



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO**

UFRJ

Escola Politécnica – Poli/UFRJ

ENGENHARIA AMBIENTAL

TRABALHO FINAL DE GRADUAÇÃO

**Integrando Água e Planejamento Urbano - Um estudo sobre intervenções
mitigadoras de enchentes na Grande Tijuca**

MARINA DE ABREU AZEVEDO

Rio de Janeiro

Março de 2015



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

**INTEGRANDO ÁGUA E PLANEJAMENTO URBANO – UM ESTUDO SOBRE
INTERVENÇÕES MITIGADORAS DE ENCHENTES NA GRANDE TIJUCA**

Marina de Abreu Azevedo

Orientador: Prof^a. Dr^a. Rosane Martins Alves

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Engenharia Ambiental.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Março de 2015

**INTEGRANDO ÁGUA E PLANEJAMENTO URBANO:
UM ESTUDO SOBRE INTERVENÇÕES MITIGADORAS DE ENCHENTES
NA GRANDE TIJUCA**

Marina de Abreu Azevedo

PROJETO DE GRADUAÇÃO APRESENTADO AO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRA AMBIENTAL.

Examinada por:

Prof^a. Rosane Martins Alves, D.Sc. (Orientadora)

Prof^a. Heloisa Teixeira Firmo, D.Sc.

Prof^a. Angela Maria Gabriella Rossi, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – BRASIL

MARÇO de 2015

Azevedo, Marina de Abreu

Integrando Água e Planejamento Urbano: Um estudo sobre intervenções mitigadoras de enchentes na Grande Tijuca/ Marina de Abreu Azevedo. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015.

XIV, (117) p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Rosane Martins Alves

Projeto de Graduação – UFRJ/ POLI/ Engenharia Ambiental, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 124-128.

1. Gestão das Águas e Planejamento Ambiental Urbano. 2. Medidas de Intervenções para o Controle de Inundações na Grande Tijuca.

I. Alves, Rosane Martins. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é, de fato, um momento importante na finalização de uma pesquisa como esta, pois ao longo de sua realização muitos contribuíram. Este trabalho é especialmente importante para mim, ele representa o final do ciclo acadêmico mais importante da minha vida e, por sua vez, não dizer, de uma fase maravilhosa que permanecerá em memória por todas as futuras fases.

A minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Rosane Alves, por seu exemplo de competência, dedicação e conhecimento generosamente compartilhados que se transformaram num extraordinário estímulo. Os resultados desse trabalho mostram o verdadeiro valor de suas indicações.

Ao Eng^o. Paulo Luiz Fonseca, da Fundação Rio-Águas pela sua valiosa contribuição nos acompanhando na visita de campo aos dois reservatórios (o da Praça da Bandeira e da Praça Niterói), por suas explicações quanto ao funcionamento do projeto como um todo e pela disponibilização de material teórico, que serviu de base para compor dados e informações necessárias para a realização deste trabalho.

Aos meus professores de graduação que me acolheram, e dedicam suas vidas a nos tornarem melhores profissionais e pessoas. Aos funcionários da UFRJ, pela cordialidade e prontidão que sempre me atenderam. Aos meus colegas de turma pela energia e coragem, por viverem essa experiência ao meu lado e tornarem tudo muito mais proveitoso.

A Tereza Cristina de Abreu, que com um olhar de tia, repleto de tanto carinho e atenção, viu o que meus olhos não eram mais capazes de enxergar. Por seu apoio e confiança.

A meus pais, por me darem a vida, um lar, estímulo aos meus sonhos e um amor impossível de ser medido. Aos meus irmãos, por serem os primeiros a me ensinar o prazer de se compartilhar. A Luzia Maria dos Santos, que cuida incansavelmente da minha família e trouxe muito mais leveza a essa jornada. Aos meus lindos amigos, que me tornam uma pessoa muito mais feliz e viva, pelo simples fato de existirem.

A todos que tornam meu mundo único e mais intenso.

Ao meu Deus, pela vida, saúde e oportunidades sempre ofertadas.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenharia Ambiental.

Integrando Água e Planejamento Urbano:

Um estudo sobre intervenções mitigadoras de enchentes na Grande Tijuca

Marina de Abreu Azevedo

Março/ 2015

Orientadora: Rosane Martins Alves

Curso: Engenharia Ambiental

Tratando-se de enchentes não é possível excluir críticas ao mau planejamento urbano e à urbanização descontrolada vivenciados no Brasil. Tais temas se encontram vinculados e são influência direta a uma problemática, que somatizada às questões de mudanças climáticas, vem se intensificando ainda mais nos últimos anos. A ocupação das bacias hidrográficas tem ocorrido de forma intensa e desordenada, com usos inadequados do solo e da água. O presente trabalho irá abordar tais questões focando no cenário correspondente a área da Grande Tijuca, que apresenta um histórico recorrente de cheias ao longo dos anos. O projeto dos reservatórios subterrâneos, atualmente sendo implementados pela Prefeitura do Rio de Janeiro na região, será abordado no quesito medida mitigadora aplicada. A área de estudo corresponde à Bacia do Canal do Mangue, uma mais antigas e problemáticas da cidade. Buscou-se, através de pesquisa bibliográfica e outras fontes, identificar a evolução do desenvolvimento urbano desvinculado do devido planejamento, de forma a elucidar origens dos problemas atuais da bacia e apresentar medidas mitigadoras. Esse estudo pretende servir de base e fornecer uma contribuição para intervenções em bacias hidrográficas urbanas e áreas com problemas afins.

Palavras-chave: Planejamento Urbano, Controle de Enchentes, Grande Tijuca, Reservatórios Subterrâneos.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/ UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Environmental Engineer.

Integrating Water and Urban Planning:

A study about floods' mitigation interventions on Grande Tijuca

Marina de Abreu Azevedo

March/ 2015

Advisor: Rosane Martins Alves

Course: Environmental Engineering

When the topic in discussion are floods, is not possible to keep it apart from questions like bad urban planning and the uncontrolled urbanization process lived in Brazil for centuries. Those questions present a direct influence over the floods problems, that somatized with the climate changes, have become even more intense in the past few years. The watersheds occupation happened in an intense and disordered way over the years, exploring inappropriately our natural resources like water and soil. The Canal do Mangue' watershed represents the study area of this report and is one of the oldest and most problematic regions of Rio de Janeiro' city. Through bibliographic research and other sources, this paper aims to identify how urban development succeeded in a detached way from planning, leaving to the current problems that floods have become on the Grande Tijuca region, located on Canal do Mangue' watershed. Besides, it will introduce the Underground Storage Pools Project that the mailer is currently building as mitigation measure to the floods. The report intends to serve as contribution to other similar interventions applied on urban' watersheds and areas with similar problems.

Keywords: Urban Planning, Flood' Control, Grande Tijuca, Underground Storage Pools.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	
1.1. Considerações iniciais-o problema do controle de enchentes e a Engenharia Ambiental.....	16
1.2. Objetivo.....	18
1.3. Justificativa.....	18
1.4. Metodologia.....	19
1.5. Estrutura do trabalho.....	19
2. O DESAFIO DO PLANEJAMENTO URBANO NAS CIDADES	21
2.1. Planejamento e desenvolvimento urbano.....	21
2.2. Trajetória do planejamento urbano no Brasil – Da colônia ao modelo contemporâneo.....	23
3. BACIA HIDROGRÁFICA, INUNDAÇÕES E URBANIZAÇÃO.....	28
3.1 Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento e gestão.....	28
<u>3.1.1. Hidrogramas.....</u>	<u>30</u>
3.2. Urbanização e as inundações.....	34
3.3. Enchentes Históricas na cidade do Rio de Janeiro.....	41
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E LEGISLAÇÃO APLICADA.....	48
4.1. Ciclo hidrológico e drenagem urbana.....	48
4.2. Medidas de controle de enchentes.....	53
<u>4.2.1. Medidas estruturais.....</u>	<u>53</u>
<u>4.2.2. Medidas não-estruturais.....</u>	<u>55</u>
4.3. Técnicas compensatórias em drenagem urbana.....	61
4.4. Paisagens multifuncionais – drenagem urbana sustentável.....	69
4.5. Legislação aplicada e o plano diretor de drenagem.....	75

5. MEDIDAS DE INTERVENÇÃO PARA O CONTROLE DE INUNDAÇÕES NA GRANDE TIJUCA.....	80
5.1. Localização da área de estudo e caracterização física da bacia.....	80
<u>5.1.1. Apresentação.....</u>	<u>81</u>
<u>5.1.2. Caracterização física da bacia.....</u>	<u>82</u>
<u>5.1.3. Caracterização antrópica.....</u>	<u>88</u>
<u>5.1.4. Caracterização dos corpos hídricos.....</u>	<u>95</u>
<u>5.1.5. Identificação das áreas de inundação.....</u>	<u>101</u>
5.2. Justificativas geral do projeto.....	103
5.3. Estudos preliminares	105
5.4. Esquematização do projeto.....	109
5.5. Condicionantes ambientais e licenciamento do projeto.....	117
5.6. Algumas reflexões sobre o projeto.....	119
6. CONCLUSÕES.....	122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
ANEXO A.....	130
ANEXO B.....	131
ANEXO C.....	132

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

[Figura 1:](#) Exemplificação de um hidrograma.

[Figura 2:](#) Influência da geometria das bacias na formação de hidrogramas.

[Figura 3:](#) Influência da urbanização no hidrograma de enchente.

[Figura 4:](#) Variação dos hidrogramas para uma mesma chuva em consequência às ações do homem ao longo do tempo.

[Figura 5:](#) Ocupação de áreas urbanas dentro da área de inundação de um rio.

[Figura 6:](#) Enchente no bairro Jardim Botânico, Rio de Janeiro, Brasil, em 1998.

[Figura 7:](#) Esgoto a céu aberto em frente a uma escola no bairro Chã da Jaqueira, Maceió, Alagoas, Brasil.

[Figura 8:](#) Lixo sendo retirado pela Limpeza Pública de um dos principais igarapés de Manaus após enchente do dia 8 de maio de 2012.

[Figura 9:](#) Impactos da urbanização da bacia hidrográfica no ciclo d'água.

[Figura 10:](#) Edifícios e arranha-céus na capital do Estado de São Paulo, Brasil.

[Figura 11:](#) Histórico de chuvas no bairro da Tijuca, de 1997 à 2014.

[Figura 12:](#) Enchente de abril de 2010, na Praça da Bandeira.

[Figura 13:](#) Nível de precipitação pluvial no bairro da Tijuca, em 2010.

[Figura 14:](#) Histórico de chuvas no bairro do Grajaú, de 1997 à 2014.

[Figura 15:](#) Ciclo Hidrológico.

[Figura 16:](#) Alterações das parcelas do ciclo hidrológico em diferentes fases da urbanização.

[Figura 17:](#) Projeto da Water Square Benthemplein, em Rotterdam, Holanda.

[Figura 18:](#) Medidas para controle de inundações.

[Figura 19:](#) Sistema de Barragem no Rio Elbe, Hamburg, Alemanha.

[Figura 20:](#) Edifício Across Fukuoka, Japão.

[Figura 21:](#) Jardim de chuva em Oregon, Estados Unidos.

[Figura 22:](#) Praia artificial do Rio Isar, Munique, Alemanha.

[Figura 23](#): Classificação das Técnicas Compensatórias.

[Figura 24](#): Trincheira de infiltração aberta em solo (à esquerda), e trincheira de infiltração funcionando como sarjeta.

[Figura 25](#): Exemplo de vala de infiltração em estacionamento, com plantas nativas.

[Figura 26](#): Blocos vazados, permitindo a permeabilidade dos escoamentos.

[Figura 27](#): Esquema de um poço de infiltração.

[Figura 28](#): Exemplo de Telhados armazenadores.

[Figura 29](#): Reservatório individual para aproveitamento de água da chuva.

[Figura 30](#): Categorização das soluções técnicas sustentáveis segundo sua localização no sistema de drenagem.

[Figura 31](#): Grande Tijuca.

[Figura 32](#): Localização da Bacia da Baía de Guanabara na cidade do Rio de Janeiro.

[Figura 33](#): Delimitação da Bacia do Canal do Mangue.

[Figura 34](#): Localização do Maciço da Tijuca, nascente dos principais cursos d'água do Canal do Mangue.

[Figura 35](#): Principais cursos d'água da Bacia do Canal do Mangue.

[Figura 36](#): Planta topográfica do relevo da Bacia do Canal do Mangue.

[Figura 37](#): Taxa de urbanização Brasileira.

[Figura 38](#): Foz do Rio Maracanã no Canal do Mangue.

[Figura 39](#): Trecho retificado Rio Maracanã, próximo à Rua Ribeiro Guimarães.

[Figura 40](#): Seção do Rio Trapicheiros próxima à Rua São Francisco Xavier.

[Figura 41](#): Seção do Rio Trapicheiros assoreada, próxima à Rua Alzira Brandão.

[Figura 42](#): Galeria do Rio Joana na rua Maxwell, em frente ao Boulevard.

[Figura 43](#): Foz do Rio Comprido no Canal do Mangue.

[Figura 44](#): Seção do Rio Comprido próxima à Rua Haddock Lobo.

[Figura 45](#): Localização dos postos pluviométricos do município do Rio de Janeiro, e suas respectivas áreas de influência.

[Figura 46](#): Pontos de afunilamento das vazões que desaguam no canal do Mangue.

[Figura 47:](#) Identificação dos pontos de localização dos 5 reservatórios, das 2 galerias, e do túnel extravasor.

[Figura 48:](#) Parte externa do local de obras da Praça da Bandeira.

[Figura 49:](#) Reservatório subterrâneo da Praça da Bandeira.

[Figura 50:](#) Construção do poço C na Praça Niterói, ao todo são 3 poços (A, B e C), dispostos um ao lado do outro.

[Figura 51:](#) Desvio do Rio Joana.

[Figura 52:](#) Monitoramento de recalque (em amarelo) em edifício na Praça Niterói.

[Figura 53:](#) Praça Niterói antes do início das obras dos piscinões subterrâneos.

[Figura 54:](#) Praça da Bandeira pós revitalização da área superficial.

LISTA DE TABELAS

[Tabela 1:](#) Relação entre serviços públicos de saneamento e o conjunto de atividades da Gestão.

[Tabela 2:](#) Censo demográfico para as Regiões Administrativas da Bacia do Mangue.

[Tabela 3:](#) Porcentagem de ocupação do solo nos bairros da bacia do Canal do Mangue.

[Tabela 4:](#) Índice de Desenvolvimento Humano por Regiões administrativas da bacia hidrográfica do Canal do Mangue.

[Tabela 5:](#) Classes Econômicas de acordo com respectiva Renda Média Familiar Mensal.

[Tabela 6:](#) Classes Econômicas da Região Administrativa do Rio Comprido.

[Tabela 7:](#) Classes Econômicas da Região Administrativa de São Cristóvão.

[Tabela 8:](#) Classes Econômicas da Região Administrativa da Tijuca.

[Tabela 9:](#) Classes Econômicas da Região Administrativa de Vila Isabel.

[Tabela 10:](#) Coleta de Lixo por região Administrativa (RA) na bacia hidrográfica do Canal do Mangue.

[Tabela 11:](#) Relação de índices de educação por Regiões Administrativas da bacia hidrográfica do Canal do Mangue, em comparação com valores médios municipais.

[Tabela 12:](#) Áreas disponíveis para possíveis intervenções na bacia do mangue, por sub-bacia.

[Tabela 13:](#) Descrição dos 5 reservatórios subterrâneos.

[Tabela 14:](#) Descrição do desvio do Rio Joana e das galerias de reforço e derivação.

LISTA DE SIGLAS

APP – Área de Preservação Permanente

FMP – Faixa Marginal de Proteção

TR – Tempo de Recorrência

BMP - *International Stormwater Best Management Practices*

SUDS – *Sustainable Urban Drainage Systems*

LID – *Low impact Development*

WSUD – *Water Sensitive Urban Design*

LIUDD – *Low Impact Urban Design and Development*

DDUBI – Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto

CIRIA – *Construction Industry Research and Information Association*

EUA – Estados Unidos da América

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

SNGRH – Sistema Nacional de gerenciamento de Recursos Hídricos

PDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana

PDMAP – Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais

RA – Regiões Administrativas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

Inea – Instituto Estadual do Ambiente

PNSA – Política Nacional de Saneamento Ambiental

RJ – Rio de Janeiro

RMRJ – Região Metropolitana do Rio de Janeiro

SERLA – Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequenas Empresas

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

COMLURB – Companhia Municipal de Limpeza Urbana

SCS – *Soil Conservation Service*

CN – *Curve Number*

HEC – *Hydrologic Engineering Center*

COR – Centro de Operações Rio

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais: O problema do controle de enchentes e a Engenharia Ambiental

O desenvolvimento urbano e o alto processo de urbanização, causam transformações inadequadas ao ambiente construído, que impactam negativamente sobre o meio físico natural. Como o crescimento demográfico em países em desenvolvimento é acentuado, se torna ainda mais necessário o extensivo acompanhamento do planejamento, minimizando ou até mesmo evitando problemas na infraestrutura urbana em relação a sistemas de esgoto, água, drenagem e resíduos sólidos. (OLIVEIRA, L. H. & SANCHES, C., 2003)

Zuenir Ventura em “*Cidade Partida*” (SANTOS, A. M. *et al.*, 2003), disserta sobre a modernização e urbanização da realidade metropolitana criando dois conceitos, o da “*cidade legal*” o da “*cidade informal*”, divisão esta a qual poderia ser facilmente inserida a cidade do Rio de Janeiro. A ideia de cidade dividida, apresentada por Zuenir, identifica as particularidades da dinâmica social nas cidades capitalistas através das formas de distinção territorial da própria cidade. No primeiro caso, a “*cidade legal*” é a região privilegiada, na qual a população de maior renda habita a área de ocupação mais consolidada, onde o poder público tem maior controle sobre seu território e conseqüentemente existe a maior oferta de infraestrutura. Já a população menos favorecida que muitas vezes tem dificuldade em se inserir no mercado de trabalho e de ter moradias adequadas conhece uma outra versão do mesmo território. Ela habita a “*cidade informal*”, caracterizada pela marginalização da população pobre em áreas com pouca infraestrutura, sujeita às condições informais das áreas urbanas, e muitas vezes sob domínio de redes criminosas.

No início do século XX, Pereira Passos iniciou uma intensa reforma urbana na cidade do Rio de Janeiro, visando transformar a cidade colonial em uma cidade capitalista¹. Esta reforma incluiu obras urbanísticas que deixaram marcas, como a construção de ferrovias, facilitação da circulação viária, melhoria nas precárias condições higiênicas da cidade e abertura de novas ruas e praças.

¹ Capitalista – Sobrevive do rendimento de capital.

Estas melhorias foram se expandindo na cidade e o processo de urbanização foi tornando-se cada vez mais acelerado. Uma das consequências provenientes do acelerado processo de uma urbanização sem planejamento são as cheias urbanas. O mau uso do espaço urbano e a interferência humana sobre os cursos d'água provocaram as enchentes e inundações. O elevado índice de poluição, também causado por sistemas ineficientes de coleta de lixo, leva ao entupimento de bueiros, responsáveis por conter parte da água que eleva o nível dos rios. Muitas vezes a construção de bueiros, e a de sistemas de drenagem, pode não ser suficiente. O problema também é agravado pelo lixo gerado, levado pelas águas das chuvas, que entopem bueiros, contribuindo para agravar as cheias urbanas.

A ocupação irregular e desordenada da população de baixa renda na cidade, foi muitas vezes desconsiderada como questão a ser tratada pela política urbana da época, o que levou à ocupação ilegal de morros e à instalação de favelas.

O espaço geográfico é completamente prejudicado por essa desordenação, principalmente em áreas correspondentes ao leito maior de um rio, inundáveis esporadicamente, levando à remoção da vegetação no local ocupado por construções irregulares. Desse modo, pode-se dizer que a impermeabilização do solo é uma das principais causas das enchentes urbanas. Com a pavimentação, a maior parte da água que deveria infiltrar no solo escorre pela superfície provocando a elevação dos rios, o aumento das enxurradas e da velocidade de escoamento, que provocam erosões e causam desastres ambientais urbanos.

Grande atenção está voltada à questão da sustentabilidade e a sua relação com o meio ambiente. O profissional que atua no ramo da Engenharia Ambiental, desenvolve e aplica diversas metodologias para preservar os recursos naturais do planeta e promover o desenvolvimento econômico sustentável. O presente trabalho visa a integração da drenagem urbana e do controle de enchentes como parte de um sistema ambiental amplo, merecedor da atenção dos profissionais da área e da sociedade.

Para que exerçamos ações eficazes em prol do controle das inundações, são necessárias atualmente políticas urbanas que priorizem temas como meio ambiente e defesa civil, unindo a gestão da água ao meio urbano, no lugar de tratá-los de modo segregado.

Neste contexto, o presente trabalho, contextualiza a problemática das enchentes na região da Grande Tijuca, englobando os bairros de Vila Isabel, Tijuca, Grajaú e Andaraí, na cidade do Rio de Janeiro, relacionando a integração da água ao meio urbano. Esse estudo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o Planejamento Urbano no Brasil, suas vertentes e as consequências sociais e ambientais provocadas

pela falta de planejamento urbano desde o início do crescimento da cidade. Por fim, são apresentadas as obras dos reservatórios que estão atualmente sendo implantados na região da Grande Tijuca, sendo relatado um estudo apresentando-as como tecnologia mitigadora para o constante problema de enchentes da região.

