradação de florestas), que recompensam financeiramente projetos e instituições, com base nos seus resultados na redução da emissão de gases estufa (GEE). Além das questões relacionadas a estoque de carbono, diversas outras aplicações que envolvem o mapeamento da vegetação se beneficiam de uma boa estimativa da sua altura, como em Almeida *et al.* (2020). A escolha de uma área de manguezal para estudo mostra-se ainda mais relevante, já que, como Donato *et al.* (2011) afirmam, no ritmo atual de degradação, os cortes dos mangues podem ser responsáveis por até 10% das emissões de carbono por desflorestamento, globalmente, mesmo que esse ecossistema represente apenas 3% da cobertura vegetal mundial.

Como apontado por Coelho (2019), o Modelo Digital de Superfície (MDS), resultante do processamento dos dados dos Vants, é um importante recurso para a diferenciação de estruturas vegetais, sendo, em alguns casos, um dado tão relevante quanto as imagens em infravermelho próximo (*Near Infrared* – NIR), pois permite a percepção de diferenças na vegetação, pelas suas diferenças de altura. De um MDS de grande exatidão, é possível produzir um MDT, desde que o terreno sob a vegetação existente nesse MDS apresente pouca variação altimétrica. Isso pode ser feito extraindo-se dados planimétricos e altimétricos de determinados pontos de solo exposto que contornem a vegetação e em clareiras; e realizando-se uma interpolação desses mesmos dados planimétricos e altimétricos, obtendo-se uma estimativa de como o terreno se desenvolve sob os elementos naturais (ou mesmo antrópicos). Essa possibilidade deve ser restrita a áreas cuja variação na altimetria possa ser considerada aceitável para o objetivo do estudo, uma vez que não será possível representar com exatidão variações no interior da área com vegetação. Ou seja, essa proposta pode ser válida, se a variação

na altimetria do terreno for menor do que o erro de estimativa da altura de vegetação por métodos alternativos.

A utilização de Vants em projetos ambientais tem se tornado uma prática cada vez mais comum atualmente, desde o monitoramento ambiental até a produção de classificações de vegetação. Tal aumento dá-se pela constante evolução tecnológica e subsequente barateamento dessa tecnologia, além da simplicidade no seu uso. Suas principais vantagens são a alta resolução espacial e temporal dos seus produtos, a relativa facilidade e flexibilidade de implementação e o seu menor custo, se comparado ao uso de imagens orbitais de altíssima resolução ou de fotografias aéreas, além do maior dinamismo e independência na aquisição.

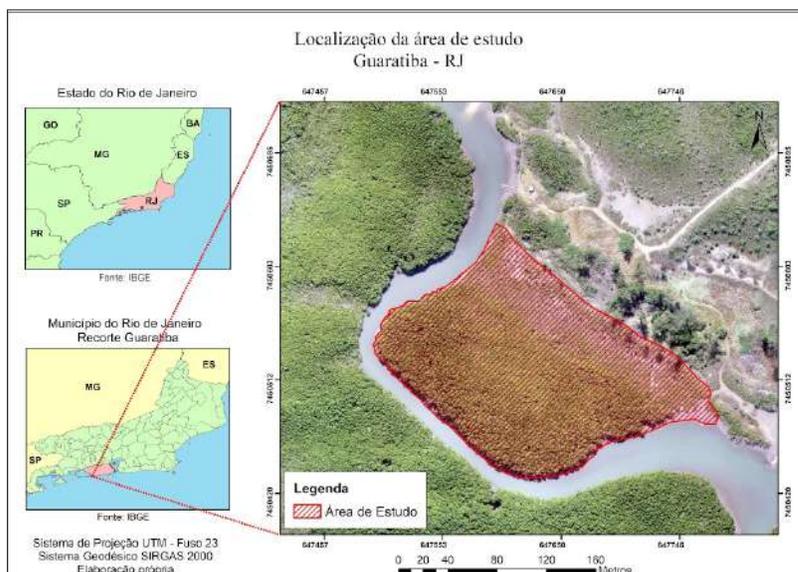
O emprego de Vants em estudos ambientais pode ser uma grande ferramenta para o aumento do detalhamento nesses estudos, porém ainda existem limitações. Uma delas é a área passível de mapeamento em uma única missão. Enquanto que imagens orbitais conseguem abranger grandes áreas em uma só imagem, os Vants, em geral, são limitados a pequenas áreas, devido a alguns fatores, como a baixa duração de suas baterias (em modelos menores e mais baratos), a altura máxima de voo permitida para usuários sem brevê etc. Outro problema comumente encontrado é a necessidade de utilizar Pontos de Controle no Terreno (*Ground Control Points – GCP*), a fim de corrigir erros planimétricos e altimétricos, decorrentes da baixa precisão e acurácia cartográfica dos dados do Sistema Global de Navegação por Satélite (*Global Navigation Satellite System – GNSS*), embarcado nos Vants mais comumente utilizados. Normalmente, são utilizados sinalizadores (alvos) distribuídos pela área de interesse, antes do voo; e cujas coordenadas são determinadas com a exatidão necessária, via rastreamento GNSS, usando equipamento e métodos de levantamento adequados. Como Ferreira (2014) afirma, o processamento de imagens de Vant por meio de fotogrametria é muito dependente da presença e quantidade de pontos de controle empregados em campo. Alves Júnior *et al.* (2015) e Costa e Silva (2012) ressaltam que, apesar de demandar tempo em campo, a utilização de pontos de controle se mostra necessária para geração de produtos, com qualidade posicional compatível com suas altas resoluções espaciais. Os GCPs são utilizados na fase de processamento dos dados do Vant. Uma forma de evitar a etapa de determinação das coordenadas dos GCPs é a utilização de Vants com módulos GNSS RTK (*Real Time Kinematic*, ou Cinemático em Tempo Real) embarcados, que geram produtos com precisão e

acurácia cartográfica, muito próximos da utilização de GCPs, sem a perda de tempo, na distribuição e medição das coordenadas dos alvos físicos, ao longo da área de estudo.

13.2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo desse trabalho (Figura 13.1) é uma pequena franja de Mangue próximo à praia de Araçatiba, no Canal da Varzinha, na Reserva Estadual da Guaratiba, localizada no município do Rio de Janeiro, com uma área imageada total de aproximadamente 23 hectares, porém com análises feitas em um recorte de aproximadamente 3 hectares. A área de estudo foi escolhida devido ao seu nível maior de acessibilidade, em vista da necessidade da utilização de GCPs e pela relevância ecológica do ecossistema. Foi definido como sendo importante que a área apresentasse variação de altura do manguezal, pouca variação no terreno sob a vegetação e que possibilitasse e medição de altura de alguns indivíduos.

Figura 13.1 – Localização da área de estudos.

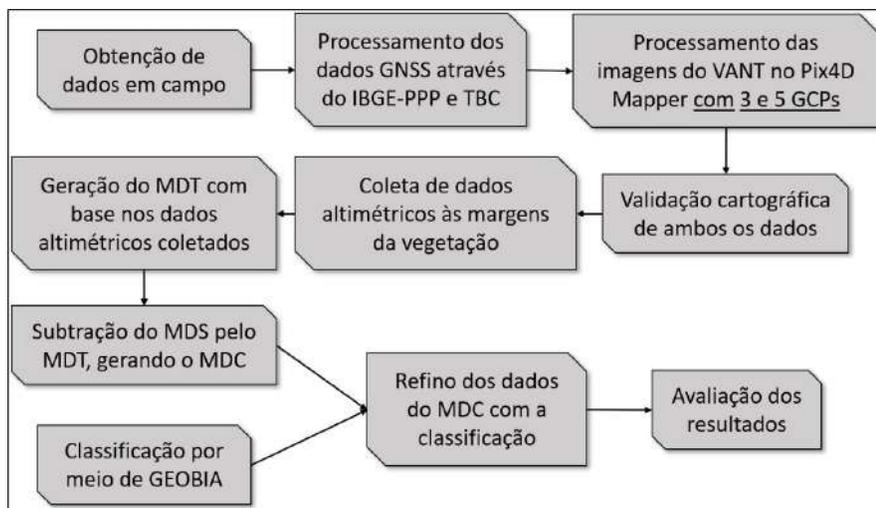


Fonte: os autores.

A Figura 13.2, a seguir, apresenta esquematicamente um resumo dos principais procedimentos para realização do trabalho. Para adquirir as

fotografias aéreas, foi realizado um trabalho de campo no dia 16 de agosto de 2019 (Autorização Decea #A9F188), no qual, por meio de dois voos complementares e subsequentes (para troca de bateria), foram tomadas 656 fotos, entre 11h55 e 12h30, a uma altura de 120 metros, com sobreposição de 85% ao longo da linha de voo e 70%, entre as faixas de voo, com *grid* cruzado (linhas de voo em duas direções perpendiculares), gerando Ortofotomosaicos e Modelos Digitais de Superfície, ambos com resoluções de 3,2 cm. A aquisição dos dados foi feita via sensor *RGB*, original do Vant multirrotor *Phantom 4 Pro*[®], da empresa fabricante DJI.

Figura 13.2 – Fluxograma com as principais etapas de trabalho.



Fonte: os autores.

Como um dos objetivos do estudo era testar a exatidão com o número mínimo de GCPs, para modelagem no *software Pix4D Mapper*[®], foram feitos testes utilizando três e cinco GCPs, para a correção geométrica; e seis e oito pontos de checagem (*Checkpoints, CPs*), para a verificação da exatidão cartográfica dos produtos. Para obter as coordenadas dos alvos com exatidão de até 2 cm na planimetria e 4 cm na altimetria, foram utilizados dois rastreadores GNSS *Trimble R6*[®] de duas frequências (L1L2) (Figura 13.3), usando o método Relativo Cinemático, pós-processado, no qual um rastreador foi utilizado como base fixa (adquirindo coordenadas por mais de quatro horas); e o outro, como unidade móvel para aquisição dos dados, para determinação das coordenadas dos centros dos alvos.

Em gabinete, após 15 dias, os dados adquiridos pelo rastreador na base fixa foram processados com os dados de órbita precisa, por meio do Serviço de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Em seguida, os dados referentes aos demais pontos foram processados, em relação aos da base fixa, tendo sido utilizado o *software Trimble Business Center*[®].

Figura 13.3 – Determinação de coordenadas dos GCPs e CPs com GNSS de duas frequências (L1L2).

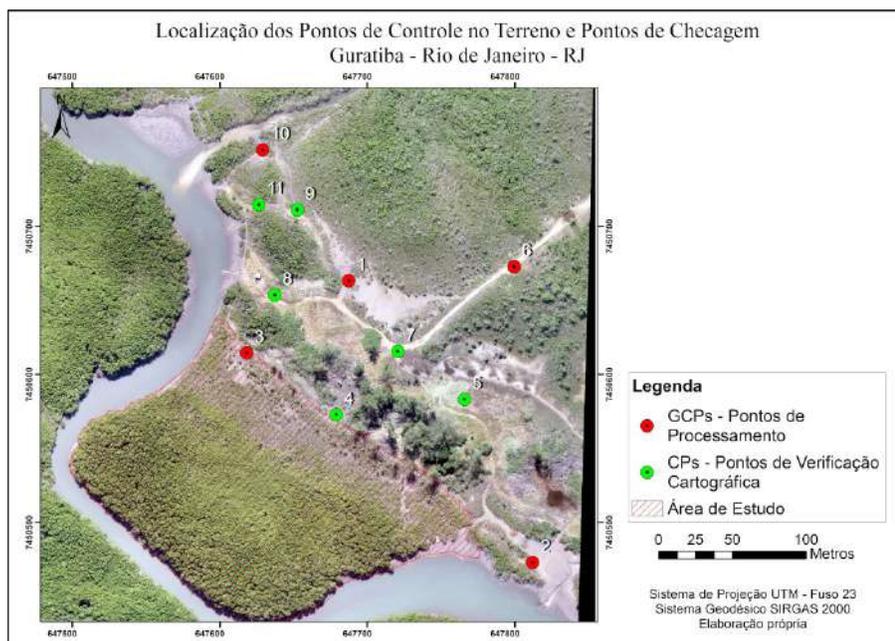


Fonte: os autores.

Para processamento dos dados do Vant, foi utilizado um computador com CPU de seis núcleos *Intel Xeon*[®] E5-1650, v. 4, 3.60 GHz; 128 Gb de memória RAM; e uma placa de vídeo (GPU) *Nvidia Quadro K1200*[®], executando *software* de fotogrametria *Pix4DMapper*[®]. Para a geração do Ortofotomosaico e do MDS, cada um dos três (ou cinco) GCPs utilizados foi marcado em 10 fotos, sempre com boa identificação dos alvos. A Figura 13.4, a seguir, apresenta a distribuição dos GCPs e CPs na área.

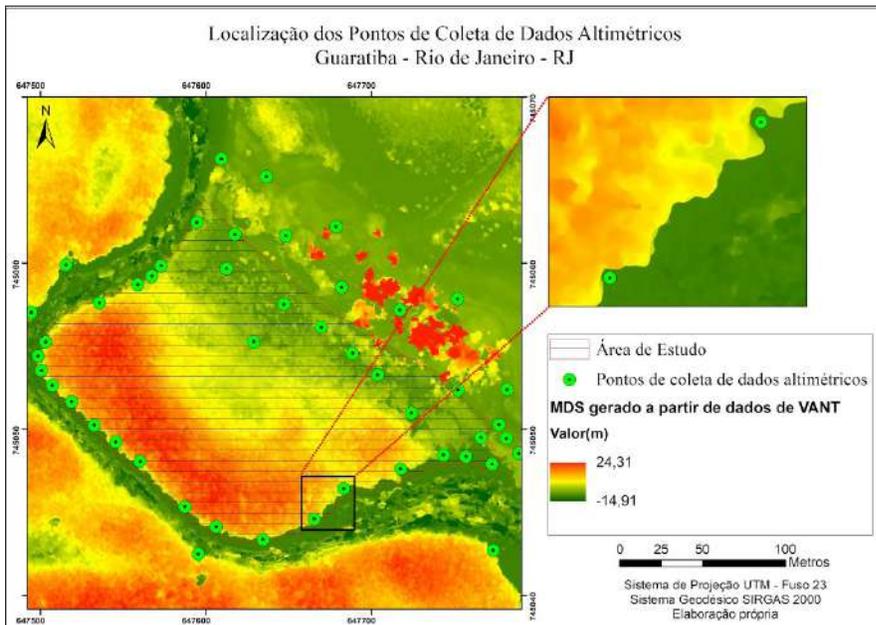
A etapa seguinte foi a geração do MDT com base nos dados dos MDS e na observação dos ortofotomosaicos. Assim, após o processamento no *software* de fotogrametria, os dados foram analisados por meio de SIG, para extração das coordenadas planimétricas e altimétricas de pontos de solo, exposto o mais próximo possível da vegetação (em locais onde se tinha certeza de ser solo exposto, ou seja, terreno), a fim de obter os melhores dados para a interpolação e para obtenção do maior nível de confiabilidade possível na geração do MDT (Figura 13.5). Dessa forma, por meio da análise dos ortofotomosaicos e dos MDSs, foram escolhidos 48 pontos, cujas coordenadas foram extraídas do MDS, para posterior interpolação, por meio da ferramenta *Topo to Raster* do ArcGIS®. Como apontam Hung *et al.* (2018), é possível gerar um MDT de forma automática, dentro do *software Pix4DMapper*®. Porém, esse produto tende a apresentar erros maiores, em locais com vegetação densa e em contato com vegetação de baixa estatura.

Figura 13.4 – Localização dos pontos de controle para processamento e verificação da exatidão.



Fonte: os autores.

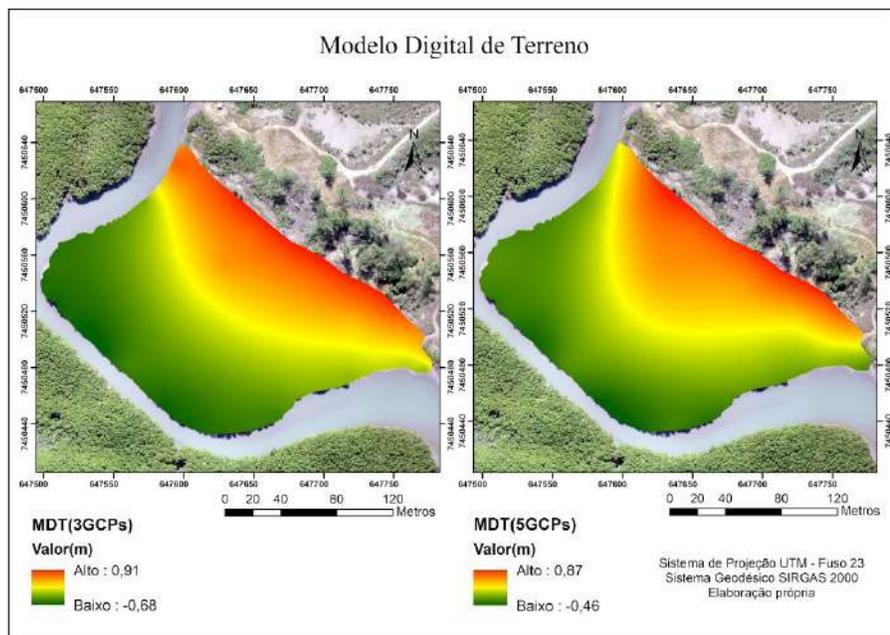
Figura 13.5 – Localização dos pontos de solo para obtenção de dados planialtimétricos.



Fonte: os autores.

Os MDTs gerados são muito parecidos, tanto pela distribuição espacial quanto pelos valores mínimos e máximos observados, como pode ser visto na Figura 13.6. Há uma diferença de 4 cm, nos valores mais altos; e de 22 cm, nos valores mais baixos. Essas variações nos valores são decorrentes das diferenças nos MDS gerados com três e cinco GCPs.

Figura 13.6 – MDTs gerados de pontos extraídos dos MDSs produzidos com três e cinco GCPs.



Fonte: os autores.

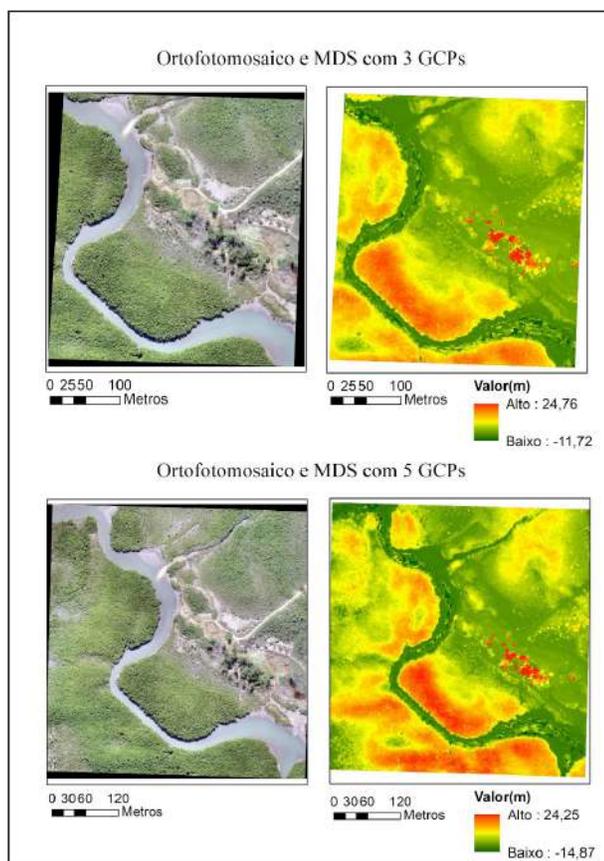
Dispondo do MDS e do MDT interpolado, foi feita a subtração MDS-MDT, para geração do MDC (modelo digital de altura das copas das árvores), contendo a estimativa para a altura da vegetação de mangue na área. A fim de refinar os resultados do MDC, foi feita uma classificação do ortofotomosaico do VANT, por meio de análise de imagens baseada em objetos geográficos (*Geographic Object-Based Image Analysis, Geobia*), para separar o mangue do solo exposto e da água. Assim, usando o mapeamento do mangue, foi feita uma máscara no MDC, para resultar, exclusivamente, na estimativa de altura da floresta de mangue, excluindo a interferência do efeito de borda, bem como de pequenas clareiras na vegetação.

13.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os levantamentos de campo e processamentos dos dados do voo e do GNSS, os primeiros produtos gerados foram os Ortofotomosaicos e os MDSs, para os processamentos com três e cinco GCPs. A Figura 13.7 mostra como, visualmente, os resultados são praticamente idênticos. Como

explicado por Matese *et al.* (2016), esses produtos são gerados de técnicas fotogramétricas de extração de pontos 3D, por meio de uma sequência de fotografias aéreas sobrepostas, valendo-se de algoritmos *Structure from Motion (SfM)*. Como análise dos primeiros resultados, temos uma avaliação expedita dos primeiros produtos gerados na fase do processamento, feita mediante a análise dos deslocamentos (erros) verticais e horizontais, entre os valores encontrados nos MDSs e Ortofotomosaicos (ambos gerados tanto com três quanto com cinco GCPs) e os valores dos CPs, determinados em campo por meio do GNSS de duas frequências (L1L2) (os CPs não são usados na fase de processamento dos dados).

Figura 13.7 – MDS e ortofotomosaico, gerados com dados de Vant, com três e cinco GCPs.



Fonte: os autores.

O ortofotomosaico e o MDS gerados com cinco GCPs apresentaram, respectivamente, deslocamentos (erros) médios de 2,2 cm, na planimetria; e de 6,4 cm, na altimetria; com desvio padrão de 1,2 cm, na planimetria; e de 3,1 cm, na altimetria. O erro máximo observado foi de 3,3 cm, na planimetria; e de 10,6 cm, na altimetria. Constatou-se que os dados apresentaram acurácia compatível com o trabalho de Boa Morte *et al.* (2018), podendo ser concluído que a qualidade geométrica dos dados é satisfatória e está dentro do esperado, para os propósitos desse estudo.

Ao testar os produtos gerados com apenas três GCPs (o número mínimo aceito pelo *software*), há uma redução na exatidão: deslocamento médio, na planimetria, de 2,7 cm; e 13,4 cm, na altimetria, com desvio padrão de 0,7 cm, na planimetria; e 6,2 cm, na altimetria. Os erros máximos observados foram de 3,9 cm e de 18,4 cm, respectivamente, na planimetria e na altimetria.

Esses deslocamentos (erros) são apresentados no Quadro 13.1. O crescimento dos erros era esperado e deve ser avaliado de acordo com os objetivos do trabalho e com a tolerância aceita para esses produtos. É preciso realizar uma avaliação de custo *vs.* Benefício, pois o levantamento de GCPs em área de mangue pode não ser tarefa fácil, consumindo tempo muito maior do que em outros ambientes. Ao comparar os produtos gerados com três e cinco GCPs, a maior diferença encontrada foi de 7,8 cm, na altimetria. Se esse aumento do erro não for aceitável, deve-se priorizar a ampliação na quantidade de GCPs.

Quadro 13.1 – Deslocamentos (erros) observados nos ortofotomosaicos e MDS, gerados com três e cinco GCPs (*Ground Control Points*); e analisados, respectivamente, com oito ou seis CPs (*Checkpoints*).

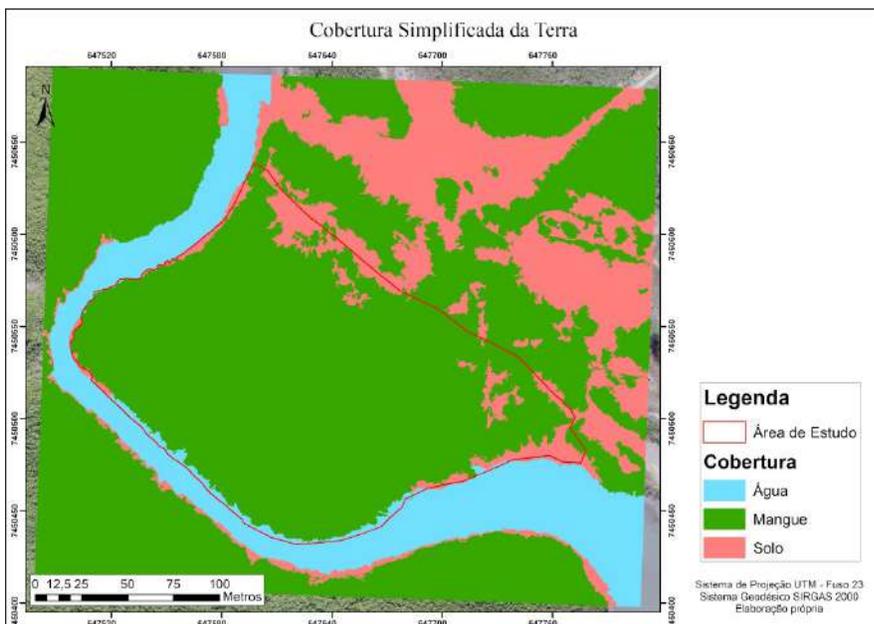
	3 GCPs / 8 CPs		5 GCPs / 6 CPs	
	Planimetria (cm)	Altimetria (cm)	Planimetria (cm)	Altimetria (cm)
Média	2,7	13,4	2,2	6,4
Desvio Padrão	0,7	6,2	1,2	3,1
Máximo	3,9	18,4	3,3	10,6
Mínimo	1,6	1,9	0,3	2,1

Fonte: os autores.

Considerando-se os erros normalmente envolvidos nas estimativas de altura da vegetação, entende-se que a redução da exatidão não inviabilizaria a utilização de nenhum dos produtos gerados. Assim, serão apresentados os resultados referentes às estimativas de altura da vegetação, usando ambos os MDSs.

Os MDTs gerados de pontos, cujas coordenadas foram obtidas do MDS e do ortofotomosaico (tanto com três quanto com cinco GCPs), foram subtraídos dos respectivos MDSs (gerados com três e cinco GCPs), resultando na obtenção de dois MDCs. Como foram observados valores espúrios/ruídos nos MDCs, optou-se por fazer uma classificação digital, com base no ortofotomosaico, permitindo a identificação daquelas áreas onde o solo exposto e a água estavam muito próximos ao mangue, o que estava gerando a inclusão dos referidos valores espúrios no MDC. A Figura 13.8, a seguir, mostra o resultado da classificação digital, apresentando a distribuição espacial das três classes.

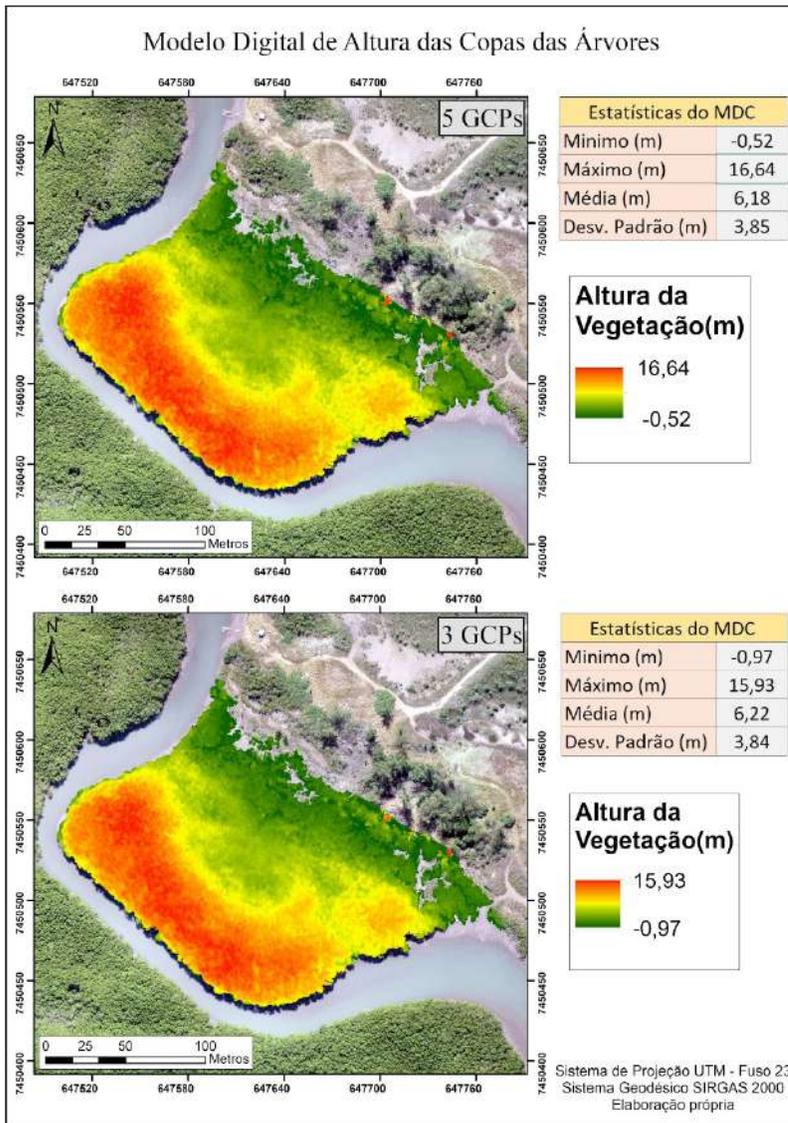
Figura 13.8 – Cobertura da terra simplificada, resultante da classificação do ortofotomosaico, usando a abordagem *Geobia*.



Fonte: os autores.

Para que os MDCs contivessem apenas estimativas de altura da vegetação, eles foram cruzados com o mapeamento de cobertura simplificada, de forma a remover ou minimizar os valores de altura referentes a ruído e pequenas falhas nos MDSs. A Figura 13.9, a seguir, apresenta os MDCs finais, com os valores de altura dos dosséis da vegetação de mangue da área. Nessa figura, é possível comparar os resultados ao utilizar os modelos, usando três e cinco GCPs. Visualmente, as diferenças são desprezíveis. Em valores numéricos, existem diferenças, mas elas são pequenas também. A diferença entre os máximos de alturas observadas é de apenas 70 cm; e, nos valores mínimos, essa diferença reduz-se para 45 cm. O MDC obtido dos modelos gerados com três GCPs apresentaram os menores valores de mínimo e de máximo. Os valores das médias das alturas também ficaram muito parecidos: 6,22 m, no MDC oriundo dos produtos gerados com três GCPs; e 6,18 m, no MDC com cinco GCPs. Ambos os valores, estão de acordo com o esperado e próximo aos observados por Estrada *et al.* (2014), que analisaram toda a reserva de Guaratiba e encontraram 7,4 m para a altura média da vegetação na área, com margem de erro estimada em 2,3 m, usando outros insumos e metodologia.

Figura 13.9 – MDCs obtidos dos MDSs e MDTs, gerados com cinco GCPs (parte superior da figura) e três GCPs (parte inferior), ajustados com o mapeamento simplificado da cobertura.



Fonte: os autores.

13.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de Vant para geração de ortofotomosaicos e MDSs tem se demonstrado muito promissora, quando se deseja grande detalhamento e exatidão, aliados a custos relativamente baixos e com boa flexibilidade na aquisição dos dados, desde que GCPs apropriados sejam utilizados. As maiores exatidões foram obtidas quando foram utilizados cinco GCPs. Ao reduzir para três GCPs (quantidade mínima exigida pelo *software*), os erros cresceram em torno de 8 cm. Para a maioria das aplicações, esse aumento poderia ser tolerado, se levantamento de campo envolvesse altos custos.