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo analisar, de forma integrada, os aspectos físicos e as consequências sociais das enchentes comumente ocasionadas na região mais conhecida como Grande Tijuca, que integra parte dos bairros da Tijuca, Vila Isabel, Andaraí e Grajaú, na cidade do Rio de Janeiro. O histórico do planejamento urbano da cidade, sua ausência, e o papel que desempenha como fonte das inundações serão o viés de conduta desse estudo que visa inter-relacionar água e meio urbano e apresentar a proposta do projeto dos reservatórios, suas expectativas e metas como medida mitigadora.

1.3 Justificativa

O problema das enchentes e inundações é uma realidade que causa grandes transtornos, principalmente na região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. Sua constituição geográfica se encontra em meio a montanhas, serras, lagoas e mar, de indiscutível beleza, porém com uma geografia complexa de ser analisada. O crescimento desordenado da cidade agrava ainda mais a situação.

Os bairros em questão abordados, Tijuca, Vila Isabel, Grajaú e Andaraí, estão localizados numa região central da cidade do Rio de Janeiro, em área de baixada com graves e recorrentes problemas de inundação. Medidas para minimizar o problema estão sendo implementadas de forma a permitir o escoamento adequado das águas pluviais na região, e a redução drástica da lâmina d'água no caso de enchentes, garantindo melhoria na qualidade de vida e maior segurança da população.

O presente trabalho justifica-se por apresentar um tema relevante ao curso de Engenharia Ambiental, e a problemática em si, sendo de extrema importância para a cidade do Rio de Janeiro. Há muitas décadas que são inúmeras e desastrosas as

consequências causadas pelas enchentes, também agravadas pela falta de planejamento urbano e pela urbanização descontrolada associada à crescente taxa de impermeabilização do solo, denunciando, assim, um cenário que se apresenta como um desafio a ser vencido. Neste trabalho serão identificadas as causas de origem destes problemas e posteriormente será apresentado um estudo sobre a região afetada, que inclui parte dos bairros do Andaraí, Grajaú, Tijuca e Vila Isabel, anteriormente citados. Será apresentado um histórico das cheias ao longo dos anos, o que tem sido feito em termos de novos projetos.

Os novos projetos em implantação consistem em reservatórios subterrâneos que estão sendo atualmente construídos pela Prefeitura do Rio de Janeiro. O estudo poderá servir de base para intervenções similares de mesmo porte, aplicadas em outras áreas com problemas afins. Neste trabalho também será explicado o funcionamento do projeto dos reservatórios como um todo, bem como as expectativas dos profissionais envolvidos, e como a obra poderá propiciar melhores condições ao ambiente urbano local e no entorno. No cenário das medidas mitigadoras de cheias urbanas, que se constituem em paisagens multifuncionais, os reservatórios, por terem a parte superior fechada, devolvem ao ambiente urbano áreas que podem ser utilizadas para lazer, melhorando a qualidade de vida da população.

1.4 Metodologia

A metodologia se constitui em pesquisa bibliográfica em meio científico (artigos, teses, dissertações, monografias, livros), sites institucionais, normas técnicas, relacionados ao tema enchentes, mais especificamente referentes aos bairros da região da Grande Tijuca, Rio de Janeiro. Foi realizada uma visita em campo em alguns locais onde está ocorrendo a obra dos reservatórios, de forma a complementar o estudo e as informações, obtidas em órgãos públicos, por profissionais responsáveis pelo projeto e pelo acompanhamento e execução da obra.

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho inicia-se com uma abordagem sobre o tema central do estudo, as enchentes e suas causas, apresentando um cenário antigo mas ainda bem atual no que se refere à problemática urbana das cidades.

Neste capítulo inicial é apresentado o objetivo do trabalho, a justificativa para a elaboração da pesquisa, tendo em vista a relevância do tema na atualidade, seguida da metodologia utilizada, apresentando por fim um resumo acerca do que foi abordado em cada capítulo.

No Capítulo 2 é discutido o planejamento urbano, seu conceito, sua importância, e seu desenvolvimento no Brasil. Também são vistas algumas das principais questões sociais, ambientais, e econômicas que rondam o tema na atualidade.

O capítulo 3 introduz a temática e o problema das enchentes, primeiramente abordando a importância de se ter a Bacia Hidrográfica como a unidade de base para o planejamento e o gerenciamento de uma região. Em seguida é abordada a problemática da urbanização crescente nas cidades e sua respectiva influência no aumento das inundações. Por fim, resume-se o histórico das principais e mais drásticas enchentes no Estado do Rio de Janeiro, atentando para os tipos de precipitação que caem sobre o Estado, e as épocas do ano, em que a população mais sofre com essa situação.

No capítulo 4 a drenagem urbana é o principal tema em tópico, os conceitos envolvidos, sua importância, as principais medidas mitigadoras e os diferentes exemplos no mundo dessas práticas. Por fim, aborda-se a relevância de que sejam implantadas mais de uma técnica de drenagem, estabelecendo um sistema multifuncional em uma região, ao invés de se depender de apenas uma técnica, e como a legislação aborda essa questão.

O capítulo 5 é um estudo das medidas mitigadoras implantadas pela Prefeitura do Rio de Janeiro para solucionar o problema das enchentes na região da Grande Tijuca, zona norte do município do Rio de Janeiro. Primeiramente é feita uma caracterização da região em foco, depois justifica-se a escolha do projeto selecionado, e resume-se o processo de estudo e aplicação deste.

O capítulo 6 trata da conclusão, e portanto faz um apanhado das principais questões levantadas no trabalho, seguindo-se com algumas reflexões consideradas relevantes pela autora.

Capítulo 2 – O DESAFIO DO PLANEJAMENTO URBANO NAS CIDADES

2.1 Planejamento e desenvolvimento urbano

O planejamento urbano engloba planos e programas de gestão de políticas públicas, por meio de ações que permitem intervenções no espaço urbano de forma harmônica atendendo às necessidades da população. O planejamento identifica vocações locais podendo estabelecer regras de ocupação do solo e políticas de desenvolvimento buscando melhor qualidade de vida da população. Planejar a estrutura da cidade possibilita a gestão municipal antecipar saturações contemporâneas que as cidades apresentam em função do seu crescimento.

De forma geral, o planejamento pode ser entendido como sendo um processo de trabalho contínuo, que tem por objetivo final a organização sistemática de meios a serem utilizados para se atingir uma meta, que impactará diretamente na melhoria de determinada situação, no caso do planejamento urbano aplica-se essa melhoria às cidades. Todavia, analisando-se a organização das cidades a partir da segunda metade do século XX, percebe-se que o projeto urbano, direcionado pelo Estado, no molde keynesiano² (FERRARI Jr., 2004), onde pensar o espaço exclusivamente como resultado de um plano, pode ser um equívoco. O plano abre um leque de opções e possibilidades, mas, nem tudo que está determinado por ele vem a ser refletido no espaço. Esta produção e construção espacial são um mosaico de interesses, altamente territorializados e cuja expressão física, se faz através das obras arquitetônicas, infraestruturas concebidas e desenhos que se formam para estruturar a vida humana.

A sociedade em que vivemos vem se tornando essencialmente urbana a partir do final do séc. XIX, pós-revolução industrial e, assim, os problemas urbanos começaram a se acentuar, diante do aumento da população concentrado nas cidades, decorrente do êxodo rural, em busca de oportunidades de trabalho e sem condições dignas de qualidade de vida. A partir daí várias cidades cresceram em tamanho e população e se transformaram em metrópoles, extrapolando seus limites territoriais. Então, surgem propostas na tentativa de buscar soluções para estes problemas

² O molde keynesiano recebe esse nome por causa de Jonh Keynes, que na década de 30 desenvolveu uma teoria alegando que o Estado deveria intervir na economia através de uma política em que o nível de produção nacional seria determinado pela demanda agregada ou afetiva. (DE ANDRADE, R., 2000)

criando-se modelos de desenvolvimento urbano para as cidades, a fim de organizar seus espaços e seus territórios, enfim, suas diversas atividades. E neste contexto surge o Urbanismo, que no Brasil passa a ser efetivamente usado somente a partir do fim do século XIX.

O conjunto de ações de intervenção no espaço urbano historicamente muitas vezes está voltado para a dominação e poder político por parte das elites, causando a segregação sócio-espacial.

No Brasil, de acordo com Santos (1993), tanto o crescimento da economia industrial como o estilo de vida urbano criou uma densa rede urbana, composta por regiões metropolitanas. Em relação às práticas de planejamento urbano, de uma forma geral essas regiões metropolitanas se desenvolvem com maior velocidade do que o ato de planejar o espaço, o que gera um crescimento desordenado, implicando em impactos sociais e ambientais.

Maricato¹ (2001) salienta que essa urbanização sem planejamento criou uma situação caótica nas principais capitais do país e suas regiões metropolitanas, ocasionando o crescimento na pobreza e, conseqüentemente, da violência. O processo de modernização da economia brasileira não levou à superação da pobreza e das desigualdades sociais, aprofundando as desigualdades existentes devido à maior concentração de renda nas mãos de uma elite.

O processo de urbanização, longe de ser o ideal, se justifica, com o agravante da falta de um planejamento urbano adequado o que acaba gerando um crescimento de forma desordenada, com falta de infraestrutura capaz de propiciar uma qualidade ambiental aceitável. A ocupação desordenada propicia vários problemas, uma vez que, além de deteriorar o ambiente urbano, provoca desorganização social através da carência de habitação, desemprego, problemas de higiene e de saneamento básico. Além disso, acaba modificando a utilização do solo e transformando a paisagem urbana. A solução desses problemas obtém-se pela intervenção do poder público, que procura transformar o meio ambiente e criar novas formas urbanas.

Mais expressivamente nas últimas décadas, houve um crescimento expressivo das cidades, em tamanho, população e densidade, trazendo grande concentração dos problemas cuja solução se torna muitas vezes complexa por necessitar considerar e atingir níveis mais amplos para que seja realmente eficaz. Os problemas e respectivas soluções precisam ser considerados com uma visão mais ampla, visão sistêmica, devendo alcançar os possíveis desdobramentos das respectivas ações, de forma a minimizar a possibilidade de conseqüências futuras trazerem problemas de outra ordem até então inexistentes.

O planejamento urbano deve ter como base a concepção de desenvolvimento sustentável, ou seja, aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer às necessidades do futuro. Para que haja um planejamento urbano de forma integrada é preciso agir visando a preservação ambiental. O mais correto seria minimizar ao máximo os males gerados pela urbanização ao invés de corrigi-los posteriormente. Com isso, entende-se a necessidade de considerar as questões ambientais na tomada de decisões relativas ao planejamento urbano.

Em relação aos problemas urbanos, principalmente os metropolitanos, no Brasil, são aspectos negativos que acompanham o crescimento urbano, a ilegalidade presente na ocupação de áreas ambientalmente frágeis, como beiras de rios, de córregos, de lagoas, mangues, reservatórios de água potável, dunas, áreas de matas e florestas, encostas instáveis e várzeas. O desenvolvimento urbano também veio acompanhado de problemas sociais e ambientais, tais como a falta de moradias e favelização, carência de infraestrutura urbana, crescimento da economia informal, poluição, intensificação do trânsito, periferação da população pobre, ocupação de áreas de mananciais da planície de inundação dos rios, além de vertentes de declive acentuado. (MARICATO¹, 2001)

A segregação nas cidades merece maior reflexão no sentido de promover a identidade local, discutir o que é efetivamente essencial para a qualidade de vida dos cidadãos e para a sobrevivência dos ecossistemas onde vivem.

2.2 Trajetória do planejamento urbano no Brasil: da colônia ao modelo contemporâneo

As cidades no Brasil começaram a ser pensadas no período colonial. Atualmente existe uma forte crítica ao papel desempenhado pelo Estado Português nessa organização territorial e urbana, tomando essa contextualização histórica como origem para a complexidade urbana e o seu desenvolvimento no Brasil, em especial ao que se refere aos impactos nas bacias hidrográficas urbanas.

A partir de 1532, diante da ameaça crescente de outras nações europeias ocuparem o território Brasileiro, Portugal efetivou sua política de colonização. A Revolução Industrial Inglesa e a Revolução Francesa afrontaram diretamente o antigo Regime, o que significou mudanças não só na Europa, como em toda sua estrutura econômica e social. Acompanhando essas transformações, em março de 1808, um

acontecimento veio alterar o rumo da sociedade brasileira e sua forma de refletir sobre a cidade: a ascensão repentina do Rio de Janeiro como sede do governo português. A cidade que era urbanisticamente pobre e majoritariamente habitada pela população escrava, teve, então, que adaptar-se a sua nova condição de sede da Coroa, para poder exercer as novas funções que deveria desempenhar. (ABREU, 1996)

A partir do século XIX, a intervenção urbana volta-se sobre o espaço construído preconizando dois tipos de mudança no pensamento que antes não existiam: a da cidade como espaço físico a defender, a prover de comodidades e de infraestrutura; e a da política de saúde que visava os interesses coletivos acima dos individuais. (PIEROT, R. M. & de LIMA, A. J., 2014)

Ocorre que o Rio de Janeiro passava por um grave problema de insalubridade, que não só não podia ser visto como uma questão localizada, mas também representava um obstáculo à industrialização e prejudicava a imagem do país internacionalmente. Devastada por epidemias quase anuais de febre amarela, e periodicamente também pela cólera, foi necessário trazer o saber higienista e intensificar o papel dos engenheiros em busca de se pensar melhor o espaço urbano do país.

“... as respostas dadas por três médicos a uma consulta realizada pela Câmara do Rio de Janeiro em 1798. Solicitados a opinar sobre quais seriam as causas principais da insalubridade da cidade, os médicos apontaram para a ação prejudicial dos pântanos; das montanhas que circundavam a cidade, que impediam a ação purificadora dos ventos; da proximidade do lençol d’água, que dificultava a drenagem das águas pluviais e tornava o solo sempre úmido; da imundície das vias públicas; da direção errada das ruas em relação aos ventos predominantes; da superlotação das habitações; do costume de enterrar os mortos nas igrejas; dieta inadequada dos habitantes; ausência de exercícios físicos; prostituição; etc.” (ABREU, 1996)

Nem todas as sugestões dadas pelos médicos coloniais foram postas em prática, ainda que suas teorias higienistas tenham resultado em várias intervenções. Sabe-se hoje que muitos dos fatores apontados à época eram bem fundamentados e dignos de melhorias, mas outros eram apenas conclusões chegadas a partir de uma visão estreita, que a época possibilitava, sem abrangência. As consequências de algumas dessas intervenções, principalmente as associadas aos elementos do quadro natural da cidade, como por exemplo, o aterro de pântanos, são observadas na atualidade.

Já outras intervenções resultaram em propícias melhorias sem continuidade, necessitando-se expandir e torná-las mais eficientes. Construção dos sistemas de esgotos sanitários e abastecimento d'água, condenação de habitações coletivas, iluminação pública, transportes coletivos e construção de ruas largas, são alguns exemplos que podem ser citados.

Ainda que pouco influente no início e com soluções que visavam o curto prazo, não se pode negar que no período colonial, algum nível de difusão do pensamento urbanístico e do trato de grandes questões urbanas, foi exigido. Estes contribuíram para uma reforma significativa do espaço. Mas atualmente, entende-se que essas reflexões devem ir além do plano regional e dos limites da engenharia e da medicina. Tais transformações devem advir de ideias e realizações inovadoras, unindo conhecimentos diversos de ciências exatas, humanas, sociais e biomédicas, não só através de engenheiros e médicos, mas também de geógrafos, arquitetos, historiadores, economistas, antropólogos, cientistas políticos e outros.

A partir do início do século XX, surge a proposta de um modelo de planejamento que irá idealizar a combinação desses diferentes profissionais trabalhando em prol de uma mesma finalidade, pois pensa a cidade para o futuro, preocupando-se com seu desenvolvimento, ordenação e embelezamento. O modelo progressista visualiza uma cidade destinada ao indivíduo tipo, sem considerar diferenças de classes sociais. Este busca suprir conveniências humanas, como o trabalho, habitações, meios de locomoção e necessidades de lazer. Assim, acontece uma crescente estandardização, criando-se áreas com especificidades e zonas articuladas, protótipos de escolas, apartamentos e outros, citando alguns exemplos. No Brasil, o Estado é o principal ator desse modelo, elaborando e executando Planos Diretores, e controlando o ordenamento das cidades. O maior marco da época foi a construção da cidade de Brasília, especialmente para se tornar a nova e atual capital brasileira, não sendo mais a sede no Rio de Janeiro. (KLEIMAN, M. & KAUFFMANN LEIVAS, M., 2013)

“Sem dúvidas, no caso brasileiro, ao ser alçado a ideologia de Estado, o modelo modernista progressista e racional tornou-se hegemônico, o que inevitavelmente acabaria por rebater-se no campo do urbanismo. De importantes projetos urbanos, embora ainda localizados, como o conjunto da Pampulha e o Parque Ibirapuera, o urbanismo moderno no Brasil iria atingir a sua expressão máxima com o concurso para Brasília no fim dos anos 50, bem depois, portanto, da sua cristalização como modelo arquitetônico. A construção da nova cidade projetada, transferindo a capital litorânea do Rio de Janeiro para o então inóspito interior de nosso

território, era uma experiência única dentre as raras referências internacionais. O projeto tornou-se fato, "acabado" em poucos anos, um urbanismo ao mesmo tempo nacional e internacional, tornado referência mundial, marco da maturidade cultural da arquitetura e urbanismo brasileiros." (DEL RIO, V. & GALLO, H., 2000)

Os interesses imobiliários também podem ser considerados grande percursos do modelo progressista, já que, o Estado terminou por investir em infraestrutura, equipamentos e serviços públicos nas áreas de maior renda, omitindo-se em desempenhar de maneira igualitária suas funções nos locais de menor renda.

A partir da década de 70, reflexões com orientações principalmente marxistas acerca do papel do Estado no planejamento urbano passam a levantar a ideia de que o Estado agia de maneira a deixar a cidade à mercê das necessidades do capitalismo. Diversos autores entram com importantes debates críticos a respeito do tema, com obras de destaque como *O direito à cidade* (1969) e *Revolução Urbana* (1970) de Henri Lefebvre, *A questão urbana* (1972) de Manuel Castells, e *A Justiça social e a cidade* (1980) de David Harvey. No Brasil, as análises críticas provocadas por tais obras duraram tanto nas décadas de 70 quanto de 80. Talvez até por influência da Ditadura Militar que ocorria na época, muitos intelectuais definiram a organização espacial urbana da cidade moderna como centralizadora e estatizante. Os Planos Diretores e Leis de Uso e Ocupação do Solo, pautavam instrumentos urbanísticos que tinham a pretensão de guiar e orientar o ambiente construído, mas falharam ao amparar as questões sociais. O planejamento da cidade acabou por valorizar a obra física pura e a ordenação do território, mas desconsiderou a construção da cidadania de grande parte de seus habitantes. (FERRARI Jr., 2004)

O aprofundamento dos problemas econômicos na década de 80, também conhecida como "década perdida", e a lenta abertura política, juntamente com a crescente vitória do pensamento neoliberal, abriram espaço para se repensar a manutenção do intervencionismo controlador estatal do planejamento no Brasil. Este foi considerado incapaz de solucionar questões sociais, econômicas e urbanas e em 1990 abriu-se caminho para uma forma de gestão mais flexível. A concepção baseada nos moldes da produção industrial, pautada até metade do século XX, é substituída pela concepção mercadológica. Parte do planejamento passa a ser subdividido em unidades inferiores de gestão, transferindo papéis para a esfera municipal, promovendo o incentivo ao empreendedorismo das cidades e favorecendo a redemocratização brasileira.

Para Ferrari Junior (2004), de maneira que possamos evoluir cada vez mais na resolução dos históricos problemas urbanos que as cidades brasileiras sofrem, é necessário que se desenvolvam novas políticas urbanas que contem com a participação intensa popular e novos mecanismos que incentivem essa troca, com um poder legislativo mais voltado para a representação das várias forças sociais existentes. Essa prática já está prevista no capítulo IV do estatuto da Cidade – Gestão Democrática da Cidade. Este instrumento permite que a sociedade possa examinar mais cautelosamente como estão sendo implementadas as políticas urbanas e com essa lei, os moradores podem agir como co-gestores das formulações e interagir nas avaliações das propostas urbanísticas.

Contudo, o caminho para um planejamento urbano mais democrático e, acima de tudo, mais eficiente, refletindo sobre possíveis alternativas à dinâmica atual de planejar a cidade, se trata de um processo trabalhoso e complexo, já que, envolve uma diversidade grande de atores trabalhando em diferentes setores do mesmo espaço e em prol dos mesmos objetivos, a sustentabilidade urbana e a qualidade de vida para a população.

Capítulo 3 – BACIA HIDROGRÁFICA, INUNDAÇÕES E URBANIZAÇÃO

3.1 Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão

Os recursos hídricos de uma bacia hidrográfica são o embasamento para que se alcance o caminho para as chamadas cidades sustentáveis. Através deles, o homem encontra meios de sobreviver e transformar o espaço urbano. Sendo assim, deve haver uma preocupação a respeito de como se dão as atividades e ações de exploração desse território, já que, o alcance chega a interferir no cotidiano dos usuários de uma mesma bacia, assim como nas reservas para as futuras gerações.

“Bacia hidrográfica – Locus onde ocorrem as relações sociais de ordem cultural, política e econômica.” (AFONSO, A. & BARBOSA, F., 2005)

O poder público instituiu as leis Federal nº. 9433 e Estadual nº. 3239 de Recursos Hídricos. Estas adotam a Bacia Hidrográfica como unidade de gestão territorial e visam a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou do uso inadequado dos recursos naturais. Utilizando-se desse conceito de unidade de gestão, para as bacias menos ocupadas e exploradas, através dessas políticas de recursos hídricos e suas ações, temos a oportunidade de inserir novos conceitos e práticas mais modernas que visam o controle das enchentes. (SERLA, 2001)

O “Plano Nacional de Prevenção e Defesa Contra Eventos Hidrológicos Críticos de Origem Natural ou Decorrentes do Uso Inadequado dos Recursos Naturais” está inserido como meta do programa “Águas Brasil” e contempla as bacias de rios federais que estão acima das sub-bacias inseridas em grandes centros urbanos. Esse plano tem dentre suas diretrizes o preceito de conservar ao máximo a retenção natural das águas de chuva e a proibição de urbanizar áreas sujeitas à inundações.

Uma bacia hidrográfica se trata de uma região sobre a terra, na qual o escoamento superficial em qualquer ponto converge para um único ponto fixo, o exutório, podendo desembocar em um reservatório, baía, lago ou oceano. Os escoamentos que irão ocorrer nos cursos existentes em uma dada bacia, serão provenientes das águas da chuva e das contribuições naturais subterrâneas. A lâmina de escoamento superficial é tanto influenciada por fatores climatológicos, como do ciclo hidrológico, quanto por fatores provenientes de características físicas da bacia

hidrográfica, como: área de drenagem, tipo de solo, cobertura vegetal, geometria, declividades, disposição predominante dos cursos de água, velocidade de escoamento e densidade de drenagem. A partir dessas características físicas da bacia, visando-se um estudo para projeto, existem programas que calculam o tempo de concentração através da utilização de equações empíricas disponíveis na literatura.

O tempo de concentração é conhecido como o tempo necessário para que uma precipitação alcance a secção limite da bacia e para que isto ocorra, deverão ser primeiramente alcançados os limites de infiltração e de retenção da vegetação. Este tempo é portanto, o tempo necessário para que um pingo de gota d'água, localizado no ponto mais longínquo da bacia, alcance o exutório. Atingindo-se esse tempo de concentração, a chuva irá ultrapassar a capacidade do leito menor, extravasando para o leito maior, que em centros urbanos muitas vezes encontra-se indevidamente ocupado, e dependendo de sua intensidade, termina por ocupar a planície de inundação.

Sabe-se que outros fatores influenciadores no escoamento superficial da bacia, a serem vistos posteriormente, são sua geometria, declividade e cobertura vegetal. No caso da geometria da bacia, o importante a se saber, é que para bacias com mesma área de drenagem, mas formatos diferentes, sob influência de uma chuva com mesma duração e intensidade, estas terão vazões máximas e tempos de escoamento diferentes. Sendo que quanto mais arredondado o formato da bacia, maior o pico de vazão. A declividade da bacia, por sua vez, irá influenciar na concentração e velocidade de propagação das enchentes, pois quanto maior a diferença de altitude entre a cabeceira e o exutório, maior será o escoamento das águas de chuva e maior o risco de formação de enchente. Já a importância da cobertura vegetal na retenção da chuva, é absoluta. A vegetação tem a capacidade de retardar a chegada da chuva à terra, e a camada superficial do solo, composta pelo húmus e pelas raízes das plantas, aumenta a facilidade de infiltração da chuva. O desmatamento favorece a impermeabilização da bacia, além de potencializar os processos erosivos, sendo portanto, o principal aliado das enchentes.

A direção do deslocamento das enchentes, em geral, não tem muita influência sobre seu volume. A intensidade, duração e distribuição da chuva ao longo do período de precipitação sim, terá grande influência. E essas são características que fogem ao controle do homem, pois o evento pluviométrico não segue um padrão de tempo e espaço, ele será sempre uma complexa combinação entre fatores meteorológicos e fisiográficos, gerando diferentes possibilidades.

3.1.1 Hidrogramas

A representação gráfica que irá relacionar vazão com tempo de precipitação em uma bacia, é o hidrograma. Após um longo período de análise, que deve englobar o início e o fim de uma chuva estudada, é possível desenhar-se o hidrograma. A vazão média será o resultado da divisão do volume determinado de água precipitada, pelo intervalo de tempo que esse volume precisará para passar através de uma seção de um curso d'água.

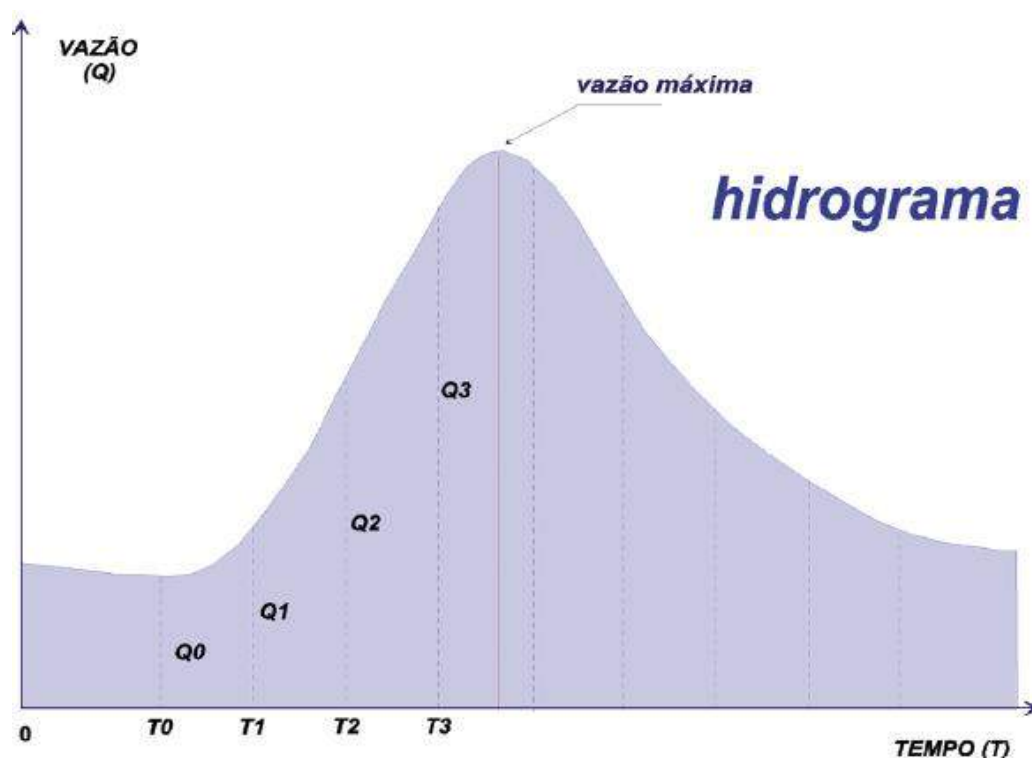


Figura 1 – Exemplificação de um hidrograma. (SERLA, 2001)

Verifica-se através da figura 1, que a escala vertical é a de vazões e a horizontal, do tempo. Quando o período entre uma chuva e outra for mais longo, pode-se interpretar que a vazão existente no curso d'água antes do próximo evento pluviométrico acontecer, trata-se da contribuição da nascente, somada com a parcela afluyente do lençol freático. Quando a chuva se inicia, ocorre uma junção entre os escoamentos superficiais e sub-superficiais, e a água do escoamento base.

Os hidrogramas apresentam natureza própria, suas formas são complexas, e no curto prazo, a formação do hidrograma irá depender das características da bacia, como por exemplo sua geometria. (Figura 2)

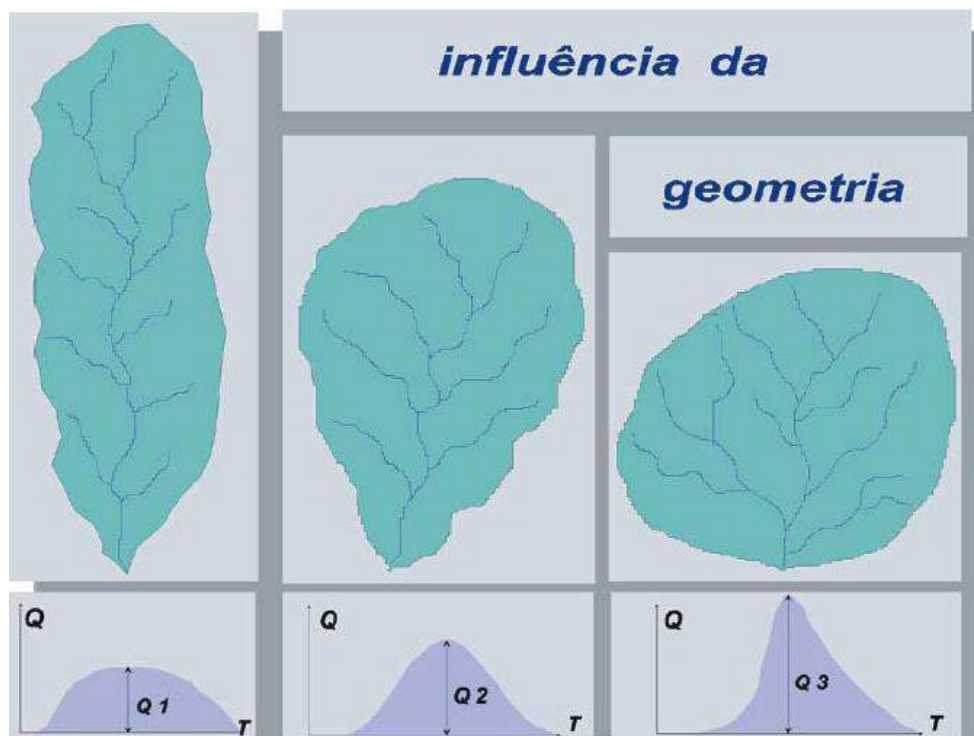


Figura 2 – Influência da geometria das bacias na formação de hidrogramas. (SERLA, 2001)

Outro fator muito pertinente são as chuvas antecedentes. A distribuição de precipitações tem grande influência porque, ao se ter maior intensidade no início de uma tempestade, o hidrograma produzido possuirá vazões mais amenas quando comparado a um hidrograma consequente de uma tempestade com chuvas mais intensas no final do período chuvoso. Essa segunda opção será mais alarmante porque no tempo final do evento, os solos estarão mais saturados e suas proporcionais taxas de infiltração serão menores, tendo menos capacidade ainda de contemplar uma chuva forte do que no início do evento pluviométrico.

A longo prazo, os padrões que influenciam as formações dos hidrogramas se alteram dependendo da bacia hidrográfica e do grau de impermeabilização desta (figura 3). Isso porque o nível de urbanização da bacia e os efeitos climatológicos sob o planeta também sofrem transformações.

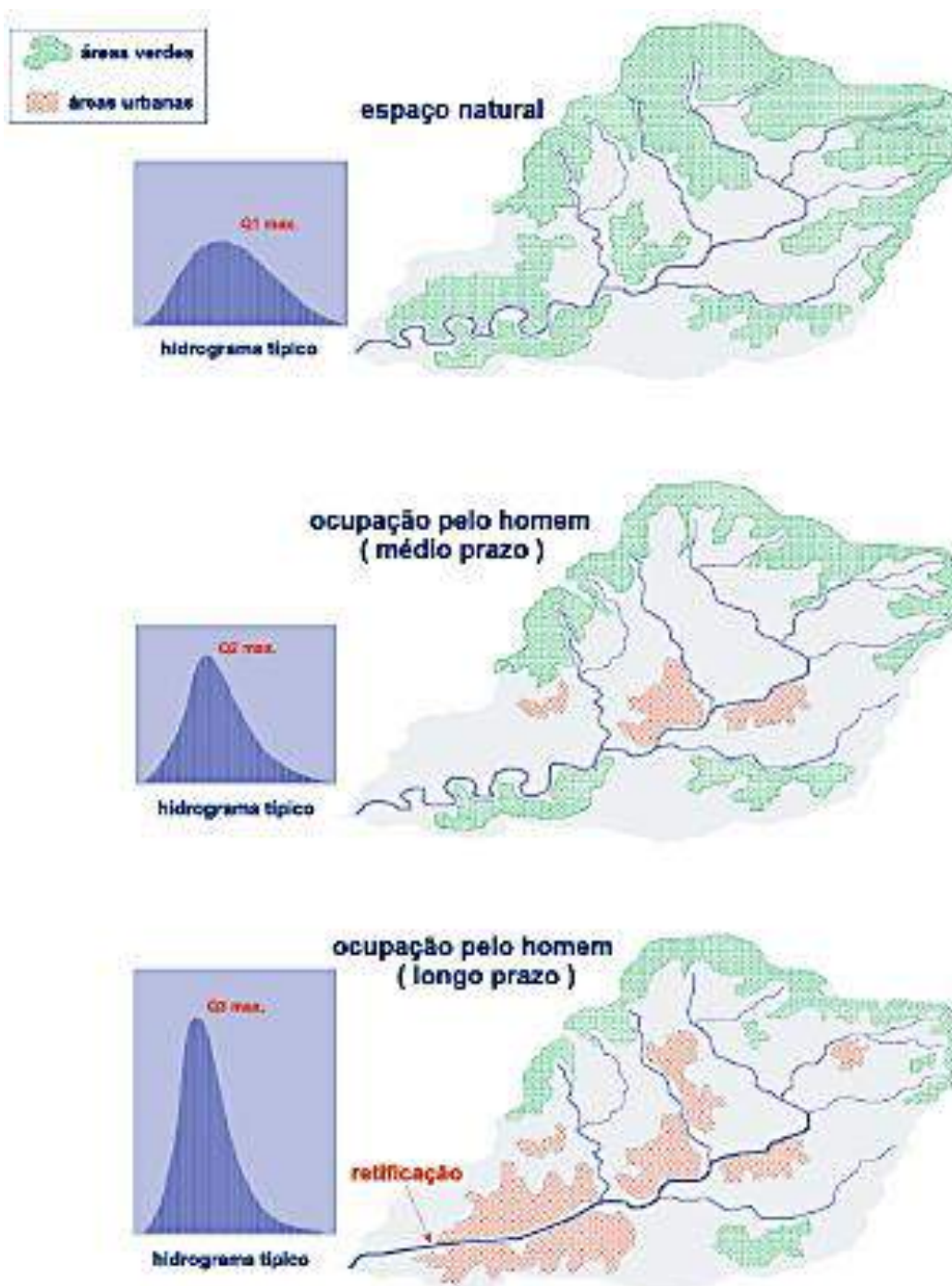


Figura 3 – Influência da urbanização no hidrograma de enchente. (SERLA, 2001)

Já foi estabelecido previamente que a retenção natural representa um importante papel no resultado da relação chuva versus volume superficial. Sua capacidade de retenção superficial é modificada pela ação humana ao longo do tempo. No lugar do solo natural, criam-se áreas impermeáveis, destroem-se matas, aterram-se áreas alagadiças, retificam-se rios, e outros. As repercussões dessas ações são o aumento do pico e do volume dos hidrogramas de enchentes. E a tendência é o aumento do risco de extravasamento das calhas dos rios. (Figura 4)

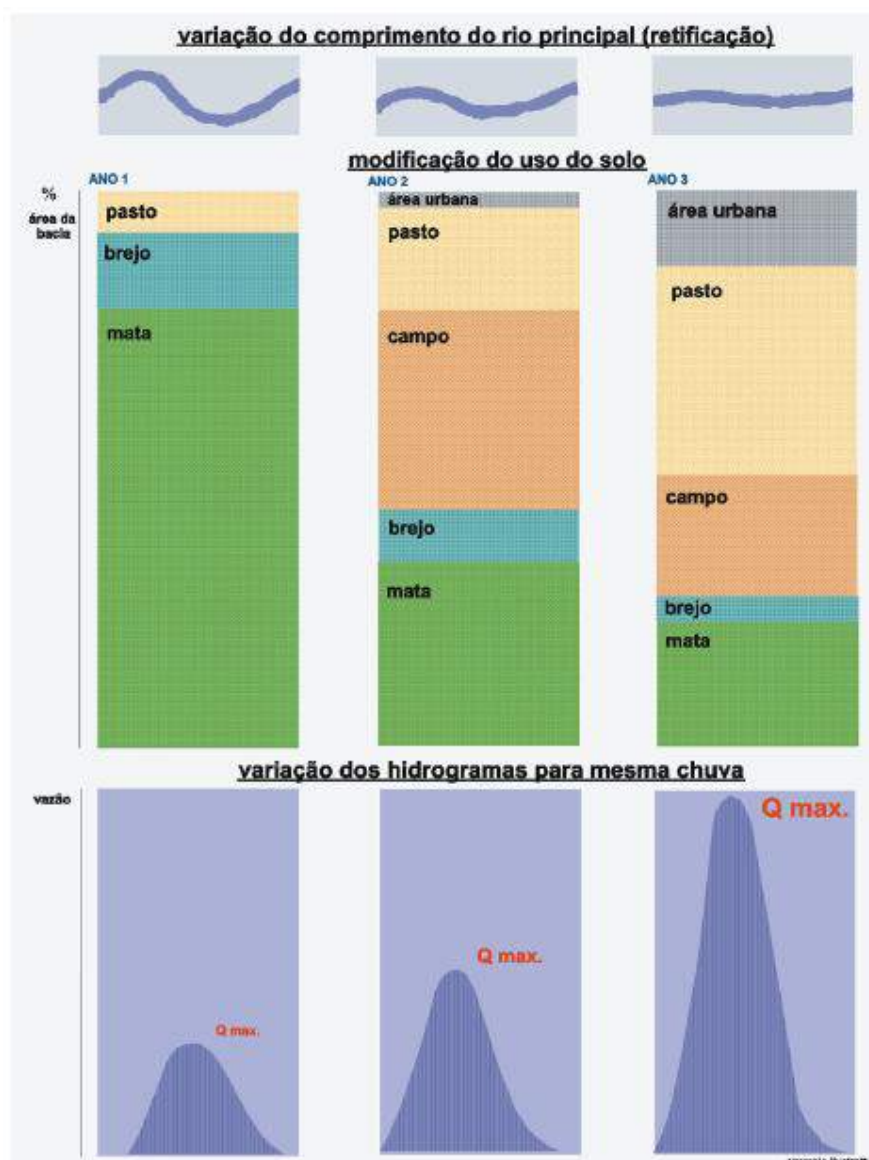


Figura 4 – Variação dos hidrogramas para uma mesma chuva em consequência às ações do homem ao longo do tempo. (SERLA, 2001)

A importância dos estudos através desses gráficos existe porque eles constituem um registro contínuo dos escoamentos numa região, e possibilitam que se haja o histórico de chuvas por um período de longos meses e anos para seções de cursos d'água de interesses estratégicos. Esses dados estatísticos permitem a definição de diversos parâmetros importantes para o planejamento e execução de projetos de engenharia relacionados a drenagem.

3.2. Urbanização e as inundações

“Urbanização é um fenômeno relacionado ao processo de desenvolvimento da esfera urbana em determinadas sociedades, em oposição ao desenvolvimento da esfera rural.” (TUCCI, 1997)

O processo de urbanização vem se desenvolvendo em diversas regiões do mundo há alguns séculos, estabelecendo nesses locais construções que permitam a instalação de comunidades e de suas atividades produtivas. Considerando-se um terreno natural que está prestes a iniciar um processo de urbanização, habitualmente isto acontecerá nas áreas mais baixas e planas, por serem as de mais fácil acesso, e posteriormente seguirá para as regiões mais altas. Nesse processo a vegetação natural é substituída por áreas impermeáveis.

A ocupação das áreas ribeirinhas é realizada principalmente pela população de baixa renda, que aliando a falta de planejamento urbano a um período de alguns anos sem inundações, terminam por construir suas habitações em áreas de risco, desrespeitando as faixas marginais de proteção³. Edificações erguidas nas margens de rios estão permanentemente sujeitas a inundações. A variabilidade temporal das vazões do corpo hídrico, que por um período de curto prazo irá ocupar somente o leito menor, influencia a decisão da população de construir nessas faixas. A demarcação das faixas de proteção assegura uma variação livre dos níveis d'água, garante a permeabilidade do solo nas margens, a fim de possibilitar a drenagem da água das chuvas e reduzir o volume das cheias, possibilitando ainda o abastecimento dos lençóis freáticos, e evita a erosão e o desmoronamento das margens e alterações na profundidade dos corpos hídricos. Portanto, trata-se de uma atitude equivocada desrespeitar essas demarcações. A longo prazo se colocam em risco não apenas a qualidade ambiental da área, mas também a vida das pessoas. A figura 5 apresenta um esquema que representa a ocupação da área do leito maior de um rio, com o processo de urbanização se expandindo dentro dos limites de inundação fluvial.