A geração do MDC de dados de Vant pode ser uma boa alternativa para a estimativa de altura da vegetação. Para tanto, é necessário dispor de um MDT que represente o terreno com a exatidão compatível com o que se espera para o produto final. Ou seja, em terrenos que apresentem uma variação de altitude pequena, como é o caso dessa área, coberta com manguezal. Como o erro estimado para o MDS é pequeno [ordem de grandeza de 15 cm, segundo Boa Morte (2018)], o erro da estimativa de altura da vegetação deve-se ao erro do MDT somado aos 15 cm do erro do MDS. Como, na área de estudo, o terreno apresentava variações de altitude de menos de 75 cm, pode-se estimar um erro final menor do que 1 m para o MDC. Os valores referem-se a erros máximos. As médias dos erros devem ficar bem abaixo disso. Esses erros poderiam ser considerados ótimos, numa comparação com estimativas convencionais em campo, não apenas pelos valores, mas por abranger toda área, de forma contínua, e não apenas as estimativas ou medições de alguns indivíduos.

Essa estimativa do erro precisa ser determinada em campo com maior detalhamento e é o próximo passo do estudo sobre estimativa de altura de manguezal com Vant comercial de baixo custo, utilizando uma câmera RGB. É preciso repetir os levantamentos com medição da altura de alguns indivíduos de mangue, mais favoráveis para tal, a fim de checar a acurácia dos resultados. É aguardado, ainda, um voo com *Lidar* na área, a fim de avaliar o MDC em toda sua extensão e com grande exatidão, já que este produto, oriundo do *Lidar*, apresenta ótima exatidão, em razão de os sinais emitidos pelo equipamento conseguirem atingir o solo, gerando um MDT, com base em uma grande quantidade de pontos, conforme Cruz *et al.* (2011) e Barros *et al.* (2013).

Apesar da grande flexibilidade para aquisição dos dados com o Vant utilizado, *Phantom 4Pro*[®], há um consumo grande de tempo no levantamento dos Pontos de Controle. Andar pelo manguezal, para distribuir os sinalizadores e determinar suas coordenadas, é uma tarefa demorada. Enquanto todo o voo foi feito em aproximadamente 40 minutos, o levantamento dos 11 Pontos de Controle consumiu três horas, usando o modo de levantamento relativo cinemático, fora o tempo de processamento dos dados GNSS, em gabinete. A utilização de Vant com GNSS RTK (Cinemático em Tempo Real) embarcado reduziria em muito o tempo de levantamento de campo. O uso de um sensor NIR (além do RGB) poderia trazer informações mais valiosas e detalhadas do que o Vant comercial utilizado nesse estudo. Uma possibilidade seria a utilização do sensor NIR para classificação de diferentes espécies vegetais e, em conjunto com a geração do MDC, calcular com alta precisão o estoque de carbono de diferentes ecossistemas.

De qualquer forma, a geração de MDC, com a metodologia utilizada neste estudo, traz uma boa contribuição para as pesquisas e os trabalhos que precisam de maior exatidão e detalhamento, na estimativa da altura de manguezal, sem a necessidade de equipamentos específicos e muito mais custosos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. M. M. *et al.* Mangrove typology: a proposal for mapping based on high spatial resolution orbital remote sensing. *Journal of Coastal Research*, [s.l.], SI 95, p. 50-54, 2020.

ALVES JÚNIOR, L. R.; CÔRTEZ, J. B. R.; SILVA, J. R.; FERREIRA, M. E. Validação de ortomosaicos e modelos digitais de terreno utilizando fotografias obtidas com câmera digital não métrica acoplada a um Vant. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, v. 67, n. 7, p. 1453-1466, 2015.

BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M.; RABACO, L. M. L.; FAGUNDES, F. O. Avaliação da exatidão planialtimétrica de produtos oriundos de radar interferométrico e lidar em área coberta por floresta. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR*, Foz do Iguaçu, Paraná, 16., 2013. *Anais [...]*, São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013.

BOA MORTE, C. L.; CARVALHO, L. F. S. G.; BARROS, R. S. de. Uso de Vant como ferramenta para estimativa de altura de dossel em manguezal: um estudo investiga-

tivo em Guaratiba, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Tamoios*, [S.l.], v. 16, n. 3, dez. 2020. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.UERJ.br/index.php/tamoios/article/view/55745>. Acesso em: 23 abr. 2021.

BOA MORTE, C. L.; SALVO, D. G. D.; COELHO, R. C. S.; BARROS, R. S. de. Avaliação da qualidade de ortofotomosaico e MDE gerado a partir de Vant multirrotor. In: JORNADA GIULIO MASSARANI DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA, ARTÍSTICA E CULTURAL DA UFRJ - JICTAC, 40., 2018, Rio de Janeiro. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

COELHO, R. C. S. *Investigação de parâmetros de correlação entre dados físicos e espectrais em subsídio à avaliação de restauração florestal na reserva biológica de Poço das Antas – RJ: uma aplicação utilizando Vant*. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

COSTA, G. C.; SILVA, D. C. Pré-sinalização de pontos de apoio em aerofotogrametria com câmeras de pequeno formato. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4., 2012, Recife. *Anais [...]*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2012. p. 1-9.

CRUZ, C. B. M. *et al.* Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do lidar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 14., 2011, Curitiba. *Anais [...]*. Curitiba: Instituto Nacional de Ciências Espaciais, 2011. p. 5.463. DONATO, D. C. *et al.* Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nat. Geosci*, [S.l.], v. 4, p. 293-297, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>. Acesso em: 23 abr. 2021.

ESTRADA, G. C. D., SOARES, M. L. G., FERNADEZ, V.; ALMEIDA, P. M. M. The economic evaluation of carbon storage and sequestration as ecosystem services of mangroves: a case study from southeastern Brazil. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 29-35, 2014. Disponível em: <http://doi.org/10.1080/21513732.2014.963676>. Acesso em: 23 abr. 2021.

FERREIRA, A. M. R. *Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado - VANT*, para uso em aerolevantamentos. 2014. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

HUNG, M. N. W. B. *et al.* Levantamento com veículo aéreo não tripulado para geração de modelo digital do terreno em bacia experimental com vegetação florestal esparsa. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, [S.l.], v. 43, p. 215, mar. 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/56621>. Acesso em: 23 abr. 2021.

LAGOMASINO, D. *et al.* A comparison of mangrove canopy height using multiple independent measurements from land, air, and space. *Remote Sensing*, [S.l.], v. 8, n. 4, p. 327, 2016. Disponível em: <http://doi.org/10.3390/rs8040327>. Acesso em: 23 abr. 2021.

MATESE, A.; DI GENNARO, S. F.; BERTON, A. Assessment of a canopy height model (chm) in a vineyard using UAV-based multispectral imaging. *International Journal of Remote Sensing*, [S.l.], v. 38, n. 8-10, p. 2150-2160, 2016. Disponível em: <http://doi.org/10.1080/01431161.2016.1226002>. Acesso em: 23 abr. 2021.

SANTOS, A. V. M. *Modelagem de superfície de terreno utilizando dados de vegetação como variável secundária*. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/219167>. Acesso em: 23 abr. 2021.

INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS BASEADA EM CONHECIMENTO PARA CLASSIFICAÇÃO DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NA MATA ATLÂNTICA

*Danielle Pereira Cintra
Manoel do Couto Fernandes*

14.1 INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é um bioma composto por diferentes fitofisionomias, como floresta ombrófila densa, floresta ombrófila mista, florestas estacionais, restingas, formações campestres, formações litorâneas e ecótonos (MUYLAERT *et al.*, 2018). A grande diversidade de espécies apresentada é dada tanto por aspectos evolutivos, em termos geológicos, quanto por aspectos geográficos, levando em conta sua extensão (em termos de latitude e longitude), bem como de altitude (SILVA; CASTELETTI, 2005). Como resultado, o bioma Mata Atlântica é considerado um importante *hotspot*, em termos de biodiversidade do planeta (MYERS *et al.*, 2000; MUYLAERT *et al.*, 2018), além de patrimônio nacional, segundo a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, abarcando 18 estados brasileiros (no todo ou em parte) (BRASIL, 2007a). De acordo com relatório da Fundação SOS Mata Atlântica INPE (2002), o estado do Rio de Janeiro (RJ) era quase totalmente coberto pela Floresta Tropical Atlântica: 44.000 km² de florestas ou 97% de sua área. Contudo, com as transformações no uso da terra, ao longo dos anos, sua área de cobertura florestal foi reduzida a cerca de 20% em relação àquela existente originalmente (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2020). Isso se deve à implementação de diversos ciclos econômicos de exploração de recursos naturais, como a extração de madeira, a produção de cana-de-açúcar, a cafeicultura, a pecuária, e a petroquímica, apartados de uma política conservacionista, o que levou à redução drástica de sua

cobertura vegetal (PRADO *et al.*, 2015). O ERJ é apontado como tendo uma região de Mata Atlântica estratégica para conservação, devido à sua elevada biodiversidade e endemismos, para diversos grupos vegetais e animais, além da concentração de espécies ameaçadas (MANNE; BROOKS; PIMM, 1999; BERGALLO, ROCHA; SLUYS; ALVES, 2000; ROCHA; SLUYS; ALVES; BERGALLO, 2000). Em virtude disso, diferentes áreas do ERJ são consideradas de “Extrema Importância Biológica” (BRASIL, 2007b).

Em tempos de globalização, a necessidade humana de expansão territorial e tecnológica tem afetado drasticamente esse bioma, alterando as paisagens naturais. Sendo assim, as florestas têm se fragmentado gradativamente, por conta da sua interseção com pastagens, áreas agrícolas e ambientes urbanos. Porém, o que se verifica é que a expansão urbana, ao longo do tempo, impôs significativas ameaças à diversidade biológica, no que tange à limitação na capacidade ambiental de prover serviços ambientais à população humana, tais como: o sequestro de carbono, o controle de enchentes e a proteção do solo (MARMONTEL *et al.*, 2013). Além disso, a significativa fragmentação dos habitats, causada por ações antrópicas ou naturais, resulta em intensas modificações nos ecossistemas e na inviabilização da permanência e existência de inúmeras espécies, modificando ainda a vida de populações humanas, as quais residem nessas regiões. Tornam-se então, necessários, os estudos sobre a estrutura e a distribuição de seus remanescentes, visando à realização de ações concretas, principalmente, em áreas consideradas de risco.

Atualmente, pode-se destacar a utilização das imagens na área ambiental, para previsão do tempo; detecção e monitoramento de focos de incêndios e áreas queimadas; desmatamento e erosão; entre outros. No caso do monitoramento de florestas, por exemplo, tais recursos são de grande importância para avaliar a cobertura e dinâmica da floresta e a detecção de alterações ambientais, causadas por fatores naturais ou de origem antrópica (WECKMÜLLER; ZEBENDE; VICENS, 2019).

Com a constante evolução tanto da resolução espacial quanto da resolução espectral, a busca e a implementação de novos métodos capazes de aproveitar essa evolução das imagens são cada vez mais necessárias e prementes. Desde seu surgimento, por volta do ano 2000, o método de Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos (*Geographic Object-Based Image Analysis, Geobia*) tem avançado para uma ampla variedade de aplicações (CHEN *et al.*, 2018); e a literatura científica sobre o assunto só tem aumentado

(BLASCHKE *et al.*, 2014). Seu emprego pode ser exemplificado na análise de enchentes (SEABRA; ROCHA-LEÃO, 2019; UDDIN; MATIN; MEYER, 2019); deslizamentos (LIMA; FRANCISCO; BOHRER, 2017; KNEVELS *et al.*, 2019); e incêndios (SOUSA; FERNANDES; COSTA, 2015; PENHA *et al.*, 2020). Em relação às aplicações florestais, evidenciam-se as de fragmentação florestal (LIMA *et al.*, 2019); estrutura da vegetação (SOTHE *et al.*, 2017; MENEZES *et al.*, 2017; KURTZ *et al.*, 2018); e mapeamento e monitoramento da vegetação (CATTAE *et al.*, 2016; OSMÓLSKA; HAWRYŁO, 2018).

Partindo desse contexto, cabe perguntar se o incremento da resolução espacial e espectral, além do método de análise, pode contribuir para aprimorar as investigações relacionadas ao monitoramento e mapeamento da qualidade da vegetação florestal. Portanto, o diferencial proposto nessa discussão versa sobre a utilização de novas bandas espectrais do sensor *WorldView-II*[®], que conta ainda com resolução espacial muito alta, nos índices de vegetação comumente utilizados; além da utilização do método *Geobia*, em um *software* livre e de código aberto, o *InterIMAGE*[®]. Dessa forma, procurou-se criar alternativas para o mapeamento da vegetação, buscando identificar a sua qualidade, criando ainda subsídios para o monitoramento, mapeamento e gestão de áreas do bioma Mata Atlântica, visando, finalmente, fornecer metodologias alternativas de apoio para a recuperação e conservação desse bioma.

Com base na contextualização apresentada, foram traçados objetivos que buscassem aliar o uso das novas potencialidades espectrais da imagem *WorldView-II*[®] às técnicas de *Geobia*, implementadas em um *software* livre, na busca do entendimento da qualidade da estrutura da vegetação, em fragmentos florestais na Mata Atlântica. Assim, o objetivo central é gerar um modelo de conhecimento no *software InterIMAGE*[®], baseado em aspectos físicos da paisagem e em índices de vegetação para a classificação de fragmentos florestais, em termos de qualidade da estrutura da vegetação. Para tanto, foram analisados distintos índices de vegetação, sob diferentes bandas disponíveis no sensor *WorldView-II*[®], a fim de identificar fragmentos florestais na área de estudo. Também foi avaliada a estrutura da vegetação em campo, de fragmentos florestais, identificados pelos índices de vegetação, tendo sido verificados quais aspectos físicos da paisagem influenciam na classificação dos fragmentos florestais, em termos de qualidade da estrutura da vegetação. Destaca-se que toda essa avaliação foi realizada na bacia do Rio Cuiabá, Petrópolis (RJ), que é uma área pertinente à proposta, conforme será apresentado a seguir.

14.2 CARACTERIZAÇÃO GEOBIOFÍSICA DO VALE DO CUIABÁ

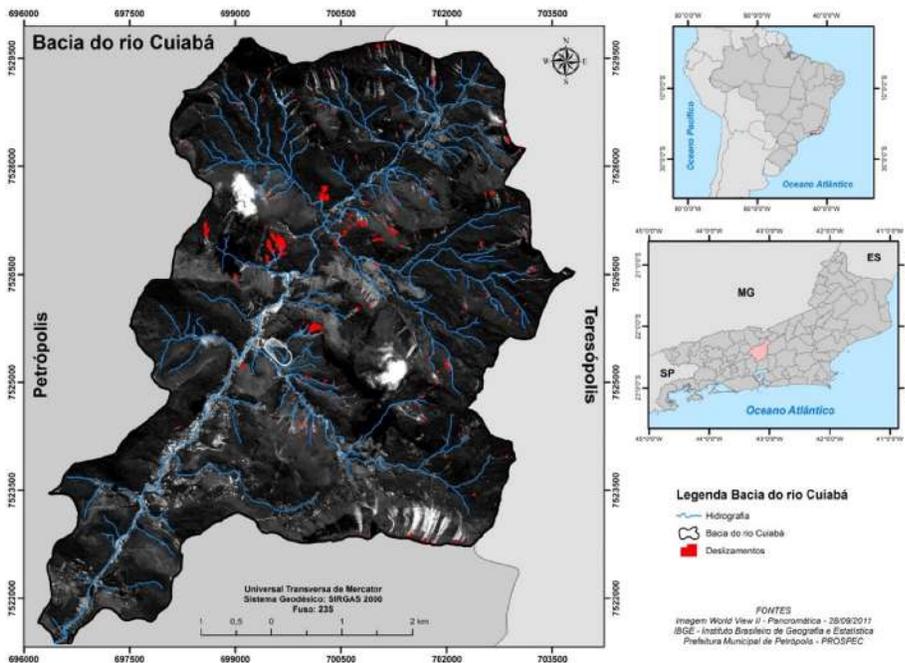
Caracterizar o Vale do Cuiabá de forma geobiofísica visa entender os aspectos físicos da paisagem, além de seus fatores determinantes, e, assim, compreender sua dinâmica e configuração atuais. Nesse sentido, é apresentada uma descrição das principais características físicas que compõem essa bacia.

A bacia do Rio Cuiabá (Figura 14.1) é caracterizada por ser do tipo circular, com pequena variação litológica e com um controle estrutural proeminente, que limita o rio principal (Rio Cuiabá), em uma fratura que se estende no sentido NE-SO (FERNANDES *et al.*, 2017). Segundo os autores, o acentuado desnível altimétrico (altitude varia entre 760 m e 1.869 m), em uma área relativamente pequena (37 km²), resulta em valores de declividade que podem ultrapassar 75%. Esse cenário contribui para o aumento dos riscos de deslizamento e transbordamento dos rios na região, após eventos de chuvas de grande intensidade, como aquele ocorrido em fevereiro de 2011. Nessas circunstâncias, foram registrados 341 deslizamentos nas áreas mais declivosas da bacia, provocando corridas de material e que alcançaram o fundo do vale. Esse processo atingiu indiscriminadamente a população residente, de diferentes classes sociais.

O clima predominante na região é do tipo tropical mesotérmico brando superúmido a úmido, com média anual de temperatura variando entre 18° C e 19° C, característico em cotas altimétricas superiores a 700 m, na Serra do Mar (BOTELHO, 1996). A vegetação do Vale do Cuiabá é caracterizada como Floresta Ombrófila Densa, tendo, em sua composição, as formações Montana e Alto Montana (IBGE, 2012). Segundo Botelho (1996), ainda observado nos dias de hoje, a bacia do Rio Cuiabá apresenta uma cobertura vegetal variada, dominada por gramíneas, utilizadas na pastagem, capoeiras, capoeirões e plantações. A vegetação presente na área está restrita a alguns fragmentos, em sua grande maioria, no interior de propriedades privadas, grandes sítios, fazendas e pousadas da região. Fernandes *et al.* (2017) destacam as atividades agrícolas (como a cafeeira e, atualmente, a silvicultura) como o uso principal nessa região, ao longo dos anos de ocupação. Os autores indicam ainda que “estes usos e coberturas convivem com uma intensa ocupação urbana de diferentes níveis de renda, que se espalha ao longo dos fundos de vale e das encostas íngremes, que caracterizam a região” (FERNANDES *et al.*, 2017, p. 741). Nessas circunstâncias, a preservação dos remanescentes florestais ainda presentes

na área está condicionada ao cumprimento da legislação ambiental pelos proprietários, já que a maioria dos fragmentos está localizada no interior de propriedades privadas.

Figura 14.1 – Localização da área de estudo.



Fonte: Fernandes *et al.* (2017).

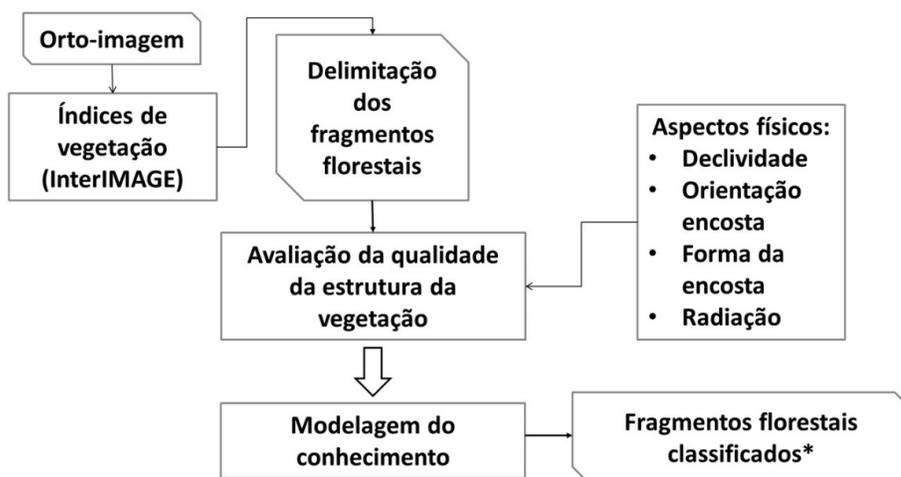
14.3 ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA EMBASAR O MODELO DE CONHECIMENTO

Para gerar um modelo de conhecimento de classificação de fragmentos florestais, em termos de qualidade da estrutura da vegetação, esse trabalho foi estruturado em etapas detalhadas na Figura 14.2.

Os dados vetoriais utilizados nas análises e nos mapeamentos foram reunidos utilizando a base cartográfica da Prefeitura Municipal de Petrópolis (1999), confeccionada pela empresa Prospec em 1999, na escala de 1:10.000. Dessa base, foram extraídas as seguintes informações planialtimétricas: hipsometria (curvas de nível e pontos cotados) e hidrografia, para elaboração de um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consis-

tente (MDEHC), utilizando a ferramenta *TOPOGRID*, no *software ArcGis*® 10.1. Com base no MDEHC, foram gerados mapas dos aspectos físicos da paisagem (declividade, radiação incidente, orientação e forma da encosta), a fim de verificar quais parâmetros são determinantes na classificação dos fragmentos florestais em classes de qualidade da estrutura da vegetação. Vale ressaltar que o *software ArcGis*®, v. 10.1, foi utilizado para a elaboração de todo o trabalho cartográfico.

Figura 14.2 – Fluxograma geral da metodologia utilizada.



* de acordo com a qualidade da estrutura da vegetação

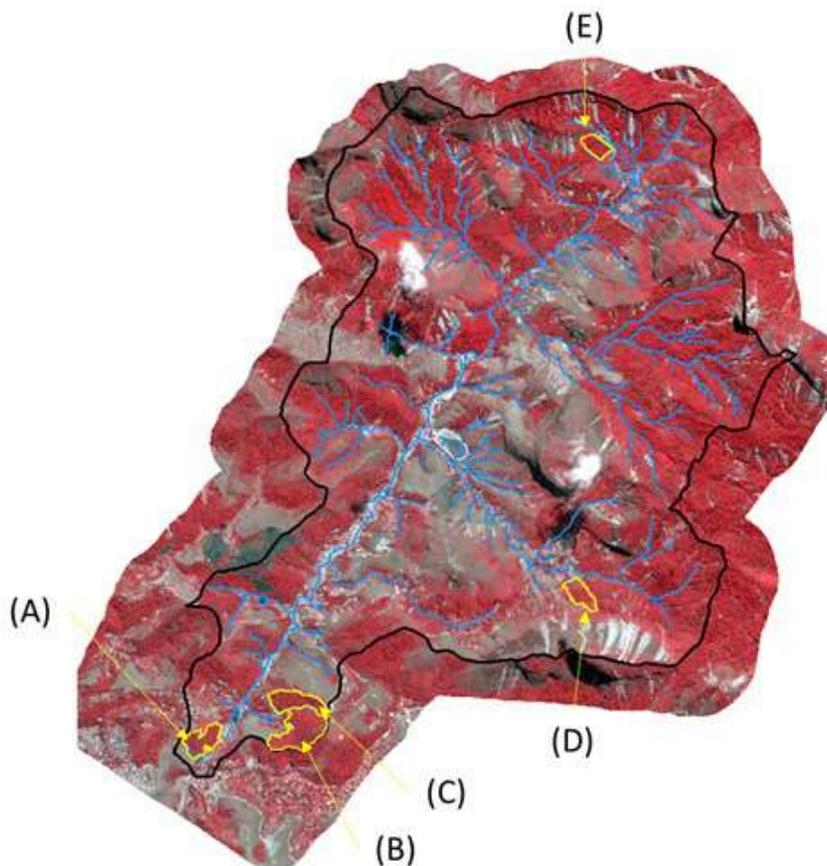
Fonte: os autores.

Com o intuito de identificar fragmentos florestais na área de estudo e analisar distintos índices de vegetação, foi adquirida uma imagem de alta resolução, pelo satélite *WorldView-II*® e do tipo *Ortho Ready Standard Level-2A (ORS2A)*, adquirida em 28 de setembro de 2011, com ângulo *off-nadir* de 22,5° e resolução radiométrica de 8 bits, contendo as bandas multiespectrais com resolução espacial de 2 m; e a banda pancromática com resolução espacial de 0,5 m; incluindo arquivos *Rational Polynomial Coefficient (RPCs)*. A imagem foi ortorretificada no *software ENVI 5.0*®, a fim de corrigir distorções ocasionadas tanto pelo relevo quanto decorrentes do processo de aquisição da imagem. Acredita-se que há ampliação das possibilidades de extração de dados, por conta da integração em um mesmo sistema, de alta resolução espacial e espectral, principalmente, no que

concerne ao uso de índices de vegetação. Esses índices são medidas radiométricas adimensionais que indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde (JENSEN, 2009). Eles se baseiam no comportamento espectral da vegetação, que possui alta reflectância na região do infravermelho próximo (IVP), devido ao espalhamento da radiação no interior das folhas, em função da estrutura celular (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). De acordo com estes mesmos autores, a reflectância de dosséis vegetais depende, principalmente, da quantidade de folhas e da arquitetura do dossel. Ou seja, quanto maior for a densidade da cobertura vegetal, menor será a reflectância na região do visível e maior será a reflectância na região do IVP, sendo adequada para o reconhecimento do estágio de desenvolvimento e/ou da estrutura da vegetação. Por isso, sensores que trabalham nessa faixa de comprimento de onda são indicados para identificação e classificação da vegetação. Em vista disso, a imagem do satélite *WorldView-II*[®] mostra-se adequada para esse estudo, por possuir, além da banda do Infravermelho Próximo tradicional (*Near Infrared*, NIR1), 770-895 nm, duas novas bandas, vermelho de borda (*Red Edge*), 705-745 nm; e infravermelho próximo 2 (*Near Infrared*, NIR2), 860-1040 nm; todas indicadas para esse propósito (DIGITALGLOBE, 2010). Nesse sentido, as novas bandas espectrais do sensor *WorldView-II*[®] oferecem a possibilidade de maior diferenciação e caracterização de alvos. O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) tem sido o mais empregado em diversos estudos, pois é um índice relativamente simples e que tem alta sensibilidade à densidade da cobertura vegetal, o que possibilita comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética terrestre. Para as áreas de floresta tropical úmida, destaca-se a utilização do NDVI (MORAES *et al.*, 2016; COSTA; GUASSELLI, 2017; NUNES *et al.*, 2019). Contudo, com o lançamento de novos sensores, com maior resolução espectral, surge a possibilidade de explorar as novas bandas, no intuito de melhorar a diferenciação e caracterização dos alvos de vegetação e, com isso, a possibilidade de criação de novos índices de vegetação.

Para dar suporte e validar o uso dos índices de vegetação, foi feita uma avaliação da estrutura da vegetação em cinco fragmentos presentes na bacia do Rio Cuiabá (Figura 14.3).

Figura 14.3 – Fragmentos florestais presentes na bacia do Rio Cuiabá, Petrópolis, RJ, nos quais foram efetuados os levantamentos da estrutura da vegetação.

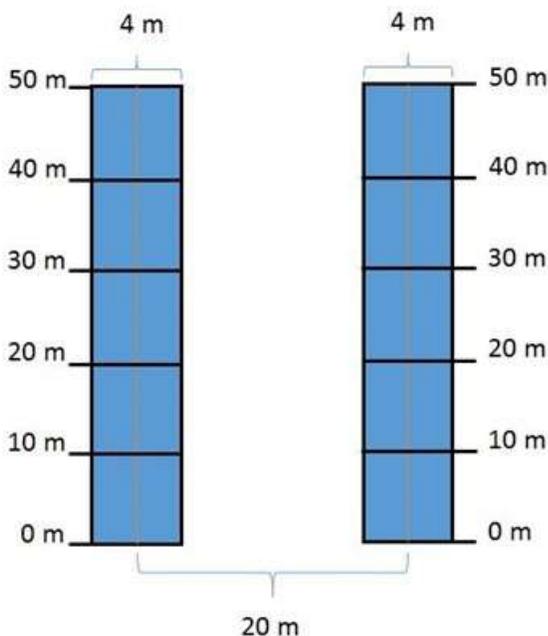


Nota: as áreas selecionadas foram a Pousada Sítio do Rumo (A); Sítio Coxixo (vertente oeste) (B); Sítio Coxixo (vertente sudoeste) (C); Jequitibá (D); e Fazenda Paquequer (E).
Fonte: os autores.

O levantamento de campo foi realizado entre os meses de agosto e dezembro de 2014. No interior de cada fragmento, foram implantadas quatro parcelas, seguindo a declividade ascendente do terreno, distantes pelo menos 20 m umas das outras (Figura 14.4). Cada parcela mede 50 m x 4 m, totalizando 800 m² (0,08 hectares) por fragmento. Na soma dos cinco fragmentos, foram implantadas 20 parcelas, o que corresponde a uma amostragem de 4.000 m² (0,4 ha).

Todos os indivíduos arbustivo-arbóreos, vivos e mortos em pé, com perímetro à altura do peito (PAP) maior ou igual a 15 cm [aproximadamente, diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 5 cm], foram medidos quanto à altura e PAP. Vuono (2002) afirma que o diâmetro de 5 cm de DAP oferece uma boa amostragem no bioma Mata Atlântica, com objetivo de avaliar a estrutura do estrato arbóreo, conforme observado em diversos estudos (BOSA *et al.*, 2015; FRAGA *et al.*, 2015; GUEDES; KRUIPEK, 2016; MIRANDA *et al.*, 2019).

Figura 14.4 – Desenho esquemático das parcelas implantadas para levantamento da estrutura da vegetação, em cada um dos cinco fragmentos florestais.



Fonte: os autores.

Os indivíduos arbóreo-arbustivos que se enquadraram no critério estabelecido foram contabilizados e marcados em campo com prego de cobre e plaqueta de alumínio, a fim de garantir a preservação das informações. Tiveram o PAP medido com auxílio de fita métrica, e a altura total estimada com auxílio de uma vara de 2 m. Indivíduos com troncos múltiplos foram amostrados somente quando pelo menos uma das ramificações possuía PAP $\geq 15,0$ cm.

Nesse caso, todas as ramificações foram medidas, e a área basal total do indivíduo foi calculada pelo somatório das áreas basais de cada ramo.

Os parâmetros estruturais de cada fragmento foram obtidos por meio do conjunto de programas *FITOPAC 1.6*[®] (SHEPHERD, 2006): a) número total de indivíduos amostrados; b) número de indivíduos mortos; c) porcentagem de indivíduos mortos; d) número de indivíduos com troncos múltiplos; e) porcentagem de indivíduos com troncos múltiplos; f) densidade total (ind./ha) = n.º de indivíduos em 10.000 m²; g) densidade de árvores mortas por hectare; h) área basal: área da seção dos troncos, a 1,30 m de altura, expressa em m²/ha; i) área basal dos indivíduos mortos; j) diâmetros máximo e mínimo; k) média e desvio padrão do diâmetro; l) alturas máxima e mínima; e m) média e desvio padrão da altura. Também foi feita a distribuição diamétrica em cada fragmento florestal. Nesse caso, os indivíduos foram separados em classes com intervalos de 5 cm, sob o critério de inclusão, até o valor de 30 cm, utilizado para comparar os fragmentos com presença de árvores grandes.