³ Faixas Marginais de Proteção (FMP) são faixas de terra às margens de rios, lagos, lagoas e reservatórios d'água, necessárias à proteção, defesa, conservação e operação de sistemas fluviais e lacustres. Essas faixas de terra são de domínio público. (CORRÊA *et al.*, 2010)

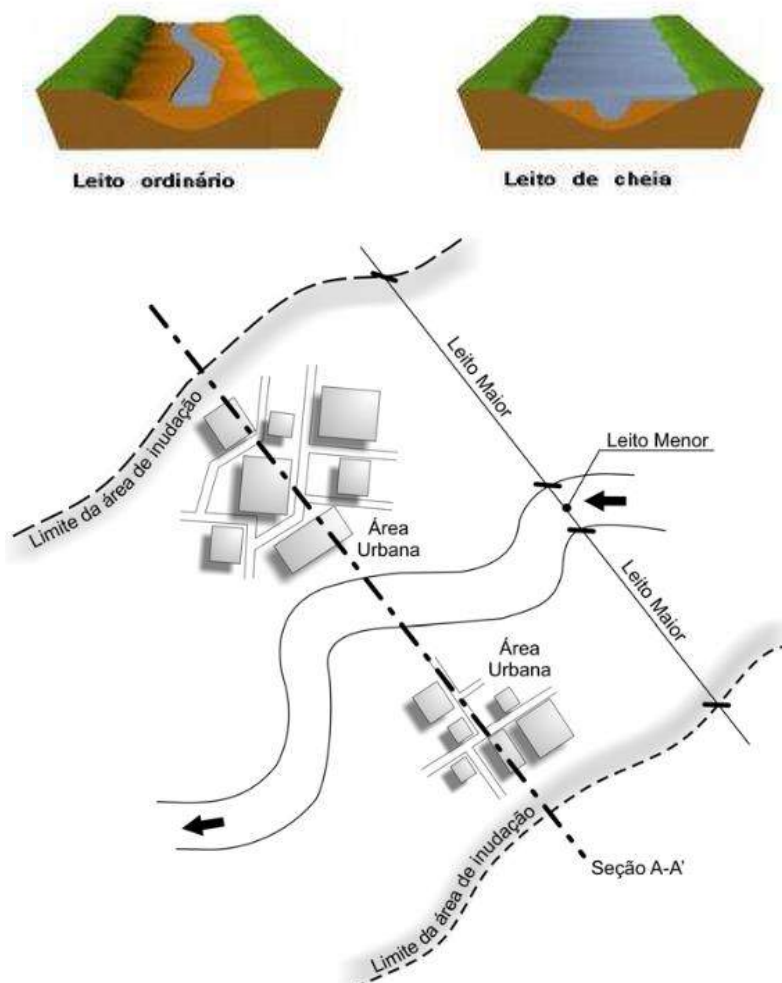


Figura 5 – Ocupação de áreas urbanas dentro da área de inundação de um rio. (TUCCI, 1997)

A invasão da várzea do rio pode ocorrer através da construção de aterros, pontes, edifícios, etc. Estas obras reduzem a capacidade de escoamento do rio durante as cheias, aumentando o nível d'água e potencializando os impactos nas áreas de risco.

Os impactos causados na bacia hidrográfica pelo crescente adensamento urbano, são referentes a diversas mudanças antrópicas na região, que ocorrem para permitir essa ocupação. Essas mudanças agravam os impactos em diferentes níveis. As principais aqui são, a retirada de cobertura vegetal e a impermeabilização do solo, criando-se um contexto de insustentabilidade que evidencia-se principalmente nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. (KLEIMAN, M. & KAUFFMANN LEIVAS, M., 2013) O ser humano segue interferindo no meio ambiente, de sua forma particular, durante todo o processo de urbanização, ou seja, desde as etapas de implantação das construções e tudo que está englobado nas mesmas, até depois do local já estar urbanizado, durante todo o período de vida útil, piorando a qualidade de vida nas cidades e agravando os problemas de inundações e cheias associados.

De acordo com Leopold (1968) esses impactos podem ser subdivididos em três tipos. O primeiro se trata do impacto na quantidade, e está relacionado ao aumento que a vazão de pico⁴ de uma cheia sofre quando uma área passa a ser urbanizada. Devido à impermeabilização, o volume de escoamento superficial aumenta e essa variação, além de ter influência sobre os picos de vazão, também afetará o escoamento de base dos rios nas épocas de seca, já que, a água disponível para renovação da umidade do solo e recarga subterrânea sofrerá redução. A figura 6 mostra um alagamento no bairro Jardim Botânico em 1998, exemplificando um caso de impacto na quantidade.



Figura 6 – Enchente no bairro Jardim Botânico, Rio de Janeiro, Brasil, em 1998.

(Fonte: Disponível em <<http://g1.globo.com/Noticias>>, acessado em 7 de janeiro de 2015)

O segundo tipo de impacto se trata da categoria impacto na qualidade e está relacionado ao aumento dos valores médios dos parâmetros de qualidade de água pluvial nas áreas urbanizadas. A água da chuva pode entrar em contato com efluentes de esgotos tratados, ou até mesmo, in natura, se tornar um grande agente de degradação dos corpos d'água, já que, mesmo quando existem tratamentos eficientes dos esgotos urbanos, a água pluvial ainda entra em contato com a superfície urbana que é composta por inúmeros tipos de poluentes, tanto artificiais como naturais. Entre

⁴ Vazão de pico ou máxima é o valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado. A vazão máxima para um determinado tempo de retorno é utilizada no projeto de obras hidráulicas, tais como: condutos, bueiros, etc. (TUCCI, 1997)

esses poluentes, grande parte é composta por matéria orgânica, que acaba por aumentar as concentrações de nutrientes presentes na água, como nitrogênio e fósforo, apresentando, ainda, altas concentrações de hidrocarbonetos e metais, presentes em óleos, combustíveis, pneus e gases do escapamento dos automóveis, que são carregados das ruas. A figura 7 exemplifica um caso de impacto na qualidade, mostrando uma criança brincando no esgoto a céu aberto na cidade de Maceió.



Figura 7 – Esgoto a céu aberto em frente a uma escola no bairro Chã da Jaqueira, Maceió, Alagoas, Brasil. (Fonte: Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/fonteslarissa/5115237627/in/photostream/>), acessado em: 07 de janeiro de 2015)

O terceiro tipo de impacto se trata da categoria impacto no valor ambiental, que relaciona fatores causadores de danos ao meio ambiente devido à urbanização, o que leva a deterioração do valor ambiental da bacia hidrográfica referente à urbanização. A figura 8 mostra lixeiros recolhendo uma quantidade grande de lixo acumulado nas ruas e nos rios, depois de uma chuva na cidade de Manaus. Essa imagem representa um exemplo de impacto no valor ambiental, pois mostra bem a deterioração da área afetada pela chuva graças aos resíduos sólidos produzidos pela população de Manaus.



Figura 8 – Lixo sendo retirado pela Limpeza Pública de um dos principais igarapés de Manaus após enchente do dia 8 de maio de 2012.
(Fonte: Disponível em <<http://g1.globo.com>>, acessado em 06 de janeiro de 2015)

Analisando com maior abrangência as três categorias de impactos mencionadas acima, e integrando-as, verifica-se que as consequências a um local urbano atingido por uma cheia e os efeitos diretos e indiretos causados por esses eventos vão muito além do que uma descrição simples pode relatar.

Na categoria impacto de quantidade, o aumento do pico de vazão das cheias acarretará também num aumento da velocidade e do volume associados aos escoamentos superficiais. O risco de danos dessa inundação será, portanto, maior também, uma vez que a intensidade do fluxo de água na área alagada é mais forte.

Dependendo do grau de urbanização da região, o termo quantidade pode se relacionar também à frequência dos eventos e não só ao volume de água. Uma área muito urbanizada possui maior constância de eventos com escoamento no canal a plena calha, isto é, com a calha cheia. Isso causa transformações na morfologia dos canais, já que, estes tendem a aumentar sua largura para poder comportar as novas vazões. Tal situação intensifica ainda mais os processos de erosão das margens, que por sua vez irão assorear o leito do rio nos trechos de jusante, mais lentos pela sedimentação do material erodido. Sabe-se que a descarga de sedimentos grosseiros nos rios é maior em um ambiente urbano. Esses sedimentos também influenciam no processo de erosão das margens, aumentando os riscos de desmoronamento

considerando que as raízes das árvores na mata ciliar estarão mais expostas e vulneráveis e reduzem a sinuosidade do curso, aumentando a declividade do fundo. Em geral a integridade estrutural das margens fluviais estará mais enfraquecida.

Outro efeito negativo está associado às vazões de estiagem, que tendem a diminuir devido à redução da capacidade de infiltração do solo, responsável pelo reabastecimento das águas subterrâneas. O favorecimento do processo de sedimentação é ainda maior nesse período de seca do que no período de cheia, já que, a declividade média do corpo d'água e a velocidade de fluxo das vazões diminuem.

Para as categorias impacto na qualidade e no valor ambiental, é comum ocasionarem a degradação do meio aquático. As águas drenadas provenientes de áreas impermeabilizadas e de bacias de retenção são mais quentes. Unindo-se à perda da mata ciliar, esses eventos contribuem para a elevação na temperatura média da água, que, por sua vez, contribui para a redução do nível de oxigênio dissolvido presente no corpo hídrico, elemento imprescindível para manutenção de um ecossistema aquático equilibrado. O padrão de escoamento natural dos rios pode ser afetado por causa da erosão das margens. Dessa forma, espécies que dependem dos ambientes diversificados com trechos profundos e rasos, para garantirem sua reprodução e desenvolvimento, também são prejudicadas, pois as bacias urbanizadas tendem a possuir leitos mais uniformes e com pequena lâmina d'água. (Toronto and Region Conservation, 2006)

Todas essas questões abordadas, associadas ao avanço da urbanização, são responsáveis pela redução da disponibilidade de água no meio em que vivemos e pela perda de oportunidades de usos das mesmas. Impactos sociais e ambientais prejudicam a qualidade de vida nas cidades, trazendo consigo também um paradoxo econômico: por um lado se ganha e por outro se perde. A figura 9 apresenta um esquema resumindo a interação entre os diversos elementos que contribuem para essa perda de oportunidades.

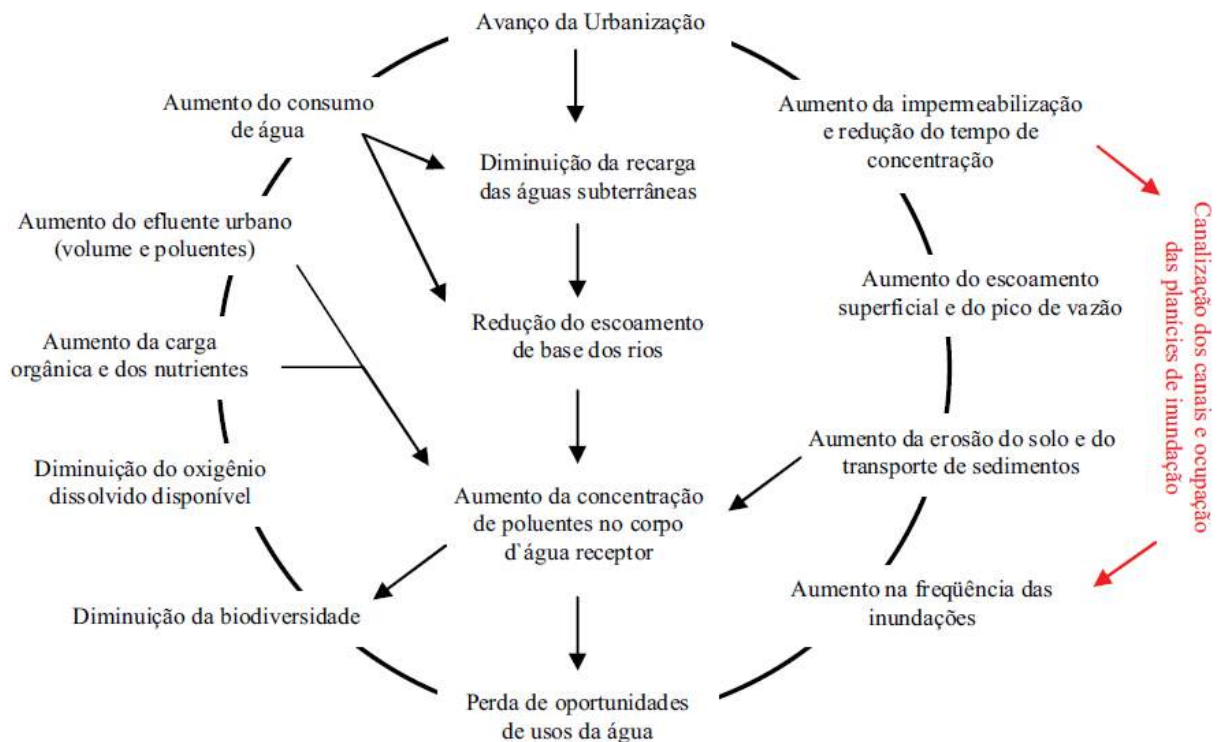


Figura 9 – Impactos da urbanização da bacia hidrográfica no ciclo d'água. (REZENDE, 2010)

Enfaticamente nas cidades globais, e inclusive nas cidades brasileiras, a ocupação urbana se encontra cada vez mais concentrada e densa. Isso se reflete num quadro de insustentabilidade urbana cada vez mais evidente e de resultados catastróficos. Os prognósticos de nossas ações muitas vezes não podem ser detectados, pois os efeitos indiretos se multiplicam para fora do nosso alcance. Nas áreas mais adensadas, onde a tendência deveria ser oposta, as construções se encontram cada vez mais verticalizadas. Não precisam ser somente os arranha-céus, o grande complexo de edifícios que se tornou nossas cidades já repercute da mesma forma impedindo a circulação dos ventos e as trocas de calor com regiões mais amenas, aumentando assim a temperatura média da cidade (figura 10). Agregam-se a isso as necessidades que só aumentam: necessidade de maior circulação de veículos mesmo diante dos inúmeros congestionamentos no tráfego, necessidade de mais abastecimento de água mesmo com a água doce perdendo sua oportunidade de uso e necessidade de destinos mais adequados e opções de tratamento mais eficazes para nossos esgotos e lixo, que também simultaneamente aumentam em quantidade. Por fim, numa frequência cada vez maior, vêm as inundações urbanas culminando no caos.



Figura 10 – Edifícios e arranha-céus na capital do Estado de São Paulo, Brasil.
(Fonte: Disponível em <<http://vejasp.abril.com.br>>, Acessado em 07 de janeiro de 2015)

A partir da década de 90 no Brasil, as questões ambientais ganharam mais espaço e as discussões a seu respeito vêm crescendo. Porém, para a cidade do futuro, onde áreas fortemente adensadas podem apresentar uma solução por concentrarem infraestruturas e serviços, ainda temos que descobrir meios para ultrapassar a atual dificuldade em integrar os planejamentos urbano, ambiental e de recursos hídricos, com soluções desejáveis para que possamos alcançar a sustentabilidade urbana.

3.3 Enchentes históricas no Estado do Rio de Janeiro

As chuvas decorrentes no Estado do Rio de Janeiro apresentam características sazonais bem definidas. Os fatores que influenciam a sucessão dessas precipitações são a proximidade local com o Oceano Atlântico, a topografia acidentada do Estado, o padrão de circulação regional das massas de ar da atmosfera e alguns eventos de grande escala a nível planetário.

Entre os meses de março a setembro efetua-se no estado as estações de outono e inverno. Esses períodos do ano são conhecidos por apresentarem chuvas normalmente ocasionadas por entradas de frentes frias, as temperaturas são mais amenas, com baixa umidade do ar, os nevoeiros ocorrem mais frequentemente

durante a madrugada na região serrana e no início da manhã no litoral. As estações da primavera e do verão acontecem entre setembro e fevereiro, apresentam tipicamente temperaturas bastante elevadas, e é comum ocorrerem chuvas de convecção no final da tarde, por causa da ascensão e esfriamento das massas de ar. As tempestades são típicas nessa época do ano e geralmente se iniciam na região serrana, vindo de encontro no sentido do litoral, têm curta duração e grandes intensidades. Essas chuvas também podem ocorrer simultaneamente com períodos de maré alta, tornando-se um agravante porque a situação dificulta ainda mais o escoamento das águas. As águas precipitadas não conseguem achar espaço nos corpos hídricos⁵, transbordando de seu curso natural e causando inundações.

A aproximação de frentes frias nas épocas, principalmente do verão, acontece quando ventos de sudoeste provenientes do Oceano Atlântico chegam ao litoral, as nuvens são elevadas e iniciam os processos de condensação e precipitação. Algumas vezes, as massa de ar quente impedem a passagem dessas frentes frias, bloqueando-as, e fazendo com que elas permaneçam estacionadas na mesma região durante vários dias. Nessas ocasiões, é comum que os solos, já saturados por receberem durante um período extenso a pressão das águas pluviais, deslizem e carregem material particulado para os corpos hídricos, assoreando e obstruindo os percursos das águas ainda mais.

“Elas movem moinhos e fazem grandes estragos nas cidades brasileiras há mais de 200 anos. Somente agora governos focam mais na prevenção das enchentes do que em reparos” (Fonte: Disponível em <http://www.revistadehistoria.com.br>), acessado em 18 de setembro de 2014)

“O Rio de Janeiro viveu nesta quarta-feira (12 de janeiro de 2011) um dos dias mais trágicos de sua história. As chuvas intensas que castigaram a região serrana do Estado deixaram mais de 270 pessoas mortas, segundo informações da secretaria de Saúde e Defesa Civil” (Fonte: Disponível em <http://noticias.r7.com/rio-de-janeiro/noticias>, acessado em 18 de setembro de 2014)

A cronologia das enchentes no Rio de Janeiro, tem seu primeiro registro no século XVIII. Anteriormente a essa data, os registros eram feitos somente através de cronistas ou viajantes da época, que o faziam em seus jornais e diários de viagem. Atualmente, com uma maior tecnologia disponível, vemos que os registros de enchentes no estado persistiram, e se agravaram conforme chegou o século XX.

⁵ Dentro da categoria de corpos hídricos estão os córregos, riachos, ribeirões, rios e canais.

(SERLA, 2001) Os eventos considerados mais catastróficos e mais significantes para essa análise, no Estado do Rio de Janeiro, nos últimos séculos são:

- Setembro de 1711, grandes inundações registradas na região da Baía de Guanabara;
- Abril de 1756, grandes inundações em toda a cidade. Registro de alagamentos no centro, desabamentos e mortes não quantificadas;
- Fevereiro de 1811, a catástrofe ficou conhecida como “águas do monte”, por conta do desmoronamento de vários morros na cidade, com número de vítimas fatais não quantificado;
- Março de 1906, o Canal do Mangue, próximo à Praça da Bandeira, transbordou provocando alagamento em quase toda a cidade;
- Março de 1911, alagamento na Praça da Bandeira, choveu 150mm em 24 horas;
- Março e Junho de 1916, transbordamento do Canal do Mangue nos dois eventos;
- Abril de 1924, fortes chuvas encheram novamente o Canal do Mangue, provocando inundações na Praça da Bandeira e outros bairros da região;
- Fevereiro de 1928, alagamento na Praça da Bandeira e desabamento e mortes não quantificadas nos morros de São Carlos, Salgueiro, Mangueira e Santo Antônio;
- Fevereiro de 1938, alagamento da Praça da Bandeira, choveu 136mm em 24 horas;
- Janeiro de 1940, alagamento em toda a cidade, choveu 112mm em 24 horas;
- Janeiro de 1942, desabamento no Morro do Salgueiro, choveu 132mm em 24 horas;
- Janeiro de 1966, fortes chuvas duraram uma semana e provocaram deslizamentos em todo o Estado, com total colapso dos meios de transporte e serviço de energia elétrica, morreram em torno de 250 pessoas e mais de 50 mil ficaram desabrigados. Choveu 237mm em 24 horas;
- Dezembro de 1981, deslizamentos em toda a cidade e transbordamento de rios e canais em Jacarepaguá;
- Dezembro de 1982, transbordamentos no Rio Faria Timbó, com 6 mortes;
- Fevereiro de 1988, maior enchente histórica até então, choveu 430mm em 24 horas, resultando em 600 mortes, e deixando em torno de 20 mil desabrigados, deixando a cidade completamente parada;
- Abril e Maio de 1990, enchente no Parque do Flamengo, Glória e Maracanã, choveu entre 103 e 165mm em 24 horas, provocando a morte de 25 pessoas;

- Fevereiro de 1996, chuvas atingiram a zona oeste e sul da cidade, provocando um grande transtorno urbano. Choveu 200mm em 8 horas;
- Janeiro de 2010, diversos bairros da cidade do Rio de Janeiro foram afetados, como Grajaú, Tijuca, Santa Teresa, Rio Comprido e Jacarepaguá. Choveu 288mm em 24 horas;
- Janeiro de 2011, pior enchente da história do Brasil, foram no total 918 mortos e quase 13,8 mil pessoas desalojadas. As chuvas intensas aconteceram na região serrana do Estado, e as cidades mais prejudicadas foram Nova Friburgo e Teresópolis. Chegando a chover na cidade de Nova Friburgo, 183 mm em 24 horas.

Através desse breve histórico, podemos tirar algumas conclusões. Os registros de inundações já datam desde o século XVIII, em diversos eventos as enchentes causaram mais do que destruições físicas no espaço urbano, muitas pessoas ficaram desabrigadas e houve um grande número de mortes, dados esses que não podem ser ignorados. Pode-se verificar também que a zona norte da cidade é sempre bastante afetada por esses eventos pluviométricos, havendo muitos registros de alagamentos nessa região.

De modo a enfatizar esse problema das enchentes na região da zona norte da cidade, as figuras 11, 12 e 13, mostram gráficos contendo os registros de chuvas desde 1997 até a época atual para os bairros da Tijuca e do Grajaú, focos do nosso estudo.