14.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO

Com base nos dados obtidos em campo nos cinco fragmentos florestais, foram definidos os parâmetros mais relevantes para avaliação da qualidade da estrutura da vegetação presente nesses fragmentos. Dessa forma, obteve-se um padrão de qualidade das áreas analisadas, para ser aplicado posteriormente na modelagem do conhecimento. Os parâmetros utilizados foram: área basal (m²/ha); densidade (ind./ha); % ind. mortos em pé; % ind. com troncos múltiplos; % árvores DAP ≥ 30,0 cm. A área basal, bem como a densidade total, funciona como indicador do estágio de desenvolvimento de uma floresta; e o incremento observado é refletido pelo aumento do diâmetro das árvores e o número de indivíduos arbóreos por hectare, conforme a floresta se desenvolve. A presença de indivíduos arbóreos mortos em pé e com troncos múltiplos reflete o uso pretérito das áreas (VUONO, 2002). Cada fragmento recebeu uma nota correspondente ao valor de cada parâmetro analisado, e essa nota foi multiplicada pelo peso dado ao mesmo parâmetro. Como resultado, obteve-se uma média ponderada, utilizada para classificar as áreas em alta, média e baixa qualidade. Dessa forma, à área basal (m²/ha) foi dado peso 5; densidade (ind./ha), peso 4; % ind. mortos em pé e % ind. com troncos múltiplos, peso 2; e % árvores

DAP \geq 30,0 cm, peso 1. Os resultados foram classificados da seguinte forma: alta qualidade (\geq 8), média qualidade ($5,0 \leq x < 8,0$), e baixa qualidade (< 5). Ao final, as parcelas do fragmento A (Pousada Sítio do Rumo) foram consideradas como a área de melhor qualidade, seguida pelo fragmento D (Jequitibá), C (Coxixo, vertente sudoeste), E (Fazenda Paquequer) e B (Coxixo, vertente oeste) (Quadro 14.1).

Com o intuito de avaliar o potencial das novas bandas do sensor *WorldView-II*[®] na delimitação de fragmentos florestais, os seguintes índices de vegetação foram testados pelo operador de segmentação *TerraAIDA NDVI Segmentation*, do sistema *InterIMAGE*[®], v. 1.35, na bacia do Rio Cuiabá: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI), proposto por Deering (1978); $NDVI_{NIR2/Red\ Edge}$, proposto por Kumar, Pandey e Jeyaseelan (2012); $NIRNDVI$ e $YNDVI_n$, propostos por Shamsoddini, Trinder e Turner (2011). Como os valores de NDVI variam entre -1 e +1, foi testada a variação dos limiares, em intervalos de 0,1. As bandas do NIR_2 e amarelo destacaram-se, assim como a banda *Red Edge*. Nesse caso, os índices mais indicados foram NDVI e $YNDVI$, tanto utilizando a banda NIR_1 quanto a banda NIR_2 . O $NDVI_{NIR2/Red\ Edge}$, apesar de diferenciar bem os fragmentos, apresentou confusão entre outras classes, como afloramento rochoso e telhados escuros. O índice $NIRNDVI$ não foi capaz de delimitar os fragmentos, apresentando uma segmentação muito fragmentada e sem apresentar um padrão claro. Por ser mais utilizado, decidiu-se pela aplicação do NDVI no modelo do conhecimento. Deve-se ressaltar que a aplicação dos índices de vegetação dependerá diretamente do objetivo da pesquisa e da região para a qual está sendo aplicado.

A classificação gerada dos dados coletados em campo (Quadro 14.1) foi correlacionada com os valores médios dos índices de vegetação (IV) nas áreas das parcelas. Percebeu-se que, entre os IV avaliados, com exceção do $NIRNDVI$, o fragmento E, considerado de média qualidade quanto à estrutura, obteve o maior valor médio de IV; e o fragmento A, classificado como de alta qualidade, obteve índices mais baixos (Figura 14.5). Analisando os dados coletados em campo, foi verificado que o Fragmento A possui árvores mais altas do que o fragmento E, altura média de 9,7 m e de 6,9 m, respectivamente. Sendo assim, as parcelas do fragmento A apresentaram um índice de sombra maior, o que pode ter rebaixado o valor dos índices de vegetação. Martinho *et al.* (2012) e Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) destacam que os resultados dos valores do NDVI podem ser afetados pela presença de sombra, até mesmo causada pelo dossel. Portanto, decidiu-se

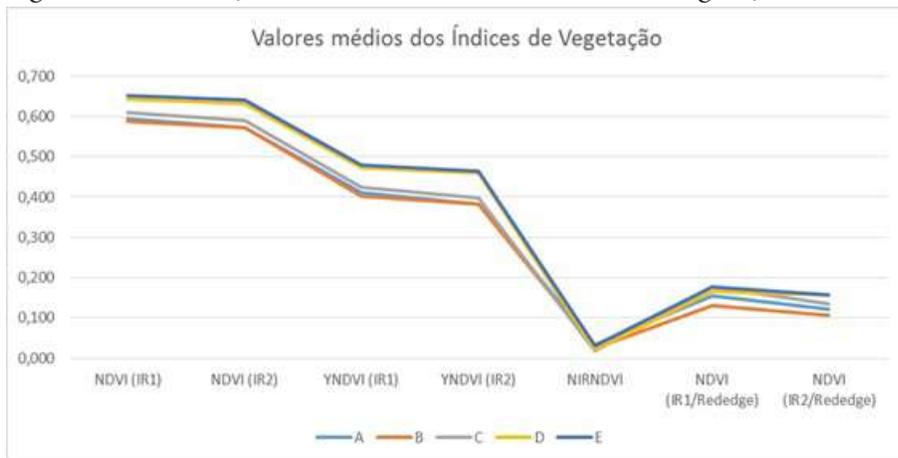
recalcular os valores médios referentes às parcelas, retirando as áreas de sombra. Além disso, averiguando os aspectos físicos da paisagem nos fragmentos A e, o único parâmetro que apresentou diferença foi o índice de exposição à radiação, que, no fragmento A, é baixo; e, no fragmento E, é considerado médio.

Quadro 14.1 – Análise dos parâmetros estruturais da vegetação amostrada nas parcelas de cada fragmento para geração da qualidade da estrutura da vegetação.

Parâmetros	Área Basal (m ² /ha)	Densidade (Ind./ha)	% ind. mortos em pé	% ind. com troncos múltiplos	% árvores DAP ≥ 30,0 cm	Média ponderada	Qualidade
Fragmentos							
A	10	8	6	6	10	8,3	ALTA
B	2	2	4	4	4	2,7	BAIXA
C	4	6	10	2	2	6,3	MÉDIA
D	6	4	8	10	6	7,7	MÉDIA
E	8	10	2	8	8	5,0	MÉDIA
Pesos	5	4	2	2	1		

Fonte: os autores.

Figura 14.5 – Variação do valor médio de cada índice de vegetação nas áreas.



Fonte: os autores.

Assim, para representar a qualidade da estrutura da vegetação dos fragmentos florestais em classes (alta, média e baixa), além da definição dos valores médios dos índices de vegetação, foram definidos quais aspectos físicos da paisagem, entre declividade, radiação incidente, orientação e forma da encosta, são determinantes na classificação dos fragmentos florestais, em qualidade da estrutura da vegetação. Quando comparados todos os aspectos da paisagem, entre os cinco fragmentos analisados, observou-se que não houve oscilação dos parâmetros, com exceção da incidência de radiação, referente ao ano de 2011, que variou de acordo com a orientação da encosta e a posição dentro da bacia (Quadro 14.2).

14.5 CONSTRUINDO UM MODELO DE CONHECIMENTO PARA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS

A modelagem do conhecimento permite que os princípios aplicados à análise visual de uma imagem de sensor remoto sejam inseridos em um ambiente computacional, para assim realizar a extração automática de informações (FEITOSA *et al.*, 2005). Baseia-se nas características de cor, forma, textura, padrão e contexto dos objetos presentes na superfície terrestre, expressas na imagem observada (PINHO, 2005). O método *Geobia* leva em consideração a discriminação da imagem em objetos e

utiliza a multiescalaridade como forma de análise. Isso significa que a análise será feita considerando as diferentes dimensões espaciais, sob as quais objetos, padrões e/ou processos podem ser observados e medidos (HAY *et al.*, 2005). O sistema *InterIMAGE*[®] é uma plataforma livre baseada em conhecimento para interpretação automática de imagens (COSTA *et al.*, 2010) e que possui operadores para aplicar a *Geobia* no processo de classificação. Esses operadores de classificação podem realizar a definição de limiares para uma regra de decisão, baseando-se em valores espectrais; propriedades texturais, morfológicas e topológicas de objetos de imagens, para realizar a interpretação de uma cena, sendo importante para que se atinja uma boa acurácia na classificação (COSTA *et al.*, 2008; CAMARGO *et al.*, 2012; ANTUNES *et al.*, 2018).

Quadro 14.2 – Comparação dos aspectos físicos da paisagem entre as parcelas dos fragmentos amostrados na bacia do Rio Cuiabá (Itaipava, Petrópolis, RJ).

Fragmentos	Aspectos físicos da paisagem				
	Orientação da encosta	Radiação anual (kWh/m ²)	Classificação da radiação	Classificação da declividade	Forma da encosta
A	Sudeste	1.258	Baixa	Montanhoso	Convexa
B	Oeste	1.677	Alta	Forte Ondulado	Convexa
C	Sudoeste	1.442	Média	Montanhoso	Convexa
D	Norte	1.799	Alta	Forte Ondulado	Convexa
E	Sudeste	1.447	Média	Montanhoso	Convexa

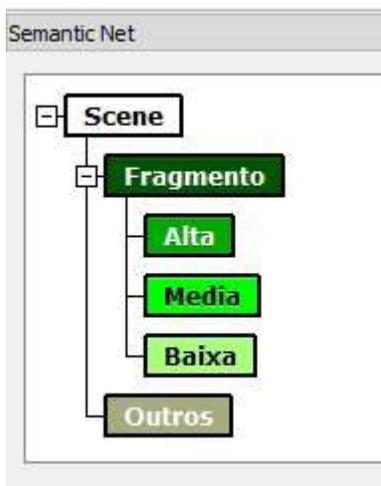
Fonte: os autores.

Nesse estudo, foram utilizados o *TerraAIDA Baatz Segmentation*, operador de segmentação baseado no algoritmo proposto em Baatz e Schäpe (2000) e o *TerraAIDA NDVI Segmentation*, que gera segmentos, com base no limiar de uma imagem em tons de cinza, cujos números digitais são equivalentes ao NDVI (SELLERS, 1985). Dessa forma, as geotecnologias por meio do geoprocessamento, *Geobia* e modelagem do conhecimento, foram utilizadas nesse estudo, para a construção de um modelo de análise geocológica, por meio do conhecimento relacionado à qualidade da estrutura da vegetação, em fragmentos florestais na Mata Atlântica.

No momento da análise, a versão do sistema *InterIMAGE*[®] utilizada (v. 1.35) possuía limitação para o processamento da imagem, o que ainda persiste na versão atual, conforme informam os autores: “[...] a versão atual do *InterIMAGE*[®] possui limitação para processar e classificar imagem superior a 9 megapixels (3000 x 3000 pixels)” (ANTUNES *et al.*, 2018). Portanto, a estratégia foi delimitar retângulos envolventes de mesmo tamanho e que abrigassem um ou mais fragmentos, para que o programa conseguisse proceder a classificação da imagem.

Após a montagem das regras de decisão, deu-se prosseguimento ao processo de classificação. Primeiro, foi necessário eliminar os objetos escuros que representavam sombra e água, a fim de que não fossem confundidos com vegetação. Com a ferramenta *Analysis Explorer* e o operador de segmentação *TerraAIDA Baatz Segmentation*, foi estabelecida a regra que definia os objetos escuros como aqueles com valor de brilho ≤ 13 na banda pancromática. Assim, para cada uma das cinco áreas, foi gerada a classificação de acordo com as classes estabelecidas na rede semântica (Figura 14.6) e as regras de decisão de cada classe, descritas a seguir.

Figura 14.6 – Rede semântica utilizada na identificação dos fragmentos florestais e para a classificação dos fragmentos florestais em níveis de qualidade da estrutura da vegetação (alta, média e baixa qualidade).



Fonte: os autores.

Para classificação dos fragmentos florestais, foi utilizado o operador *TerraAIDA NDVI Segmentation*, indicando as bandas do vermelho e do infra-

vermelho próximo 1, com o limiar de 0,45. A definição do limiar foi feita com base em testes realizados com as diferentes bandas da imagem *WV-II*[®]. Os valores do parâmetro *Reliability*, que possuía o valor padrão de 0,2, foi de 0,6, na classe Fragmento; e de 0,4, na classe Outros. Esse parâmetro variou de acordo com a classe, com base no crescimento da rede semântica. Ele é utilizado para definir pesos às classes da rede semântica, de forma que a classe que apresentar maior valor nesse parâmetro terá prioridade na classificação, caso ocorra sobreposição geográfica (INTERIMAGE, 2020).

As regras de decisão para a classificação da qualidade da estrutura da vegetação dos fragmentos florestais no *software InterIMAGE*[®] foram definidas com base nos valores médios de NDVI e nos valores médios de radiação global anual (kWh/m²), conforme descrito na seção anterior. Dessa forma, pode-se observar no Quadro 14.3 que todos os segmentos com valor de NDVI médio e alto ($\geq 0,60$) e com baixa exposição à radiação (< 1.348) foram classificados como fragmentos de alta qualidade; e todos os fragmentos com baixo valor de NDVI ($< 0,60$) e com média ou alta exposição à radiação (≥ 1.348) foram classificados como fragmentos de baixa qualidade. A classe de qualidade média ficou com a regra *Dummy TopDown*, ou seja, todos os segmentos que não foram classificados como Alta e Baixa.

Quadro 14.3 – Classificação da qualidade dos fragmentos, na área da parcela, de acordo com o valor médio da radiação global anual (kWh/m²) e do valor médio de NDVI.

Fragmento	Radiação global anual (kWh/m ²)	Classes de Radiação	Valor médio de NDVI(*)	Classes de NDVI	Qualidade
A	1258	Baixa	0,604	Médio	ALTA
B	1677	Alta	0,591	Baixo	BAIXA
C	1442	Média	0,615	Médio	MÉDIA
D	1799	Alta	0,634	Alto	MÉDIA
E	1447	Média	0,650	Alto	MÉDIA

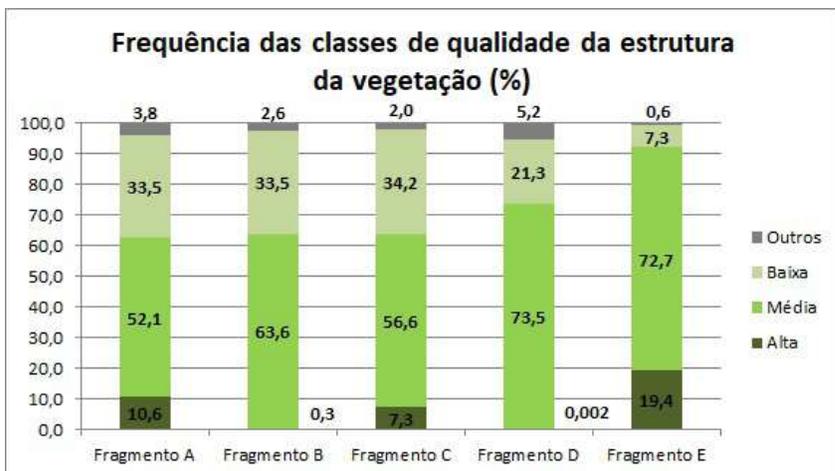
Nota: (*) valor obtido na área da parcela, excluindo as áreas de sombra. Fonte: os autores.

Pode-se observar, pela Figura 14.7, que todos os fragmentos apresentaram mais da metade de suas áreas compostas por vegetação de média qualidade. Somente os fragmentos E, A e C apresentaram áreas de alta qualidade. Analisando somente os dados do gráfico, podemos dizer que

esses dados não corroboram completamente os dados de campo, já que, segundo esses dados, adotando a área basal como critério prioritário, o fragmento A seria o melhor em qualidade da estrutura da vegetação. Cabe lembrar que aqueles dados foram atribuídos às parcelas, e aqui são apresentados os dados da área total do fragmento, demonstrando que nem sempre a área de amostragem corresponde à realidade do fragmento como um todo. Ademais, os diversos remanescentes florestais representam um mosaico de diferentes estágios de desenvolvimento de uma floresta, retratando sua dinâmica natural. Contudo, não se deve avaliar somente a predominância de cada classe no fragmento, mas sim efetuar a análise espacial dessas manchas de qualidade.

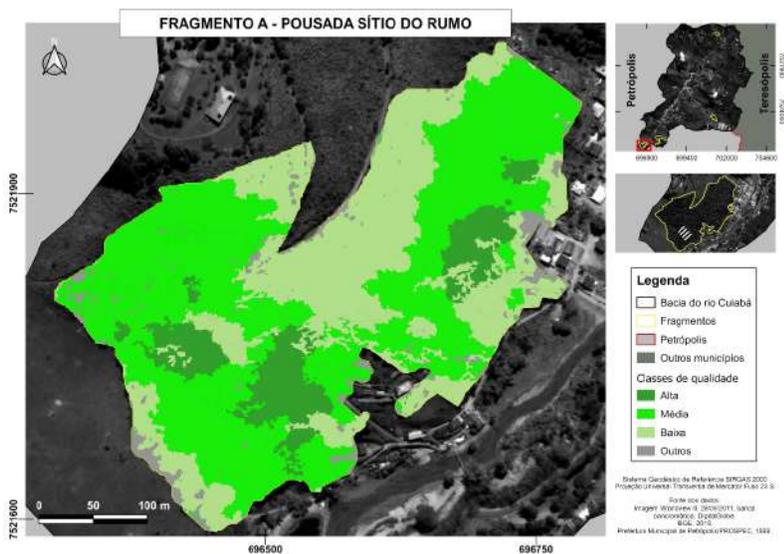
Na classificação apresentada nas Figuras 14.8 a 14.12, pode-se observar que a maioria das manchas de alta qualidade se concentra no interior do fragmento e as manchas de baixa qualidade em suas bordas. Isso pode refletir o chamado efeito de borda. Todos os fragmentos analisados possuem matriz urbano/rural, já que estão dentro de propriedades privadas; são pequenos, variando entre 6 ha (fragmento A) e 23 ha (fragmento B), possuem bordas bem recortadas, em contato com pastagens, cultivo, estradas, trilhas, além de alguns (D e E) terem sofrido impacto dos deslizamentos de fevereiro de 2011.

Figura 14.7 – Gráfico da frequência das classes de qualidade da estrutura da vegetação, encontradas nos fragmentos analisados, sendo: Alta = alta qualidade; Média = média qualidade; Baixa = baixa qualidade; Outros = áreas que não pertencem à classe fragmento florestal.



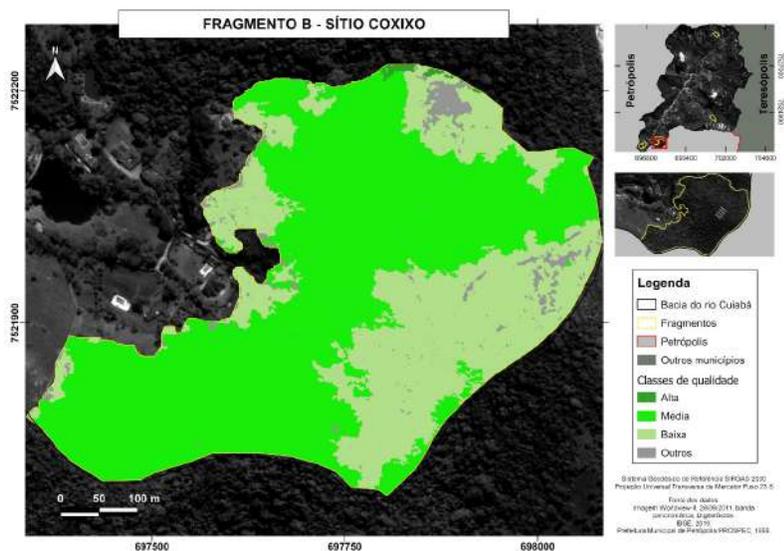
Fonte: os autores.

Figura 14.8 – Classificação da qualidade da estrutura da vegetação no fragmento A (Pousada Sítio do Rumo).



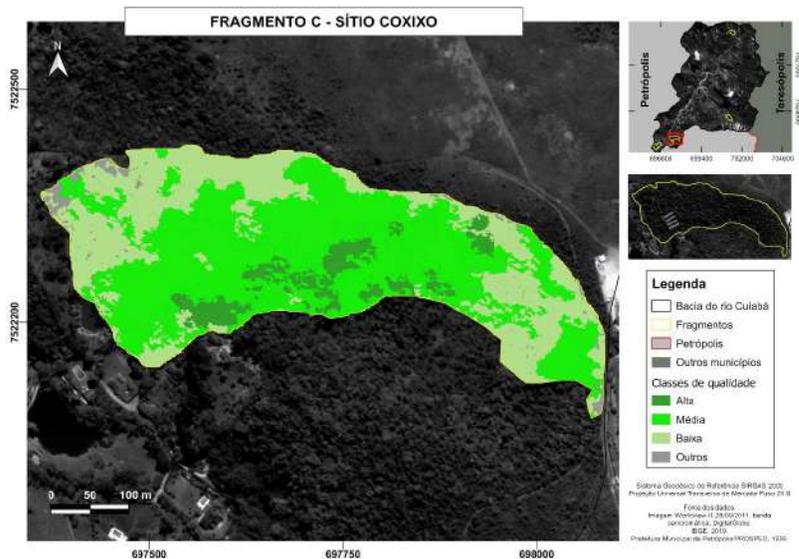
Fonte: os autores.

Figura 14.9 – Classificação em termos de qualidade da estrutura da vegetação no fragmento B (Sítio Coxixo, vertente oeste).



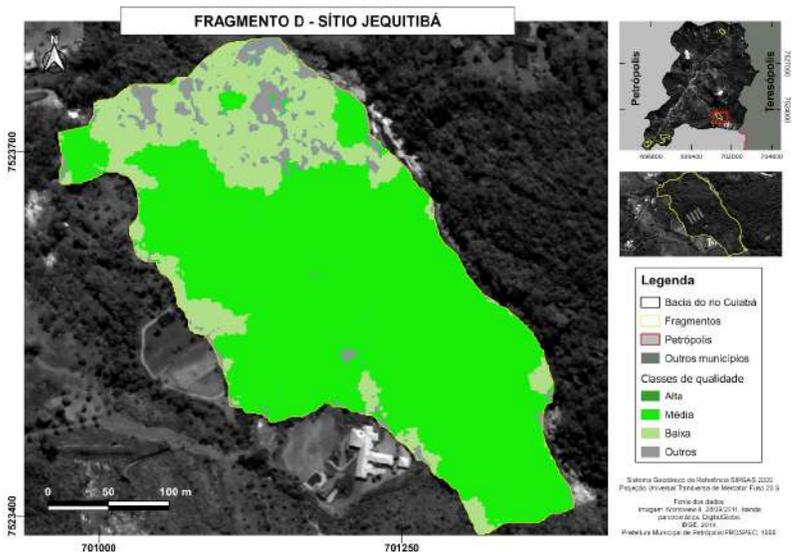
Fonte: os autores.

Figura 14.10 – Classificação em termos de qualidade da estrutura da vegetação no fragmento C (Sítio Coxixo, vertente sudoeste).



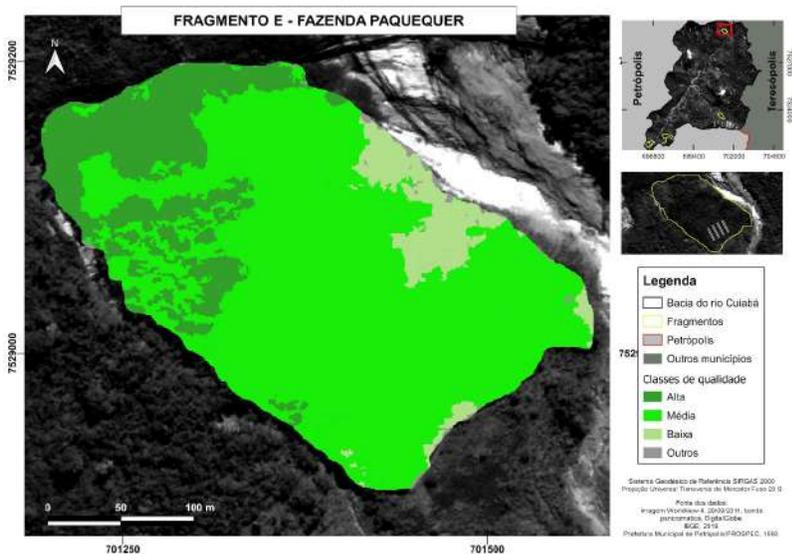
Fonte: os autores.

Figura 14.11 – Classificação em termos de qualidade da estrutura da vegetação no fragmento D (Sítio Jequitibá).



Fonte: os autores.

Figura 14.12 – Classificação em termos de qualidade da estrutura da vegetação no fragmento E (Fazenda Paquequer).



Fonte: os autores.

14.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho atingiu alguns resultados interessantes e que culminaram em conclusões e recomendações que servem de guia para trabalhos futuros. Nesse sentido, vale ressaltar que o *software InterIMAGE*[®] demonstrou grande potencial na segmentação e classificação das imagens, contendo diversos operadores que podem ser explorados, além da possibilidade de se concentrar em uma única classe, por vez, fazendo segmentações separadas para cada uma delas. A vantagem dessa estratégia reside em que cada classe possui características particulares (textura, brilho etc.), sendo possível implementar um nível de segmentação, bem como um operador para cada classe; além da possibilidade de utilizar diversas imagens, com características espaciais e espectrais diferentes em uma mesma análise. Porém, apresenta limitações em relação ao tamanho da imagem processada, e, por conta disso, não foi possível implementar a modelagem da qualidade da estrutura da vegetação para toda a área da bacia do Rio Cuiabá.

As novas bandas da imagem *WorldView-II*[®] foram bastante úteis na detecção dos fragmentos florestais na bacia do Rio Cuiabá, com destaque

para as bandas do infravermelho próximo 2 (NIR_2), amarelo e *Red Edge*, na aplicação dos índices $NDVI_n$, $YNDVI_n$ e $NDVI_{NIR2/Red\ Edge}$. Este último, diferentemente dos primeiros, apesar de diferenciar bem os fragmentos, apresentou confusão entre outras classes, como afloramento rochoso e telhados escuros, sendo necessário explorar alternativas para auxiliar nesse processo de diferenciação. No caso da classe afloramento rochoso, além do brilho, poderia explorar as regras utilizadas por Sousa (2013), como altitude, assim como a declividade, por conta das características dos afloramentos presentes na bacia. No caso da confusão com os telhados escuros, que pertenceriam à classe urbana, poder-se-ia usar a forma do segmento, a fim de separá-lo da classe fragmento, já que os telhados possuem forma geométrica definida, diferentemente dos fragmentos, que apresentam formas irregulares. Outra questão observada, mesmo nos índices $NDVI_n$, $YNDVI_n$, que obtiveram melhor resultado, foi de que algumas áreas de vegetação rasteira (considerada 'Não fragmento') apresentaram altos valores nos índices, sendo então classificadas como fragmento. Essas áreas só foram separadas posteriormente, quando foi modelada a qualidade da vegetação, por meio da combinação do valor médio apresentado no índice de vegetação com o parâmetro de radiação (valor médio de radiação global anual). Ou seja, todas as áreas com alto índice de vegetação e alta exposição à radiação foram classificadas como de baixa qualidade. Porém, acredita-se que seja necessário fazer essa separação antes da modelagem da qualidade, para que nesta etapa sejam classificadas somente as áreas de vegetação arbórea. Apesar da boa resolução espacial e espectral da imagem adquirida, a mesma imagem apresentou um alto teor de sombra, devido ao ângulo de aquisição da imagem, podendo gerar alguma confusão na classificação automática, devido aos valores radiométricos diferenciados dessas áreas, dificultando muitas vezes a definição dos limiares de classificação. Acredita-se que, com a aquisição de imagens com ângulos menores que 22° , essa questão seria minimizada e poderia ser obtida uma classificação mais precisa. Além do exposto, vale lembrar que a imagem *WorldView-II*[®] é paga e recobre uma pequena área geográfica, sendo aplicável a gestão territorial e ambiental em grandes escalas. Portanto, é necessário testar imagens de menor resolução espacial e mais acessíveis, como *Rapideye* e *Landsat8*, que possuem sua distribuição gratuita, permitindo aplicar a metodologia em outras áreas, com menor custo.

A caracterização da estrutura da vegetação em campo foi de extrema importância para definição dos parâmetros de qualidade, mas acredita-se

que outras informações também poderiam compor essa modelagem da qualidade, como o histórico de ocupação, o grau de perturbação, o tipo de borda, além de parâmetros provenientes da Ecologia da Paisagem, como índice de circularidade, por exemplo. Proceder à identificação das espécies arbóreas pode trazer informações mais precisas, principalmente, quanto ao estágio de desenvolvimento da vegetação, já que seriam determinados os grupos sucessionais das espécies predominantes (pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e climáticas) na área amostrada, sendo possível, ainda, aprimorar a caracterização, a modelagem e a validação dos dados.

A combinação do valor médio de NDVI e do valor médio de radiação global mostrou bons resultados para determinação da qualidade da estrutura da vegetação, sendo capaz de separar áreas de vegetação rasteira (gramíneas), que exprimiram valor alto no índice de vegetação, e, então, foram classificadas como um fragmento florestal. Elas foram classificadas, então, como áreas de baixa qualidade. O resultado da modelagem da classificação da qualidade da vegetação mostrou-se promissor, porém podem ser feitos ajustes para refiná-lo, como a utilização da textura, por exemplo, para separação das classes. Quanto aos aspectos da paisagem, o único que pôde ser avaliado foi a exposição à radiação, já que os fragmentos não apresentaram diferença significativa entre si nos parâmetros de orientação e forma da encosta; e declividade. Entretanto, conseguindo-se fazer a análise em toda área da bacia, seria interessante buscar outras áreas e aplicar a técnica de mineração de dados, para explorar melhor esses e outros parâmetros que auxiliem refinar a classificação.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, R. R. *et al.* Análise de integração de mineradores de dados com a plataforma InterIMAGE-qual a melhor solução? *Revista Brasileira de Cartografia*, Uberlândia, v. 70, n. 4, p. 1.470-1.509, 2018. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/46512>. Acesso em: 23 abr. 2021.

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. *In: ANGEWANDTE GEOGRAPHISCHE INFORMATIONSVERRARBEITUNG*, 12., 2000, Salzburg. *Proceedings* [...]. Salzburg, Editora Herbert Wichmann Verlag, 2000. p. 12-23.

BERGALLO, H. G.; ROCHA, C. F. D.; SLUYS, M. V.; ALVES, M. A. S. O status atual da fauna do estado do Rio de Janeiro: considerações finais. *In*: BERGALLO, H. G.; ROCHA, C. F. D.; SLUYS, M. V.; ALVES, M. A. S. (org.). *A fauna ameaçada de extinção do estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Editora UERJ, 2000. p. 115-119.

BLASCHKE, T. *et al.* Geographic object-based image analysis—towards a new paradigm. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, Amsterdã, v. 87, p. 180-191, 2014.

BOSA, D. M. *et al.* Florística e estrutura do componente arbóreo de uma floresta ombrófila densa montana em Santa Catarina, Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 49-58, 2015.

BOTELHO, R. G. M. *Identificação de unidades ambientais na bacia do rio Cuiabá (Petrópolis-RJ) visando o planejamento de uso do solo*. 1996. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Informe nacional sobre áreas protegidas no Brasil*. Brasília, DF: MMA, 2007a.

BRASIL. *Portaria MMA nº 9/2007. Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira: atualização*. Brasília, DF: MMA, 2007b. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/handle/1/740>. Acesso em: 22 abr. 2021.

CAMARGO, F. F. *et al.* An open source object-based framework to extract landform classes. *Expert Systems with Applications*, Amsterdã, v. 39, p. 541-554, 2012.

CATTAE, J. F.; CARDOSO, P. V.; RICHTER, M. Dinâmica de uso e ocupação da terra nos municípios de Nova Iguaçu e Duque de Caxias. *Revista Continentes*, Seropédica, n. 8, p. 75-87, jan. 2016. Disponível em: <http://www.revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/97>. Acesso em: 23 abr. 2021.

CHEN, G. *et al.* Geographic object-based image analysis (Geobia): emerging trends and future opportunities. *GIScience & Remote Sensing*, London, v. 55, n. 2, p. 159-182, 2018.

COSTA, G. A. O. P. *et al.* Knowledge-based interpretation of remote sensing data with the InterIMAGE system: major characteristics and recent developments. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOGRAPHIC OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS, 3., 2010, Ghent. *Proceedings* [...]. Ghent, Holland: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ITC, 2010.

COSTA, G. A. O. P. *et al.* InterIMAGE: uma plataforma cognitiva open source para a interpretação automática de imagens digitais. *Revista Brasileira de Cartografia*, Uberlândia, v. 60, n. 4, 2008.

COSTA, L. C. B. da; GUASSELLI, L. A. Dinâmica sazonal de remanescentes da Mata Atlântica, a partir de séries temporais NDVI/Modis. Seasonal dynamics of the remaining Atlantic Forest, from a time series NDVIMODIS. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 30, p. 214-239, 2017.

DEERING, D. W. *Rangeland reflectance characteristics measured by aircraft and spacecraft sensors*. 1978. Tese (Doutorado em Filosofia) – Texas A&M University, College Station, 1978. Disponível em: <https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/DISSERTATIONS-253780>. Acesso em: 29 abr. 2021.

DIGITALGLOBE. *WhitePaper* – the benefits of the 8 spectral bands of WorldView-II. Mar. 2010. Disponível em: https://dg-cms-uploads-production.s3.amazonaws.com/uploads/document/file/35/DG-8SPECTRAL-WP_0.pdf. Acesso em: 15 mar. 2021.

FEITOSA, R. Q. *et al.* Impacto de técnicas baseadas em conhecimento na análise de imagens de média resolução para mapeamento do desflorestamento na Amazônia. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 2005, Goiânia. *Anais [...]*. Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Especiais, 2005. p. 4.065-4.072.

FERNANDES, M. do C. *et al.* Comportamento de análises em superfície planimétrica e modelada frente a representações cartográficas e índices geomorfológicos-Bacia do rio Cuiabá-Petrópolis (RJ). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Brasília, v. 18, n. 4, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320253660_COMPORTAMENTO_DE_ANALISES_EM_SUPERFICIE_PLANIMETRICA_E_MODELADA_FRENTE_A_REPRESENTACOES_CARTOGRAFICAS_E_INDICES_GEOMORFOLOGICOS_-_BACIA_DO_RIO_CUIABA_-_PETROPOLIS_RJ. Acesso em: 20 abr. 2021.

FRAGA, J. S. *et al.* Florestas secundárias de diferentes idades e a estabilidade de encostas em Nova Friburgo (estado do Rio de Janeiro, Brasil). *Botânica, Pesquisas*, São Leopoldo, v. 68, p. 287-309, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/291135648_FLORESTAS_SECUNDARIAS_DE_DIFERENTES_IDADES_E_A_ESTABILIDADE_DE_ENCOSTAS_EM_NOVA_FRIBURGO_ESTADO_DO_RIO_DE_JANEIRO_BRASIL/link/569e31c208aed27a70327040/download Acesso em: 23 abr. 2021.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. *Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2018-2019*. Relatório Técnico. São Paulo, 2020.

GUEDES, J.; KRUPPEK, R. A. Florística e fitossociologia do componente arbóreo de um fragmento de floresta ombrófila densa do estado de São Paulo. *Acta Biológica Catarinense*, Joinville, v. 3, n. 1, p. 12-24, 2016.

HAY, G. J., CASTILLA, G., WULDER, M. A., RUIZ, J. R. An automated object-based approach for the multiscale image segmentation of forest scenes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Amsterdã, v. 7, n. 4, p. 339-359, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Bases cartográficas contínuas – Brasil, 1:250.000*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Base de dados. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2019/. Acesso em: 29 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. (Série Manuais Técnicos em Geociências).

INTERIMAGE. *Interpreting images freely*. Disponível em: http://wiki.dpi.inpe.br/doku.php?id=interimage:operators_documentation. Acesso em: 17 mar. 2021.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KNEVELS, R. *et al.* Geographic object-based image analysis for automated landslide detection using open source GIS software. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Amsterdã, v. 8, n. 12, p. 551, 2019.

KUMAR, A.; PANDEY, A. C.; JEYASEELAN, A. T. Built-up and vegetation extraction and density mapping using WorldView-II. *Geocarto international*, London, v. 27, n. 7, p. 557-568, 2012.

KURTZ, B. C. *et al.* Integrating remote sensing and phytosociology of the Atlantic Forest to map a small continental island in southeastern Brazil: subsidies to protect the habitat of critically endangered species. *Rodriguésia*, Rio de Janeiro, v. 69, n. 4, p. 2.081-2.092, Dic. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869438>. Acesso em: 28 abr. 2021.

LIMA, B. C.; FRANCISCO, C. N.; BOHRER, C. B. de A. Deslizamentos e fragmentação florestal na região serrana do estado do Rio de Janeiro. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1.283-1.295, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cflo/v27n4/1980-5098-cflo-27-04-1283.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2021.

LIMA, V. R. P. de *et al.* Análise do padrão espacial do uso e cobertura do solo e da fragmentação e conectividade da vegetação no semiárido do Nordeste brasileiro: bacias dos rios Taperoá e Alto Paraíba-PB. *Revista de Estudios Andaluces*, Sevilla, v. 37, p. 25-49, 2019.

MANNE, L. L.; BROOKS, T. M.; PIMM, S. L. Relative risk of extinction of passerine birds on continents and islands. *Nature*, London, v. 399, n. 6.733, p. 258, 1999.

MARMONTEL, C. V. F. *et al.* Caracterização da vegetação secundária do bioma Mata Atlântica com base em sua posição na paisagem. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 2.042-2.052, nov./dez. 2013.

MARTINHO, P. R. R. *et al.* *Metodologia de monitoramento de cobertura vegetal: estudo de caso no município de Goiânia, GO.* Campinas: Embrapa, 2012.

MENEZES, D. P. *et al.* Applying geographic object-based image analysis (Geobia) and data mining to identify secondary forests succession on Santarem Region, Para, Brazil. In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM - IGARSS, 2017, Texas. *Proceedings* [...]. Texas, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE, 2017. p. 2.919-2.922.

MIRANDA, C. do C. *et al.* Levantamento fitossociológico como ferramenta para a restauração florestal da Mata Atlântica, no Médio Paraíba do Sul. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 1.601-1.613, 2019.

MORAES, I. S. *et al.* Monitoramento da abertura no dossel a partir de fotografias hemisféricas com NDVI e MLME em área de concessão florestal: Mamuru-Arapuins/PA. *Revista Brasileira de Cartografia*, Uberlândia, v. 68, n. 7, 2016.

MUYLAERT, R. L. *et al.* Uma nota sobre os limites territoriais da Mata Atlântica. *Oecologia Australis*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 302-311, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/327582744_UMA_NOTA_SOBRE_OS_LIMITES_TERRITORIAIS_DA_MATA_ATLANTICA. Acesso em: 3 abr. 2021.

MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, London, v. 403, p. 853-858, 2000.

NUNES, G. M. *et al.* Classificação espectral de fitofisionomias em área de floresta tropical utilizando dados do sensor Aster. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 132-139, 2019.

OSMÓLSKA, A.; HAWRYŁO, P. Using a Geobia framework for integrating different data sources and classification methods in context of land use/land cover mapping. *Geodesy and Cartography*, Vilnius, Lituânia, v. 67, n. 1, p. 99-116, July 2018.

PENHA, T. V. *et al.* Detecção de áreas queimadas na Amazônia Brasileira usando índices espectrais e Geobia. *Revista Brasileira de Cartografia*, Uberlândia, v. 72, n. 2, p. 253-269, jun. 2020.

PINHO, C. M. D. de. *Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos*. 2005. 180 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. (Inpe-14183-TDI/1095).

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. *Sensoriamento remoto da vegetação*. 2. ed. São José dos Campos: Oficina de Textos, 2012.

PRADO, R. B. *et al.* Serviços ambientais no bioma Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro: abordagem metodológica e desafios. In: PARRON, L. M. *et al.* (ed.). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica*. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 202-218. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024082>. Acesso em: 24. abr. 2021.

PETRÓPOLIS. *Base cartográfica do município de Petrópolis, 1:10.000*. Rio de Janeiro: PMP/PROSPEC, 1999. Base de dados.

ROCHA, C. F. D. *et al.* *A biodiversidade nos grandes remanescentes florestais do estado do Rio de Janeiro e nas restingas da Mata Atlântica*. São Carlos: Rima Editora, 2003.

ROCHA, C. F. D.; SLUYS, M. V.; ALVES, M. A. S.; BERGALLO, H. G. Corredores de conservação e sua importância em propostas de reflorestamento no estado do Rio de Janeiro. In: FUNDAÇÃO CENTRO DE INFORMAÇÕES E DADOS DO RIO DE JANEIRO. *Índice de qualidade dos municípios-verde (IQM-verde)*. 2000. CD-ROM.

SEABRA, V. da S.; ROCHA-LEÃO, O. M. da. Razões para as enchentes e inundações no residencial Carlos Marighella: uma análise multitemática da bacia do rio do Vigário, em Maricá-RJ. *Revista da ANPEGE*, João Pessoa, v. 15, n. 26, p. 114-137, 2019. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/9617/pdf%20105418-RA2019.1526.0005>. Acesso em: 28 abr. 2021.

SELLERS, P. J. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, London, v. 6, n. 8, p. 1.335-1.372, 1985. Disponível em: <https://www.tandfon-line.com/doi/abs/10.1080/01431168508948283>. Acesso em: 25 abr. 2021.

SHAMSODDINI, A.; TRINDER, J. C.; TURNER, R. Quantization of Pinus forest biophysical parameters using WorldView-2. In: INTERNATIONAL CONFERENCE

AND EXHIBITION ON GEOSPATIAL TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS, 1., 2011, Rio de Janeiro. *Proceedings* [...]. Rio de Janeiro: Latin America Geospatial Forum, 2011. p. 11.

SHEPHERD, G. J. *Fitopac Shell 1.6*: manual do usuário. São Paulo: Departamento de Botânica, UNICAMP, 2006.

SILVA, J. M. C. da; CASTELETI, C. H. M. Estado da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira. In: GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. (ed.). *Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas*. Trad. Edma Reis Lamas. São Paulo; Belo Horizonte: Fundação SOS Mata Atlântica; Conservação Internacional, 2005. p. 43-59.

SOTHE, C. *et al.* Evaluating sentinel-2 and Landsat-8 data to map sucessional forest stages in a subtropical forest in Southern Brazil. *Remote Sensing*, Basel, Switzerland, v. 9, n. 8, p. 838, 2017.

SOUSA, G. M. de. *Modelagem do conhecimento aplicada ao estudo da susceptibilidade à ocorrência de incêndios no Parque Nacional do Itatiaia*. 2013. 161 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SOUSA, G. M. de; FERNANDES, M. do C.; COSTA, G. A. O. P. da. Classificação da susceptibilidade a ocorrência de incêndios através de mineração de dados e Geobia. *Revista Brasileira de Cartografia*, Uberlândia, v. 67, n. 3, 2015.

UDDIN, K.; MATIN, M. A.; MEYER, F. J. Operational flood mapping using multi-temporal sentinel-1 SAR images: a case study from Bangladesh. *Remote Sensing*, Basel, Switzerland, v. 11, n. 13, p. 1.581, 2019.

VUONO, Y. S. de. Inventário fitossociológico. In: SYLVESTRE, L. S.; ROSA, M. M. T. (ed.). *Manual metodológico para estudos botânicos na Mata Atlântica*. Seropédica: Editora da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002. p. 51-65.

WECKMÜLLER, R.; ZEBENDE, J. V. J.; VICENS, R. S. Escolha do melhor descritor para a detecção de trajetórias em florestas tropicais utilizando os algoritmos Landtreindr. *Revista Continentes*, Seropédica, n. 13, p. 68-84, fev. 2019. Disponível em: <https://www.revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/192>. Acesso em: 10 abr. 2021.

DISCUSSÃO METODOLÓGICA DO MAPEAMENTO DA SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Gustavo Mota de Sousa

15.1 INTRODUÇÃO

As Unidades de Conservação (UC) existentes no Brasil possuem desafios que envolvem os seus limites territoriais, em que podemos destacar os incêndios florestais. A prática do uso do fogo é realizada de maneira antrópica, seguindo interesses que vão desde a necessidade de ocupação da terra até a realização de práticas criminosas. Além disso, existem fatores, observados na própria paisagem, que são conhecidos como variáveis ambientais, que influenciam o espalhamento do fogo e merecem atenção, tendo em vista a otimização do combate por equipes de brigadistas e voluntários especializados.

A elaboração de metodologias para a determinação de áreas com maior susceptibilidade aos incêndios é de suma importância para o planejamento das UC, para a organização de ações de combate e distribuição de recursos de maneira mais eficiente. O mapeamento deve ultrapassar os limites da UC, porque é necessário o controle de queimadas nas proximidades. As chamadas “zonas de amortecimento” visam aumentar a proteção das UC e merecem ser inseridas para a gestão de combate ao fogo com a participação dos gestores e da população local.

A construção de modelos geoespaciais de análise voltados à identificação de áreas susceptíveis aos incêndios florestais deve ser definida com base na observação dos conceitos e técnicas e no entendimento do fenômeno em questão. Diante disso, as geotecnologias apresentam meios que são observados mediante técnicas clássicas, realizadas por meio do geoprocessamento; avançadas, vistas pela análise de imagens baseada em objetos geográficos (*Geographic Object-Based Image Analysis – Geobia*), mineração de dados e modelagem do conhecimento.

Alguns estudos tornam possível a aplicabilidade da metodologia de susceptibilidade aos incêndios para o estado do Rio de Janeiro, que é inteiramente coberto pelo bioma Mata Atlântica, como relatam os estudos de Silva *et al.* (2009), Sousa, Coura e Fernandes (2010), Fernandes *et al.* (2011) e Tomzhinski (2012). Esses estudos demonstram a influência de variáveis ambientais de cunho geomorfológico, como indicadoras ao espalhamento do fogo em áreas que possuem terrenos com relevos acidentados.

As variáveis ambientais são conjugadas entre si e sobrepostas a dados extraídos de sensores remotos orbitais, que tornam possível a medição de áreas com materiais favoráveis (ou não) à combustibilidade ao fogo. Essas variáveis ambientais devem ser observadas, visando à obtenção da susceptibilidade aos incêndios, com o apoio de conceitos da Geoecologia, abordados em conjunto com a Cartografia, como denominado por Menezes (2000), na Cartografia Geoecológica.

Nesse sentido, o objetivo deste capítulo é fazer uma discussão metodológica sobre a susceptibilidade à ocorrência de incêndios, com enfoque no Parque Nacional do Itatiaia (PNI), que corresponde a uma importante UC federal e que sofre anualmente com os incêndios florestais. O PNI possui uma equipe de brigadistas que conta com voluntários que atuam em regiões estratégicas do parque, como o planalto das Agulhas Negras (parte alta), Itatiaia (parte baixa), Visconde de Mauá e outras UC do entorno, monitorando os incêndios e construindo um banco de dados com registros de campo.

O histórico e o conhecimento dos incêndios na região do PNI adquirido pelos brigadistas e pela administração da UC favorecem a construção e aperfeiçoamento de metodologias que visam auxiliar o mapeamento da susceptibilidade à ocorrência de incêndios em áreas de Mata Atlântica.

Cartografia Geoecológica e modelos de paisagem

A Geoecologia (segundo a escola alemã) ou Ecologia da Paisagem (de acordo com a escola americana) é uma disciplina que realiza a interface entre a Geografia e a Ecologia, por meio de uma estrutura multi e interdisciplinar. A Geoecologia foi tratada pela primeira vez pelo geógrafo alemão Carl Troll (1939), que buscou a colaboração estreita entre geógrafos e ecólogos, que definiram como a união entre a Geografia e a Ecologia. Turner (1989) entende que a análise geoecológica deve observar a estrutura, a funcionalidade e a dinâmica das variáveis bióticas, abióticas e humanas, que compõem a paisagem.

A análise dos conceitos apontados por geógrafos e biólogos permite estabelecer que os seus elementos comuns são as relações e os inter-relacionamentos existentes em (ou entre) domínios de paisagens, suas qualificações e quantificações, incluindo as causas e os efeitos das ações antrópicas, dentro de um espaço geográfico limitado e em ciclos ecológicos e temporais determinados (MENEZES, 2000).

A extensão da Geoecologia a ações antrópicas, interações e relacionamentos sociais cria grande complexidade entre os meios físico e biológico, pelas próprias características comportamentais desses fenômenos, de modelagem difícil, em face dos demais, associadas a elementos, por vezes, imprevisíveis na sua atuação sobre o ambiente.

Diante disso, a análise geoecológica necessita da elaboração de mapas realizados com base na Cartografia Geoecológica, que é definida como a:

[...] representação de dados ou informações oriundas de processos analíticos, mostrando através dos inter-relacionamentos entre os elementos da paisagem, as consequências imediatas ou futuras sobre o meio ambiente definido pelo recorte espacial da paisagem estudada. (MENEZES, 2000, p. 96)

Sousa *et al.* (2010) completam que a Cartografia Geoecológica realiza o mapeamento de fenômenos e elementos da paisagem com base em uma grande quantidade de informações e subsídios de grande importância para a análise geoecológica.

Os estudos geoecológicos utilizam essas informações com vistas à geração de cenários de avaliação, que são inter-relacionados e possuem trocas de elementos entre si. A obtenção desses cenários leva em conta os conceitos de risco e susceptibilidade, que apontam a definição de parâmetros para a mensuração do fenômeno em questão. O risco é definido como a percepção que a sociedade possui do perigo de uma ameaça possível para o sujeito. Já a susceptibilidade é observada como a forma de medir o risco por meio de variáveis existentes na paisagem (SOUSA, COURA; FERNANDES, 2010).

A construção desses modelos da paisagem torna-se facilitada com o uso das técnicas de geoprocessamento, que possibilitam a construção de mapas provenientes de outros mapas agregados por análise espacial, além de outras informações que oferecem suporte ao produto final (BONHAM-CARTER, 1994; MEIRELLES, 1997). Nesse contexto, a Cartografia Geoecológica proporciona a interface entre os fenômenos e elementos da paisagem, prove-

nientes de diversas fontes, possibilitando a geração dos mapas geoecológicos e a realização das análises propriamente ditas.

Lang e Blaschke (2009) ressaltam que os métodos de processamento de informações geográficas são adequados para apoiar as mais diferentes tarefas de planejamento, no que se refere à detecção da situação real e de uma flexível combinação de diferentes camadas de dados. Além disso, os autores mencionam que essas tecnologias podem considerar diferentes escalas e, em razão disso, contemplar particularidades do espaço natural, não obstante como relações paisagísticas amplas. A harmonização e integração desses conjuntos de dados é um dos desafios atuais para o planejamento e a modelagem da paisagem.

Modelos de conhecimento da paisagem

O Sensoriamento Remoto apresentou diversos avanços, como apontado por Blaschke e Kux (2007), que vão desde o desenvolvimento de satélites com sensores com resoluções espaciais, espectrais e temporais cada vez maiores ao desenvolvimento de algoritmos com novas concepções metodológicas para a interpretação de imagens. Isso é importante, quando se trata de produzir mapas temáticos utilizando técnicas de modelagem do conhecimento e relacionados ao controle do uso e cobertura da terra (CRUZ *et al.*, 2007), expansões urbanas (PINHO, 2005), identificação de estágios sucessionais de vegetação (VICENS; CRONEMBERGER; CRUZ, 2009; CINTRA, 2015) e estudos geomorfológicos (CAMARGO, 2008) que possam apoiar e agilizar os processos de tomada de decisão em diversas esferas públicas.

A modelagem do conhecimento é realizada com o apoio de sistemas que, de acordo com Feitosa *et al.* (2005), permitam a inserção do conhecimento do fotointérprete, em um ambiente computacional que emule a sua capacidade de combinar dados de diferentes fontes e formatos na análise de imagens de sensores remotos. Esses sistemas permitem a extração automática de informações com imagens de Sensoriamento Remoto, o que facilita e torna esse processo mais dinâmico para as inúmeras temáticas existentes nas ciências ambientais. A abordagem baseada em conhecimento tem como objetivo a identificação de objetos que têm uma existência concreta no mundo real e que expressam características de cor, forma, textura, padrão e contexto na imagem analisada (PINHO, 2005).

Entre as abordagens de classificação existentes, a *Geobia* é aquela que fornece a melhor infraestrutura conceitual para se representar, em termos computacionais, o conhecimento de um especialista humano para a interpretação automática de imagens de Sensoriamento Remoto (NOVACK, 2009).

Ribeiro (2010) ressalta que essa abordagem de classificação necessita da experiência do intérprete em todo o processo de análise dos dados. O conhecimento do intérprete sobre a temática em estudo traz uma formalização particular de compreensão, que tem relação com sua formação profissional e experiência. O resultado do modelo de classificação passa a ser um reflexo do conhecimento e da capacidade de compreensão do intérprete a respeito de uma determinada área de estudo (ou especialidade) da pesquisa em questão.

O sistema baseado em conhecimento que foi utilizado nesse estudo é o *InterIMAGE*[®] (COSTA *et al.*, 2008), um *software* gratuito e de código aberto. O *InterIMAGE*[®] é baseado no sistema *GeoAIDA*[®] (*Automatic Image Data Analyser*), desenvolvido pelo TNT, Instituto para Tecnologia da Informação da Universidade de Hannover, na Alemanha, que herdou as características funcionais básicas daquele sistema, mas que apresenta uma nova interface gráfica, desenvolvida pelo Laboratório de Visão Computacional (LVC) do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio); e pelas divisões de Processamento de Imagens (DPI) e de Sensoriamento Remoto (DSR) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).

O *InterIMAGE*[®] implementa uma estratégia específica de interpretação de imagens fundamentada e guiada por uma descrição hierárquica do processo de interpretação, estruturada em uma rede semântica (COSTA *et al.*, 2008). A rede semântica é representada por “nós” que possuem operadores associados, que são chamados de holísticos, pois são operadores que realizam a identificação de objetos correspondentes aos conceitos representados pelos nós da rede semântica.

Outra abordagem, utilizada em conjunto com *Geobia*, é a mineração de dados, que tem como função a extração do conhecimento de grandes volumes de dados com base na procura por padrões consistentes e que representam classes particulares de objetos. Os primeiros pacotes de *software* para mineração de dados surgiram em meados da década de 1990, em ambiente acadêmico. Na atualidade, já existem algumas dezenas de ferramentas comerciais para mineração de dados, identificadas

pelo termo inglês *data mining*, desenvolvidas por empresas como SAS (*Enterprise Miner*®), IBM (*Intelligent Miner*®); e aplicadas a diversas funções (SOUZA, 2012).

Na aplicação da mineração de dados, foi adotado o sistema *WEKA*® (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*), um *software* neozelandês que possui funcionalidades para a mineração de dados e que permite a seleção de técnicas para classificação de padrões em banco de dados (WITTEN; FRANK, 2005).

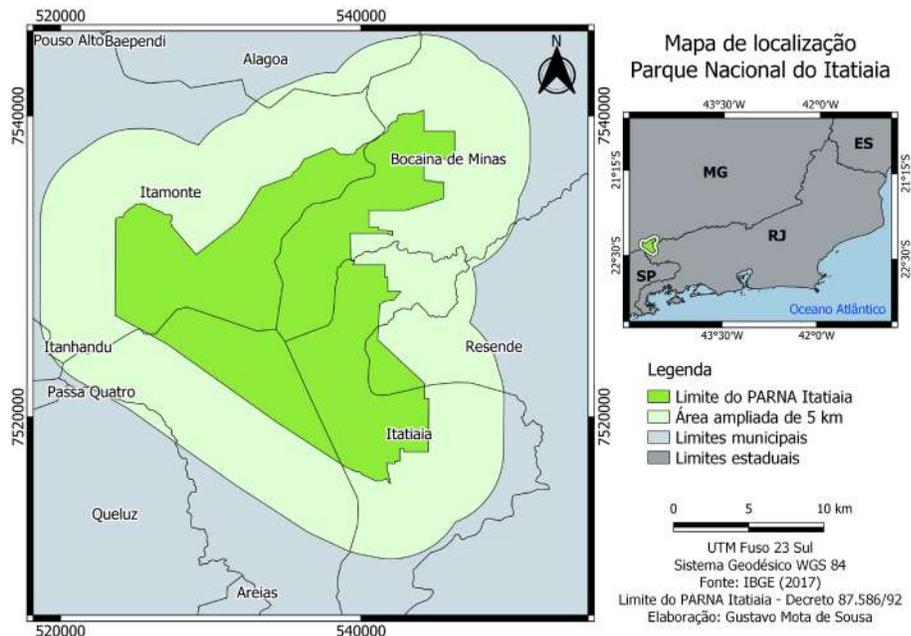
A representação do modelo classificatório utilizado foi por meio de árvore de decisão, que é uma estrutura hierárquica que indica regras de decisão cuja representatividade e desempenho final dependem da seleção de amostras e descritores representativos das classes do problema a ser resolvido.

O Parque Nacional do Itatiaia e os incêndios florestais

O trabalho foi desenvolvido no Parque Nacional do Itatiaia (PNI), o qual faz parte do Mosaico de Unidades de Conservação da Serra da Mantiqueira, que se localiza no bioma Mata Atlântica; e apresenta os incêndios florestais como uma das principais problemáticas em relação à manutenção das funções ecológicas.

O PNI foi a primeira Unidade de Conservação (UC) criada no Brasil, em junho de 1937, por meio da criação da Estação Biológica do Itatiaia, via Decreto n.º 1.713, assinado pelo ex-presidente Getúlio Vargas, com uma área original de 11.943 ha. Em 1982, o Decreto n.º 87.586 ampliou a área do parque para aproximadamente 30.000 ha, que é a sua extensão atual (Figura 15.1).

Figura 15.1 – Localização do Parque Nacional do Itatiaia.



Fonte: o autor.

Os incêndios florestais são o principal problema do PNI, foco de grande preocupação e principal tema de diversas decisões administrativas. A área que mais sofre com incêndios de grande magnitude é a região do Planalto do Itatiaia (BRADE, 1956). Tais eventos são provenientes de ações antrópicas no interior e entorno do parque e já causaram a eliminação de espécies de fauna e flora, modificando os ecossistemas e sua biodiversidade.

De acordo com Tomzhinski (2012), grande parte dos registros de incêndios encontra-se no entorno do PNI, numa área ampliada em 5 km dos seus limites. Os quatro maiores incêndios em área queimada concentraram-se dentro dos limites do Parque, na região de Planalto, causando, até mesmo, fenômenos de requeima (área queimada mais de uma vez).

A época do ano em que os incêndios ocorrem com maior frequência corresponde ao período seco (julho a setembro), quando a vegetação se apresenta mais seca, devido às características do inverno, com baixa pluviosidade. Os maiores registros dos incêndios no PNI aconteceram em 1988, 2001, 2007 e 2010, e os três últimos são vistos como áreas de requeima dentro da grande área queimada de 1988.

Outros dados referentes aos incêndios que ocorreram em áreas menores são registrados em campo, posteriormente ao combate do incêndio florestal, com auxílio de formulários preenchidos pelos brigadistas, que integram informações sobre cada área queimada. Essas informações são inseridas no Relatório de Ocorrência de Incêndios (ROI), que possui dados detalhados, tais como os horários de início e término das diferentes fases do combate, os recursos materiais e humanos utilizados e as condições meteorológicas (ICMBIO, 2010).

Os ROI utilizam a delimitação do perímetro das áreas queimadas, realizada com o auxílio do Sistema Global de Navegação por Satélites (*Global Navigation Satellite System* – GNSS), desde 2008. Todos os dados inseridos no ROI são repassados para o Sistema Nacional de Informações sobre Fogo (Sisfogo), que é um sistema do Prevfogo/Ibama em que é permitido consultar bancos de dados geográficos, composto de informações do ICMBio e do Ibama. Além disso, essas informações são inseridas no processo de elaboração do Plano Operativo da UC, o qual é atualizado anualmente.

Os dados dos ROI foram divididos em dois períodos, que consideram o ano de 2009 como base para a observação de cenários pretéritos, para a calibração do modelo aplicado com os dados dos anos de 2008 e 2009, e ainda para a verificação de cenários futuros para validação, baseados nos dados dos ROI de 2010 a 2012.

15.2 MATERIAIS E MÉTODOS

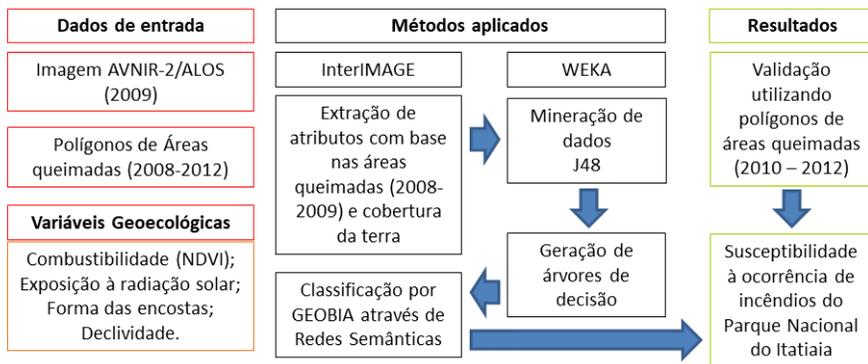
A metodologia utilizada busca realizar a modelagem do conhecimento da susceptibilidade dos incêndios, por meio da extração de dados da paisagem, adquiridos de mapas advindos da geomorfologia e de sensores remotos. A metodologia está descrita em dados de entrada, métodos aplicados e resultados (Figura 15.2).

Os dados de entrada representam o período entre 2008 e 2012 e consistem de polígonos de áreas queimadas, identificadas em campo e registradas nos ROI, além de imagens do sensor *AVNIR-2/ALOS* (2009) e de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Os ROI são representados espacialmente por polígonos de áreas queimadas, que serviram para a calibração do modelo de conhecimento (2008 e 2009) e validação da classificação da susceptibilidade à ocorrência de incêndios (2010 a 2012).

A imagem *AVNIR-2/ALOS* (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2*) utilizada possui quatro bandas espectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo), resolução espacial de 10 metros e

foi adquirida pelo PNI, por meio de convênio com o IBGE. A imagem *AVNIR-2/ALOS* passou por correção geométrica, com ortorretificação realizada no *software PCI Geomatics*[®], por Tomzhinski (2012). A correção atmosférica seguiu os parâmetros indicados no estudo de Sousa e Antunes (2013), por meio do modelo 6S (VERMOTE *et al.*, 1997; ANTUNES *et al.*, 2003), que converteu os números digitais em reflectância bidirecional (RB) da superfície. A imagem com valores de RB tornou possível a geração do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) (ROUSE *et al.*, 1973), que foi considerado nesse estudo como indicador de combustibilidade da vegetação.

Figura 15.2 – Fluxograma metodológico.



Fonte: o autor.

O MDE foi elaborado com base nas curvas de nível, pontos cotados e hidrografia de quatro cartas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000: Agulhas Negras (MI-2712/4), Passa Quatro (MI-2712/3), Alagoa (MI-2712/2) e São José Barreiro (MI-2742/2). O método utilizado para a construção do MDE foi o TOPOGRID, existente no *software ArcGIS*[®], que possibilitou a geração de relevo tridimensional com considerações aos fluxos hidrológicos. As variáveis geomorfológicas extraídas do MDE correspondem à exposição à radiação solar, forma das encostas e declividade, que foram sobrepostas ao NDVI, para implementação do modelo de conhecimento da susceptibilidade à ocorrência de incêndios.