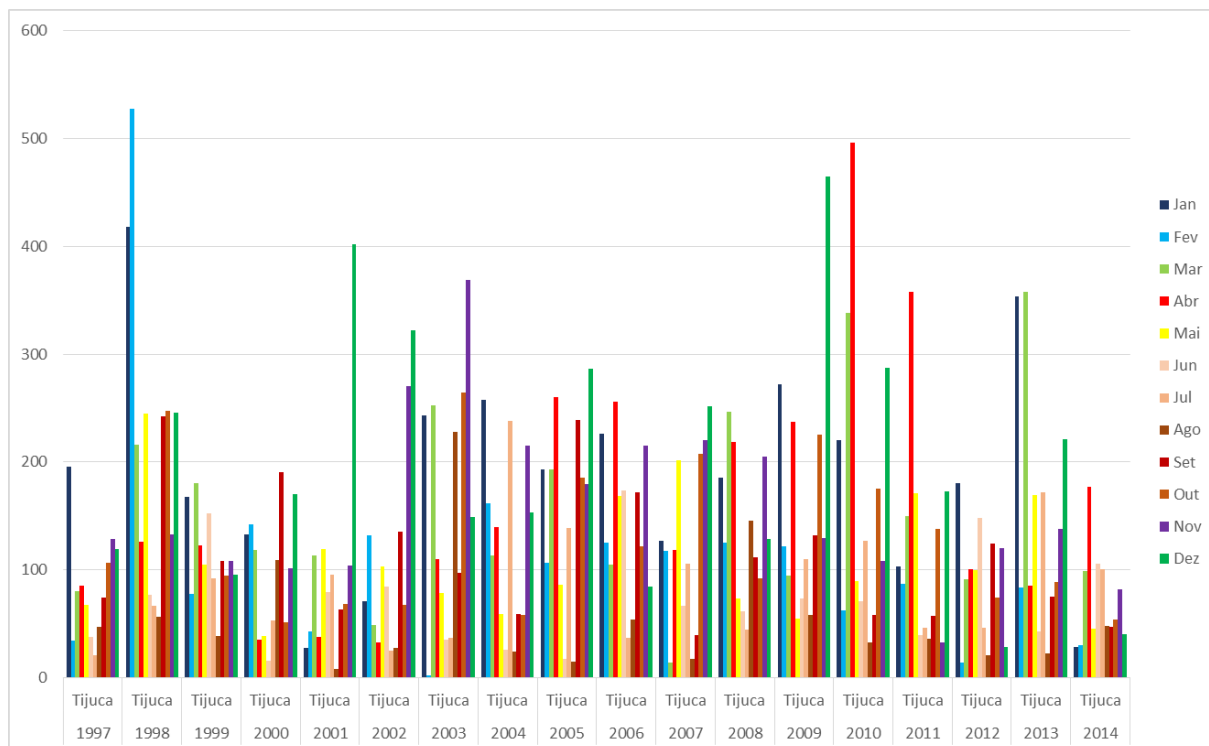


Figura 11 – Histórico de chuvas no bairro da Tijuca, de 1997 à 2014.

(Fonte: Disponível em <<http://alertario.rio.rj.gov.br>>, acessado em 30 de janeiro de 2015)

Nota-se pela figura 11, que o bairro da Tijuca alcançou uma chuva maior que 500mm em fevereiro de 1998. As tonalidades mais azuladas e esverdeadas do gráfico representam os meses dos períodos do verão e da primavera e, no geral, ao longo dos anos apresentam valores maiores que os demais. O ano de 2010 apresentou uma chuva histórica para a cidade, que ainda se encontra muito recente na memória dos habitantes. No mês de abril houve um evento atípico (figuras 12 e 13) que causou muitos transtornos à população, em especial a Praça da Bandeira. Mas também serviu de escopo para uma forte mobilização populacional, que instigou as autoridades a tomarem uma atitude a respeito do problema recorrente há anos na região. (Fonte: Disponível em <<http://oglobo.globo.com>>, acessado em 30 de janeiro de 2015)



Figura 12 – Enchente de abril de 2010, na Praça da Bandeira.
(Fonte: <<http://eliomarcoelho.wordpress.com/tag/enchentes>>, acesso 02 de fevereiro de 2015)

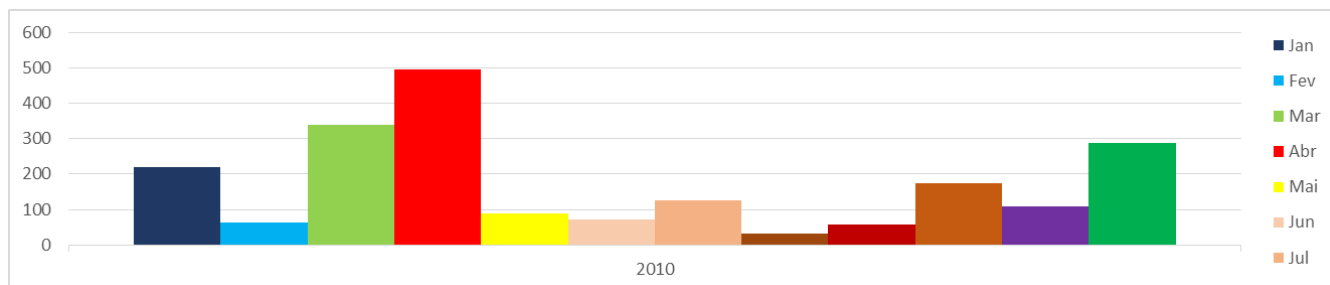


Figura 13 – Nível de precipitação pluvial no bairro da Tijuca, em 2010.
(Fonte: Disponível em <http://alertario.rio.rj.gov.br>, acessado em 30 de Janeiro de 2015)

O bairro do Grajaú também faz parte da região da Grande Tijuca e também expressa uma relevância significativa na questão da problemática das enchentes na cidade. Apesar de não apresentar precipitações tão elevadas quanto na Tijuca, o padrão pluvial ao longo dos anos segue a mesma tendência (figura 14).

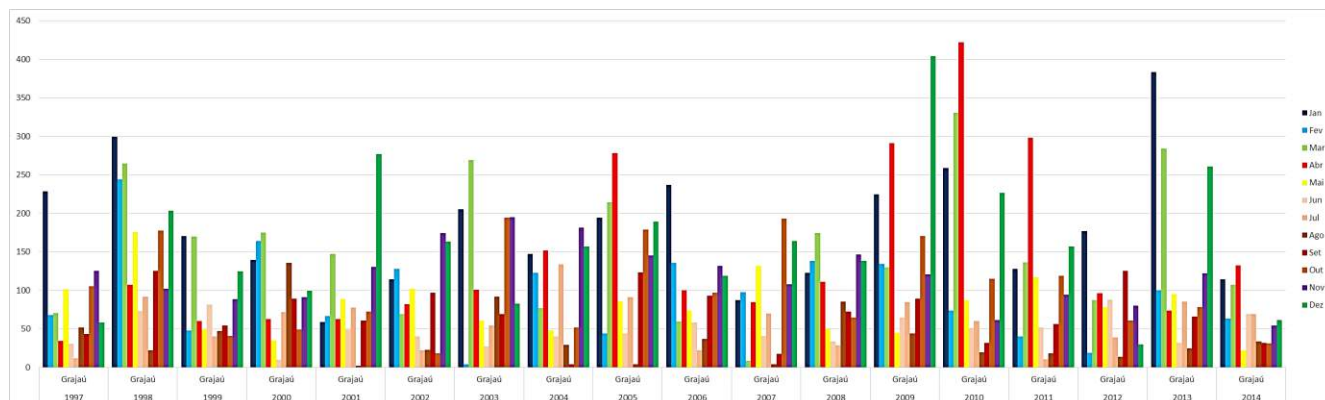


Figura 14 – Histórico de chuvas no bairro do Grajaú, de 1997 a 2014.

(Fonte: Disponível em <<http://alertario.rio.rj.gov.br>>, acessado em 30 de janeiro de 2015)

As causas para essa intensificação de enchentes nas últimas décadas, já abordadas anteriormente, como a expansão urbana não planejada e a favelização, são fatores que contribuem cada vez mais para a redução das áreas permeáveis.

De forma geral no município do Rio de Janeiro, as chuvas intensas estão mais frequentes e os totais pluviométricos anuais estão em elevação. Conceitua-se assim, cada vez mais um cenário de aquecimento global, no qual os dias e noites quentes acontecem com maior frequência, e em oposição, os dias e noites frios estão em menor quantidade.

As questões climáticas também contribuem portanto para o problema, mas não consistem em uma causa isolada, inclusive porque não se conhecem as reais dimensões dessas mudanças globais e suas relações com o aumento da ocorrência de eventos climáticos críticos. Grande parte do problema permanece devido ao descaso do poder público, acarretando em graves danos materiais e psicológicos a milhares de famílias, sobretudo as menos favorecidas.

Capítulo 4 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E LEGISLAÇÃO APLICADA

4.1 Ciclo hidrológico e drenagem urbana

A água é o solvente universal responsável pela sustentação da vida, interferindo na fauna e flora e interagindo com os demais elementos da natureza e seu meio, participando e dinamizando todos os ciclos ecológicos. O ser humano, assim como os animais de outras espécies, utiliza a água para estabelecimento de suas funções vitais, porém, além disso, ele também encontrou uso desta para outras atividades fundamentais à sociedade urbana atual, como produção de energia, navegação, produção de alimentos e desenvolvimento industrial, agrícola e econômico. Conforme a economia foi se tornando mais complexa e diversificada, mais usos foram sendo atribuídos aos recursos hídricos, aumentando sua dependência e causando grandes impactos ambientais⁶, inúmeros e variáveis, com consequências ecológicas, econômicas, sociais e para a saúde humana.

“A hidrologia é a ciência que trata da água da Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas e suas relações com o meio ambiente, incluindo as relações com a vida”. (TUCCI, 1997)

Ao se entender a importância da água como parte integral do planeta e componente fundamental da dinâmica da natureza e da sociedade, percebemos em correlação a importância de se compreender os fatores que impulsionam o ciclo hidrológico e como estes interagem entre si, gerando constantemente fenômenos que afetam o planeta.

O ciclo hidrológico se trata então do principal tema no estudo da hidrologia, envolvendo como os elementos da natureza têm influência sobre as bacias hidrográficas, que exercem significativa influência no clima local e regional, devido aos fluxos de energia e água na atmosfera. Alterações nos ciclos da água, energia solar, carbono e nutrientes, provenientes de mudanças na utilização de terras de uma dada

⁶ Impacto Ambiental - Considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, benéficas ou maléficas, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas. CONAMA 001/1986

região, podem também provocar consequências climáticas e ambientais, em escalas local, regional e até global. (SERLA, 2001)

Para descrever o ciclo hidrológico pode-se dividi-lo em fases. Primeiramente a energia solar aquece a superfície terrestre e causa a evaporação das águas presentes nos oceanos, lagos e rios, a transpiração vegetal também se soma ao outro fenômeno e o vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar. Sob determinadas condições, há a condensação desse vapor, juntamente com partículas de poeira e eventualmente gelo, formando nuvens, que por sua vez, podem resultar em precipitação, transportando a água de volta à superfície terrestre. Essa precipitação será dispersa de várias formas. Inicialmente sua maior parte fica retida no solo e na vegetação do local onde a gota d'água caiu, futuramente infiltrando através dos poros em direção ao lençol freático. Porém, caso haja impermeabilização da área, esses processos poderão não acontecer, e a água pluvial irá percolar pela camada superior. Se o solo encontra-se saturado, ou impermeabilizado, sua capacidade de infiltração reduz significativamente e o escoamento superficial aumenta. A tendência desse escoamento superficial é chegar aos rios, lagos e oceanos, restabelecendo a ordem natural do ciclo. O balanço médio do ciclo, simplificado, deve satisfazer a equação, onde: $P = E + T$, $P =$ Precipitação, $E =$ Evaporação, $T =$ Transpiração. Na figura 15 pode se ver a esquematização completa dos elementos e fenômenos de um ciclo hidrológico, conforme descrito.



Figura 15 – Ciclo Hidrológico.

(Fonte: Disponível em <<http://www.sobiologia.com.br/>>, acessado em 5 de janeiro de 2015)

Com o passar dos anos, as pressões sobre os usos dos recursos hídricos foram aumentando. Essa consequência provem de alguns problemas que estão

principalmente associados ao aumento do grau de urbanização. São estes o crescimento das populações humanas, aumento da taxa de impermeabilização, redução da cobertura vegetal, falta de planejamento e desornamento, deficiência das infraestruturas de saneamento, políticas incapacitadas de prevenir e evitar as ocupações irregulares, e falta de programas educacionais para a população. A redução no volume disponível e a apropriação dos recursos hídricos em escala maior e mais rápida torna-se inevitável e tem sido a responsável por produzir grandes alterações nos ciclos hidrológicos.

O grau de urbanização também interfere diminuindo a capacidade de reserva de água na superfície e nos aquíferos, provocando redução na capacidade natural de armazenamento dos deflúvios e, por consequência, alterando o balanço hídrico da bacia hidrográfica. Como alguns exemplos desta urbanização influenciando nos fatores hidrológicos, tem-se a construção de canais para desvio de água produzindo desequilíbrios no balanço hídrico; a construção de barragens aumentando a taxa de evaporação; a retirada de água em excesso para irrigação diminuindo o volume dos rios e lagos; e outros. A figura 16 apresenta um esquema que demonstra resumidamente como o aumento do grau de urbanização influencia os fatores: evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial de um ciclo hidrológico, respectivamente.

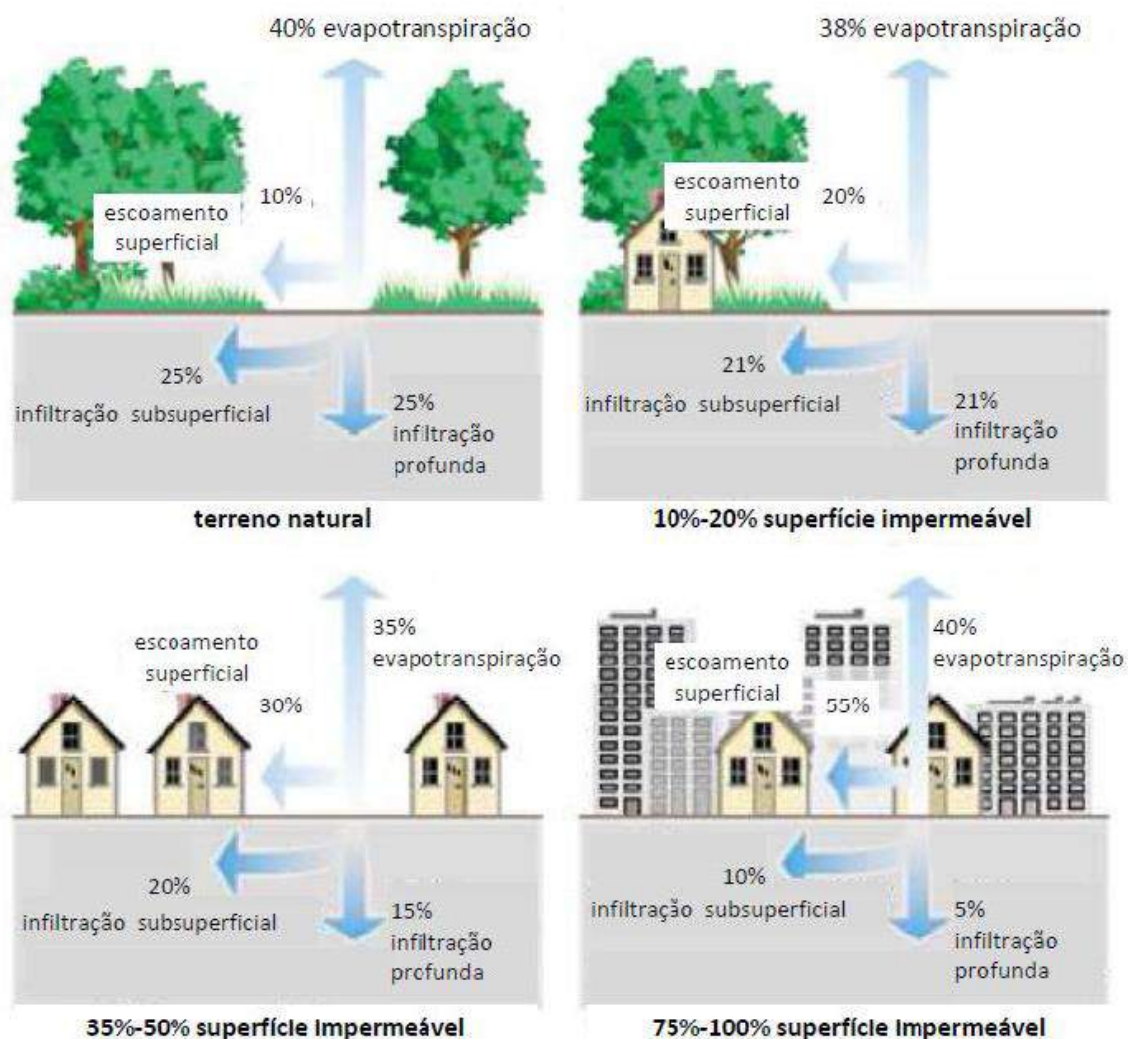


Figura 16 – Alterações das parcelas do ciclo hidrológico em diferentes fases da urbanização. (CARDOSO, 2008)

As inundações também podem acontecer por conta de eventos naturais, como é o caso das inundações de áreas ribeirinhas. Nestas ocasiões, o nível d'água do rio sobe e passa a escoar em sua calha secundária, com uma recorrência de aproximadamente 2 anos. A inundação ocorre quando essa calha secundária está ocupada por habitações humanas, que acabam por dificultar o escoamento das águas levando a uma elevação ainda maior no nível d'água e a um aumento na frequência de extravasamento da calha principal do rio. (TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J. C., 2003)

De modo a retificar isso e os problemas que vêm junto com essas alterações, o ser humano tenta controlar os processos de escoamento superficial através do uso da drenagem, que estabelece infraestruturas para direcionar mais rapidamente as águas

precipitadas para o seu destino final. Essa intervenção evita grandes acumulações de água em regiões com ocupações humanas.

O sistema de drenagem urbana pode ser conceituado através de dois subsistemas: (REZENDE, 2010)

1. **Micro Drenagem** → Por microdrenagem pode-se entender o sistema de condutos construídos para receber e conduzir as águas das chuvas vindas de lotes privados e públicos, como residências, comércios, ruas, praças, parques, etc. Convencionalmente visa a retirada das águas precipitadas e sua condução para a rede secundária ou para a macro drenagem, o mais rapidamente possível, com um risco associado de 2 a 10 anos de tempo de retorno⁷.

2. **Macro Drenagem** → Por macrodrenagem considera-se a formação da hidrografia natural da bacia, pré-existente à urbanização. A rede recebe grandes intervenções hidráulicas a fim de retificar os rios, aumentar sua capacidade de escoamento, diminuir áreas de alagamento, entre outras, com riscos ou recorrência⁸ variando entre 10 e 100 anos. Mas, essas intervenções convencionais normalmente tornam-se obsoletas pela falta de manutenção ou projetos mal dimensionados, ou ainda, como é muito comum nos países em desenvolvimento, perdem sua validade, pois não contam com uma boa política de habitação e uso do solo que alteram significativamente as parcelas do ciclo hidrológico da bacia, exigindo revisões das estruturas dimensionadas. A macrodrenagem destina-se portanto ao escoamento final dos percolados superficiais, incluindo o que for captado pelo sistema de microdrenagem.

Porém, para que esses processos de escoamento superficial sejam devidamente gerenciados, é necessário que o sistema de drenagem possua uma eficiência ótima. Essa eficiência, por sua vez, será calculada de acordo com a capacidade dos subsistemas de microdrenagem realizarem plenamente sua função de coletar e direcionar as águas dos lotes urbanos para a rede de macrodrenagem.

Mais adiante serão mais detalhados os transtornos e empecilhos que a expansão da urbanização pela bacia pode causar, obrigando a constantes intervenções no sistema, e a decorrente importância de se adotar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento integrado, articulando o planejamento de drenagem e controle de inundações com o Plano Diretor Urbano.

⁷ Tempo de retorno ou tempo de recorrência é o intervalo médio de tempo (dia, mês, ano) em que pode ocorrer ou ser superado um dado evento. (Fonte: BARBOSA, Paulo R. J. D. – Notas de Aula da Disciplina Hidrologia Geral – Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 09/2009).

⁸ A ocorrência da precipitação trata-se de um processo aleatório que não permite uma previsão determinística com grande antecedência. (SERLA, 2001)

4.2 Medidas de controle de enchentes

As chuvas são fenômenos aleatórios que associamos a uma função probabilística, de modo que se torne possível estimar uma determinada frequência para estas. Foi visto anteriormente que o tempo de recorrência, calculado para um projeto, está aliado a frequência ou probabilidade medidas para quanto uma área está sujeita a sofrer determinada lâmina d'água. Sua escolha representa o grau de proteção com o qual será submetida a população daquela região e o risco da obra implantada falhar. Seu apuramento e determinação são decisões tomadas no processo de gestão de drenagem de bacias hidrográficas. Porém essa decisão não é tão simples. Enquanto a utilização de um tempo de recorrência baixo eleva a exposição da população a vários riscos, a utilização de um tempo muito alto implica em custos mais elevados para o poder público e causando muitas vezes transtornos no meio urbano onde estão ocorrendo as obras, sendo em muitos casos necessárias ainda outras providências, como desapropriação de imóveis e realocação de famílias.

A elaboração de um projeto de contenção de enchentes e determinação de seus critérios causam diferentes conflitos às partes interessadas pois ao mesmo tempo que beneficiam alguns, prejudicam outros. Portanto, o mais adequado é tentar buscar valores intermediários e explicitar todo o planejamento e execução das obras de forma clara, para que interessados possam acompanhar o processo. Diante desse quadro, existem diferentes maneiras que o governo pode intervir na cidade como medidas de contenção para as inundações. Essas medidas podem ser classificadas dentro de dois grupos: o das medidas estruturais e o das não estruturais.