Os métodos aplicados utilizaram os *softwares WEKA*[®] (WITTEN; FRANK, 2005), *InterIMAGE*[®] (COSTA *et al.*, 2010) e *QGIS*, v. 3.16.5 (QGIS.

ORG, 2021), que foram selecionados por serem sistemas de livre uso, com o propósito de facilitar a disseminação das experiências realizadas para outras UCs. A mineração de dados foi realizada no WEKA[®] sobre as variáveis geológicas, com o auxílio de amostras de áreas queimadas (alta susceptibilidade) e áreas com características de baixa susceptibilidade, extraídas do mapa de cobertura da terra. Durante o processo de construção da metodologia, optou-se por realizar a mineração de dados para cada variável geológica de maneira separada. Essa decisão foi tomada seguindo os estudos de Silva *et al.* (2009), Sousa, Coura e Fernandes (2010), Fernandes *et al.* (2011) e Tomzhinski (2012), que indicam o uso das variáveis de modo separado, por interpretação analítico-integrativa (COELHO NETTO; DANTAS; ROSAS, 1993).

O WEKA[®] faz a geração de um relatório com detalhes sobre as amostras utilizadas para cada árvore de decisão. Esse relatório possui resultados que são observados e o número mínimo de objetos para a geração da árvore de decisão. A definição do número mínimo de objetos propicia o uso de maior número de amostras representativas do banco de dados inserido no WEKA[®] e, conseqüentemente, a geração de árvores de decisão menores e menos complexas (Quadro 15.1).

Quadro 15.1 – Relatório gerado pelo WEKA para cada variável geológica.

Relatório WEKA[®] / Variáveis geológicas	Radiação	Combustibilidade	Forma das encostas	Declividade
Número mínimo de objetos	25	10	25	10
Instâncias classificadas corretamente	130	137	105	101
Instâncias classificadas incorretamente	27	20	52	56
Índice <i>Kappa</i>	0,6572	0,7451	0,3396	0,2884
Erro médio absoluto	0,2429	0,2033	0,4152	0,4209
Erro médio quadrático	0,3742	0,3369	0,4632	0,4975
Erro relativo absoluto	48,5980%	40,6805%	83,0545%	84,2064%
Erro relativo quadrático	74,8394%	67,3870%	92,6542%	99,5060%
Número total de instâncias	157	157	157	157

Fonte: o autor.

Os melhores resultados foram observados da obtenção do índice *Kappa* para cada variável geocológica processada dentro do *WEKA*[®], com árvores de decisão menos complexas. As variáveis de combustibilidade e exposição à radiação solar apresentaram os melhores valores de Índice *Kappa*, com 0,74 e 0,65; e o número de instâncias classificadas corretamente ficaram em 87,26% e 82,80%, respectivamente. Os números de instâncias classificadas corretamente das variáveis de forma das encostas e declividade mostram que quase um terço das amostras não foi considerado para a geração das árvores de decisão.

Os resultados do Índice *Kappa*, apresentados no Quadro 15.1, foram norteadores dos pesos aplicados aos mapas das variáveis geocológicas, elaborados das árvores de decisão, disponíveis no Quadro 15.2. Os pesos foram construídos por uma normalização realizada com as quatro variáveis geocológicas, em que os valores de classe alta ficaram com o acréscimo do sinal positivo (+) e a classe baixa, com o sinal negativo (-).

Quadro 15.2 – Árvores de decisão geradas em mineração de dados, por variável geocológica com a inserção dos pesos (valor sublinhado).

Variável geocológica (peso)	Árvore de decisão (pesos)
Combustibilidade (NDVI) (<u>0,365</u>)	Moda [A26] <= 0.409105: Alta (+ <u>0,365</u>) Moda [A26] > 0.409105: Baixa (- <u>0,365</u>)
Exposição à radiação solar (<u>0,323</u>)	Máx. <i>pixel</i> [A13] <= 1809972.75: Baixa (+ <u>0,323</u>) Máx. <i>pixel</i> [A13] > 1809972.75: Alta (- <u>0,323</u>)
Declividade (<u>0,142</u>)	Soma [A09] <= 649.684245 Amplitude [A01] <= 12.146927 Entropia [A02] <= 4.169925: Alta (+ <u>0,142</u>) Entropia [A02] > 4.169925: Baixa (- <u>0,142</u>) Amplitude [A01] > 12.146927: Alta (+ <u>0,142</u>) Soma [A09] > 649.684245: Baixa (- <u>0,142</u>)
Forma das encostas (<u>0,168</u>)	Min. <i>pixel</i> [A35] <= 0.047607 Entropia [A32] <= 4.142664: Alta (+ <u>0,168</u>) Entropia [A32] > 4.142664: Baixa (- <u>0,168</u>) Min. <i>pixel</i> [A35] > 0.047607: Alta (+ <u>0,168</u>)

Fonte: o autor.

A sobreposição dos quatro mapas das variáveis geológicas, baseados em árvores de decisão, subsidiou a elaboração de um Índice de Susceptibilidade aos Incêndios (Isoi), nas classes de alta, média e baixa susceptibilidade, conforme descrito por Sousa Fernandes e Costa (2015). O Isoi é observado da junção das classes de alta e baixa susceptibilidade, de cada variável geológica, conforme o Quadro 15.2, em que a definição das classes de susceptibilidade em alta, média e baixa segue os valores do Quadro 15.3.

Quadro 15.3 – Classes de susceptibilidade do Isoi.

Classe	Faixa de Susceptibilidade
Alta	1 até -0,070
Média	-0,266 até -0,354
Baixa	-0,380 até -1

Fonte: o autor.

O método de classificação foi realizado por *Geobia* e segue a junção das árvores de decisão, extraídas da mineração de dados das variáveis geológicas, inseridas por meio de arquivos matriciais originais. Os objetos gerados no *software InterIMAGE®* seguiram o algoritmo de segmentação *Terra Aida Baatz* (BAATZ; SCHÄPE, 2000), sobre uma imagem NDVI, produzida com as bandas do vermelho e infravermelho próximo do sensor *AVNIR-2/ALOS*. Os parâmetros de segmentação foram: escala com valor de 20; peso de compacidade em 0,9; peso da cor de 0,7.

15.3 RESULTADOS

Os resultados do mapeamento são apresentados no Quadro 15.4 e demonstram, em valores percentuais, as classes de alta, média e baixa susceptibilidade; vistas para a área total de estudo, denominada como áreas mapeadas; e as áreas queimadas nos anos de 2010 a 2012, que foram confrontadas para avaliação da susceptibilidade.

Quadro 15.4 – Percentual de áreas e validação por classe de susceptibilidade ao fogo.

	Alta	Média	Baixa	Ansoi (*)
Áreas mapeadas	21,1%	58%	19,2%	1,7%
Áreas queimadas, ROI (**)	59,9%	38,1%	1,6%	0,3%

Notas: (*) Áreas Não Susceptíveis à Ocorrência de Incêndios. (**) Relatório das Ocorrências de Incêndios.

Fonte: o autor.

As áreas mapeadas que constam no Quadro 15.4 são correspondentes a toda a área do PNI, incluindo uma ampliação (*buffer*) de 5 quilômetros dos seus limites. Esse resultado apresenta a classe de média susceptibilidade, com representativos 58%, o que torna o restante da área com percentuais de 21,1% para alta; e 19,2% para baixa. Dessa maneira, as áreas do PNI e entorno são indicadas para um monitoramento constante pelos gestores e brigadistas.

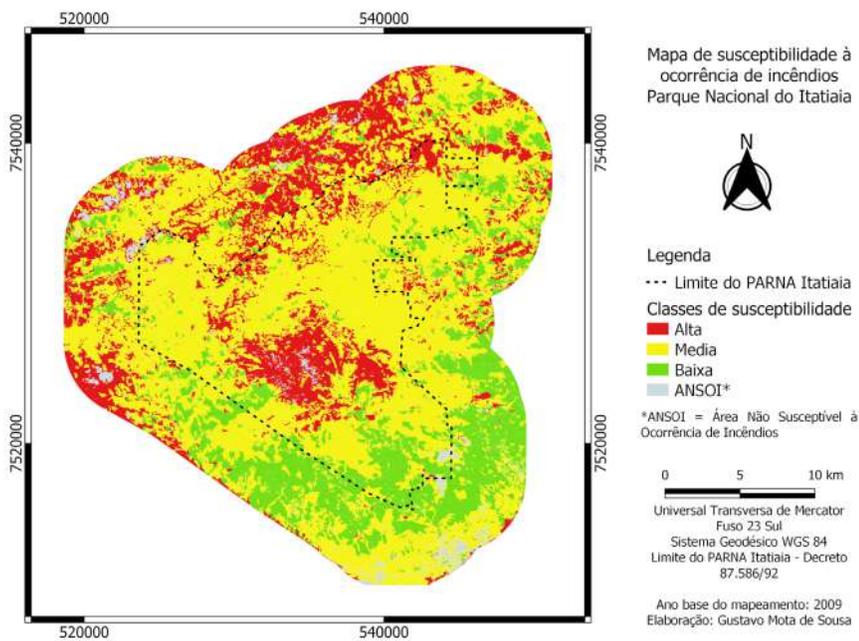
Visando aprofundar os resultados da classificação, foram utilizadas as áreas queimadas posteriores ao ano base do mapeamento (2009), para avaliação dos resultados. Essas áreas queimadas foram sobrepostas ao mapa de susceptibilidade e indicaram que a classe de susceptibilidade alta está presente em 59,9%; enquanto que a classificação de média corresponde a 38,1%.

O mapa de susceptibilidade à ocorrência de incêndios apresentado na Figura 15.3 indica a distribuição espacial das áreas classificadas em alta, média e baixa, pelo *software InterIMAGE*[®], conforme foi demonstrado pelas árvores de decisão no Quadro 15.4. As áreas das classes de alta e baixa susceptibilidade apontam características geomorfológicas distintas, como é o caso da forma das encostas, que apontam o acúmulo (formas côncavas) e dispersão do fluxo de água (convexas). Além disso, as áreas mais elevadas e que possuem a cobertura da terra composta por vegetação herbácea e de campos de altitude são vistas como representativas de alta combustibilidade.

As áreas que estão representadas com baixa susceptibilidade possuem como característica principal a presença da vegetação de floresta ombrófila densa em áreas menos elevadas, se comparadas com os campos de altitude do planalto do Itatiaia, que estão acima de 2.400 metros. O fato de estar abaixo dessa altitude não remete à baixa susceptibilidade, para o caso de áreas de vegetação cobertas por gramíneas e perto de rodovias que estão no entorno da UC, com destaque para a Rodovia Presidente Dutra (BR-116).

As áreas não classificadas (Ansoi), que foram apresentadas no Quadro 15.4, representam classes de cobertura da terra (água, rocha, área urbana e solo exposto), não constituintes de características que visam ao objetivo deste estudo. Diante disso, os experimentos demonstram, portanto, que o uso de *Geobia* e a mineração de dados durante o processo de classificação foi apropriado para a análise da susceptibilidade à ocorrência de incêndios.

Figura 15.3 – Resultado do mapeamento da susceptibilidade à ocorrência de incêndios.



Fonte: o autor.

15.4 CONCLUSÕES

O estudo sobre a susceptibilidade à ocorrência de incêndios no Parque Nacional do Itatiaia demonstra que a aplicação de *Geobia*, com o apoio da mineração de dados, obteve bons resultados. Esses resultados podem ser observados no Quadro 15.4, com a sobreposição entre o mapa de susceptibilidade aos incêndios e as áreas queimadas levantadas pelos brigadistas do PNI. Os resultados apontaram, para as classes de alta e média susceptibilidade, o valor correspondente a 98% de sobreposição de acerto, para a metodologia aplicada.

A obtenção de um Índice de Susceptibilidade à Ocorrência de Incêndios (ISOI), realizado com a interpretação dos resultados obtidos pela mineração de dados, trouxe avanços à metodologia, pela inserção de pesos aos mapas das variáveis geológicas. Esses pesos concretizaram a possibilidade de inserção dos mapas, de forma simplificada, com duas classes; e a interpretação semiautomática, com o apoio da *Geobia*. Essas duas ações, dentro da metodologia, trouxeram velocidade na interpretação das classes finais de susceptibilidade em alta, média e baixa.

O *software InterIMAGE*[®] mostrou-se eficaz para os objetivos do estudo e, em conjunto com o minerador de dados *WEKA*[®], foi uma ferramenta fundamental. Apesar de algumas limitações relacionadas ao tamanho da imagem (máximo de 3.000 x 3.000 *pixels*) e tempo de processamento, não houve a necessidade de fazer algum recorte dos arquivos utilizados. O estudo de Antunes *et al.* (2018) demonstra a versatilidade do *software*, na inserção de diferentes mineradores de dados existentes atualmente, que podem ter os seus resultados incorporados.

O uso de *softwares* livres como o *InterIMAGE*[®] e o *WEKA*[®] tornam a metodologia viável para a aplicação em outras UC brasileiras. Os dois *softwares* tiveram a sua importância para a geração dos resultados, na implementação dos limites definidos nas árvores de decisão, Isoi e *Geobia*. O *InterIMAGE*[®] possui diferentes possibilidades de classificação, tornando possível a aplicação para outras temáticas ambientais. O *software* é bastante versátil para aplicações que podem ir além da classificação da cobertura da terra, como foi visto nesse estudo, com a incorporação de dados de múltiplas fontes georreferenciadas.

O autor agradece ao Parque Nacional do Itatiaia, que demonstrou total apoio em todas as etapas metodológicas, desde a cessão de dados até a construção do mapeamento. A constante troca de conhecimento entre os pesquisadores do Laboratório de Cartografia (GeoCart) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e a administração do PNI trouxe frutos para o desenvolvimento de um modelo de conhecimento consistente para o mapeamento da susceptibilidade à ocorrência de incêndios.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, M. A. H.; FREIRE, R. M. B.; BOTELHO, A. S.; TONIOLLI, L. H. Correções atmosféricas de imagens de satélites utilizando o modelo 6S. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA (CBC), 21., 2003, Belo Horizonte. *Anais [...]*. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2003.

BAATZ, M.; SCHAPE, A. Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. *In*: STROBL, J.; BLASCHKE, T. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII: Beiträge zum AGITSymposium Salzburg*. Karlsruhe: Herbert Wichmann Verlag, 2000. p. 12-23.

BLASCHKE, T.; KUX, H. J. H. *Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores: métodos inovadores*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BONHAM CARTER, G. F. *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS*. Kindlington: Pergamon Press, 1994.

BRADE, A. C. A flora do Parque Nacional do Itatiaia. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia*, Itatiaia, Itatiaia, n. 5, 1956.

CAMARGO, F. F. *Análise orientada a objeto aplicada ao mapeamento de unidades geomorfológicas a partir de dados Aster/Terra*. 2008. 171 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

CINTRA, D. P. *Modelagem do conhecimento aplicada à análise da vegetação na bacia do rio Cuiabá, Petrópolis, RJ*. 2015. 160 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

COELHO NETTO, A. L.; DANTAS, M. E.; ROSAS, R. O. *Grandes domínios geoecológicos da Amazônia Legal (1:2.500.000): bases para o estudo dos efeitos de borda das linhas de transmissão de energia a serem implantadas na Amazônia florestal*. Relatório solicitado pela Eletrobras, 1993.

COSTA, G. A. O. P. *et al.* InterIMAGE: Uma plataforma cognitiva open source para a interpretação automática de imagens digitais. *Revista Brasileira de Cartografia*, Uberlândia, v. 60, n. 4, p. 331-337, dez. 2008.

CRUZ, C. B. M. *et al.* Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 13., 2007, Florianópolis. *Anais [...]*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. p. 5.691-5.698.

FEITOSA, R. Q. *et al.* Impacto de técnicas baseadas em conhecimento na análise de imagens de média resolução para mapeamento do desflorestamento na Amazônia. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12., 2005, Goiânia. *Anais [...]*. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4.065-4.072.

FERNANDES, M. C.; COURA, P. H. F.; SOUSA, G. M.; AVELAR, A. S. Avaliação geoecológica de susceptibilidade à ocorrência de incêndios no estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 18, n. 3, p. 299-309, jul./set. 2011.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBIO). *Apostila para formação de brigadista de prevenção e combate aos incêndios florestais*. Brasília, DF: Diretoria de Unidades de Conservação de Proteção Integral, Coordenação Geral de Proteção Ambiental, 2010.

LANG, S.; BLASCHKE, T. *Análise da paisagem com SIG*. Trad. H. J. H. Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MEIRELLES, M. S. P. *Análise integrada do ambiente através de geoprocessamento: uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos*. 1997. 280 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

MENEZES, P. M. L. *A interface cartografia-geoecologia nos estudos diagnósticos e prognósticos da paisagem: um modelo de avaliação de procedimentos analítico-integrativos*. 2000. 208 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

NOVACK, T. *Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor Quickbird*. 2009. 214 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

PINHO, C. M. D. *Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos*. 2005. 180 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

QGIS.ORG. *QGIS geographic information system*. QGIS Association, 2021. Disponível em: <http://www.qgis.org>. Acesso em: mar. 2021.

RIBEIRO, B. M. G. *Avaliação das imagens WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE*. 2020. 177 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: THIRD EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 1973, Washington. *Proceedings* [...]. Washington, DC: NASA, 1973. p. 309-317.

SILVA, L. C. V.; FERNANDES, M. do C.; MENEZES, P. M. L.; ARGENTO, M. S. F. Mapa geoecológico de potencialidade a ocorrência de incêndios no Parque Nacional do Itatiaia/RJ. *Revista Brasileira de Cartografia [online]*, Uberlândia, v. 61, p. 285-292, 2009.

SOUSA, G. M.; ANTUNES, M. A. H. Correção atmosférica de imagens Avnir-2/Alos com o modelo 6S no Parque Nacional do Itatiaia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. *Anais* [...]. Foz do Iguaçu: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. p. 1.885-1.892.

SOUSA, G. M.; COURA, P. H. F.; FERNANDES, M. do C. Cartografia geoecológica da potencialidade à ocorrência de incêndios: uma proposta metodológica. *Revista Brasileira de Cartografia*, Uberlândia, v. 62, edição especial 1 (Geotecnologias), p. 277-289, jul. 2010.

SOUSA, G. M.; FERNANDES, M. do C.; COSTA, G. A. O. P. Classificação da susceptibilidade à ocorrência de incêndios através de mineração de dados e Geobia. *Revista Brasileira de Cartografia*, Uberlândia, v. 67, n. 3, p. 555-567, 2015.

SOUZA, E. M. F. R. *Diferenças nas respostas espectrais de floresta em encosta por meio de imagem hiperespectral*. 2012. 221 f. Tese (doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

TOMZHINSKI, G. W. *Análise geoecológica dos incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia*. 2012. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

TROLL, C. Luftboldplan und ökologische bodenforschung. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde der Berlin*, Berlin, p. 241-298, 1939.

TURNER, M. G. Landscape ecology: effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, an Mateo, Estados Unidos, v. 10, n. 3, p. 171-197, 1989.

VERMOTE, E. F. *et al.* Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: an overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, [S.l.], v. 35. n. 3, p. 675-686, 1997.

VICENS, R. S.; CRONEMBERGER, F. M.; CRUZ, C. B. M. Análise multi-resolução e modelagem do conhecimento na diferenciação de fisionomias de florestas em remanescentes de Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14., 2009, Natal. *Anais [...]*. Natal: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. p. 4.519-4.526.

WITTEN, I. H.; FRANK, E. *Data mining: practical machine learning tools and techniques*. 2. ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2005.

MAPEAMENTOS PARTICIPATIVO E COLABORATIVO PARA VISIBILIDADE DAS QUESTÕES COMUNITÁRIAS: TRÊS ESTUDOS DE CASO COM COMUNIDADES COSTEIRAS NO BRASIL

*Raquel Dezidério Souto
Tatiana de Sá Freire Ferreira
Carla Ramôa Chaves
Sara Lemos Alves Braga
Paulo Márcio Leal de Menezes*

16.1 INTRODUÇÃO

Historicamente, as regiões costeiras têm sido utilizadas para o estabelecimento de assentamentos humanos e o desenvolvimento de atividades econômicas dos mais variados fins. No entanto, a ocupação dessas regiões ocorreu de forma desorganizada em muitos pontos da costa brasileira, trazendo prejuízos ambientais, sociais e econômicos. A parcela da população que corresponde aos menos favorecidos economicamente tem sido a mais atingida, uma vez que apresenta menor mobilidade e acesso a recursos materiais para lidar com os problemas relacionados (ACSELRAD; BEZERRA, 2009; GORAYEB; BRANNSTROM; MEIRELLES, 2019; LAMIN-GUEDES, 2012).

A geoinformação é crucial para os estudos ligados a fenômenos com manifestação geoespacial. Dessa forma, aquelas pesquisas a respeito das dinâmicas populacionais de ocupação das regiões costeiras e apropriação de seus recursos estão no cerne de outras pesquisas, mais abrangentes, sobre direitos sociais e direitos de propriedade da terra; ou sobre os danos recebidos desigualmente, devido a desastres ambientais ou de outros tipos, como a emergência sanitária decorrente da pandemia de COVID-19 (*coronavirus disease*).

O mapeamento participativo (ou colaborativo) tem por característica fundamental a participação (ou colaboração) dos indivíduos envolvidos nas questões que estão sendo pesquisadas. Assim, cada indivíduo torna-se um mapeador, aportando (ou colaborando para aportar) dados ao mapa, saindo do polo passivo do mapeamento e passando ao polo ativo (ACSELRAD, 2008; 2013; ACSELRAD; BEZERRA, 2009, 2012; IFAD, 2009, GORAYEB; BRANNSTROM; MEIRELES, 2019). Muito frequentemente, os participantes (ou colaboradores) contribuem até mesmo com dados a respeito de aspectos intangíveis, ligados à sua vivência e ao sistema de valores da comunidade que integram. Esses dados estão fortemente relacionados ao lugar e à maneira como a comunidade enxerga o espaço (HERRERA, 2009; SEEMANN, 2011).

Nessa via, tais mapeamentos têm sido utilizados como meio para a aquisição de dados e informações em escala local, contribuindo para a visibilidade das questões comunitárias, as quais são pouco (ou nada) percebidas nos mapeamentos temáticos convencionais (ACSELRAD, 2008, 2012; CAMPOS, 2009; CHAMBERS, 2006; CHAVES, 2011; FAO, 2018; IFAD, 2009; LOBATÓN, 2009; RAMBALDI *et al.*, 2006; SILVA; VERBICARO, 2016; TORRES; GAONA; CORREDOR, 2012; GERHARDINGER *et al.*, 2010). Esses mapeamentos são especialmente úteis para compreender os conflitos de uso da terra, subsidiando estudos em planejamento espacial ou em justiça ambiental e contribuindo ainda para o empoderamento das comunidades, porque preveem a inclusão dos seus integrantes nos monitoramentos, avaliações e planejamentos ambientais (KÄYKHÖ *et al.*, 2019; TUDA; STEVENS; RODWELL, 2014; BLAKE; AUGÉ; SHERREN, 2017; KARIMI; BROWN, 2017; MOORE *et al.*, 2017; STRICKLAND-MUNRO *et al.*, 2016; BROWN; RAYMOND, 2014; BROWN *et al.*, 2016).

A Justiça Ambiental nasce no âmbito da Geografia crítica e considera a desigualdade dos prejuízos decorrentes de desastres ambientais em diferentes segmentos populacionais (ACSELRAD; BEZERRA, *et al.*, 2009; HARVEY, 1980; SANTOS, 1987; SOJA, 2009; VIÉGAS, 2013), ocupando-se do:

[...] tratamento justo e envolvimento significativo de todas as pessoas, independentemente de sua raça, cor ou renda no que diz respeito à elaboração, desenvolvimento, implementação e aplicação de política, leis e regulações ambientais. Por tratamento justo, entende-se que nenhum grupo de pessoas, incluindo-se aí grupos étnicos, raciais ou de classe, deva

suportar uma parcela desproporcional das consequências ambientais negativas. (ACSELRAD; BEZERRA, 2009, p. 16)

Assim, na Justiça Ambiental, os mapeamentos participativos (ou colaborativos) ganham uma nova dimensão de utilidade, na medida em que servirão de embasamento para a reivindicação de direitos associados ao uso e à ocupação da terra. Nesse caso, a demanda pelo mapeamento surge frequentemente da própria comunidade (GORAYEB; BRANNSTROM; MEIRELES, 2019; IFAD, 2009; ACSELRAD, 2012). No automapeamento das comunidades, há a delimitação dos grupos e da territorialidade por parte dos próprios integrantes, constituindo um processo de demanda territorial que busca a ressignificação do espaço e “evoca questões de poder, de afirmação de identidade, de autogestão e controle dos recursos naturais” (ACSELRAD, 2012, p. 14). Esse processo participativo contribui ainda para quebrar o monopólio do Estado na produção de mapas, atribuindo protagonismo às comunidades (ACSELRAD, 2013; FREIRE; VILLAR, 2010; VAUGHAN, 2018).

Por outro lado, diversas pesquisas apontam para as vantagens da utilização das técnicas de mapeamento participativo (ou colaborativo) em projetos de delimitação de zonas para gestão ou de áreas para conservação da natureza, pela visibilidade dada aos conflitos de uso dos recursos e a melhoria no atendimento das regras estabelecidas, referentes às zonas e áreas delimitadas com apoio desse tipo de mapeamento (BLAKE; AUGÉ; SHERREN, 2017; BROWN; RAYMOND, 2014; BROWN *et al.*, 2016; KÄYHKO *et al.*, 2019; LEIS *et al.*, 2019; MOORE *et al.*, 2017; PRESTRELO; VIANNA, 2016; STRICKLAND-MUNRO *et al.*, 2016; TUDA; STEVENS; RODWELL, 2014).

No Brasil, algumas pesquisas foram realizadas com auxílio do mapeamento participativo em regiões costeiras e especialmente voltadas para a delimitação de unidades de conservação da natureza ou de zonas para gestão da pesca:

- i) o diagnóstico socioambiental elaborado por Costa (2016), que incluiu a participação de residentes na Reserva Extrativista Marinha da Prainha do Canto Verde, no município de Beberibe (CE);
- ii) o mapeamento dos atributos geoecológicos da Praia de Picos, realizado por Moretz-Sohn *et al.* (2016), com base no conhecimento dos pescadores residentes no município de Icapuí (CE);

- iii) a pesquisa para delimitação de duas Áreas Marinhas Protegidas (AMPs): a Área de Proteção Ambiental Costa das Algas e o Refúgio da Vida Silvestre de Santa Cruz, no estado do Espírito Santo, realizada por Gerhardinger *et al.* (2010), com base no mapeamento participativo com as comunidades de pescadores locais;
- iv) a pesquisa das áreas prioritárias para conservação de meros na Baía da Babitonga, no município de São Francisco do Sul (SC), realizada por Gerhardinger *et al.* (2009), com mapeamento participativo envolvendo pescadores locais;
- v) o diagnóstico das atividades pesqueiras no entorno das Ilhas Cagarras, no município do Rio de Janeiro (RJ), realizado por Gerhardinger, Figueira e Walter (2009) por meio do mapeamento participativo com integrantes de cinco comunidades pesqueiras cariocas, para subsidiar a criação do “Monumento Natural das Cagarras”;
- vi) o diagnóstico dos conflitos de uso na Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro, realizado por Prestrelo e Vianna (2016), com auxílio do mapeamento participativo envolvendo pescadores de oito pontos selecionados da baía;
- vii) a verificação da adequação das áreas de exclusão de pesca, já delimitadas na região costeira do município de Peruíbe (SP), realizada por Souza e Freitas (2018), com auxílio do mapeamento participativo com pescadores artesanais de emalhe e residentes na região;
- viii) o mapeamento participativo exploratório, realizado por Leis *et al.* (2019), com pescadores artesanais residentes próximo ao Parque Nacional Marinho das Ilhas dos Currais, município de Pontal do Paraná (PR), como subsídio para as fases iniciais de elaboração do plano de manejo de áreas de proteção marinhas (APM); e
- ix) o Atlas Socioambiental de Icapuí (CE), elaborado por Meireles; Souza e Lima (2016), com base nos resultados do mapeamento participativo realizado com os moradores das comunidades locais.

Outros três estudos de caso nacionais são apresentados e detalhados na próxima seção do presente capítulo, para ilustrar como os mapeamentos participativo e colaborativo podem contribuir para dar visibilidade a questões comunitárias.

Internacionalmente, as pesquisas com uso de mapeamentos participativo e colaborativo envolvendo comunidades costeiras têm se concentrado na compreensão dos conflitos de interesse e de uso do espaço e dos recursos costeiros, como forma de apoiar a delimitação de zonas de gestão. No geral, os autores argumentam que o processo participativo contribui para o sucesso dos planos e programas de gestão. As seguintes pesquisas são destacadas:

- i) a modelagem dos conflitos de uso potencial de uma área de Queensland (Austrália), realizada por Karimi e Brown (2017), com auxílio do mapeamento participativo com diversos atores e incluindo comunidades de pescadores;
- ii) a identificação e mapeamento dos conflitos de interesse potenciais na costa noroeste da Austrália, realizada por Moore *et al.* (2017), a fim de subsidiar o processo de Planejamento Espacial Marinho (PEM) na região;
- iii) diagnóstico das atividades humanas costeiras nos locais prioritários do Havaí, realizado por Levine e Feinholz (2015), envolvendo mapeamento participativo com comunidades de pescadores e outros atores;
- iv) pesquisa sobre a validade do conhecimento local para os processos de gerenciamento costeiro (Gerco) e de PEM, realizada por Käyhko *et al.* (2019), com base em um mapeamento participativo com residentes de Zanzibar (Tanzânia); e
- v) a avaliação acerca dos riscos de detritos oriundos da pesca, da aquicultura e de outras atividades industriais marinhas, realizada por Barnett *et al.* (2016), por meio de mapeamento participativo junto a pescadores da Baía de Fundy (Canadá).

Algumas diferenças entre mapeamento participativo e colaborativo

Na literatura, os termos “mapeamento participativo” e “mapeamento colaborativo” são, muitas vezes, usados como sinônimos. Busca-se aqui diferenciá-los para trazer luz à discussão, não pela nomenclatura em si, mas porque a imprecisão de conceitos pode dificultar o diálogo entre pesquisadores e interessados no assunto.

Os dois termos em questão dizem respeito a metodologias provenientes de uma mesma mudança paradigmática na cartografia, assinalada por Fernandéz e Buchroithner (2014) como novas práticas associadas à chamada cartografia crítica, que se desenvolveu a partir dos anos 1980 e permitiu a inserção de indivíduos não especialistas no processo cartográfico. A abertura à participação, a ampliação de espaços e diversificação das formas da representação espacial, entre outros fatores, permitiu aos sujeitos da representação o poder de mapear (ACSERALD; COLI, 2008).

Com o avanço computacional e o desenvolvimento da *Web 2.0*, uma nova dinâmica é aberta para os usuários, que podem criar mapas de forma colaborativa. Fernandéz e Buchroithner (2014) chamam essa mudança em curso de *Neocartography* (Nova Cartografia) e associam a esse movimento os termos Informação Geográfica Voluntária (IGV), *GeoWeb* e *Crowdsourcing*. Para definir esse período, Parker (2014) utiliza o termo *Neogeography* (Nova Geografia).

Dentro do contexto da cartografia crítica, iniciam-se aplicações de mapeamento participativo, que, de acordo com Chaves (2011, p. 66), “é um conjunto de métodos que enfatiza o mapeamento como instrumento para a compreensão do conhecimento do indivíduo sobre seu espaço e como as comunidades utilizam este espaço”. Entre as mais usadas estão o mapa mental, o mapeamento com uso de bases cartográficas e imagens, os modelos 3D participativos, os sistemas de informações geográficas e o mapeamento com recursos multimídia e com base na internet (IFAD, 2009). Além das caminhadas de reconhecimento, conforme, por exemplo, metodologia proposta por Geilfus (2002), aplicada por Ferreira (2014) junto aos artesãos de Majorlândia (CE), um dos estudos de caso incluídos no presente capítulo.

O mapeamento participativo é utilizado por organizações formais ou comunidades, possui um forte aporte teórico, é voltado para tomada de decisão e busca de mudança social (LIN, 2013; TULLOCH, 2008). Para Dagnino e Carpi Júnior (2016), é um ato político, pois os participantes passam a ter voz dentro de um processo no qual suas memórias, experiências e cultura são valorizadas, possibilitando tornar os conflitos visíveis.

Já o mapeamento colaborativo é fruto da Nova Cartografia¹⁴ e está relacionado ao marco fundamental do desenvolvimento da *Web 2.0*, que

¹⁴ A Nova Cartografia (*Neocartography*) diz respeito à emergência de cartógrafos não profissionais que passam a criar seus próprios mapas por meio de ferramentas digitais, o que marca, de acordo com Fernandéz e Buchroithner (2014, p. 82), “uma mudança paradigmática em seu estágio de gestação”. O termo não deve ser confundido com o “Projeto Nova Cartografia Social da Amazônia”, uma iniciativa de autcartografia com comunidades tradicionais, com objetivo de fortalecer os movimentos sociais (PNCSA, [s.d.]).

permite que usuários se tornem criadores de conteúdo. De acordo com Ribeiro e Lima (2011, p. 44), essa metodologia resulta em mapas “construídos coletivamente pela alimentação de conteúdo por parte de seus colaboradores/ usuários”. Ele está mais focado na utilidade do produto para o usuário que para a efetiva tomada de decisão por órgãos oficiais/governos, ainda que possa ser usado para este fim, e pode ser construído de maneira individualizada. Nesse caso, o usuário torna-se o centro da produção cartográfica (GOODCHILD, 2009).

Essa metodologia relaciona-se à Informação Geográfica Voluntária (IGV), que, segundo Goodchild (2008), diz respeito ao engajamento de um grande número de cidadãos que agem independentemente, às vezes com pouca qualificação formal, na criação de informações geográficas. Estas têm potencial para auxiliar no estudo da superfície terrestre, dado o menor tempo para atualização — possível até em tempo real — e por servir como alternativa mais barata de levantamento de dados, já que é feita por voluntariado (GOODCHILD, 2008). Esse tipo de mapeamento é importante para coletar informações que não são possíveis de forma remota, podendo servir como complemento ao processo de mapeamento por agências oficiais e técnicas de sensoriamento remoto (GOODCHILD, 2007b).

É fundamental ressaltar que, para que a informação geográfica seja voluntária, o usuário deve conhecer a finalidade do uso daquilo que disponibiliza. Para isso, os projetos que envolvem IGV não devem obscurecer seus objetivos nem tornar seus dados inacessíveis (GOODCHILD, 2008; HARVEY, 2013).

Em síntese, as metodologias podem ser diferenciadas de acordo com o objetivo ou finalidade do mapeamento, o caráter dos participantes, o papel do profissional no processo, as ferramentas utilizadas para coleta e plotagem dos dados, a periodicidade de atualização deles, além da questão relativa à acurácia, precisão e controle de qualidade dos dados (ALVES, 2018).

Quanto ao objetivo/finalidade dos mapeamentos, enquanto o participativo busca fortalecer comunidades e identidades territoriais, mapear recursos e usos da terra, clamar por direitos, evidenciar conflitos ambientais, dar apoio ao planejamento ambiental e sustentar a efetiva tomada de decisão (ACSERALD; COLI, 2008; FOX *et al.*, 2008; DAGNINO; CARPI JÚNIOR, 2016; CHAVES, 2011; FERREIRA, 2014), o colaborativo está interessado em informar sobre eventos e fenômenos que não podem ser mapeados remotamente (GOODCHILD, 2007a, 2007b), incluindo informações sobre desastres e situação de crises, de acordo com os interesses daqueles que colaboram.

Por isso, seus objetivos podem ser mais variáveis e não estar necessariamente ligados à tomada de decisão, apesar de também ser usado nesse sentido.

Em relação ao caráter dos participantes, enquanto o participativo é coletivo, o colaborativo é mais individual (LIN, 2013). Quanto ao papel do profissional especializado, no mapeamento participativo, este é fundamental para acompanhamento dos participantes, além de atuar em atividades mais técnicas como georreferenciamento ou construção de bases cartográficas. Já no colaborativo, o papel do profissional pode se confundir com o do usuário (GOODCHILD, 2008), e o processo nem sempre é mediado por um profissional. Entretanto, este é necessário para a produção das bases computacionais e para o controle da qualidade dos dados.

Quanto às ferramentas, o participativo utiliza, além de técnicas manuais, *softwares* de SIG convencionais (CHAVES, 2011, FERREIRA, 2014; TULLOCH, 2008). De acordo com o IFAD (2009), é possível que esses mapeamentos se baseiem também na internet. Assim, para diferenciação, deve-se levar em conta os demais aspectos aqui descritos. Para o colaborativo, são usados, dentro da *Web 2.0*, aplicativos como *Google Maps*[®], *OpenStreetMap*[®], *Wikimapia*[®] (LEMMENS, 2011; GOODCHILD, 2008), além de redes sociais como *WhatsApp*[®], *Twitter*[®] e *Facebook*[®], como demonstrado em Alves (2018).

Quanto à periodicidade, o mapeamento participativo tem uma baixa renovação de informações, por ser um recorte temporal específico e singular, enquanto no colaborativo a atualização pode ser feita em tempo real, com rápida renovação das informações (GOODCHILD, 2007a). Por fim, em relação à precisão e controle de qualidade, o mapeamento participativo mantém uma/a preocupação com padrões cartográficos, enquanto no colaborativo há pouca ou nenhuma preocupação com padrões cartográficos (GOODCHILD, 2008), exceto quando a coleta está associada a um mapeamento que necessita de maior precisão.

A escolha da metodologia deve levar em conta o contexto em que o projeto estará inserido. Ressalta-se, porém, que, independentemente da metodologia utilizada, incluir indivíduos e comunidades no processo de mapeamento significa ampliar os espaços de representação e visibilidade. Como afirmou Cosgrove (2008, p. 2): “[...] mapear permanece como uma forma de representar o mundo; o mapa permanece como uma imagem visível do (ou ao menos um) mundo”. Assim, as novas formas de mapear são novas maneiras de tornar o (ou um) mundo visível, aumentando a possibilidade de compreensão dos fenômenos e a diversidade dos discursos sobre o espaço.

Nessa via, na seção seguinte, são apresentados três estudos de caso com comunidades costeiras, a fim de ilustrar os aspectos técnicos ora apresentados e mostrar como os mapeamentos participativos e colaborativos são úteis para dar visibilidade a essas comunidades e a questões (próprias) dessas comunidades.

16.2 ESTUDOS DE CASO DE MAPEAMENTO PARTICIPATIVO E COLABORATIVO COM COMUNIDADES COSTEIRAS

As comunidades costeiras, por habitarem locais de grande interesse econômico e social, podem estar vulneráveis em face das pressões pelo estabelecimento e funcionamento de atividades econômicas, dos mais variados fins. Assim, comunidades de pescadores em locais onde há exploração petrolífera são as primeiras a serem afetadas por eventos de derrame de petróleo. A preservação do patrimônio cultural de comunidades de artesãos tradicionais pode ser ameaçada pelo constrangimento no acesso aos recursos necessários à consecução de suas peças. A perda lenta e gradual de áreas de pesca para atividades industriais e de outro tipo também se faz presente em muitas localidades. Esses exemplos ilustram como tais comunidades podem se encontrar em uma situação de “invisibilidade” perante as forças econômicas dominantes; e como as comunidades se constituem em atores que estão em uma relação desigual com os demais setores econômicos e segmentos sociais.

16.2.A Mapeamento colaborativo do desastre do petróleo de 2019-2020 no Brasil

Desde 30 de agosto de 2019 (data oficial), manchas de petróleo em diferentes estágios de degradação atingiram as praias do Norte e Nordeste do Brasil. Até 19 de março de 2020, data em que foi encerrado o monitoramento oficial, foram contabilizadas 1.009 localidades afetadas, em 130 municípios, pertencentes a 11 estados costeiros (IBAMA 2020)¹⁵. Segundo a Marinha do Brasil, de setembro de 2019 a fevereiro de 2020, foram coletadas mais de 5.000 ton de petróleo bruto¹⁶.

¹⁵ A localidade foi definida, pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (Ibama), para esse monitoramento, como qualquer área de 1 km de extensão ao longo da linha de costa. A lista oficial das localidades costeiras afetadas pelo desastre está disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/emergenciasambientais/2020/manchasdeoleo/2020-03-19_LOCALIDADES_AFETADAS.pdf.

¹⁶ Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/combate-ao-oleo/sobre>.

Os prejuízos sociais com o desastre do petróleo também foram significativos, tendo sido estimado que cerca de 300 mil pescadores e marisqueiras foram diretamente atingidos (SOARES *et al.*, 2020), número ainda subestimado, uma vez que nem todos os trabalhadores têm seu nome no cadastro nacional da pesca (“Registro Geral da Pesca”, RGP¹⁷). Além disso, as pessoas que participam da cadeia de processamento do pescado também não foram contabilizadas (SOUTO, 2020b). A segurança alimentar também foi afetada em muitos lugares onde houve a proibição da captura e comercialização de pescado devido à contaminação com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPA) (BRASIL, 2019).

Mais de 3.000 km de litoral foram afetados pelo evento (SOARES *et al.*, 2020), tornando imprescindível a criação de uma rede de fornecimento de dados locais, composta pelos habitantes das localidades e demais atores das regiões costeiras, de forma a melhorar o monitoramento das áreas atingidas pelo petróleo e o diagnóstico dos danos causados pela poluição.

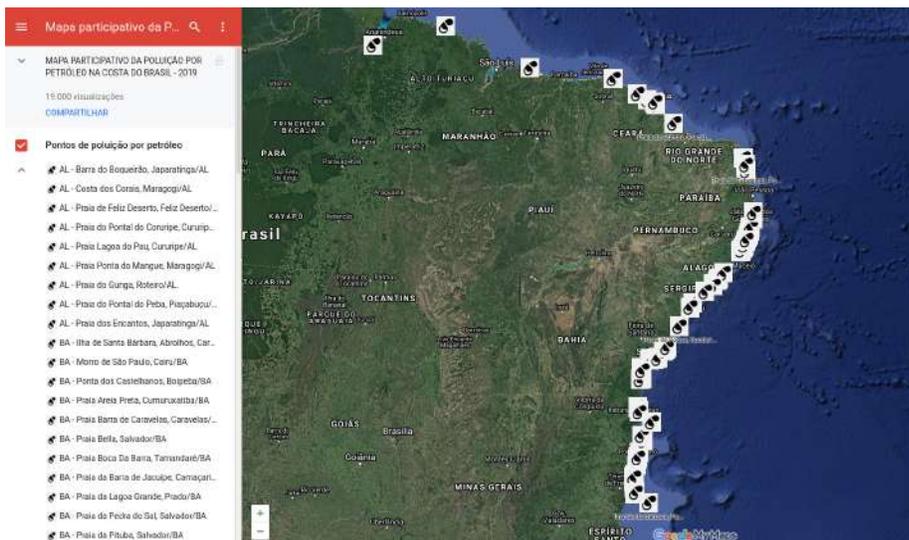
Além do grande volume e da extensão envolvidos no desastre, o petróleo atingiu a costa brasileira com aspectos diversos, em decorrência dos intemperismos físico e químico sobre o material que derivou do mar até alcançar o litoral (SOUTO, 2020b). Para cada tipo de mancha de óleo, existe um procedimento de controle adequado (CENPES, 2006; NOAA, 2013). Assim, o registro da geolocalização das manchas de petróleo com fotos pode auxiliar na futura formulação de protocolos de ação por região costeira no Brasil.

Diante da gravidade do desastre, iniciou-se o mapeamento colaborativo das localidades afetadas, por meio de um mapa *online*, conforme sugerido por Neis, Singler e Zipf (2010), no enfrentamento de situações de emergência decorrentes de desastres. O mapa foi disponibilizado na internet com auxílio da plataforma *Google My Maps*[®] (Figura 16.1), constituindo um recurso digital utilizado como ferramenta visual, para complementar as geoinformações já produzidas pelos órgãos oficiais envolvidos (SUMADIO *et al.*, 2020). Os mapas colaborativos também apresentam a vantagem de não se restringirem a usuários experientes, podendo então ser incluído um número bem maior de tomadores de decisão locais, nos processos de avaliação e gestão ambientais (FOGLI, 2013). Esse tipo de abordagem pode contribuir para aumentar o conhe-

¹⁷ O Registro Geral de Pesca, atualmente, é responsabilidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

cimento de regiões costeiras, em nível de detalhe, o que seria dificilmente alcançado (ou altamente oneroso) por outros meios.

Figura 16.1 – Mapa colaborativo de poluição por petróleo (Brasil, 2019 – 2020).



Nota: disponível em: <http://mapapetroleo.vides.org>.

Fonte: os autores.

Para divulgar a iniciativa, foi criada uma página na internet com a apresentação do projeto e as orientações para envio de registros fotográficos georreferenciados pelos canais de comunicação indicados¹⁸ (Figura 16.2).

¹⁸ Indicados na página do projeto: <tp://www.vides.org/index/index.php/mapa-participativo-petroleo><http://www.vides.org/index/index.php/mapa-participativo-petroleo>.

Figura 16.2 – Página *web* do projeto com instruções para participação pública.



IVIDES.org

Main Menu

- Início
- Sobre IVIDES.org
- Quem Somos
- Raquel Souto, Dire.
- Como Participar!
- Política de uso do site
- Mapa Participativo Petróleo
- Oil Pollution Participatory Map
- Atlas de Sustentabilidade
- Sustainability Atlas
- Observatório do Mapeamento Participativo
- Mapa Participativo zona costeira RJ
- Apoio

Mapa Participativo da Poluição por Petróleo - Brasil - 2019-2020

Apresentação & Motivação da pesquisa

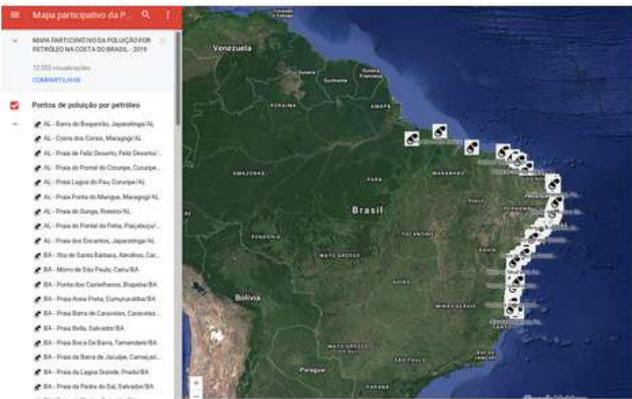
A partir do final do mês de agosto de 2019, foram avistadas diversas manchas de petróleo cru em praias do litoral da região norte e nordeste do Brasil. Até o dia 21 de janeiro de 2020, foram contabilizadas 1004 localidades atingidas(1). Tendo em vista que a extensão da costa atingida pelos eventos (2.200 km, segundo a Marinha do Brasil) chega a quase um terço (29,8%) da extensão total da costa brasileira (7.367 km, segundo o IBGE), é imprescindível contar com uma rede de informações locais, fornecidas pelos próprios habitantes dos lugares, a fim de potencializar a coleta de dados a respeito das áreas alcançadas e os danos causados por esse tipo de poluição.

(1) nota do IBAMA: O conceito de **localidade** utilizado neste mapeamento se restringe a uma área correspondente a 1km ao longo da costa. Portanto, uma praia com uma faixa de areia com 10km possui 10 localidades.

Dos fins do mapa participativo sobre o derrame de petróleo na costa brasileira - 2019-2020

Mapear de modo participativo os pontos de poluição por petróleo no litoral do Brasil (especialmente nas regiões norte e nordeste do País), a fim de inferir sobre a extensão dos danos causados pelo derrame de 2019-2020.

Você pode acessar o mapa [aqui](#)





14 VIDA NA ÁGUA



OBJETIVOS SUSTENTÁVEIS

Nota: disponível em <http://www.vides.org/index/index.php/mapa-participativo-petroleo>.

Acesso em: 01 mar. 2021.

Fonte: os autores.

Os registros obtidos no mapeamento colaborativo¹⁹ mostraram que as manchas de petróleo que atingiram o litoral brasileiro tinham os seguintes aspectos, a depender do local de ocorrência, segundo tipologia de CENPES (2006): i) Óleo fresco e líquido – óleo líquido não degradado; ii) Mousse – óleo emulsionado, cobrindo áreas extensas; iii) Pelotas de óleo – acúmulos discretos de óleo, com diâmetro menor que 10 cm; iv) Piche – óleo altamente intemperizado, de consistência quase sólida; v) Resíduos de óleo na superfície – resíduos de óleo não coesivos na superfície do sedimento; e vi) Pavimento asfáltico – sedimentos superficiais coesos e fortemente oleados.

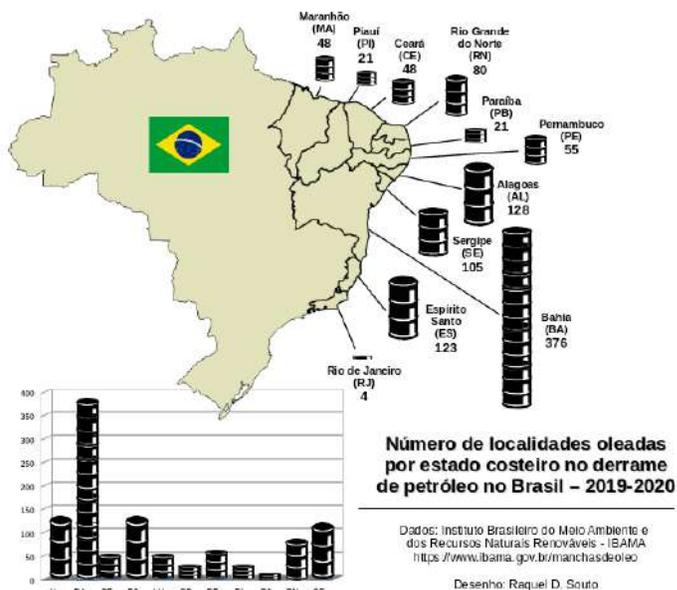
No total, até o momento, o projeto cadastrou e plotou no mapa colaborativo fotos referentes a 90 localidades dos estados costeiros Pará, Maranhão, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, sendo a maior concentração relacionada à Bahia. A Figura 16.3 mostra a distribuição da quantidade de óleo coletada entre setembro de 2019 e fevereiro de 2020, quando as operações de limpeza foram encerradas pela Marinha do Brasil (IBAMA, 2020).

Cinquenta e oito Unidades de Conservação (UC) costeiras e marinhas foram afetadas pelas manchas de petróleo, tais como o Parque Nacional Marinho de Abrolhos e o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (Figuras 16.4 e 16.5). Os tipos da maioria das UCs afetadas foram os seguintes: i) Áreas de Proteção Ambiental (APA), com 34 unidades (58,6%); ii) Reservas Extrativistas (RESEX), com 7 unidades (12,7%); iii) Reservas Extrativistas Marinhas (RESEX-Mar); iv) Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) e v) Parques Nacionais (PARNAs), todos os três com 3 unidades (5,2%). Entre as UCs afetadas, estão as reservas extrativistas e as reservas extrativistas marinhas, que concentram recursos dos quais dependem muitas comunidades tradicionais.

A participação de comunidades tradicionais (pescadores, marisqueiras, quilombolas e caiçaras), com a ajuda de organizações da sociedade civil, foi fundamental no enfrentamento do desastre (SOARES *et al.*, 2020; SOUTO, 2020a, 2020b, 2020c). As próprias comunidades desenvolveram alternativas para evitar a chegada de petróleo à costa, capturando pelotas e fragmentos de piche com redes de espera, protegendo as entradas dos estuários com redes ou colocando barreiras para contenção de material (SOUTO, 2020a).

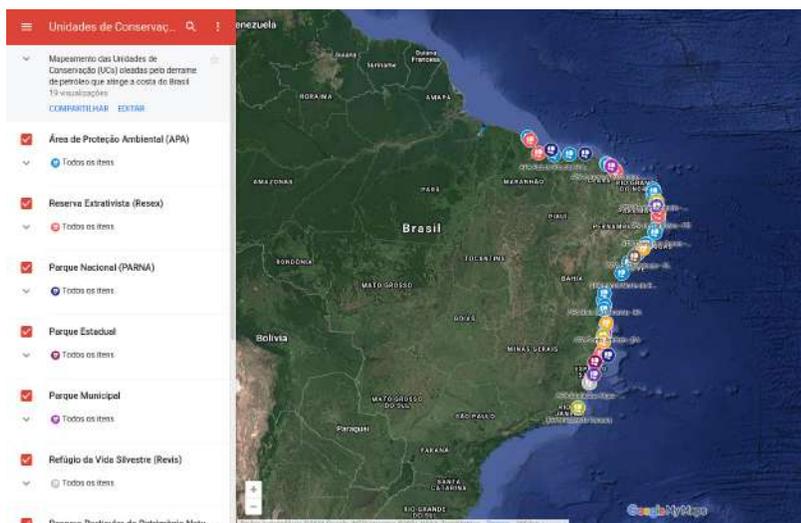
¹⁹ Após o lançamento do mapa de poluição por petróleo, a pesquisadora responsável conheceu as diferenças entre o mapeamento participativo e colaborativo e percebeu que o mapeamento em questão é do tipo colaborativo. Ainda assim, o nome foi mantido na página *web* do projeto e no mapa *online*, para não causar confusão no público. No entanto, fica registrado o nome correto no presente capítulo.

Figura 16.3 – Distribuição percentual do óleo retirado em cada estado do litoral brasileiro.



Fonte: Souto (2020a, p. 54).

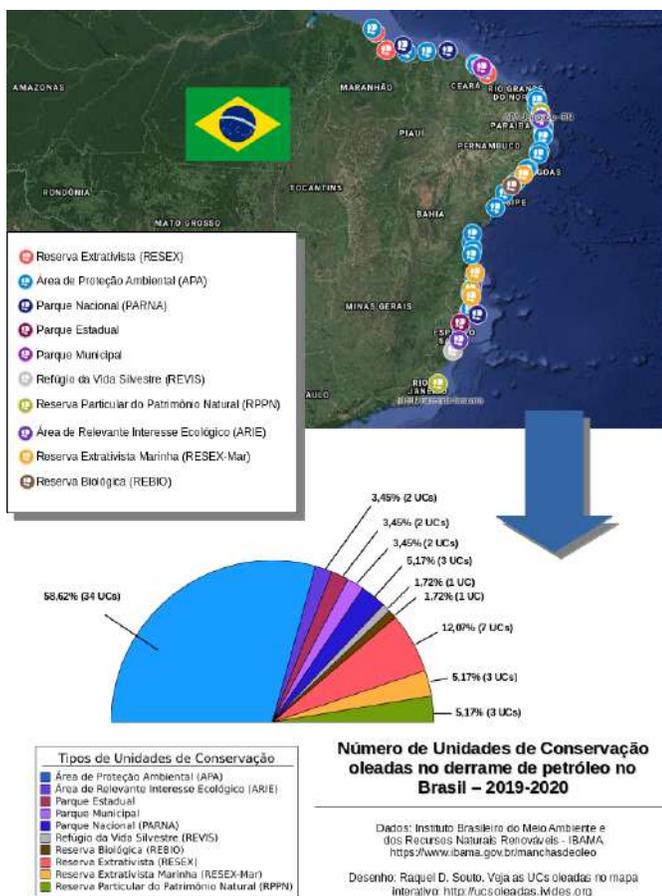
Figura 16.4 – Mapa interativo com as unidades de conservação da natureza afetadas pelo derramamento de óleo no Brasil.



Fonte: os autores. Disponível em: <http://ucsoleadas.ivides.org>. Acesso em: 10 abr. 2021.

Nessa via, a disponibilização de uma plataforma *online* para mapeamento colaborativo das manchas de óleo contribuiu para que os integrantes dessas comunidades pudessem reportar os danos encontrados nas localidades. Além disso, incrementou a troca de dados e informações entre os colaboradores. Surgiram novas ligações entre os grupos comunitários, mostrando que a participação é um motor indispensável nos processos de monitoramento e avaliação, contribuindo para a sua melhoria, por meio do aporte de um grande volume de dados qualitativos e em escala local; além do fortalecimento dos laços comunitários entre os integrantes.

Figura 16.5 – Unidades de conservação da natureza afetadas pelo derramamento de óleo no Brasil classificadas por tipo.



Fonte: Souto (2020a, p. 55).

16.2.B O mapeamento dos artesãos de garrafas de areia colorida da praia de Majorlândia/CE

As experiências de mapeamento participativo realizadas com os artesãos de garrafas de areia colorida da Praia de Majorlândia (CE) fizeram parte de uma pesquisa de dissertação de mestrado defendida no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (FERREIRA, 2014).

A motivação da pesquisa surgiu quando a pesquisadora trabalhou com o grupo, entre 2010 e 2011, no âmbito do Programa de Promoção do Artesanato de Tradição Cultural (PROMOART)²⁰, e percebeu uma ligação estreita entre aquele fazer artesanal, principal fonte de renda para dezenas de famílias do local, e o comprometimento ambiental em relação às falésias e à paisagem. A autora da pesquisa vislumbrou a aplicação de técnicas de mapeamento com a participação dos sujeitos estudados como forma de conhecer os modos de vida e tornar visível a relação daquele grupo com o território.

O Projeto Nova Cartografia Social da Amazônia (PNCSA) mapeia, basicamente situações de “reconfiguração étnica” e “afirmação identitária”, em que a própria delimitação do grupo ou comunidade é um processo simbólico, e é a mais ampla articulação de experiências de mapeamento social no Brasil (VIANNA JÚNIOR, 2008, p. 37). O objetivo geral desse projeto é “dar ensejo à auto cartografia dos povos tradicionais da Amazônia”, por meio da mobilização da comunidade em torno da marcação de suas territorialidades, para atender a demandas sociais específicas de cada grupo (PNCSA).

As comunidades, a partir do domínio de metodologias e tecnologias e do apoio de pesquisadores, têm dado visibilidade a si mesmas e a seus territórios por meio de um processo simbólico de constituição delas mesmas e dos mapas que as representam, em um contexto de disputas políticas territoriais. A representação cartográfica resultante é uma leitura particular da realidade plotada em um mapa. Nesse sentido, os “mapas são territórios”, e mais, são territórios em disputa em uma verdadeira guerra simbólica de mapas. (VIANNA JÚNIOR, 2008, p. 38)

²⁰ PROMOART é integrado ao Programa Mais Cultura, do Ministério da Cultura, realizado pela Associação Cultural de Amigos do Museu de Folclore Edison Carneiro (ACAMUFEC). Gestão conceitual e metodológica do Centro Nacional de Folclore e Cultura Popular (CNFCP)/Departamento de Patrimônio Imaterial/IPHAN. Parceria institucional e apoio financeiro BNDES.

Área de estudo

O artesanato em garrafas de areia colorida (“garrafinhas”) está presente desde a década de 1960 em algumas vilas do litoral do Ceará e do Rio Grande do Norte, localizadas no contexto geológico da Plataforma de Aracati, entre a foz do Rio Choró/CE e o Rio Apodi/RN (SOUSA *et al.*, 2006 *apud* FERREIRA, 2014). As falésias existentes nos arredores da praia de Majorlândia pertencem à região fisiográfica conhecida por Litoral Nordeste ou Falésias da Formação Barreiras, que apresenta sedimentos constituídos por camadas intercaladas de arenitos argilosos finos com coloração variada, onde predominam os tons médios avermelhados e amarelados (SOUSA *et al.*, 2006; SILVA, 2013).

As garrafinhas, vendidas como *souvenir* turístico, trazem desenhos das paisagens da região litorânea e tornaram-se ícones da cultura popular brasileira. A praia de Majorlândia (Aracati/CE) aparece como principal referência desse artesanato tradicional de origem cultural, reconhecida pelos estudiosos do artesanato popular (CNFCP; BAÍA, 2010). As paisagens retratadas são carregadas de sentido e contam a história de um povo que vive de uma atividade ligada intimamente ao ambiente, seja pela base da matéria-prima principal, seja pelo seu sentido cultural. Nesta arte, o próprio ambiente é desgastado e reconfigurado na forma de desenhos e passa a se constituir em um nexos, um modo de vida, o principal meio de subsistência de um povo (FERREIRA, 2014).

A partir da década de 1980, o crescimento acentuado do movimento turístico na vila de Canoa Quebrada produziu alterações no uso do solo ao longo de toda a zona costeira a leste da foz do Rio Jaguaribe. A construção de hotéis, pousadas e casas de veraneio, voltados para o turismo sazonal, acarretou alguns constrangimentos ao acesso dos artesãos à área de extração das areias coloridas.

Inspirada pelos mapeamentos realizados no PNCSA, e interessada em conhecer a história do grupo em sua relação com o meio ambiente, a pesquisadora foi a campo com o objetivo de experimentar três técnicas de mapeamento, para conhecer o modo de vida artesãos das garrafas de areia colorida de Majorlândia, dar visibilidade às suas espacialidades e verificar de que forma o mapeamento participativo pode atuar na gestão ambiental, quando os sujeitos se tornam autores de seus próprios mapas (FERREIRA, 2014).

A pesquisa foi desenhada e executada por meio da abordagem do mapeamento social, com a participação voluntária dos artesãos (adul-

tos, homens e mulheres) que participaram, em momentos diferentes, de alguma das técnicas propostas, com o objetivo de realizar uma retomada da história das garrafinhas valendo-se da memória coletiva. A demanda de mapeamento foi construída durante a permanência em campo sob a ciência dos mestres artesãos mais antigos, que foram indicando os mais novos. O trabalho de campo durou 25 dias, realizado na primavera de 2013, quando foram realizadas 24 entrevistas abertas, uma oficina de mapa mental, duas caminhadas de reconhecimento do terreno, e duas oficinas de mapeamento sobre imagem de satélite. Todo o processo foi registrado em gravações de áudio e fotografias (FERREIRA, 2014).

Na primeira oficina foi utilizada a técnica do mapa mental, quando as memórias das referências espaciais comuns apareceram na explanação das ideias, as chamadas “carto-falas” (SEEMAAN, 2013), e foram desenhadas com lápis de cor sobre cartolinas brancas.

As caminhadas de reconhecimento do terreno (GEILFUS, 2002) foram feitas com as artesãs, uma para a área de extração de areia e outra para conhecer parte do circuito turístico e cultural da região de Canoa Quebrada, e alguns atrativos naturais, como os vertedouros de água potável (os “correntes”), que são parte constituinte da fixação humana naquele local. Em duas outras oficinas, os artesãos mais antigos participaram desenhando os marcadores sociais do grupo em um papel vegetal colocado sobre um mosaico de imagens de satélite. Procurou-se manter os desenhos originais nos ícones que compuseram a legenda do mapa, por refletirem o conteúdo simbólico, político e cultural dos sujeitos, uma vez que qualquer generalização apagaria sua identidade. As informações coletadas dessa forma foram, posteriormente, georreferenciadas no *software ArcView*, versão 10.5, e geraram dois mapas em formato A3, um na escala de 1:5.000 (Figura 16.6) e outro na de 1:25.000.