4.2.1 Medidas Estruturais

Medidas estruturais consistem em intervenções diretas nas calhas dos rios ou na paisagem urbana, alterando características naturais de drenagem da bacia. Dessa forma, podem ser alteradas declividades, seções de escoamento, trajetórias de escoamento, rugosidade das paredes de canais e outros aspectos hidráulicos. Alguns exemplos dessas obras mais comuns são: canalização, barragens, reservatórios, parques inundáveis e diques. Essas obras modificam o regime do volume e da velocidade de escoamento das precipitações, reduzindo a intensidade da cheia ou atuando na sua origem. Têm por finalidade reduzir o pico das enchentes por meio do amortecimento das ondas de cheia, armazenando parte do volume precipitado.

Considerando intervenções realizadas diretamente na calha fluvial, aumentam-se a seção hidráulica e a velocidade de escoamento do fluido, alavancando mais rapidez na retirada da água da bacia e reduzindo o tempo de permanência da cheia nos trechos médio e superior da bacia. Algumas dessas intervenções são a retificação de meandros, o aumento da seção e da declividade da calha, e o derrocamento⁹ do fundo dos rios.

A construção de diques longitudinais no rio também pode ser considerada uma intervenção ao longo da calha, uma medida tradicional muito utilizada para conter o transbordamento, utilizada especialmente em áreas baixas da bacia. O dique bloqueia a passagem da água do rio para a planície de inundação. A maior parte dos problemas, em geral está associada à manutenção de reservatórios de armazenamento temporário e estruturas auxiliares de descarga. As áreas protegidas, que ficam impossibilitadas de drenar as águas precipitadas sobre a sua bacia durante os eventos de cheia do rio, são geralmente ligadas ao corpo d'água principal por comportas de sentido único ou por estações de bombeamento. Essas obras têm alto custo de investimento.

Outra medida bem difundida é a criação de bacias de detenção e/ou retenção, para atenuação dos picos de cheia. Esses dispositivos são geralmente projetados de maneira que a água precipitada fique armazenada quando ocorrer uma cheia. Em seguida, a água é liberada gradualmente, reduzindo o nível do rio a jusante, a vazão de pico da cheia, e aumentando seu tempo de permanência. A diferença entre os dois termos empregados para essas bacias é simples. A bacia de retenção irá reter a água, permanecendo cheia por um tempo após a chuva, e pode ser usada como unidade de tratamento de efluentes. As bacias de detenção seguem liberando o volume de água após serem cheios, só que com uma vazão menor do que se a chuva caísse diretamente sobre o corpo d'água. Essas obras de reservatórios requerem um alto investimento, e um custo de manutenção. Seu dimensionamento carece de um amplo estudo das áreas de contribuição para o reservatório. Também necessitam de uma área adequada para sua implantação, o que muitas vezes é complicado num local intensamente urbanizado. Para solucionar essa situação, a construção pode ser realizada subterraneamente.

Uma das medidas mais adotadas é a canalização. Seu objetivo é melhorar a capacidade hidráulica da rede de macrodrenagem, retirando obstruções ao escoamento na calha principal dos rios.

⁹ Derrocamento é a retirada de material do fundo do rio, que não é oriundo de assoreamento, ou seja o material que compõe naturalmente o leito do rio. (Fonte: ALFREDINI, P. & ARASAKI, E., 2009)

A intervenção através do reflorestamento de áreas degradadas também pode ser eficaz e trazer uma melhoria ambiental na região. É uma importante medida de restabelecimento do balanço hidrológico natural de uma bacia urbanizada, previne a erosão do solo e favorece a infiltração reduzindo em consequência o volume de escoamento superficial.

4.2.2 Medidas não estruturais

As medidas não estruturais, ao contrário das estruturais, não consistem em obras hidráulicas, mas sim em intervenções que busquem adaptar a cidade e suas atividades aos cursos d'água e às inundações persistentes. São formadas basicamente por soluções indiretas, como por exemplo aquelas destinadas ao controle do uso e ocupação do solo (nas várzeas e nas bacias), adaptando instrumentos jurídicos-legais às prioridades de drenagem urbana e controle de inundações e estabelecendo padrões arquitetônicos e urbanísticos voltados à prevenção. Alguns exemplos podem ser: preservação da cobertura vegetal, garantindo a manutenção de um balanço hidrológico equilibrado; instalação de um sistema de previsão em tempo real e alerta contra enchentes, diminuindo a vulnerabilidade da população em áreas de risco; impedimento ou restrição da ocupação de planícies de inundação através do plano diretor; zoneamento das áreas de inundação, formulando-se diretrizes, regulamentos e normas para o uso do solo em cada faixa de inundação; estruturamento de praças e áreas de lazer que poderiam ser utilizadas no período de seca e inundadas na época de cheia (figura 17).



Figura 17 – Projeto da Water Square Benthemplein, em Rotterdam, Holanda.
 (Fonte: Disponível em <<http://www.rinnovabili.it>>, acessado em 17 de novembro de 2014)

Alguns países, como por exemplo a Holanda, criaram seguro contra enchentes. É racional pensar que o ser humano está disposto a pagar para se proteger de um evento que pode lhe causar diversos danos, assim como se pagam seguros contra acidentes de automóveis ou seguros de saúde. No caso específico da Holanda, o país é extremamente vulnerável aos impactos das mudanças climáticas por ter mais de 50% do seu território abaixo do nível do mar, estando muito sujeito às inundações. Portanto, o uso de seguros desse tipo trariam uma sensação de segurança e tranquilidade maior à sua população. (BOTZEN & BERGH, 2008)

Enquanto as medidas estruturais são consideradas medidas de controle, imprescindíveis para ações corretivas, as não estruturais se encaixam mais no perfil de medidas preventivas, com ações indiretas (figura 18). Ambas, porém, devem trabalhar harmoniosamente, em conjunto, para que se tenham efeitos eficientes contra as enchentes.

ESTRUTURAIAS	Extensivas	Agem na bacia, modificando as relações entre precipitação e vazão	
	Intensivas	Agem diretamente na calha do rio, modificando as grandezas hidráulicas e características hidrodinâmicas do escoamento	Aceleram o escoamento
			Retardam o escoamento
Derivam o escoamento			
NÃO-ESTRUTURAIAS	<ul style="list-style-type: none"> • Preservação⁵ da cobertura vegetal – Florestas e matas ciliares • Regulamentação do uso do solo e zoneamento das áreas de inundação • Construção à prova de inundações • Seguro-inundação • Sistema de previsão e alerta de inundações • Educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, da erosão e do lixo 		

Figura 18 – Medidas para controle de inundações. (REZENDE, 2010)

Duas vertentes de pensamento englobam todas as soluções técnicas para a mitigação de inundações, sejam estas estruturais ou não. (REZENDE, 2010) O primeiro grupo é o das técnicas convencionais ou de canalização. Seu objetivo é constituir obras que intervenham melhorando o fluxo de águas, baseando-se no rápido escoamento do excesso pluvial, promovendo sua aceleração e aumento da capacidade hidráulica dos rios e canais. Alguns exemplos são: Projetos de grandes galerias; Cortes de meandros e retificações; Mudança de declividade do leito do curso d'água; e Canalização.

O segundo grupo é o das técnicas preservacionistas ou compensatórias. As obras dentro desse grupo destinam-se a controlar e reduzir os volumes e vazões das precipitações, atuando de maneira difusa na origem da produção do escoamento superficial. Tentam, portanto, compensar sistematicamente as consequências da urbanização, não só em quantidade, como também em qualidade. Estas técnicas consistem de: Redução das vazões – Reservatórios de grande porte e de lote; e Redução dos volumes – Técnicas de infiltração;

Na cidade de Hamburg, no norte da Alemanha, o rio Elbe se encontra cerca de 110 km do Mar do Norte, e é um forte ativo econômico para o país. Parte da área do rio Elbe se encontra numa região de inundações, e para sua proteção foi criado um sistema de defesa contra enchentes que contém diques e barreiras com comprimento de 100 km totais (figura 19). Além disso, outras estratégias alternativas foram criadas,

como uma série de terraplenos para inundações em forma de cascata, que provêm um local de armazenamento temporário caso haja falha em algum elemento do sistema de defesa. Outro elemento foi a construção de uma depressão de 10m entre a beira do rio e uma passarela para pedestres que gera uma alternativa de saída de emergência, caso necessário. (National and Kapodistrian University of Athens, s.d.)



Figura 19 – Sistema de barragem no rio Elbe, Hamburg, Alemanha.
(Fonte: Disponível em <<http://www.floodresilience.eu>>, acessado em 02 de outubro de 2014)

No Japão, o edifício Acros Fukuoka (figura 20) é um ponto turístico da cidade por oferecer um espaço rentável e ao mesmo tempo verde, de uma forma bem particular. O projeto transporta um parque no centro da cidade para 15 terraços. Estes atingem cerca de 60m acima do solo e contêm 50 mil plantas. O telhado verde reduz o consumo energético de um edifício, pois mantém a temperatura interna mais constante e confortável, além de captar águas pluviais e dar suporte à vida dos insetos e pássaros. (Automatic House, 2011)



Figura 20 – Edifício Across Fukuoka, Japão.

(Fonte: Disponível em <<http://www.automatichouse.com.br>>, acessado em 02 de outubro de 2014)

Em Portland, Oregon, Estados Unidos, o programa Ruas Verdes inseriu o projeto Jardins de Chuva na cidade (figura 21). Também chamado de sistema de biorretenção, utiliza a atividade biológica de plantas e microorganismos para remover os poluentes das águas pluviais e contribui para a infiltração e retenção dos volumes de água precipitados. Os poluentes são removidos por adsorção, filtração, volatilização, troca de íons e decomposição. A água limpa pode ser infiltrada no terreno ou coletada em um dreno e descarregada no sistema de microdrenagem. Além de todas essas vantagens, o projeto ainda contribui para aumentar a beleza paisagística do bairro. (YAZAKI, *et al.*)



Figura 21 – Jardim de chuva em Oregon, Estados Unidos.

(Fonte: Disponível em <<http://solucoesparacidades.com.br>>, acessado em 03 de outubro de 2014)

O plano de reconstrução do Rio Isar, em Munique, Alemanha (figura 22), foi elaborado com vias a controlar os problemas de enchente sofridos pela cidade. Só que o projeto foi além e não só serviu ao propósito inicial, mas também criou oportunidades de recreação pois incluiu bancos de areia ao longo do rio dando a ideia de uma praia pública, e melhorou as condições de habitat para as espécies que vivem no corpo hídrico já que, foram instalados sistemas de desinfecção e melhoria da qualidade da água, além da substituição de açudes por uma rampa de rochas que permitem a passagem dos peixes. Antes do projeto havia o risco de inundação das propriedades e infraestruturas urbanas locais, o rio estava canalizado e retificado comprometendo as interações biológicas com as áreas marginais, o público pouco acessava o local e o estado de qualidade da água era baixo. O conceito do projeto foi criar um rio urbano, que combinava um design naturalístico com o estilo de vida urbano. (State Office for Water Management, 2014)



Figura 22 – Praia artificial do Rio Isar, Munique, Alemanha.

(Fonte: Disponível em <<http://www.restorerivers.eu>>, acessado em 03 de outubro de 2014)

Existem alguns elementos-chave para que essas tecnologias não se tornem obsoletas e ineficientes. Um sistema de drenagem sólido, adequadamente controlado, com mecanismos de supervisão à distância, gestão em tempo real das chuvas excepcionais e de toda a rede, sistemas de previsão climática e coleta e transmissão de informações, é muito importante para que os serviços de emergência e os cidadãos tenham todas as coordenadas necessárias e possam estar preparados diante das situações de caos.

A garantia do sucesso de todas essas medidas, independentemente de quais sejam, irá pressupor o envolvimento em aspectos de natureza cultural e participação do público, indispensáveis para suas implantações. Assim como investimentos em programas de conscientização e educação popular diante de temas estratégicos como: poluição, escassez, conservação e manejo de solo e água, conflitos de uso, uso racional e combate ao desperdício, e controle de inundações.

4.3 Técnicas compensatórias em drenagem urbana

No item anterior, vimos um pouco da importância de serem implementadas não somente medidas mitigadoras para contenção de enchentes tradicionais, mas também, medidas compensatórias. A falha de ambos os sistemas de micro e macrodrenagem, ou mesmo de apenas um deles, é capaz de acarretar grandes perdas

econômicas e/ ou sociais. As técnicas compensatórias entram então nesses casos, como estruturas suplementares capazes de refrear os danos.

Executar projetos que não se enquadrem num plano sistêmico, também pode ser um ponto fraco no sistema. Os efeitos negativos são diversos e citando alguns exemplos, temos: a sensação de falsa segurança na população pois só porque um projeto único foi bem sucedido na contenção de inundações durante alguns anos não significa que ele será sempre suficiente, principalmente ao nos depararmos com chuvas mais intensas; os projetos tradicionais não contemplam a solução dos problemas de qualidade da água pluvial, estão limitados a questão da quantidade além de não serem o ideal pois as substâncias dissolvidas e em suspensão presentes nessa água, também podem ocasionar irregularidades no funcionamento dos sistemas de drenagem; as técnicas tradicionais muitas vezes restringem o uso da água no meio urbano pois não possibilitam que esta possa ser usufruída de outras maneiras, como para lazer, para atividades contemplativas, etc.

As alternativas às soluções clássicas são muitas e buscam incluir uma nova abordagem no modo de se pensar o urbanismo, uma vez que não enxergue a água como um problema a ser cuidado, mas como parte integradora do meio urbano. A água é um elemento pertencente à cidade e, portanto, deve estar inserida como tal.

Essa visão tem a vantagem de diminuir os efeitos da urbanização sobre a hidrologia urbana, observando a bacia como um todo e alavancando, através do aumento das infiltrações pluviais e do tempo de escoamento, a redução na velocidade do transporte da água precipitada para a jusante. Um projeto urbanístico que contemple medidas compensatórias, tem que considerar também o projeto de ordenamento do uso do solo, não podendo dissociar-se da gestão de águas pluviais. Os custos associados a esses projetos também são reduzidos, já que, por integrarem um sistema amplo que trabalha em conjunto com diversos setores, podem ser subdivididos por vários departamentos do governo, tornando-se um projeto economicamente mais viável que o projeto exclusivamente tradicional, tanto do ponto de vista da implantação quanto da manutenção. Uma classificação mais abrangente das técnicas compensatórias em drenagem urbana é apresentada na figura 23.

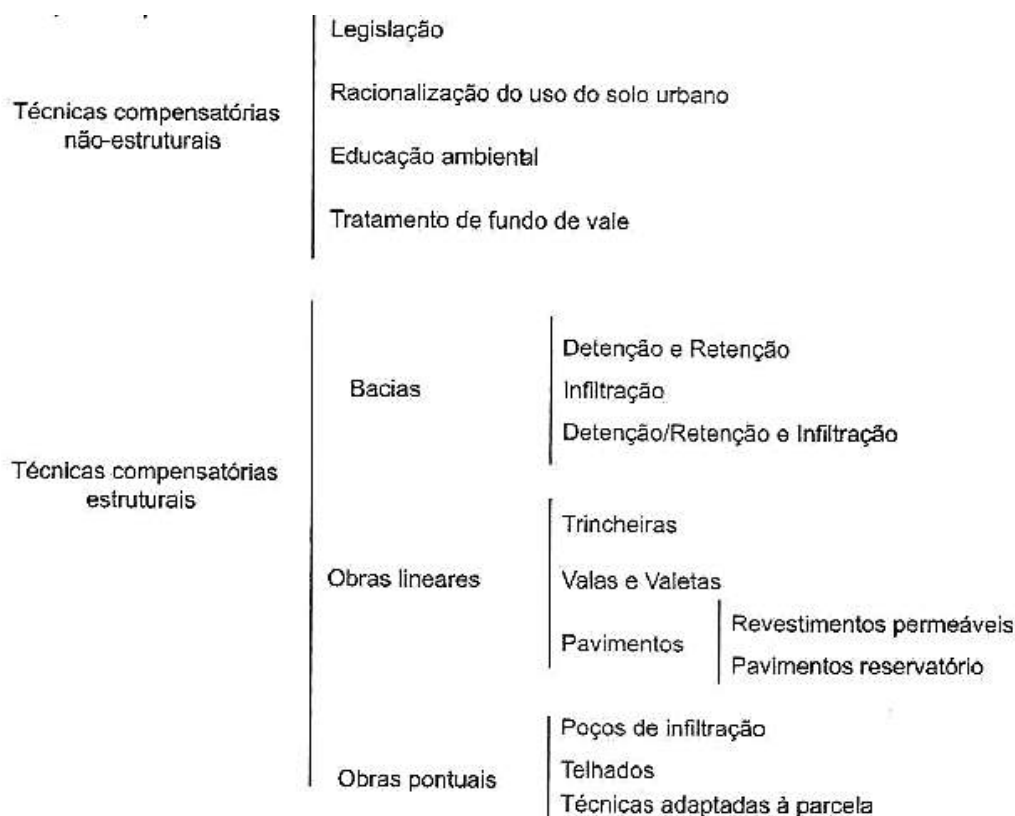


Figura 23 – Classificação das Técnicas Compensatórias. (BAPTISTA, M. *et al.*, 2005)

São denominadas obras lineares aquelas que têm uma de suas três dimensões com extensão muito maior do que as outras duas.

- Trincheiras de infiltração e retenção: (MOUTINHO, 2011)

As trincheiras são dispositivos escavados linearmente no solo, que permitem a entrada de água para que posteriormente essa seja conduzida a um sistema de macrodrenagem ou infiltrada (figura 24). Contribuem muito na redução do escoamento superficial, pois armazenam a água em tempo suficiente para que ela possa ser infiltrada, colaborando para a redução da vazão de pico e reduzindo os riscos de inundação. Esses dispositivos são geralmente alocados em jardins, estacionamentos, etc. São adequadas para áreas de drenagem de 2 hectares ou menos.

As trincheiras de infiltração são usualmente preenchidas com qualquer tipo de brita, que embora reduza o volume da água que possa ser armazenado na trincheira, acaba proporcionando mais segurança e propicia maior estabilidade do talude, diminuindo o risco de erosão. Usualmente são revestidas com materiais naturais, como gramíneas, ou manta geotêxtil permeável, ou até mesmo não apresentam revestimento algum. Já a trincheira de retenção objetiva o rearranjo temporal dos hidrogramas. Geralmente são revestidas com mantas geotêxtis impermeáveis ou concreto, prezando mais a impermeabilização.

A água que escoar pode acessar as trincheiras através da parte superior, ou pelo sistema convencional de drenagem. Enquanto para as de infiltração, assume-se que toda água infiltrará, não sendo necessário portanto, dispositivos de recolhimento de água, para as de retenção, esses dispositivos devem ser pensados e dimensionados, e a estrutura que normalmente cumpre essa função é o poço de visita.

As vantagens da utilização dessa técnica são:

- Redução ou mesmo eliminação da rede de microdrenagem local;
- Possibilidade de evitar a reconstrução da rede à jusante em caso de saturação;
- Redução do risco de inundação;
- Redução da poluição das águas superficiais;
- Recarga das águas subterrâneas.

As desvantagens da utilização dessa técnica são:

- Necessidade de manutenção frequente;
- Redução da eficiência pelo processo de colmatção¹⁰ e o risco de contaminação do solo e do lençol freático;
- Uso restrito em áreas com grandes declividades.



¹⁰ Preenchimento de poros, buracos, falhas, irregularidades. (VIVAS, E. *et al*, 2010)

Figura 24 – Trincheira de infiltração aberta em solo (à esquerda), e trincheira de infiltração funcionando como sarjeta (à direita). (MOUTINHO, 2011)

- Valas, Valetas e Planos de infiltração e retenção: (MOUTINHO, 2011)

Caracterizam-se por serem simples depressões escavadas no solo, cujo objetivo é armazenar temporariamente as águas das chuvas, favorecendo sua infiltração (figura 25). A principal diferença entre as valas, valetas e os planos de retenção, é que neste último, as dimensões transversais e longitudinais possuem a mesma ordem de grandeza, enquanto as profundidades se mantêm reduzidas.

Diferentemente das trincheiras, essas técnicas são recomendadas para locais onde o lençol freático é próximo à superfície. O escoamento das águas pluviais pode acontecer livremente na superfície ou, mais raramente, por meio de tubulações. O deságue é realizado no corpo receptor.

As vantagens da utilização dessa técnica são:

- Redução da rede de drenagem à jusante;
- Pequeno custo associado à manutenção;
- Ganho paisagístico e valorização do espaço;
- Possibilidade de reabastecimento do lençol freático.

As desvantagens da utilização dessa técnica, são:

- Necessidade de manutenção periódica;
- Uso restrito em áreas com grandes declividades;
- Possibilidade de estagnação da água, o que implicaria em problemas sanitários.



Figura 25 – Exemplo de vala de infiltração em estacionamento, com plantas nativas.
(MOUTINHO, 2011)

- Pavimentos Permeáveis: (MOUTINHO, 2011)

Os pavimentos permeáveis são produzidos com asfalto poroso e blocos de concreto vazado, contribuindo para a diminuição do escoamento superficial em áreas densamente ocupadas (figura 26). Esses pavimentos podem ser dotados de revestimentos superficiais permeáveis, de estrutura porosa, ou de estrutura porosa com dispositivos de facilitação da infiltração. Essa técnica permite tanto a detenção temporária das águas pluviais, como também a infiltração de parte delas, o amortecimento de vazões e alteração no desenvolvimento temporal dos hidrogramas.