Durante as oficinas de mapeamento, os artesãos indicaram os marcadores sociais do espaço que configuram um território apropriado por eles, sobre o qual se realizam as tarefas de sua vida cotidiana atrelada à consecução e venda de suas peças (DAOU, 2015). Os marcadores sociais demonstraram a ligação e o envolvimento do grupo com os recursos ambientais, fundamentais à sua sobrevivência, que se expressam tanto na reprodução das paisagens nas garrafinhas quanto no livre acesso aos “correntes” ou à jazida de areia. Os marcadores indicados pelo grupo também revelaram seu interesse em

seu espelho d'água é um espaço de intensa ocupação por diferentes agentes, que transformam sua superfície em um verdadeiro “chão de fábrica”²¹. O maior ocupante desse espaço é a indústria petrolífera, que estendeu dutos e terminais em grande parte da baía.

Apesar de ser compreendida por vários autores como zona de sacrifício (DIAS *et al.*, 2013; RAULINO, 2013; RIO DE JANEIRO, 2016; COELHO, 2017), a Baía de Guanabara é, também, espaço vivido e “Terra Tradicionalmente Ocupada” das pescadoras e pescadores artesanais que vivem nos municípios do entorno (CHAVES, 2011). Esses mesmos pescadores tiveram uma reação a um monumental acidente ocorrido na Baía de Guanabara, em janeiro de 2000, que culminou no surgimento de várias associações de pescadores. Soares (2012), em sua pesquisa sobre esse efeito dos pescadores, comenta que:

Uma grande parte das associações de pescadores existentes hoje na Baía de Guanabara foram criadas após o acidente [em janeiro de 2000]. Pela primeira vez, emergiam a partir de suas ainda parcas manifestações, os primeiros traços na constituição de atores sociais. (SOARES, 2012, p. 90)

No acidente, vazou 1,3 milhão de litros de óleo combustível devido ao rompimento de um duto de uma importante indústria petrolífera nacional (CHAVES, 2011). Alguns autores estimam que, pelo menos, 500 pescadores artesanais foram afetados. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) afirmou que a empresa poluidora identificou 61 pescadores donos de 208 currais (IBAMA, 2002, p. 13). Já Acselrad (2002) cita que 500 pescadores foram cadastrados e indenizados pela mesma empresa (ACSELRAD, 2002, p. 306).

Foi nesse contexto que foram iniciados os primeiros contatos com pescadores artesanais de uma importante associação de pescadores, fundada nesse período. Chamou a atenção, o fato de que os mapas oficiais da Baía de Guanabara revelam os territórios dos principais usuários desse espaço, que são: a Marinha do Brasil, o Exército, a Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (Cedae), a Infraero, a indústria petrolífera, a Barcas S/A, entre outros, mas não apresenta o território pesqueiro como espaço legítimo a ser respeitado. A carta náutica, por exemplo, representa as áreas proibidas para atracação e para passagem de embarcações. Em relação à pesca, sinaliza as áreas de exclusão, desconsiderando que os pescadores artesanais

²¹ A autora da pesquisa presenciou, em audiências públicas e reuniões sobre a Baía de Guanabara, seus defensores e estudiosos referirem-se ao espelho d'água da baía como um verdadeiro “chão de fábrica”, no sentido de corresponder à extensão das indústrias do entorno, com instalações de dutos e terminais, nesse espaço.

necessitam do ambiente aquático para a sua sobrevivência e, também, que a existência desses sujeitos é muito anterior a qualquer ocupação diferente daquela atividade. Diante da invisibilidade da atuação dos pescadores artesanais nos documentos oficiais, o principal objetivo da pesquisa foi a realização de um mapeamento, baseado no conhecimento desses sujeitos, revelando o seu discurso jamais-dito (FOUCAULT, 2008), oculto nos mapas hegemônicos.

A pesquisa, então, foi realizada entre março de 2010 e abril de 2011, com base em uma vivência inicial com pescadores artesanais, o que foi fundamental para a compreensão do contexto em que estavam inseridos. Nessa vivência, foi aplicado um método, muito utilizado entre os antropólogos, conhecido como observação participante. Esse método “consiste no pesquisador frequentar, na medida do possível, o cotidiano do grupo” (CHAVES, 2011, p. 107). O pesquisador convive com tais indivíduos, por um tempo considerável, quando é possível coletar informações e observar comportamentos. Segundo Goldenberg (2004), quanto maior a observação, menor é a distorção dos fatos pelo pesquisador, o que é conhecido como *bias*²² (GOLDENBERG, 2004, p. 47).

Outro método crucial para o desenvolvimento dessa pesquisa foi o mapa mental, proposto por Kevin Lynch (1960), que ajuda a identificar a “imaginabilidade” do observador em relação ao objeto (LYNCH, 1960, p. 19). Nessa pesquisa, os observadores testados foram pescadores artesanais, e o objeto foi a própria Baía de Guanabara. Por meio de oficinas de mapeamento realizadas em cinco comunidades de pescadores, foi aplicado o método do mapa mental, no qual os pescadores, de forma participativa, desenharam em cartolinas o espelho d’água da Baía de Guanabara, indicando os lugares proibidos e permitidos para a pesca. Para isso, desenharam as principais referências espaciais, como ilhas, rios e praias, para facilitar a localização daqueles lugares.

Com as informações coletadas pela observação participante e pela aplicação dos mapas mentais, foi possível confeccionar um mapa sinótico, com o máximo de informações sobre a ocupação do espelho d’água da Baía de Guanabara, em conflito com o uso e ocupação do mesmo espaço pelos pescadores artesanais. O mapa foi gerado no *software ArcGIS*^{®23}, englobando informações dos mapas mentais, de imagem de satélite *Landsat*, da carta

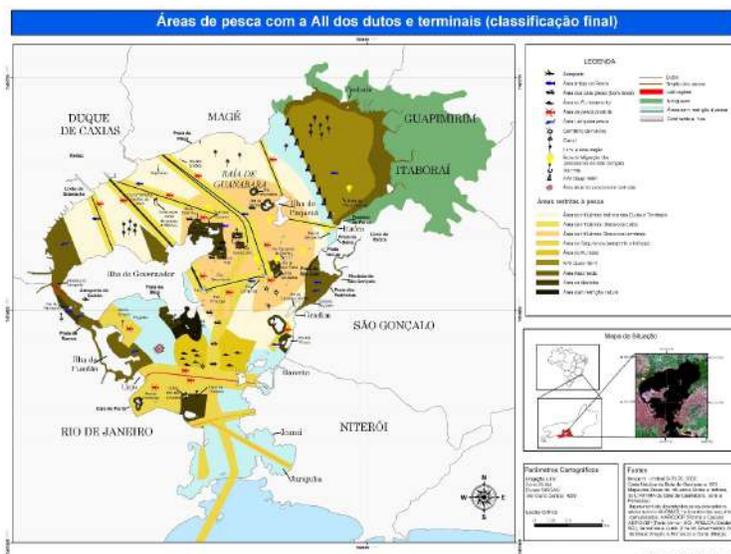
²² “A utilização do termo em inglês é comum entre os cientistas sociais. Pode ser traduzido como viés, parcialidade, preconceito” (GOLDENBERG, 2004, p. 44, nota de rodapé da página).

²³ “O ArcView e o ArcGIS são softwares da linha de soluções dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) fabricados pela *Environmental Systems Research Institute Inc. (ESRI)*” (CHAVES, 2011, p. 121, nota de rodapé da página).

náutica 1501 e das Áreas de Influência Direta e Indireta (AID e AII)²⁴ dos dutos e terminais da indústria do petróleo, instaladas no espelho d'água da baía (PETROBRAS, 2007). Após a confecção do mapa, foi possível medir os polígonos demarcados, utilizando uma extensão do programa de mapeamento ArcView 3[®], cujos resultados serão expostos nos parágrafos seguintes.

Os resultados mais relevantes desse estudo foram o mapa, gerado de forma participativa com pescadores artesanais, e o cálculo das áreas de ocupação dos variados usuários do espaço do espelho d'água da Baía de Guanabara. O mapa (Figura 16.7) mostra o quadro de ocupação da baía e os territórios pesqueiros, pela perspectiva daqueles pescadores. Nesse mapa, estão representadas as áreas restritas à pesca, com uma classificação cromática, e as áreas de pesca, identificadas por ícones desenhados pelos próprios pescadores. Entre as áreas restritas à pesca, ou áreas de exclusão da pesca, é possível visualizar uma justaposição entre os territórios dos diversos usuários (Marinha, Exército, indústria petrolífera, Barcas S/A, Infraero etc.). Porém, o maior conflito não é entre eles, mas, sim, com os pescadores artesanais, visto que estes são proibidos de se aproximarem das áreas de segurança, o que muitas vezes são os melhores lugares para se pescar.

Figura 16.7 – Mapa final das áreas de pesca com a AII dos dutos e terminais.



²⁴ “As áreas de influência direta e indireta (AID e AII, respectivamente) são áreas delimitadas a partir do impacto ambiental que qualquer empreendimento pode causar num determinado lugar” (CHAVES, 2011, p. 132)..

Nota: mapa produzido com insumos das oficinas de mapeamentos participativos (mapas mentais), carta náutica, imagem de satélite *Landsat* e informações das AII e AID dos dutos e terminais existentes no espelho d'água da Baía de Guanabara. Fonte: Chaves (2011).

Em relação ao cálculo das áreas de ocupação, os polígonos medidos correspondem às AIDs e AIIs dos dutos da indústria petrolífera, às áreas de segurança do aeroporto e dos dutos da Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (Cedae), às áreas de fundeio, entre outros (Figura 16.8). Os resultados dessa medição revelaram que apenas 12% do espelho d'água de toda a Baía de Guanabara é livre para a pesca, sem proibições. O restante da área é restrito à pesca e à ancoragem de embarcações, exceto as que recebem permissão do serviço de praticagem²⁵. Na área restrita, 14% destinam-se à proteção ambiental (Área de Proteção Ambiental de Guapimirim – APA Guapimirim) e 44% são ocupados pela indústria do petróleo — considerando as AIIs —, o que reduz significativamente o espaço para uso dos pescadores da região.

Figura 16.8 – Áreas restritas à pesca com a AII, em porcentagem.



Fonte: Chaves (2011, p. 136).

²⁵ “A praticagem pode ser definida como um serviço de assessoria aos comandantes dos navios para navegação em águas restritas” (O QUE é praticagem? *Portogente*, 1 jan. 2016. Disponível em: <https://portogente.com.br/portopedia/78848-o-que-e-praticagem>. Acesso em: 26 set. 2021).

O mapeamento com os pescadores artesanais revelou que a Baía de Guanabara, em sua totalidade, é o espaço de uso desses indivíduos. O discurso manifesto no mapa, resultado dessa pesquisa, é um jamais-dito transformado em um já-dito (FOUCAULT, 2008; CHAVES, 2011), o que dá visibilidade à realidade dos sujeitos que se “automapearam”. Esse tipo de mapeamento, feito de modo participativo, tem o objetivo de valorizar e tornar visível o conhecimento local e a percepção ambiental dos sujeitos que habitam (BUTTIMER, 1982) e usam os espaços mapeados, bem como a existência desses mesmos sujeitos. No caso dessa pesquisa, o mapa revelou uma significativa redução da área de pesca, que já vinha sendo sinalizada pelos pescadores, cujas vozes não eram ouvidas. Com a reação dos pescadores após o derrame de petróleo ocorrido em 2000, suas reivindicações entraram nas pautas de suas lutas, e os esforços das associações de pescadores chamaram a atenção de estudiosos e ambientalistas, cujas pesquisas contribuíram, e contribuem, para o desvelamento desses sujeitos, das suas práticas espaciais e de seus territórios.

Os mapas participativos, como esse apresentado, constituem um “instrumento importante para dar voz àquilo que não é dito nos mapas oficiais, contribuindo com a reivindicação dos pescadores pela reconquista de seu espaço” (CHAVES, 2011, p. 130). Entre os demais ocupantes do espaço da Baía de Guanabara, os pescadores artesanais encontram-se em desvantagem, por estarem em um caminho divergente em relação ao projeto de desenvolvimento econômico adotado em âmbito municipal, estadual e nacional. Das conclusões dessa pesquisa, a mais relevante é que, da perspectiva desses sujeitos, todo o espaço da Baía de Guanabara é território pesqueiro e “terra tradicionalmente ocupada” dos pescadores artesanais (ALMEIDA, 2004, 2005; BRASIL, 1988). Segundo Almeida (2005), “o seringueiro não se separa da árvore, a quebradeira não se separa da palmeira, o índio não se separa da floresta (ALMEIDA, 2005, p. 3), e, do mesmo modo, “não se separa pescador dos recursos hídricos” (CHAVES, 2011, p. 77), como no caso dos pescadores tradicionais e artesanais da Baía de Guanabara.

16.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As metodologias de mapeamento aqui propostas não se mostraram apenas importantes, mas necessárias, dentro de um contexto que valoriza a multiplicidade de vozes e supõe a inclusão de todos os atores envolvidos, nos conflitos e debates, na construção e apresentação de seus discursos. Buscou-se, portanto, argumentar que a inclusão de comunidades e indivi-

duos nos processos de mapeamento é possível e tem o benefício de trazer visibilidade às questões comunitárias, especialmente daquelas que vivem em ambientes costeiros.

Houve um esforço para apresentar como os mapeamentos participativos têm sido aplicados em diferentes condições ao redor do mundo, detalhando a prática em situações no Brasil por meio dos estudos de caso; e, também, de sugerir um delineamento conceitual entre esses mapeamentos participativos e os mapeamentos colaborativos, como uma proposta de contribuição ao debate dos pesquisadores da área, a fim de avançar nas pesquisas e aplicações.

A participação da comunidade no mapeamento do seu espaço vivido e/ou território revelam informações vernaculares importantes, adquiridas somente de uma abordagem mais aproximada com os sujeitos e seus espaços, o que pode ser conseguido com base nas metodologias utilizadas nas aplicações dos mapeamentos participativos e/ou colaborativos. No caso dos pescadores artesanais da Baía de Guanabara, esse tipo de pesquisa foi crucial para a visibilização de suas existências e de seus territórios pesqueiros, cujo mapa transformou seus discursos “jamais-ditos” em “já-ditos”. O mapa e os dados produzidos nessa pesquisa foram usados, em algum momento, nas lutas e reivindicações dos pescadores, líderes das associações surgidas após o derrame de óleo em janeiro de 2000²⁶, o que comprova a importância desse tipo de trabalho em âmbito acadêmico, o que credibiliza os discursos dos sujeitos.

No caso dos artesãos de Majorlândia, a investigação proposta demonstrou que conhecer as categorias espaciais definidas pelos sujeitos de pesquisa, por meio de um documento cartográfico, pode contribuir para um registro de seu modo de vida. Por sua vez, mapas confeccionados pelos próprios sujeitos da cultura retratada podem vir a ser instrumentos significativos nas demandas por direitos e por garantia de acesso a recursos, ou mesmo para o compartilhamento dessas informações sobre o espaço entre os indivíduos.

O mapa de ocorrência de manchas de óleo é uma importante fonte de informações para enfrentar eventos semelhantes que possam ocorrer no futuro na costa brasileira. Um levantamento convencional de dados desse tipo (e da extensão do desastre) é complexo e muito oneroso, sendo necessário levar várias equipes a campo, o que pode ser resolvido com auxílio da participação (ou colaboração) da população. Com a descoberta da camada pré-sal e a continuidade dos leilões de reservas de petróleo

²⁶ Noticiado em <https://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/revista-amanha/produativa-apesar-da-poluicao-7813707>; <https://www.boell.de/de/2014/07/17/brasilien-der-fischer-die-bucht-und-das-erdoel>;

no Brasil, a perspectiva é de aumento da frequência e da intensidade dos eventos de poluição por óleo, o que destaca ainda mais o papel do mapa colaborativo *online*.

Espera-se que as pesquisas aqui demonstradas tenham fornecido contribuições para a construção do arcabouço metodológico de mapeamentos participativos e colaborativos e que novas pesquisas permaneçam com o objetivo de incluir diversos atores na construção de mapas e, principalmente, fortalecer diálogos, tornar fenômenos e processos espaciais visíveis e garantir melhores tomadas de decisão.

REFERÊNCIAS

ACSELRAD, H. (org.). *Cartografia social, terra e território*. Rio de Janeiro: IPPUR/UFRJ, 2013.

ACSELRAD, H. (org.). *Cartografias sociais e território*. Rio de Janeiro: IPPUR/UFRJ, 2008.

ACSELRAD, H. Mapeamentos, identidades e territórios. In: ACSELRAD, H. (org.). *Cartografia social e dinâmicas territoriais: marcos para o debate*. 2. ed. Rio de Janeiro: IPPUR/UFRJ, 2012. p. 9-38.

ACSELRAD, H.; BEZERRA, G. das N. *O que é justiça ambiental*. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

ACSERALD, H.; COLI, L. R. Disputas cartográficas e disputas territoriais. In: ACSERALD, H. (org.). *Cartografias sociais e território*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, 2008. p. 13-44.

ACSELRAD, H.; MELLO, C. Conflito social e risco ambiental: o caso de um vazamento de óleo na Baía de Guanabara. In: ALIMONDA, H. *Ecología política*. Naturaleza, sociedad y utopia. Buenos Aires: CLACSO, 2002. p. 293-317.

ALMEIDA, A. W. B. de. O conceito de terras tradicionalmente ocupadas. In: SEMINÁRIO SOBRE QUESTÕES INDÍGENAS. *Anais [...]*. [S. l.], 2005. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/14/o/TERRAS_TRADICIONALMENTE_OCUPADAS_ALFREDO_WAGNER_BERNO_DE_ALMEIDA.pdf?1497272497. Acesso em: 01 jan. 2011.

ALMEIDA, A. W. B. de. Terras tradicionalmente ocupadas: processos de territorialização e movimentos sociais. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, [S.l.],

v. 6, n. 1, p. 9-32, maio 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22296/2317-1529.2004v6n1p9>. Acesso em: 1 jan. 2011.

ALVES, S. L. P. *Os desdobramentos das novas formas de mapear na produção de informação geográfica*. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

BARNETT, A. J.; WIBER, M. G.; ROONEY, M. P.; MAILLET, D. G. C. The role of public participation GIS (PPGIS) and fishermen's perceptions of risk in marine debris mitigation in the Bay of Fundy, Canada. *Ocean and Coastal Management*, [S.l.], v. 133, p. 85-94, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.09.002>. Acesso em: 1 jan. 2011.

BLAKE, D.; AUGÉ, A. A.; SHERREN, K. Participatory mapping to elicit cultural coastal values for Marine Spatial Planning in a remote archipelago. *Ocean & Coastal Management*, [S.l.], v. 148, p. 195-203, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.08.010>. Acesso em: 1 jan. 2011.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Texto compilado até a Emenda Constitucional nº 93 de 08/09/2016. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: https://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988_08.09.2016/CON1988.as. Acesso em: 1 jan. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 52, de 25 de outubro de 2019. Estabelece excepcionalmente períodos de defeso adicionais para o ano de 2019, em decorrência da grave situação ambiental resultante de provável contaminação química por derramamento de óleo no litoral da região nordeste, proibindo a atividade pesqueira. *Diário Oficial da União (D.O.U.)*, Brasília, DF, ed. 209, 29 out. 2019, Seção 1.

BROWN, G.; RAYMOND, C. M. Methods for identifying land use conflict potential using participatory mapping. *Landscape and Urban Planning*, v. 122, p. 196-208, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.007>. Acesso em: 1 jan. 2011.

BROWN, G.; STRICKLAND-MUNRO, J.; KOBRYN, H.; MOORE, S. A. Stakeholder analysis for marine conservation planning using public participation GIS. *Applied Geography*, [S.l.], v. 67, p. 77-93, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.12.004>. Acesso em: 1 jan. 2011.

BUTTNER, A. Apreendendo o dinamismo do mundo vivido. In: CHRISTOFOLLETTI, A. (org.). *Perspectivas da geografia*. São Paulo: DIFEL, 1982. p. 165-193.

CAMPOS, L. G. *Populações tradicionais, unidades de conservação e mineração: territorialidades e práticas de gestão dos recursos naturais – Oriximiná – PA*. 2009. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.

CENTRO DE PESQUISAS LEOPOLDO A. MIGUEZ DE MELLO (CENPES). *Manual de avaliação de óleo em linha de costa*. Rio de Janeiro: CENPES/Petrobras, 2006. Disponível em: <https://saopelotas.furg.br/images/stories/documentosde-referencia/manuais%20de%20avaliacao%20petrobras.pdf>. Acesso em: 1 jan. 2011.

CHAMBERS, R. Participatory mapping and geographic information systems: whose map? Who is empowered and who is disempowered? Who gains and who loses? *The Electronic Journal on Information Systems in Developing Countries*, [S.l.], v. 25, n. 2, p. 1-11, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/j.1681-4835.2006.tb00163.x>. Acesso em: 1 jan. 2011.

CHAVES, C. M. S. R. da S. *Mapeamento participativo da pesca artesanal na Baía de Guanabara*. 2011. 185 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa e Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2011.

CENTRO NACIONAL DE FOLCLORE E CULTURA POPULAR (CNFCP). Disponível em: <http://www.cnfcp.gov.br/>. Acesso em: 1 jun. 2013.

COELHO, B. H. da S. *Potencialidades e limites de conselhos de unidades de conservação: considerações sobre a implantação do Comperj na região do Mosaico Central Fluminense*. 2017. 295 f. Tese (Doutorado em Psicossociologia de Comunidades e Ecologia Social) – Programa de Pós-Graduação em Psicossociologia de Comunidades e Ecologia Social, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

COSGROVE, D. Introduction: landscape, map and vision. In: COSGROVE, D. *Geography and vision: seeing, imagining and representing the world*. New York: I. B. Tauris, 2008.

COSTA, N. O. da C. *Cartografia social: instrumento de luta e resistência no enfrentamento dos problemas socioambientais na reserva extrativista marinha na Prainha do Canto Verde, Beberibe-Ceará*. 2016. 158 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

DAGNINO, R. S.; CARPIJÚNIOR, S. História e desafios do mapeamento ambiental participativo no estado de São Paulo. In: DIAS, L. S.; BENINI, S. M. (org.). *Estudos ambientais aplicados em bacias hidrográficas*. 2. ed. Tupã: ANAP, 2016. p. 11-27.

DAOU, A. M. L. Na floresta da cidade: notas sobre experiências de mapeamentos participativos em contextos urbanos na Amazônia brasileira. *Revista NAU Social, Novas Rotas*, [S.l.], v. 6, n. 10, p. 133-150, maio/out. 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nausocial/article/view/31323>. Acesso em: 1 jul. 2021.

DAOU, A. M. L. Resenha crítica do livro: Cartografias sociais e território. ACSE-RALD, H. (org.). Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, 2008. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, [S.l.], v. 11, n. 1, maio 2009. Disponível em: <https://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/215>. Acesso em: 1 jul. 2021.

DIAS, A. P.; SOUZA, A. A. de; MAIA, A. B.; BERZINS, F. A. J. Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (Comperj): impactos socioambientais, violação de direitos e conflitos na Baía de Guanabara. *Revista Ética e Filosofia Política*, Juiz de Fora, UFJF, v. 1, n. 16, p. 151-175, jun. 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/eticaefilosofia/article/view/17707/9016>. Acesso em: 2 fev. 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). *Directrices voluntarias para lograr la sostenibilidad de la pesca en pequeña escala en el contexto de la seguridad alimentaria y la erradicación de la pobreza*. 2. ed. San Salvador: [s. n.], 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/cofi/42019-067220930ec966ce487c78770ac854ab5.pdf>. Acesso em: 1 jan. 2019.

FERNÁNDEZ, P. I. A.; BUCHROITHNER, M. F. Critical cartography in the context of post-modernism. In: FERNANDÉZ, P. I. A.; BUCHROITHNER, M. *Paradigms in cartography: an epistemological review of the 20th and 21st centuries*. London: Springer, 2014. p. 65-86.

FERREIRA, T. S. F. *Da paisagem ao território: a arte das garrafas de areia colorida e experiências de mapeamento social em Majorlândia/CE*. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

FOGLI, D. Cultures of participation in community informatics: a case study. In: DITTRICH, Y.; BURNETT, M.; MØRCH, A.; REDMILES, D. (ed.). *End-user development*. IS-EUD. 2013. Lecture Notes in Computer Science 7897. Berlin, Heidelberg: Springer. p. 201-206. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-642-38706-7_15. Acesso em: 1 jan. 2019.

FOUCAULT, M. *A arqueologia do saber*. 7. ed. Tradução de Luiz Felipe Baeta Neves. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2008.

FOX, J.; SURIANATA, K.; HERSHOK, P.; PRAMONO, A. H. O poder de mapear: efeitos paradoxais das tecnologias de informação espacial. In: ACSE-RALD, H.

(org.). *Cartografias sociais e território*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, 2008. p. 71-84. FREIRE, J.; VILLAR, D. O. Práticas cartográficas cotidianas em la cultura digital. *Razón y Palabra*, Quito, v. 15, n. 73, ago./oct., 2010. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199514908002>. Acesso em: 1 jan. 2019.

GEILFUS, F. *80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación*. San Salvador, El Salvador: Proyecto Regional IICA Holanda/Laderas, 2002.

GERHARDINGER, L. C. *et al.* Fishers' resource mapping and goliath grouper *Epinephelus itajara* (Serranidae) conservation in Brazil. *Neotropical Ichthyology*, [S.l.], v. 7, p. 93-102, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252009000100012>. Acesso em: 1 jan. 2019.

GERHARDINGER, L. C. *et al.* Mapeamento participativo da paisagem marinha no Brasil: experiências e perspectivas. In: ALBUQUERQUE, U. P.; LUCENA, R.; CUNHA, L. V. F. C. da. (org.). *Métodos e técnicas na pesquisa etnobiológica e etnoecológica*. Recife: NUPEEA, 2010. v. 1, p. 109-149.

GERHARDINGER, L. C.; FIGUEIRA, D. L.; WALTER, T. *Caracterização da pesca artesanal no entorno das Ilhas Cagarras: informações para a criação de unidade de conservação*. Relatório técnico apresentado à Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca, convênio N° 045/2007, 2009.

GOLDENBERG, M. *A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais*. 8. ed. Rio de Janeiro: Record, 2004.

GOODCHILD, M. F. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, [s. l.], n. 69, p. 211-221, 2007a.

GOODCHILD, M. F. Citizens as voluntary sensors: spatial data infrastructure in the world of web 2.0. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, Ispra, v. 2, p. 24-32, 2007b. Disponível em: <https://ijmdir.sadl.kuleuven.be/index.php/ijmdir/article/view/28>. Acesso em: 1 jan. 2019.

GOODCHILD, M. F. Commentary: whither VGI? *GeoJournal*, [s. l.], n. 72, p. 239-244, 2008.

GOODCHILD, M. F. Neogeography and the nature of geographic expertise. *Journal of Location Based Services*, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 82-96, 2009.

GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A. J. *Impactos socioambientais da implantação dos parques de energia eólica no Brasil*. Fortaleza: Edições UFC, 2019.

HARVEY, D. *A justiça social e a cidade*. Tradução de Armando Corrêa da Silva. São Paulo: Hucitec, 1980.

HARVEY, F. To volunteer or to contribute locational information? Towards truth in labeling for crowdsourced geographic information. In: SUI, D.; ELWOOD, S.; GOODCHILD, M. (ed.). *Crowdsourcing geographic knowledge: volunteered geographic information (VGI) in theory and practice*. London: Springer, 2013. p. 31-42. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-94-007-4587-2_3. Acesso em: 1 jan. 2019.

HERRERA, J. *Cartografia social*. Córdoba: Universidad Nacional Cordoba, 2009. Disponível em: <https://juanherrera.files.wordpress.com/2008/01/cartografia-social.pdf>. Acesso em: 1 jan. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). *Levantamento de dados da atividade pesqueira na Baía de Guanabara como subsídio para a avaliação de impactos ambientais e a gestão da pesca*. Rio de Janeiro: IBAMA, 2002. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/biblioteca/download/trabalhos_tecnicos/pub_2002_trab_levantamento_dados_atividades_pesqueira.pdf. Acesso em: 1 jan. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). *Localidades oleadas no litoral brasileiro, identificadas a partir de 30 de agosto de 2019*. IBAMA-Emergência Ambiental, NMI-CE, 19/3/2020. Escala gráfica. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/emergenciasambientais/2020/manchasdeoleo/2020-03-19_LOCALIDADES_AFETADAS.pdf. Acesso em: 3 mar. 2020.

INTERNATIONAL FUND FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT (IFAD). *Good practices in participatory mapping: a review prepared for the International Fund for Agricultural Development*. IFAD, 2009. Disponível em: https://www.ifad.org/documents/38714170/39144386/PM_web.pdf/7c1eda69-8205-4c31-8912-3c25d6f90055. Acesso em: 3 mar. 2020.

KARIMI, A.; BROWN, G. Assessing multiple approaches for modelling land-use conflict potential from participatory mapping data. *Land Use Policy*, [S.l.], v. 67, p. 253-267, 2017.

KÄYHKÖ, N. *et al.* The role of place-based local knowledge in supporting integrated coastal and marine spatial planning in Zanzibar, Tanzania. *Ocean and Coastal Management*, [S.l.], v. 177, p. 64-75, 2019.

- LAMIN-GUEDES, V. Consciência negra, justiça ambiental e sustentabilidade. *Sustentabilidade em Debate*, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 223-238, 2012. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/15525>. Acesso em: 3 mar. 2020.
- LEIS, M. O.; DEVILLERS, R.; MEDEIROS, R. P.; CHUENPAGDEE, R. Mapping fishers' perceptions of marine conservation in Brazil: an exploratory approach. *Ocean and Coastal Management*, [S.l.], v. 167, p. 32-41, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.09.017>. Acesso em: 3 mar. 2020.
- LEMMENS, M. Understanding Earth-related phenomena through maps. In: LEMMENS, M. *Geo-information: technologies, applications and the environment*. London; New York: Springer Netherlands, 2011.
- LEVINE, A. S.; FEINHOLZ, C. L. Participatory GIS to inform coral reef ecosystem management: mapping human coastal and ocean uses in Hawaii. *Applied Geography*, [S.l.] v. 59, p. 60-69, 2015.
- LIN, W. When web 2.0 meets public participation GIS (PPGIS): VGI and spaces of participatory mapping in China. In: SUI, D.; ELWOOD, S.; GOODCHILD, M. (org.). *Crowdsourcing geographic knowledge: volunteered geographic information (VGI) in theory and practice*. London: Springer, 2013. p. 83-103.
- LOBATÓN, S. B. Reflexiones sobre sistemas de información geográfica participativos (SIGP) y cartografía social. *Cuadernos de Geografía/Revista Colombiana de Geografía*, [S.l.] n. 18, p. 9-23, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/rcdg.n18.12798>. Acesso em: 3 mar. 2020.
- LYNCH, K. *A imagem da cidade*. São Paulo: Livraria Martins Fontes Editora, 1960.
- MARINHA DO BRASIL. Combate ao óleo. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/combate-ao-oleo/sobre>. Acesso em: 10 out. 2019.
- MEIRELES, A. J. A.; SOUZA, W. F.; LIMA, A. P. S. *Atlas socioambiental: cartografia social das comunidades de Icapuí*. Fortaleza: Fundação Brasil Cidadão, 2016.
- MOORE, S.A.; BROWN, G.; KOBRYN, H.; STRICKLAND-MUNRO, J. Identifying conflict potential in a coastal and marine environment using participatory mapping. *Journal of Environmental Management*, [S.l.] v. 197, p. 706-718, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.026>. Acesso em: 3 mar. 2020.
- MORETZ-SOHN, C. D. *et al.* Caracterização geoecológica da zona costeira submersa a partir da cartografia social: estudo de caso em Icapuí-CE. *Encontros Universitários da UFC*, Fortaleza, v. 1, n. 1, 2016. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/45373/1/2016_resumo_eve_cdmoretz.pdf. Acesso em: 3 mar. 2020.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). *NOAA shoreline assessment manual*. 4. ed. U.S. Dept. of Commerce. Seattle, WA: Emergency Response Division, Office of Response and Restoration, 2013. Disponível em: https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/manual_shore_assess_aug2013.pdf. Acesso em: 3 mar. 2020.

NEIS, P.; SINGLER, P.; ZIPF, A. Collaborative mapping and emergency routing for disaster logistics-casestudies from the Haiti earthquake and the UN portal for Afrika. *Geoinform. Forum Salzburg*, p. 239-248, 2010. Disponível em: <https://www.geog.uni-heidelberg.de/md/chemgeo/geog/gis/un-osm-emergency-routing.gi-forum2010.full.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2020.

PARKER, C. J. A framework of neogeography. In: PARKER, C. J. *The fundamentals of human factors design for volunteered geographic information*. New York: Springer, 2014. p. 11-22.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. (PETROBRAS). *Informações do estudo de impacto ambiental do terminal flexível de gás natural liquefeito na Baía de Guanabara*. Rio de Janeiro: Bourscheid S. A. Engenharia e Meio Ambiente, 2017. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8AF6052E409D494E0140A23BD10710D9>.

PNCSA. Projeto Nova Cartografia Social da Amazônia. Projeto de Pesquisa. Disponível em: <http://novacartografiasocial.com.br/>. Acesso em: 19 nov. 2018.

PRESTRELO, L.; VIANNA, M. Identifying multiple-use conflicts prior to marine spatial planning: a case study of a multi-legislative estuary in Brazil. *Marine Policy*, [S.l.], v. 67, p. 83-93, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.02.001>. Acesso em: 3 mar. 2020.

RAMBALDI, G.; McCALL, M.; KYEM, P. A. K.; WEINER, D. Participatory spatial information management and communication in development countries. *Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, [S.l.], v. 25, n. 1, p. 1-9, jun. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/j.1681-4835.2006.tb00162.x>. Acesso em: 3 mar. 2020.

RAULINO, S. F. Riscos, empregos, “desenvolvimento” e condições de vida: temor e consentimento nas representações de populações que sofrem efeitos de proximidade da Reduc. In: FÓRUM DOS ATINGIDOS PELA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO E PETROQUÍMICA NAS CERCANIAS DA BAÍA DE GUANABARA (org.). *50 anos da Refinaria de Duque de Caxias e a expansão da indústria petrolífera no Brasil: conflitos socioambientais no Rio de Janeiro e desafios para o país na era do pré-sal*. Rio de Janeiro: Heinrich Böll Stiftung, Fase-solidariedade e educação, 2013. p. 169-199.

Disponível em: <https://fase.org.br/wp-content/uploads/2016/08/50-Anos-da-refinaria-de-Caxias-RJ-e-a-Expans%C3%A3o-Petrol%C3%ADfero-no-Brasil.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2021.

RIBEIRO, J. C.; LIMA, L. B. Mapas colaborativos digitais e (novas) representações sociais do território: uma relação possível. *Ciberlegenda - Revista Eletrônica da Pós-Graduação em Comunicação da Universidade Federal Fluminense*, Niterói, n. 25, p. 38-47, 2011. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/ciberlegenda/article/download/36882/21456>. Acesso em: 3 mar. 2020.

RIO DE JANEIRO (Estado). Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro. Dossiê do presidente da Comissão Especial. In: RELATÓRIO da Comissão Especial da Baía de Guanabara. Rio de Janeiro: ALERJ, 2016. Cap. 5.1, p. 65-281. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0BzH9dHAzOI6lZ2o1Z25jY216cUFxc11E-X1UtWUhGbHVMdWfV/view>. Acesso em: 2 jul. 2016.

SANTOS, M. *O espaço do cidadão*. São Paulo: Nobel, 1987.

SEEMANN, J. A. Cartografia do cotidiano, mapas não convencionais e um atlas de narrativas. *Geograficidade*, [S.l.], v. 1, n. 1, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/geograficidade2011.11.a12812>. Acesso em: 03 mar. 2020.

SEEMANN, J. A. Histórias da cartografia, imersão em mapas e carto-falas: métodos para estudar culturas cartográficas. In: CAZETTA, V.; OLIVEIRA JÚNIOR, W. M. de (org.). *Grafias do espaço: imagens da educação geográfica contemporânea*. Campinas: Editora Alínea, 2013.

SILVA, C. N. da; VERBICARO, C. C. O mapeamento participativo como metodologia de análise do território. *Scientia Plena*, [S.l.], v. 12, n. 6, 2016. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/3140/0>. Acesso em: 3 mar. 2020.

SILVA, S. M. Diagnóstico das Restingas no Brasil. Agência Nacional de Petróleo. Disponível em: http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round7/round7/guias_r7/PERFURACAO_R7/refere/Restingas.pdf. Acesso em: 1 maio 2013.

SOARES, D. G. *Conflito, ação coletiva e luta por direitos na Baía de Guanabara*. 2012. 168 f. Tese (Doutorado em Sociologia e Antropologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SOARES, M. de O. *et al.* Oil spill in South Atlantic (Brazil): environmental and governmental disaster. *Marine Policy*, [S.l.], v. 115, p. 103.879, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103879>. Acesso em: 3 mar. 2020.

SOJA, E. W. The city and spatial justice. *Justice spatiale*, n. 1, p. 1-5, 2009. Paper prepared for presentation at the conference Spatial Justice, Nanterre, Paris, March

12-14, 2008. Disponível em: <http://www.jssj.org/article/la-ville-et-la-justice-spatiale>. Acesso em: 3 mar. 2020.

SOUTO, R. D. Estudo de caso: o óleo no mar brasileiro. Governança ambiental participativa e justiça social: uso do mapeamento participativo como ferramenta para análise do derrame de petróleo na costa brasileira em 2019. In: GERHARDINGER, L. C.; GUARDA, A. B. da (org.). *Horizonte oceânico brasileiro: síntese para tomadores de decisão*. Instituto Costa Brasilis - Desenvolvimento Socioambiental, [S.l.], 2020a. v. 1, p. 51-57.

SOUTO, R. D. Estudo de caso: governança ambiental participativa e justiça social: uso do mapeamento participativo como ferramenta para análise do derrame de petróleo na costa brasileira em 2019-2020. In: GERHARDINGER, L.C.; GUARDA, A.B. da (org.). *Horizonte oceânico brasileiro: ampliando o horizonte da governança inclusiva para o desenvolvimento sustentável do oceano brasileiro*. Instituto Costa Brasilis - Desenvolvimento Socioambiental, [S.l.], 2020b. v. 1, p. 201-233.

SOUTO, R. D. Mapeamento participativo como ferramenta para conhecer a qualidade ambiental da Zona Costeira. In: SOUTO, R. D. (org.). *Gestão ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas: conceitos e práticas*. Rio de Janeiro: Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável - IVIDES.org, 2020c. v. 1, p. 131-152.

SOUZA, V. A.; FREITAS, D. M. Mapeamento participativo como ferramenta para a gestão da pesca de emalhe no litoral centro-sul de São Paulo. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, [S.l.] v. 44, edição especial (X Encontro Nacional de Gerenciamento Costeiro), p. 164-182, fev. 2018. Sistema eletrônico de revistas. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/dma.v44i0.54889>. Acesso em: 3 mar. 2020.

STRICKLAND-MUNRO, J.; KOBRYN, H.; BROWN, G.; MOORE, S.A. Marine spatial planning for the future: using public participation GIS (PPGIS) to inform the human dimension for large marine parks. *Marine Policy*, [S.l.], v. 73, p. 15-26, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.07.011>. Acesso em: 3 mar. 2020.

SUMADIO, W. *et al.* Participatory mapping of hydro-meteorological hazard-prone locations. The International Conference of Science and Applied Geography. IOP Con. Ser. *Earth Environ. Sci.*, [S.l.], v. 561, p. 012006, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/561/1/012006>. Acesso em: 3 mar. 2020.

TORRES, I. V.; GAONA, S. R.; CORREDOR, D. V. Cartografía social como metodología participativa y colaborativa de investigación en el territorio afrodescendiente de la cuenca alta del río Cauca. *Cuadernos de Geografía/Revista Colombiana*

de Geografia, [S.l.], v. 21, n. 2, p. 59-73, jul./dic. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v21n2.25774>. Acesso em: 3 mar. 2020.

TUDA, A. O.; STEVENS, T. F.; RODWELL, L. D. Resolving coastal conflicts using marine spatial planning. *Journal of Environmental Management*, [S.l.], v. 133, p. 59-68, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.029>. Acesso em: 3 mar. 2020.

TULLOCH, D. L. Is VGI participation? From vernal pools to videogames. *GeoJournal*, [S.l.], [s. l.], n. 72, p. 161-171, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10708-008-9185-1>. Acesso em: 3 mar. 2020.

VAUGHAN, L. *Mapping society: the spatial dimension of social cartography*. London: UCL Press, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.14324/111.9781787353053>. Acesso em: 3 mar. 2020.

VIANNA JÚNIOR, A. Mapas e identidades: o reencantamento da cartografia. *Le Monde Diplomatique Brasil*, Brasília, ano 2, n. 23, jun. 2009. Disponível em: <https://diplomatique.org.br/o-reencantamento-da-cartografia>. Acesso em: 1 jun. 2013.

VIÉGAS, R. N.; ACSELRAD, H. Cartografias sociais e território – um diálogo latino-americano. In: ACSELRAD, H. (org.). *Cartografia social, terra e território*. Rio de Janeiro: IPPUR/UFRJ, 2013.

SOBRE OS ORGANIZADORES



**Prof. Dr. Paulo Márcio Leal de Menezes
(Organizador)**

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório de Cartografia – GeoCart
<http://www.geocart.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/6967504648901128>
Orcid: 0000-0001-7049-7081

Engenheiro militar, pela Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN, 1969); engenheiro de Geodésia e Topografia (cartógrafo) pelo Instituto Militar de Engenharia (IME, 1977); mestre em Ciências (Sistemas e Computação) (IME, 1987) e doutor em Ciências (Geografia) pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, 2000). Professor associado do Departamento de Geografia da UFRJ, onde é coordenador do Laboratório de Cartografia – GeoCart desde 1995. Tem ampla experiência na área de Geociências, atuando principalmente nas seguintes áreas: Cartografia básica, temática e digital, Geodésia, ajustamento de observações, Sensoriamento Remoto, geoprocessamento, modelagem e impressão 3D, Cartografia Histórica e nomes geográficos (Toponímia). Membro da Sociedade Brasileira de Cartografia (SBC). Vice-presidente da Associação Cartográfica Internacional (ICA/ACI, 2011-2015). *Vice-chair* da Comissão Conjunta ICA/UGI em Toponímia.



**Prof. Dr. Manoel do Couto Fernandes
(Organizador)**

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório de Cartografia – GeoCart
<http://www.geocart.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/7728389320504879>
Orcid: 0000-0002-4500-0624

Professor associado do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), onde é vice-coordenador do Laboratório de Cartografia – GeoCart. Atua nas áreas de ensino, administrativa e de extensão da UFRJ. Pesquisador Nível 2 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Pós-doutorado na Universidade de Wolverhampton (Reino Unido) e doutor em Ciências (Geografia) pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ. Desenvolve pesquisas na área de Geociências, com ênfase em Cartografia, Geoecologia e GIScience, orientando alunos de iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doutorado. Em suas atividades profissionais e de pesquisa, interage com vários colaboradores em coautorias de trabalhos científicos nas áreas de Geoecologia, Cartografia, Cartografia Histórica, GIScience e Geomorfologia.



Prof.ª Dr.ª Carla Bernadete Madureira Cruz (Organizadora)

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais

<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>

<http://lattes.cnpq.br/9528610534584200>

Orcid: 0000-0002-3903-3147

Doutora em Ciências (Geografia) pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); mestra em Ciências (Sistemas e Computação) pelo Instituto Militar de Engenharia (IME); engenheira cartógrafa pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Especialista em Sensoriamento Remoto, geoprocessamento e Cartografia, com linhas de pesquisa voltadas ao desenvolvimento de métodos para classificação digital de diferentes ecossistemas e análise espacial de fenômenos. Professora titular do Departamento de Geografia da UFRJ, onde é coordenadora do Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais. Pesquisadora Nível 1D do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).



**Prof. Dr. Luiz Henrique G. Castiglione
(Prefaciador)**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Departamento de Engenharia Cartográfica
<http://www.eng.UERJ.br/prof/173>
<http://lattes.cnpq.br/4955500745605533>
Orcid: 0000-0002-9771-5998

Engenheiro cartógrafo formado pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), em 1979; doutor em Ciências (Ciência da Informação) pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT); e mestre em Ciências (Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais) pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE/IBGE), com trabalhos de mestrado e doutorado sobre a epistemologia das geoinformações. Sua tese de doutorado, intitulada “Epistemologia da Geoinformação: uma análise histórico-crítica”, obteve o primeiro lugar do Prêmio Ancib 2010, da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Ciência da Informação, na categoria Tese de Doutorado. Como engenheiro, atuou por cerca de 20 anos como gestor de produção geoinformacional (anos de 1980 e 1990); e atua desde o ano 2000 como consultor na aplicação de geoinformações em estudos e projetos nas áreas de Engenharia Civil e mineração, entre outras. Como professor, atua há mais de 38 anos na Faculdade de Engenharia da UERJ, lecionando nos cursos de Engenharia Cartográfica, Geografia e Engenharia. Atualmente, concilia as atividades didáticas com a coordenação de graduação do Departamento de Engenharia Cartográfica. Seus interesses de pesquisa concentram-se nas questões que envolvem a História e a construção do

SOBRE OS AUTORES



Beatriz Ambrosio Garcia de Oliveira

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais
<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/8647243719783845>
Orcid: 0000-0002-6264-4771

Graduanda em Ciências Matemáticas e da Terra, na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com ênfase em Sensoriamento Remoto e geoprocessamento; patrimônio natural e Ciências da Terra. Integra o Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, da UFRJ.



Beatriz da Silva Feitoza Santana

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais
<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/2454911309334882>
Orcid: 0000-0002-2696-7805

Graduanda em Geografia, na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Integra o Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, da UFRJ, participando de pesquisas com ênfase em análises espaciais e geoprocessamento.



Caio de Lima Boa Morte

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais
<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/0573898664743835>
Orcid: 0000-0001-5777-7927

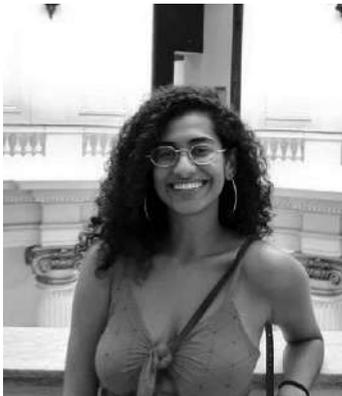
Graduando em Geografia na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Tem experiência na área de Geociências, com trabalhos realizados nas áreas da Geomorfologia, geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, tendo sido orientado pela Prof.^a Dr.^a Ana Luiza Coelho Netto, coordenadora do Laboratório de GeoHidroEcologia (GEOHECO-UFRJ). Atualmente, desenvolve pesquisa sob orientação do Prof. Dr. Rafael Silva de Barros, sendo integrante do Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, da UFRJ.



Carla Ramôa Chaves

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório de Cartografia – GeoCart
<http://www.geocart.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/1697629109600880>
Orcid: 0000-0002-4425-0277

Doutora, mestra e bacharela em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). No âmbito acadêmico, possui experiência em métodos participativos para elaboração de mapas sociais. Seu projeto de pesquisa de doutorado insere-se na temática “identidade socioespacial”. Atua e interessa-se pelos seguintes temas: Geografia, discurso do mapa, percepção ambiental, saber local, empoderamento de comunidades tradicionais, terras tradicionalmente ocupadas, reconhecimento territorial, Cartografia Social, justiça ambiental.



Clara Costa Paolino

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais

<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>

<http://lattes.cnpq.br/3889702795335854>

Orcid: 0000-0003-2431-9377

Bacharelanda em Geografia na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Integra o Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, da UFRJ, realizando pesquisas com ênfase em análises espaciais, geoprocessamento e sistemas de informações geográficas.



Danielle Pereira Cintra

Universidade Federal Fluminense
Laboratório de Geotecnologias (Lageot)

<http://atlasnf.sites2.uff.br/>

<http://lattes.cnpq.br/7972726461644436>

Orcid: 0000-0003-3966-7956

Bióloga pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ, 2003); mestra em Ciências (Ciências Ambientais e Florestais) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ, 2007); e doutora em Ciências (Geografia) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, 2015). Atualmente, é professora adjunta do Departamento de Geografia de Campos (GRC) da Universidade Federal Fluminense (UFF, *campus* Campos dos Goytacazes). Atua na área de Geociências, com ênfase em Cartografia, geoprocessamento e Sensoriamento Remoto aplicado à análise da paisagem e também na aplicação de geotecnologias no ensino de Geografia. Integra o Laboratório de Geotecnologias da UFF Campos (Lageot); e coordena o projeto “Atlas Socioeconômico do Norte Fluminense”, que vem monitorando a COVID-19 nas mesorregiões geográficas Norte e Noroeste Fluminense..



Danylo Mendonça Magalhães

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais

<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>

<http://lattes.cnpq.br/3425546825079389>

Orcid: 0000-0003-1572-7029

Bacharelado em Geografia na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), técnico em Meio Ambiente pelo Colégio Pedro II. Integra o Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, da UFRJ, participando de pesquisas com ênfase na Amazônia, em estudos ambientais, análises espaciais e geoprocessamento.



Diego Vicente Sperle da Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais

<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>

<http://lattes.cnpq.br/0077322835566240>

Orcid: 0000-0003-0036-0463

Graduado e mestre em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Graduado em Geologia pela mesma universidade. Especialista em educação ambiental. Atualmente, cursa o doutorado em Geografia no Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG-UFRJ). Integra o Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, da UFRJ. Tem experiência em Sensoriamento Remoto e geoprocessamento, trabalhando com Cartografia de paisagens no semiárido brasileiro, com base em sensores remotos e modelagem do conhecimento geossistêmica.



Elizabeth Maria Feitosa da Rocha de Souza

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais

<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>

<http://lattes.cnpq.br/6844014468187379>

Orcid: 0000-0002-2672-8169

Doutora em Geografia pela Universidade Federal Fluminense (UFF); mestra e bacharela em Geografia, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Especialista em Sensoriamento Remoto e geoprocessamento, com orientação de pesquisas voltadas à análise urbana e consequente pressão sobre os recursos naturais. Atualmente, é professora no Departamento de Geografia da UFRJ e coordenadora de graduação, com pós-doutorado em Geotecnologias. Integra, como professora permanente, o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG-UFRJ) e a equipe de professores responsáveis pelo laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, da mesma universidade. É responsável pela linha de pesquisa em análise urbana e pressão antrópica com uso de geoinformação.



Felipe Gonçalves Amaral

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais
<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/1512156025294249>
Orcid: 0000-0003-0183-8430

Doutorando em Geografia na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); mestre em Ciências (Geografia) pela UFRJ; especialista em Gestão Ambiental pela Universidade Cândido Mendes (UCAM); bacharel em Geografia pela UFRJ; e bacharel em Ciências Matemáticas e da Terra, também pela UFRJ. É pesquisador e colaborador de projetos do Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, da UFRJ. Atua e tem experiência nas linhas de pesquisa ligadas à dinâmica da paisagem, ao uso das geotecnologias na análise ambiental e urbana e ainda, ao Sensoriamento Remoto aplicado.



Fernando de Souza Antunes

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório de Cartografia – GeoCart
<http://www.geocart.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/1116319308384680>
Orcid: 0000-0002-8903-3145

Bacharel e licenciado em Geografia, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Atuou como professor substituto no Departamento de Geografia da UFRJ. É mestre e doutorando em Geografia (Planejamento e Gestão Ambiental), pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG-UFRJ). Desde 2013, é pesquisador associado ao Laboratório de Cartografia – GeoCart, da UFRJ, atuando principalmente com Cartografia, geotecnologias e Cartografia Histórica, aplicadas à Geoecologia e à organização do território.



Gustavo Mota de Sousa

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Laboratório Integrado de Geografia Física Aplicada
(LiGA)

<http://liga.ufrj.br/>

<http://lattes.cnpq.br/3554715201484937>

Orcid: 0000-0002-5932-8153

Geógrafo pela Universidade Federal Fluminense (UFF), com mestrado e doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGG-UFRJ). Professor associado s em Cartografia, do Departamento de Geografia, nos cursos de graduação em Geografia e Geologia, além do curso de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Realiza pesquisas como coordenador do Laboratório integrado de Geografia Física Aplicada (LiGA), da mesma universidade; pesquisador associado do Laboratório de Cartografia – GeoCart, da UFRJ; e do Laboratório de Dimensões Sociais Aplicadas à Atividade Física (Labsafe), da UFRRJ. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em geoprocessamento, Cartografia, Sensoriamento Remoto, Geoecologia, Geomorfologia e construção de materiais didático



Julia Silva de Queiroz Lourenço Vaz

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais
<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/4312133948591542>
Orcid: 0000-0002-3029-210X

Geógrafa (2011) e mestra em Geografia (2016) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Possui especialização em Dinâmicas Urbano Ambientais e Gestão do Território (2014) pela Faculdade de Formação de Professores da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (FFP-UERJ). Atualmente, é colaboradora em projetos de pesquisa no Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, da UFRJ; e doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia da mesma instituição. Atua na área de sensoriamento remoto e geoprocessamento, com ênfase na classificação de imagens de satélite por meio de Geobia e análise espacial de áreas urbanas.



Kairo da Silva Santos

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório de Cartografia – GeoCart
<http://www.geocart.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/6334060033902630>
Orcid: 0000-0001-5606-2727

Professor de Geografia da rede municipal de ensino de Araruama, RJ (Prefeitura Municipal de Araruama). É doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) da UFRJ e mestre em Ciências (Geografia) pela mesma instituição. É integrante e colaborador no Laboratório de Cartografia – GeoCart, da UFRJ. Desenvolve trabalhos nas áreas de Cartografia Histórica, Toponímia, Ensino de Cartografia e Geografia Histórica.



Luiz Felipe Salomon Guaycuru de Carvalho

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais
<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/0927383562928257>
Orcid: 0000-0001-6430-7114

Graduado em Engenharia Naval e Mestre em Geografia pela UFRJ. Durante a pesquisa de mestrado, desenvolveu uma interpretação de modelos tridimensionais de áreas urbanas litorâneas, especificamente no centro periférico da cidade do Rio de Janeiro, através de uma revisão das tecnologias de Sensoriamento Remoto mais aderentes ao meio urbano e um método de associação e reconhecimento de forma de feições relevantes para a paisagem aplicada à navegação marítima, costeira e portuária. Atua profissionalmente na área de ensino e pesquisa, no gerenciamento do desenvolvimento de simuladores de manobra para navegação, em que os resultados da pesquisa são eventualmente testados e aplicados.



Paula Maria Moura de Almeida

Universidade Federal Fluminense
Laboratório de Geografia Física (LAGEF)
<http://dgp.cnpq.br/dgp/espelho-grupo/8312105324757321>
<http://lattes.cnpq.br/5591604669690422>
Orcid: 0000-0003-1575-3366

Doutora em Ciências (Ciências Ambientais), pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Oceanógrafa pela mesma instituição e mestra em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Especialista em Sensoriamento Remoto e geoprocessamento, com linhas de pesquisa voltadas ao desenvolvimento de métodos multidisciplinares para classificação e análise de ecossistemas costeiros. Atualmente, é professora adjunta na Universidade Federal Fluminense (UFF), integrando ainda, o Laboratório de Geografia Física Aplicada (LAGEF).



Rafael Silva de Barros

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais

<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>

<http://lattes.cnpq.br/6435388540998471>

Orcid: 0000-0002-9262-937X

Possui graduação (bacharelado e licenciatura) em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, 1999), mestrado em Geografia (2002) e doutorado em Geografia (2006) pela mesma universidade. Atualmente, é professor associado da UFRJ, onde é vice-coordenador do Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais. Atua nos cursos de pós-graduação em Geografia (PPGG-UFRJ) e de graduação (bacharelado e licenciatura) em Geografia e no bacharelado em Ciências Matemáticas e da Terra (BCMT-UFRJ). Desenvolve pesquisas na área de Geociências, com ênfase em geoinformação, com destaque para Sensoriamento Remoto orbital e aéreo (VANT/drone) e geoprocessamento.



Raquel Dezidério Souto

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório de Cartografia – GeoCart
<http://www.geocart.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/7537888802683724>
Orcid: 0000-0001-9957-4650

Pós-doutoranda pelo Programa Nacional de Pós-Doutorado (PNPD-Capes). Atualmente, desenvolve pesquisa sobre mapeamento participativo e qualidade ambiental das zonas costeira e marinha do Brasil, junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGG-UFRJ). Doutora em Ciências (Geografia) pelo mesmo programa. Mestra em Estudos Populacionais e Pesquisas Sociais pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE-IBGE.). Bacharela em Oceanografia pela Faculdade de Oceanografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (FAOC-UERJ). Organizou, editou e lançou a primeira série literária no Brasil em gestão ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas (<http://livro.ivides.org>).



Raúl Sánchez Vicens

Universidade Federal Fluminense
Laboratório de Geografia Física (LAGEF)
<http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/8312105324757321>
<http://lattes.cnpq.br/8745326804306646>
Orcid: 0000-0002-4429-806X

Geógrafo pela Universidade de Havana, Cuba (1991); mestre em Geografia (1997) e doutor em Geografia (2003) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Atualmente, é professor associado da Universidade Federal Fluminense (UFF). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto. Suas principais linhas de pesquisa são: monitoramento das mudanças no uso e cobertura da terra; dinâmica, evolução e estabilidade da paisagem; e modelagem de paisagem.



Rita Maria Cupertino Bastos

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais

<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>

<http://lattes.cnpq.br/7566309664729594>

Orcid: 0000-0001-6107-1636

Bacharela e mestranda em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Colaboradora em projetos de pesquisa no Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, da UFRJ, sob a orientação da Prof.^a Dr.^a Carla Bernadete Madureira Cruz.



Rodrigo Gomes da Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais

<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>

<http://lattes.cnpq.br/0647036668140081>

Orcid: 0000-0002-1614-5656

Bacharelado em Geografia na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), participa de pesquisas no Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, da UFRJ, com ênfase em análises espaciais e geoprocessamento.



Rômulo Weckmüller

Universidade Federal Fluminense
Laboratório de Geografia Física (LAGEF)
<http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/8312105324757321>
<http://lattes.cnpq.br/6674481474470901>
Orcid: 0000-0002-8599-7211

Doutor em Geografia pela Universidade Federal Fluminense (UFF), com ênfase na linha de Ordenamento Ambiental (UFF, 2018). Desde 2010, atua como pesquisador associado ao Laboratório de Geografia Física (LAGEF-UFF). Tem experiência em educação e na área de geotecnologias, com ênfase em sensoriamento remoto, detecção de mudanças na paisagem e análise de séries temporais.



Sara Lemos Alves Braga

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório de Cartografia – GeoCart
<http://www.geocart.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/9359118310552723>
Orcid: 0000-0003-1912-0398

Geógrafa e mestra em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Atualmente, cursa licenciatura em Geografia na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e especialização em Análise Ambiental e Gestão do Território, na Escola Nacional de Ciências Estatísticas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (ENCE-IBGE). É associada ao Laboratório de Cartografia da UFRJ – GeoCart, participando do Observatório do Mapeamento Participativo. Possui experiência na área de Educação, meio ambiente e Cartografia temática; e, ainda, desenvolve pesquisas sobre mapeamento participativo e colaborativo.



Tainá Laeta

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Laboratório de Cartografia – GeoCart

<http://www.geocart.igeo.ufrj.br/>

<http://lattes.cnpq.br/8523267137545220>

Orcid: 0000-0003-1607-5640

Doutora em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGG-UFRJ), com realização de doutorado-sanduíche na Universidade do Porto (Portugal). Mestre em Engenharia Cartográfica pelo Instituto Militar de Engenharia (IME). Bacharela e licenciada em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Cartografia, atuando principalmente nos seguintes temas: Cartografia Histórica, Cartografia temática, geoprocessamento e Geoecologia. Integrante do Laboratório de Cartografia – GeoCart-UFRJ desde 2012. Também possui experiência na área de Climatologia Geográfica, com destaque para os temas de clima urbano, ilha de calor e baixada de Jacarepaguá (RJ). Integrou o Laboratório de Climatologia Geográfica (Climageo/UFRJ) no período de 2006 a 2011.



Tatiana de Sá Freire Ferreira

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Laboratório de Cartografia – GeoCart

<http://www.geocart.igeo.ufrj.br/>

<http://lattes.cnpq.br/4846035949697822>

Orcid: 0000-0002-6951-5489

Doutoranda e Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia - PPGG/UFRJ. É especialista em Análise Ambiental e Gestão do Território pela ENCE/IBGE, bacharel e licenciada em Geografia e bacharel em Composição de Interior pela UFRJ. Pesquisadora colaboradora do Laboratório de Cartografia - GeoCart/UFRJ e do Laboratório de Sensoriamento Remoto por Radar Aplicado à Indústria do Petróleo - LabSAR/LAMCE/

COPPETEC/UFRJ. Atua na área de Mapeamento Participativo/Cartografia Social e em Estudos Ambientais. Participa do Observatório do Mapeamento Participativo, desenvolvido pelo GeoCart/UFRJ e pelo Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável – IVIDES.org.



Ursula Borges dos Santos Lima

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório de Cartografia – GeoCart
<http://www.geocart.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/3414779674465841>
Orcid: 0000-0002-7717-5226

Graduanda em Licenciatura em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Integra o Laboratório de Cartografia da UFRJ – GeoCart, com pesquisa voltada para Cartografia, Geoprocessamento, Rede de Drenagem e Dinâmica da Paisagem, com foco nas alterações no curso dos rios e sua relação com eventos de inundações na cidade de Petrópolis/RJ.



Vandr e Soares Viégas

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e
Estudos Ambientais
<http://www.espaco.igeo.ufrj.br/>
<http://lattes.cnpq.br/1161818698080061>
Orcid: 0000-0002-2880-8314

Doutorando em Geografia na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre em Geografia e bacharel em Ciências Matemáticas e da Terra pela mesma universidade. Possui ainda, habilita o em Sensoriamento Remoto e geoprocessamento. Integra o Laboratório ESPAÇO de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, da UFRJ.

“O mapa é o maior de todos os poemas épicos. Suas linhas e cores mostram a realização de grandes sonhos”

Gilbert H. Grosvenor, National Geographic magazine’s editor



A inteligência espacial está relacionada à capacidade de pensar visualmente, unindo posicionamento, geometrias e contexto. Esta habilidade acompanhou a história da nossa civilização e veio se potencializando com a evolução geotecnológica. Este livro nos remete a uma viagem sobre as cartografias do ontem, hoje e amanhã.

“O meu destino já não é um lugar, mas sim uma nova forma de ver”

Marcel Proust