Pode ser aproveitável em diversas aplicações como em áreas industriais, galpões, pátios, ruas com tráfego leve, condomínios e conjuntos habitacionais, praças, calçadas e estacionamentos, apresentando assim grande potencial, além de remediar a ocorrência de poças e aquaplanagem.

As vantagens da utilização dessa técnica são:

- Melhoria na segurança e paisagística das ruas por causa da redução na formação de poças;
- Ganho ambiental com a possibilidade de recarga de reservas subterrâneas;
- Melhoria da qualidade das águas por ação de filtração no corpo do pavimento;
- Benefícios financeiros por conta da diminuição da pressão sobre os sistemas de drenagem de jusante.

As desvantagens da utilização dessa técnica são:

- Risco de contaminação de lençóis freáticos;
- Sujeição à colmatação.



Figura 26 – Blocos vazados permitindo a permeabilidade dos escoamentos. (KOBAYASHI *et al.*, 2008)

Obras pontuais proporcionam controle na fonte do escoamento. Algumas das principais técnicas usadas serão vistas a seguir.

- Poços: (MOUTINHO, 2011)

Através dos poços, a água é infiltrada diretamente no solo. Podem ser utilizados em áreas permeáveis ou impermeáveis com a condição de que o solo possua boa capacidade de infiltração (figura 27).

A água que entra no interior do poço pode ser proveniente tanto de escoamentos superficiais quanto de redes de drenagem. Por sua vez, a saída acontece por intermédio de infiltração no solo ou injeção no lençol freático.

As vantagens da utilização dessa técnica são:

- Possibilidade de recarga do lençol freático local;
- Facilidade de integração no meio urbano.

As desvantagens da utilização dessa técnica são:

- Possibilidade de contaminação do lençol freático por água de baixa qualidade;
- Indica-se campanhas de conscientização ambiental populacional, para que os poços não sejam usados como local de despejo de rejeitos.

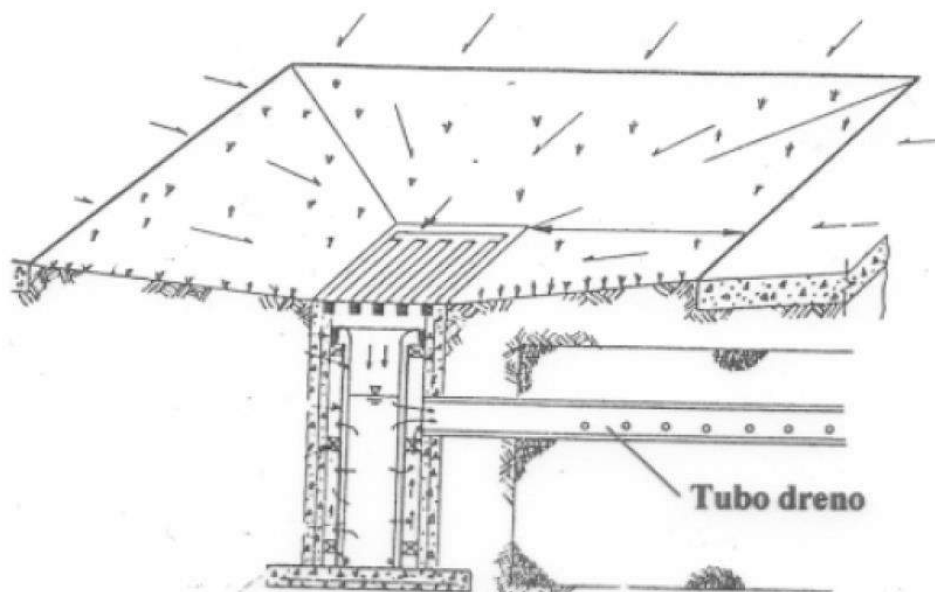


Figura 27 – Esquema de um poço de infiltração. (BAPTISTA, M. *et al.*, 2005)

- Telhados Armazenadores: (BAPTISTA, M. *et al.*, 2005)

A grande vantagem da utilização dessa técnica é o aproveitamento de uma área que já está sendo ocupada independentemente, principalmente quando se leva em consideração o tamanho da área a qual as edificações se apoderam e a falta de espaço urbano ocasionada por essas. (Figura 28)

O ideal seria já considerar esses telhados no momento da elaboração dos projetos de novas construções, já que, implementá-los em edificações já existentes torna-se um pouco problemático, pois o peso adicional no telhado necessita ser estimado cautelosamente numa avaliação estrutural.

Para uma maior eficiência de armazenamento, recomenda-se que os telhados sejam planos ou que possuam pequena declividade.

As vantagens da utilização dessa técnica são:

- Retenção das águas da chuva;
- Potencial redução de temperatura em ambientes urbanos adensados;
- Absorção de poluição sonora;
- Melhora paisagística.

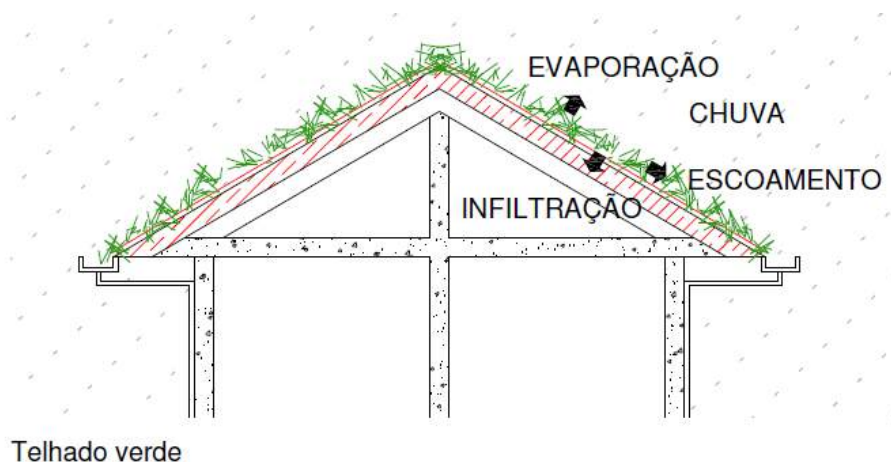


Figura 28 – Exemplo de Telhados armazenadores. (KOBAYASHI *et al.*, 2008)

- Reservatórios Individuais: (BAPTISTA, M. *et al.*, 2005)

Os reservatórios individuais (figura 29) são estruturas alocadas no interior de cada lote, podendo estar conectados ou não à rede de drenagem local. Eles podem ser constituídos de diversos materiais diferentes como plásticos, metais e fibras. O custo de instalação e manutenção fica por conta do proprietário do lote, mas o rendimento é notado ao longo dos anos de utilização. A água armazenada não é própria para consumo, porém pode ser empregada em outros usos como rega de jardins, lavagem de automóveis, utilização em vasos sanitários, outros.



Figura 29 – Reservatório individual para aproveitamento de água da chuva. (BAPTISTA, M. *et al.*, 2005)

Medidas compensatórias incluem desde os diferentes grupos de intervenções descritos aqui, arquitetadas de modo a criar layouts alternativos para minimizar a

impermeabilização do solo e maximizar seu uso. Até instituir ações com intermédio menos estrutural e mais voltado para o social e o ambiental, como a preservação de mata nativa, redução das fontes de contaminação e programas de educação.

4.4 Paisagens multifuncionais – drenagem urbana sustentável

O governo, aliado à população e às entidades responsáveis pela manutenção da ordem civil, deve assegurar o esgotamento sanitário, abastecimento de água, limpeza urbana e transporte da região. Para tal, deve-se fortalecer institucionalmente o sistema de gestão pluvial e trabalhar mais na capacitação técnica e gerencial dos agentes responsáveis por tais medidas.

O desenvolvimento tecnológico é outro ponto de extrema importância a ser abordado. A visão antiga da drenagem urbana tinha como princípio remover as águas pluviais para jusante e executar projetos e obras. As medidas estruturais eram a base para resolução dos problemas e, o meio de análise dessas medidas se dava através de um viés mais econômico. Considerando-se que o planejamento já não foi realizado com antecedência e que o problema se intensifica conforme os anos passam, buscar tecnologias alternativas para drenagem urbana e controle de inundações pode ser uma maneira inovadora e eficiente de minimizar o problema. Nesse contexto, podemos inserir o conceito de paisagem multifuncional.

A perspectiva multifuncional permite a integração de uma grande variedade de funções, que se interligam, contribuindo para uma gestão sustentável do território e abrangendo em combinação o ambiente, a natureza, a paisagem, a cultura, e a qualidade de vida. O paradigma da multifuncionalidade é relativamente recente e essa mudança de conceitos tem contribuído para aumentar a diversidade, a complexidade e a heterogeneidade dos territórios.

As paisagens já são, pela sua própria natureza, dinâmicas. Constantemente decorrem no território ações que combinam intervenções do homem e da natureza. Já as conseqüentes transformações desse território serão sucedidas de mudanças em sua identidade física e biológica e serão *“tanto mais intensas quanto mais intensa for a pressão de uso que sobre ela se exerce.”* (FADIGAS, 2007) São os fatores socioeconômicos, políticos, tecnológicos, naturais e culturais que determinam as dinâmicas de alteração na paisagem e no uso do solo.

Partindo-se da ideia de paisagens multifuncionais, podemos incorporar uma nova concepção para os projetos de drenagem, visando uma integração com os planos de desenvolvimento urbano e a gestão da ocupação e uso do solo. O Plano Diretor de Drenagem convencional evolui para um pensamento mais proativo e avançado ao se considerar a gestão do ambiente natural e construído. A drenagem sustentável pensa, como o próprio termo sustentável já indica, no futuro. Torna-se de extrema importância analisar com mais aperfeiçoamento as decisões tomadas no presente, sendo estas flexíveis para que se possam modificar e adaptar-se ao desenvolvimento da sociedade futura. A drenagem urbana sustentável irá interceder não na consequência das grandes chuvas, mas nas causas das grandes inundações. Pois, ao se mitigar as causas, evita-se, ou ao menos minimizam-se, os resultados desastrosos. Ela enfatiza a necessidade de se pensar preventivamente, realçando o valor do planejamento.

Os sistemas de drenagem convencionais, apesar de serem tecnicamente corretos e eficazes, não mantêm esses padrões a longo prazo, ou seja, dado um determinado período vão perdendo sua eficiência, pois deixam de assistir ao alto crescimento da demanda urbana por infraestruturas. Entende-se dessa maneira a importância de se combinar o uso de técnicas tradicionais com as não convencionais, pois tornar as técnicas tradicionais em obsoletas não é útil para o sistema. O ideal seria agregá-las a um novo uso, que una os conhecimentos tradicionais aos recursos sustentáveis, e otimizar o processo como um todo.

A não existência ou o não cumprimento dos planos de desenvolvimento urbano servem ainda como agravantes dos sistemas defasados. O sucesso da implementação de um sistema de manejo de águas pluviais urbanas sustentável, está na capacidade destes de buscar neutralizar os efeitos da urbanização, restabelecendo as condições hidrológicas antecedentes, trazendo benefícios para a qualidade de vida e visando a preservação ambiental. Assim, o Plano de Manejo das Águas Pluviais de um município, para que atenda aos preceitos de sustentabilidade discutidos aqui, deve buscar efetuar as seguintes tarefas:

- Reduzir os prejuízos decorrentes das inundações;
- Melhorar as condições de saúde da população e do meio ambiente urbano;
- Planejar os mecanismos de gestão urbana para que se tenha um manejo sustentável das águas pluviais e da rede hidrográfica do município;
- Planejar a distribuição da água pluvial de acordo com as tendências de evolução da ocupação urbana que se seguem no local;
- Ordenar a ocupação das áreas de risco de inundação através de regulamentação;

- Restituir parcialmente o ciclo hidrológico natural, reduzindo ou mitigando os impactos da urbanização.
- Propor projetos de drenagem que apresentem a melhor relação custo-benefício, contemplando aspectos sociais e econômicos;
- Propor projetos de drenagem que estejam integrados às diretrizes do Comitê de Bacia Hidrográfica local;
- Formatar programas de investimentos de curto, médio e longo prazo;
- Propor projetos que possuam medidas para o controle de material sólido e a redução da carga poluidora das águas pluviais;
- Propor projetos que contemplem a mobilização social, comunicação, formação de educadores na área de saneamento ambiental e outras ações de educação ambiental, visando a busca da sustentabilidade socioeconômica e ambiental;
- Planejar dentro da unidade da bacia hidrográfica do município;
- Regulamentar a ocupação do território através do controle das áreas de expansão e da limitação do adensamento das áreas ocupadas;
- Fiscalizar as medidas propostas e adotadas.

Os principais enfoques dos planos que envolvem drenagem sustentável são: a atenuação de processos erosivos, evitando desmatamentos e assoreamentos dos rios e lagos; a manutenção dos recursos hídricos e da qualidade das águas superficiais e subterrâneas; e a gestão urbana. Todos esses preceitos devem estar inclusos no Plano Diretor da Cidade. Assim, conclui-se que é necessária a cooperação entre poder público, iniciativa privada e população, principalmente através da educação e conscientização dos habitantes. É importante destacar que essa integração deve acontecer não somente entre as diversas partes interessadas, mas também que se tenha um conjunto de diferentes ações em diversas escalas, enquadrando políticas de base municipal, estadual e até nacional. (GONDIM FILHO, J. & MEDEIROS, V. V., 2004) Ao redor do mundo, a implantação de diversos projetos para fins do mesmo objetivo pode servir de inspiração e aprendizado para a realidade brasileira. Apesar de cada país apresentar características diferentes, as regiões que buscam medidas mitigadoras para as inundações, todas têm em comum o desenvolvimento de caminhos com base na inovação, usando uma combinação de engenharia, tecnologia e criatividade para assegurar a capacidade de recuperação da região após um choque, seu poder de absorção de estresse, mantendo sua funcionalidade pelo maior tempo possível sob as condições de distúrbios e de recuperação rápida, enquanto segue-se numa constante adaptação às pressões climáticas.

A partir do conceito de desenvolvimento sustentável¹¹ uma nova abordagem no campo da drenagem urbana surgiu. Os termos: SUDS – Sustainable Urban Drainage Systems e BMPs – Best Management Practices, na Europa; LID – Low impact Development, nos EUA e Canadá; WSUD – Water Sensitive Urban Design, na Austrália; LIUDD – Low Impact Urban Design and Development, na Nova Zelândia; e DUBI – Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto, no Brasil, são muito discutidos no desenvolvimento de metodologias urbanas de baixo impacto. Estes conceitos buscam reproduzir, com a maior naturalidade possível, as condições originais de drenagem do local estudado, antes de sua urbanização. (KLEIMAN, M. & KAUFFMANN LEIVAS, M., 2013)

Quando o controle dos escoamentos superficiais é exercido na fonte, tornam-se mais dispensáveis a construção de grandes obras de contenção e estruturas de atenuação. O Manual de Sistema de Drenagem Sustentável publicado pela CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) em 2007, descreve os principais componentes desse sistema como sendo:

- Faixas de filtração;
- Valas de infiltração;
- Bacias de infiltração;
- Bacias de retenção;
- Bacias de detenção;
- Trincheiras de filtração;
- Pavimentos permeáveis;
- Telhados verdes.

Para Stahre (2005) as soluções técnicas sustentáveis em drenagem urbana podem ser subdivididas de acordo com sua localização no sistema de drenagem. Sua categorização será: pelo controle na fonte, controle no local, transporte lento e controle de jusante, sendo que os dois grupos principais de destaque para o autor são o controle na fonte e o controle a jusante. A contenção na fonte se trata da construção de pequenos reservatórios localizados próximos à origem de geração dos escoamentos, possui como vantagens a possibilidade de criação de pequenas unidades padronizadas e sua dispersão, que impossibilita as possíveis falhas operacionais de danificarem totalmente o sistema. Já a contenção a jusante se trata

¹¹ Desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades. (Fonte: LUCENA, André F. P. – Notas de Aula da Disciplina Economia e Meio Ambiente – Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 09/20014)

de reservatórios de maior porte, localizados nos pontos mais baixos da bacia. Como principais vantagens, essa técnica possibilita a armazenagem da água pluvial nas partes mais significativas da bacia e pode ser considerada uma medida corretiva, pois permite também a reabilitação de sistemas que já existem. A figura 30 apresenta uma ilustração com os quatro grupos de técnicas, de acordo com suas respectivas localizações no sistema.

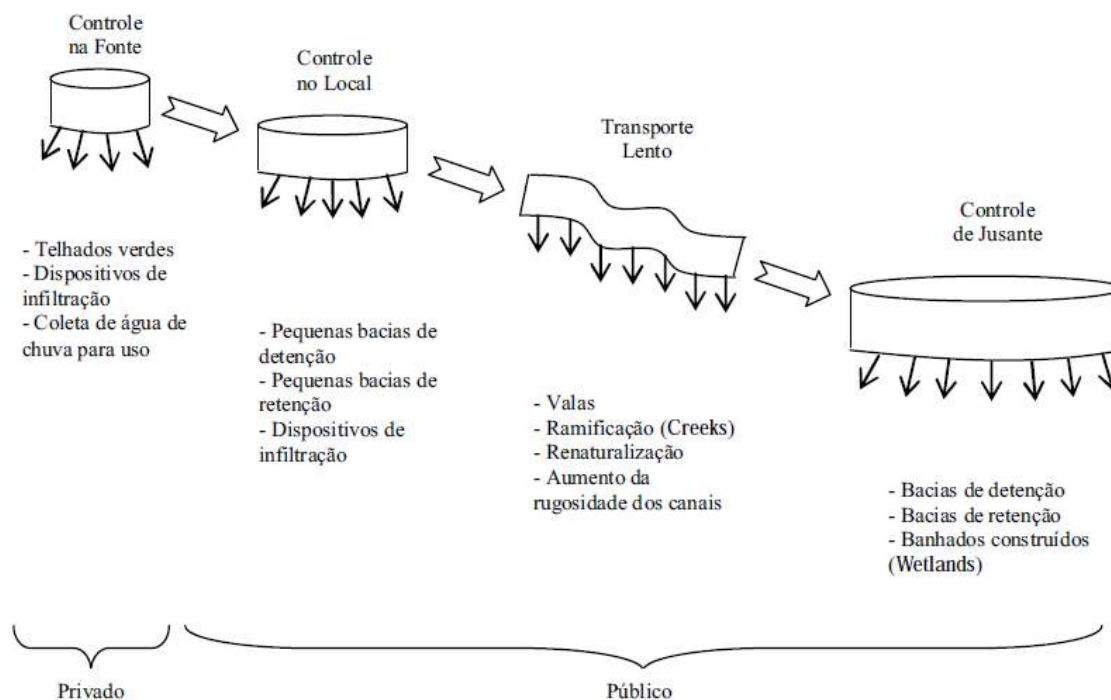


Figura 30 – Categorização das soluções técnicas sustentáveis segundo sua localização no sistema de drenagem. (STAHRE, 2005)

Stahre (2005) apresentou um estudo acreditando ser possível, através da abordagem do sistema de drenagem sustentável, estabelecer-se um caminho ideal para atingir os padrões de bem-estar que a população necessita, a um custo aceitável. Ao mesmo tempo que o tratamento sustentável melhora as condições de vida no ambiente urbano, ele também causa a valorização monetária dos parques urbanos.

Enquanto, se somente forem consideradas técnicas tradicionais no sistema de drenagem dos planos de desenvolvimento urbano, acabamos com um programa de controle de inundações cada vez mais caro e muitas vezes economicamente inviável. O autor reforça ainda que deve haver a valorização da água na cidade como um recurso dotado de demanda e as autoridades responsáveis devem portanto, aproveitar ao máximo seus usos potenciais.

As medidas de base sustentável, estudadas para comporem as paisagens multifuncionais, antes de serem implantadas devem seguir um estudo prévio a respeito de seus respectivos impactos ambientais, sociais e econômicos. E mais uma vez deve ser levantada aqui a importância de se envolverem no processo de elaboração e implementação de um Sistema de Drenagem Sustentável, os diferentes departamentos técnicos responsáveis pelo planejamento urbano, assim como a população, pois o sucesso desse sistema dependerá dessa cooperação entre as partes. A importância disso está implícita no próprio conceito do termo sustentável, a sustentabilidade intenciona garantir recursos para as gerações futuras e não há como se garantir isso se não existir uma intenção e um planejamento prévio em conjunto.

4.5 Legislação aplicada e o plano diretor de drenagem

De acordo com Nascimento & Baptista (2009) não existe ainda no Brasil uma base regulamentar específica que se direcione ao uso de técnicas compensatórias no manejo de águas pluviais, porém, há instrumentos legais que apontam e conduzem a essas técnicas. As principais leis em nossa Constituição, que abordam temas como controle de escoamentos, poluição difusa e impacto nos corpos hídricos são três:

- Lei 9.433 de 1997 → Lei das Águas;
- Lei 10.257 de 2001 → Estatuto da Cidade;
- Lei 11.445 de 2007 → Lei do Saneamento.

A Lei das Águas¹² institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). De acordo com o artigo 1º desta Lei, a PNRH deve se basear nos seguintes fundamentos:

- I. A água é um bem de domínio público;
- II. A água é um recurso natural limitado dotado de valor econômico;
- III. Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é para consumo humano e dessedentação de animais;
- IV. A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

¹² Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

- V. A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos;
- VI. A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades.

Neste primeiro artigo pode-se destacar a adoção da água como um recurso natural que deve ser dotado de valor econômico, de modo que possa inserir-se de algum modo no mercado econômico, pois trata-se de um bem público de extrema importância para o meio ambiente e o ser humano. Desta maneira, a Lei das Águas orienta para a prevenção e atenção contra o uso inadequado dos recursos hídricos, que podem ser a razão, juntamente com as causas naturais, de diversas calamidades e eventos hidrológicos críticos. Assim, neste artigo se enquadra o controle de inundações urbanas, sejam elas causadas por chuvas intensas ou por deficiência no controle do uso do solo. A adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento em favor da articulação da gestão dos recursos hídricos com o planejamento urbano, assim como a garantia do uso múltiplo das águas, também são previstos por lei, adequando-se à gestão integrada, e permitindo o tratamento da ocupação da bacia. Outro ponto importante de ser analisado, é o estabelecimento da necessidade de articulação entre os planejamentos regional, estadual e nacional, e interação de todas as partes interessadas nesses planejamentos. Contudo, segundo Maricato¹ (2001) as legislações e os planos que encaminham as discussões urbanas, não têm a pretensão de enfrentar as verdadeiras questões e disparidades sociais que o Brasil sofre, havendo ainda nesse contexto um grande lapso no que diz respeito aos conflitos sócio-espaciais e a gestão, provendo corretamente etapas fundamentais ao ordenamento urbano, como fiscalização e regulação.

“Um dos motivos pelo qual isso acontece é que a entre a Lei e sua aplicação há um abismo que é mediado pelas relações de poder na sociedade. É por demais conhecido, inclusive popularmente, no Brasil, o fato de que a aplicação da lei depende de a quem ela (a aplicação) se refere. Essa ‘flexibilidade’ que inspirou também o ‘jeitinho brasileiro’ ajuda a adaptar uma legislação positivista, moldada sempre a partir de modelos estrangeiros, a uma sociedade onde o exercício do poder se adapta às circunstâncias.”
(MARICATO², 2001, p.42)

Como consequência, tem-se então, uma legislação urbana falha no sentido de contribuir para a solução de um dos conflitos mais fundamentais no espaço urbano que é a falta de acesso ao mercado imobiliário legal.

No Brasil, como instrumento democrático de grande influência, temos o Estatuto da Cidade¹³, que aponta diretrizes básicas para uma planificação urbana estruturada e impõe o zoneamento urbano como forma de ordenação estrutural. Já o instrumento regulador que contém os princípios para o controle de enchentes é o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDU). Este Plano se trata de um componente do Plano Diretor de Planejamento Urbano, que por sua vez é um componente do Estatuto da Cidade e também, segundo este, deve existir obrigatoriamente para municípios brasileiros pertencentes a regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, que possuam população superior a 20 mil habitantes, naqueles os quais o poder público municipal pretenda utilizar os instrumentos previstos no parágrafo 4^o do artigo 182 da Constituição Federal¹⁴, naqueles integrantes de áreas de especial interesse turístico, e/ ou nos municípios inseridos em área de empreendimentos ou atividades com significativo impacto de âmbito regional ou nacional. O PDU é administrado pelos municípios com o apoio técnico dos Estados, o controle é desenvolvido através das sub-bacias e regulamentados a nível de distrito e deve ser usado para legislar todo o país.

No entanto, a realidade brasileira não segue bem esse padrão que é normalmente bem aplicado nos países desenvolvidos. Nas áreas de periferia das grandes cidades, onde o lote tem menor valor agregado, o Plano Diretor é pouco obedecido e uma quantidade notável de loteamentos clandestinos se estabelecem em áreas privadas. A invasão de áreas públicas, de áreas verdes e áreas ribeirinhas com risco de enchentes também é bastante comum. Ela acontece principalmente pela população de caráter social mais carente. (CARVALHO, 2013) Estas invasões dificultam muito a eficiência e instituição do Plano Diretor nessas áreas de periferia, no entanto, no restante da cidade sua consolidação é bem realizada e o plano permite o controle sobre os locais nos quais loteamentos estão sendo implantados. O Plano Diretor de Drenagem Urbana cumpre com os seguintes princípios:

- Planejar a distribuição da água, no tempo e no espaço;
- Controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições nas áreas de alto risco;
- Estabelecer a convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco;

¹³ Estatuto da Cidade, Lei 10.257, de 10 de julho de 2001.

¹⁴ **Constituição Federal de 1988, Artigo 182 - § 4º** - É facultado ao Poder Público municipal, mediante lei específica para área incluída no plano diretor, exigir, nos termos da lei federal, do proprietário do solo urbano não edificado, subutilizado ou não utilizado, que promova seu adequado aproveitamento, sob pena.

As normas de regulamentação instituídas pelo Plano Diretor devem sempre se basear na tendência de ocupação urbana da região, de modo a compatibilizar as infraestruturas e o desenvolvimento locacional, evitando prejuízos econômicos e ambientais.

A Lei de Saneamento¹⁵ estabelece diretrizes nacionais para o saneamento e para a política federal de saneamento, definindo em seu artigo 2º como princípios fundamentais dos serviços públicos para o tema:

- A universalização do acesso e a integralidade dos serviços, de forma adequada à saúde pública e à proteção do meio ambiente;
- A disponibilidade de serviços de drenagem urbana e de manejo de águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;
- A articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional de habitação e proteção ambiental;
- A integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente de recursos hídricos;
- Outros.

A Lei de saneamento engloba os serviços de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, e os manejos de resíduos sólidos e de águas pluviais urbanas. Dentro do manejo de águas pluviais urbanas, podem-se dizer que todos os conjuntos de atividade, infraestruturas, e operações de drenagem urbana, assim como o transporte, detenção, retenção, amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais, estão inseridos neste. Essa abordagem mais completa sobre todos os sistemas que compõem o setor de saneamento, garante a melhoria e maior eficiência em seu planejamento. Essa abordagem também possibilita que as questões de importância a serem lidadas dentro do tema saneamento, possam ser pensadas conjuntamente, buscando encontrar soluções que estejam inter-relacionadas e possam promover a qualidade de vida nas áreas urbanas.

Para Montenegro (2008), a lei de saneamento ainda não se atem suficientemente a tratar a interface do saneamento básico com os recursos hídricos de forma clara e objetiva. Defende que parte expressiva dos municípios brasileiros têm dificuldade em realizar o que a Constituição de 1988 assegurou como direito. Estes são cobrados a instituir a política municipal de saneamento básico, sejam municípios pobres ou ricos, grandes ou pequenos. É uma responsabilidade que cabe a todos, mas

¹⁵ Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, Art. 2º.

que não se encontram capazes de cumprir. Com base nessa política e no plano de saneamento básico, cabe ao município definir quais serviços serão prestados, qual o órgão responsável pela regulação e fiscalização local, estabelecer os mecanismos de controle social, assim como a forma na qual atuará no exercício de suas funções, inclusive de que forma deverá intervir no caso de má prestação de serviços.

Diante dessas questões, o engenheiro Montenegro (2008) defende que o conceito de gestão insere dentro de si um conjunto de atividades, sendo essas: planejamento, regulação, fiscalização, prestação de serviços e controle social. Portanto, a organização dos serviços de saneamento básico pode delegar suas tarefas a outros órgãos públicos caso não consiga alcançar os padrões necessários de execução dos serviços, surgindo assim outras oportunidades de implementação desta lei. A tabela 1 retrata um esquema com as possíveis delegações e formas de organização dos serviços públicos de saneamento básico.

Tabela 1 – Relação entre serviços públicos de saneamento e o conjunto de atividades da gestão.

Gestão	Serviços públicos de saneamento básico			
	Abastecimento de água	Esgotamento sanitário	Manejo de resíduos sólidos	Manejo das águas pluviais
Planejamento	Indelegável			
Regulação	Delegável a órgão ou ente público			
Fiscalização	Delegável a órgão ou ente público			
Prestação	Direta (lei 8.666, no caso de terceirização) ou delegada (leis 8.987, 11.079, 11.107)			
Controle social	Indelegável			

(MONTENEGRO, 2008)

O povo brasileiro, independente de grupo social ou raça, apresenta o comum senso de desejar uma cidade salubre e bem organizada, com segurança e planejamento bem desempenhados, com transparência na cobrança e prestados com qualidade. A área de recursos hídricos exerce um papel fundamental e ao mesmo tempo básico em nossa sociedade. Assim, em especial as leis direcionadas a tratar desse setor devem garantir a existência do ambiente que desejado, produzir bem estar, reduzir as desigualdades e gerir igualdade de oportunidades.

Capítulo 5 – MEDIDAS DE INTERVENÇÕES PARA O CONTROLE DE INUNDAÇÕES NA GRANDE TIJUCA

5.1 Localização da área de estudo e caracterização física das Bacias

A seguir serão apresentadas as intervenções para o controle de inundações na área de estudo (Bacia do Canal do Mangue), constituindo-se em obras de macro drenagem. Através da Fundação Rio-Águas a Prefeitura do Rio de Janeiro está realizando a construção de três dos cinco reservatórios subterrâneos previstos, um já concluído (Praça da Bandeira), dois em andamento (Praça Niterói e Praça Varnhagen) e dois ainda não iniciados (Alto Grajaú e Heitor Beltrão), e o desvio/ reforço do rio Joana e derivação do rio Maracanã (figura 47). De acordo com informações da Secretaria Municipal de Obras, as intervenções propostas para a região da Bacia do Canal do Mangue foram selecionadas no Programa 2010 do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC 2) do Ministério das Cidades. O valor do investimento inicialmente era da ordem de R\$292 milhões.

Como será mostrado, o projeto prevê que, com a obra dos rios e os reservatórios, seja possível desviar as águas que chegam no Canal do Mangue em dias de chuva forte, minimizando o impacto hidrológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica.

O reservatório da Praça da Bandeira, o menor deles, foi o primeiro a ser construído e diminuirá os alagamentos na região durante as fortes chuvas, segundo autoridades da Fundação Rio-Águas.

Uma vez que todo o projeto esteja finalizado e em operação, a expectativa da Prefeitura é de reduzir drasticamente a lâmina d'água superficial, na região da Grande Tijuca. A data prevista para conclusão era inicialmente em 2015. Porém, dados os problemas enfrentados em uma área altamente urbanizada e com número de ligações subterrâneas muitas vezes de existência desconhecida por parte das concessionárias, foram inúmeros os problemas encontrados.

5.1.1 Apresentação

É conhecida por Grande Tijuca (figura 31) a região que compreende os bairros da Tijuca, Praça da Bandeira, Alto da Boa Vista, Grajaú, Andaraí, Vila Isabel e Maracanã. (SANTOS, A. M. *et al.*, 2003)



Figura 31 – Grande Tijuca. (SANTOS, A. M. *et al.*, 2003)

Esse conjunto de bairros está localizado na Zona Norte da Cidade do Rio de Janeiro. Na época da chegada da Família Real, em 1808, a região era usufruída como passagem para alcançar as estradas que levavam ao interior do país colonial. O acesso a essas estradas não era todavia fácil, graças à existência de uma “fronteira natural”, o Saco de São Diogo e seus manguezais. Com o objetivo de facilitar esse acesso para promover a abertura de uma passagem no local, iniciaram-se obras de drenagem e saneamento no começo do século XX, dando início à constituição espacial urbana atual dos bairros.

O território estava estabelecido em espaços do litoral do estado com condições de drenagem natural. A acumulação das águas de chuvas aconteciam através das características hidrográficas do local, onde a paisagem era dominada por brejos, pântanos, lagoas e lagunas. O fim do espaço rural sucedeu-se e em seu lugar deu-se entrada a urbanização, que agravado à falta de planejamento adequado, com o passar dos anos a vivência de problemas urbanos comuns aos moradores dos bairros da Grande Tijuca. Esses problemas urbanos já discutidos anteriormente nesse trabalho, e entre os quais pode ser destacar as chuvas intensas muitas vezes causando enchentes, enxurradas e desmoronamentos.

Atualmente esses bairros estão localizados a oeste do centro da cidade. Essa área faz parte de uma fração territorial do município do Rio de Janeiro, na Zona Norte,

que integra, junto com a Zona Sul, a Zona Central e a área periférica central, o núcleo da região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Essas terras possuem uma rica e longa história, com a existência de particularidades e personalidades importantes no contexto da cidade. Na mesma proximidade geográfica, convivem populações muito diferentes social, econômica e culturalmente.

O espaço geográfico abordado nesse trabalho dispõe de patrimônios arquitetônicos, urbanísticos e naturais fundamentais na memória da cidade. A Grande Tijuca se constituiu ao longo dos anos como região imprescindível no contexto carioca, em razão de suas singularidades sociais, econômicas e culturais. Apresenta uma grande variedade de atividades econômicas e usos do solo, intensa movimentação de pessoas e veículos, proximidade de pontos turísticos como o Estádio do Maracanã, problemas de saneamento ambiental, favelização de encostas e ocupação das planícies de inundação. Tratar, portanto, de estudar um problema tão comum e ao mesmo tempo significativo como as habituais inundações na região, justifica-se através da importância da região em si para o município e da problemática em análise (as enchentes) como exemplo recorrente para todo o país.

5.1.2 Caracterização física da bacia hidrográfica Canal do Mangue

A Bacia do Canal do Mangue recebe esse nome por causa do imenso pântano que se estendia de onde hoje é a Praça Onze de Junho até sua embocadura, estimada em cerca de 500 metros e com uma largura que varia entre 70 e 100 metros. Desaguavam nessa enseada os rios que faziam parte do Sistema Iguabaçu constituídos pelos rios Maracanã, Trapicheiros e Joana. A presença de pântanos era muito característica na cidade do Rio de Janeiro na época da colonização, mas com a chegada das novas concepções urbanísticas vindas da Europa, os pântanos passaram a ser vistos como um problema à saúde pública e, portanto, tornaram-se alvos de diversas obras, sendo extinguidos aos poucos. (MATTOS, 2004)

A Bacia hidrográfica do Mangue pertence à Bacia hidrográfica da Guanabara (figura 32), que está localizada no município do Rio de Janeiro e possui 21 sub-bacias as quais compõem os estudos desenvolvidos no Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais – PDMAP.

BACIA HIDROGRÁFICAS PRIORITÁRIAS PDMAP



Figura 32 – Localização da bacia hidrográfica Baía de Guanabara na cidade do Rio de Janeiro. (Fonte: Rio-Águas, 2010)

Na porção oeste da bacia hidrográfica Baía de Guanabara, podemos observar a bacia hidrográfica Canal do Mangue ampliada, conforme mostra a figura 33.



Figura 33 – Delimitação da Bacia do Canal do Mangue. (Fonte: Rio-Águas, 2010)

A bacia hidrográfica Canal do Mangue possui uma área de drenagem de 45,43 km² e seus limites são: ao norte a sub-bacia do Canal do Cunha, ao leste a Baía de Guanabara e a sub-bacia do Centro, e ao sul e oeste o Maciço da Tijuca. Seus

principais cursos d'água são os rios Maracanã, Joana, Trapicheiro, Comprido e Papa-Couve, como mostra a figura 35. Estes rios possuem sua nascente no Maciço da Tijuca ou na Serra do Engenho Novo (figura 34), e afluem para o Canal do Mangue, que por sua vez desagua na Baía de Guanabara.

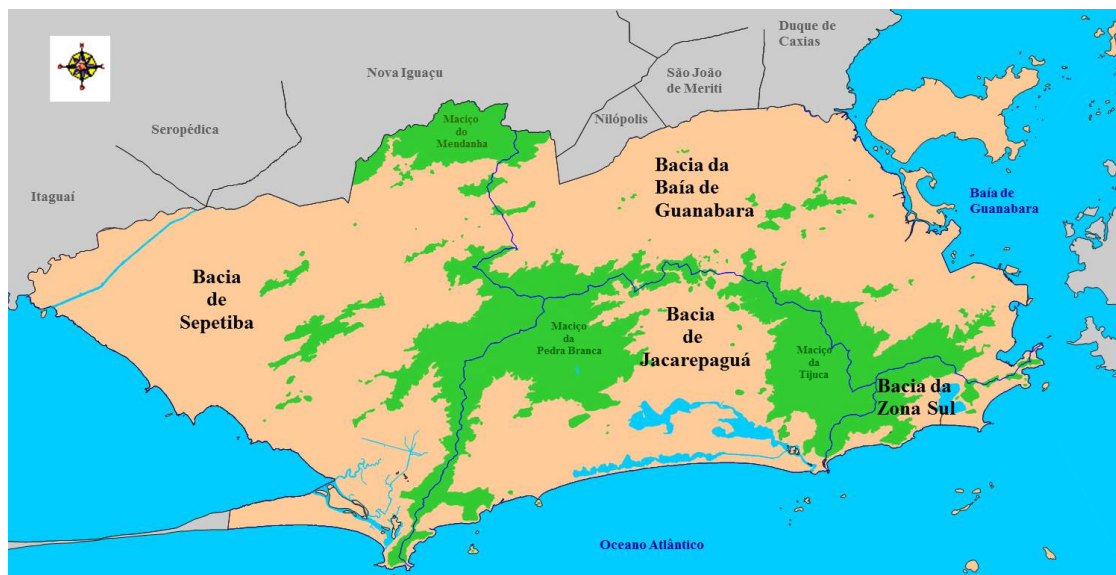


Figura 34 – Localização do Maciço da Tijuca, nascente dos principais cursos d'água do Canal do Mangue.

(Fonte: Rio-Águas, 2010)

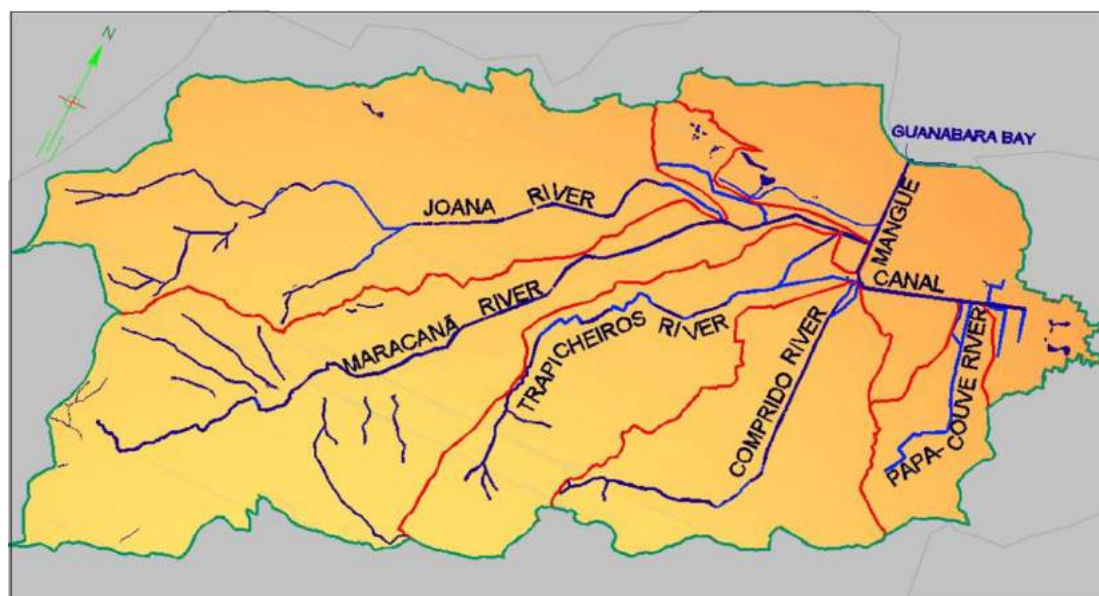


Figura 35 – Principais cursos d'água da Bacia do Canal do Mangue.

(Fonte: Rio-Águas, 2010)

Constituição geológica e geomorfológica da bacia hidrográfica Canal do Mangue

O maciço da Tijuca se encontra na parte leste e sudoeste da bacia, é constituído predominantemente por rochas gnáissicas, pré-cambrianas, de constituição variada. O restante das áreas da bacia se encontra na Planície Sedimentar da Guanabara. As informações a seguir estão baseadas no Relatório da Rio-Águas, 2010.

A cabeceira do rio Joana está localizada na Floresta do Grajaú e Serra do Engenho Novo, possui formação geológica com uma distribuição homogênea de solos residuais e rochas, mesclados com afloramentos rochosos do tipo maciços, além de uma extensa mancha de depósito de talus/ colúvio. A cabeceira do rio Maracanã se encontra junto à floresta da Tijuca, com o solo residual mesclando rochas de espessura superior e/ ou inferior a 2 m, onde também ocorrem afloramentos rochosos com depósito de talus/ colúvio. As cabeceiras dos rios Comprido e Trapicheiros se encontram junto à floresta da Tijuca, nas proximidades da região da Serra do Sumaré. Além das características de solos e rochas já apresentadas pelos outros rios, também possuem uma mancha de zonas de concentração de blocos. Por último, a cabeceira do rio Papa-Couve está junto ao morro do Catumbi e possui uma formação geológica do tipo solo residual de topo, e encosta com espessuras superiores a 2m.

A importância destas cabeceiras estarem localizadas em áreas florestais é que garante a manutenção dos solos, tornando-se assim um motivo de preservação.

Caracterização do relevo

Na área onde está localizado o maciço da Tijuca existem acentuados desnivelamentos, que por sua vez fazem fronteira com uma região de topografia menos acidentada e com relevo mais plano. Essa área mais plana é onde se inicia a urbanização da bacia. Outra característica do relevo é a ocorrência de maciços de baixa altitude e morros isolados nas baixadas.

Graças a essas particularidades topográficas, os escoamentos nos canais de macrodrenagem são ainda mais custosos.

A planta topográfica do relevo da bacia do Mangue é apresentada na figura 36, nos permitindo uma melhor visualização das características descritas.

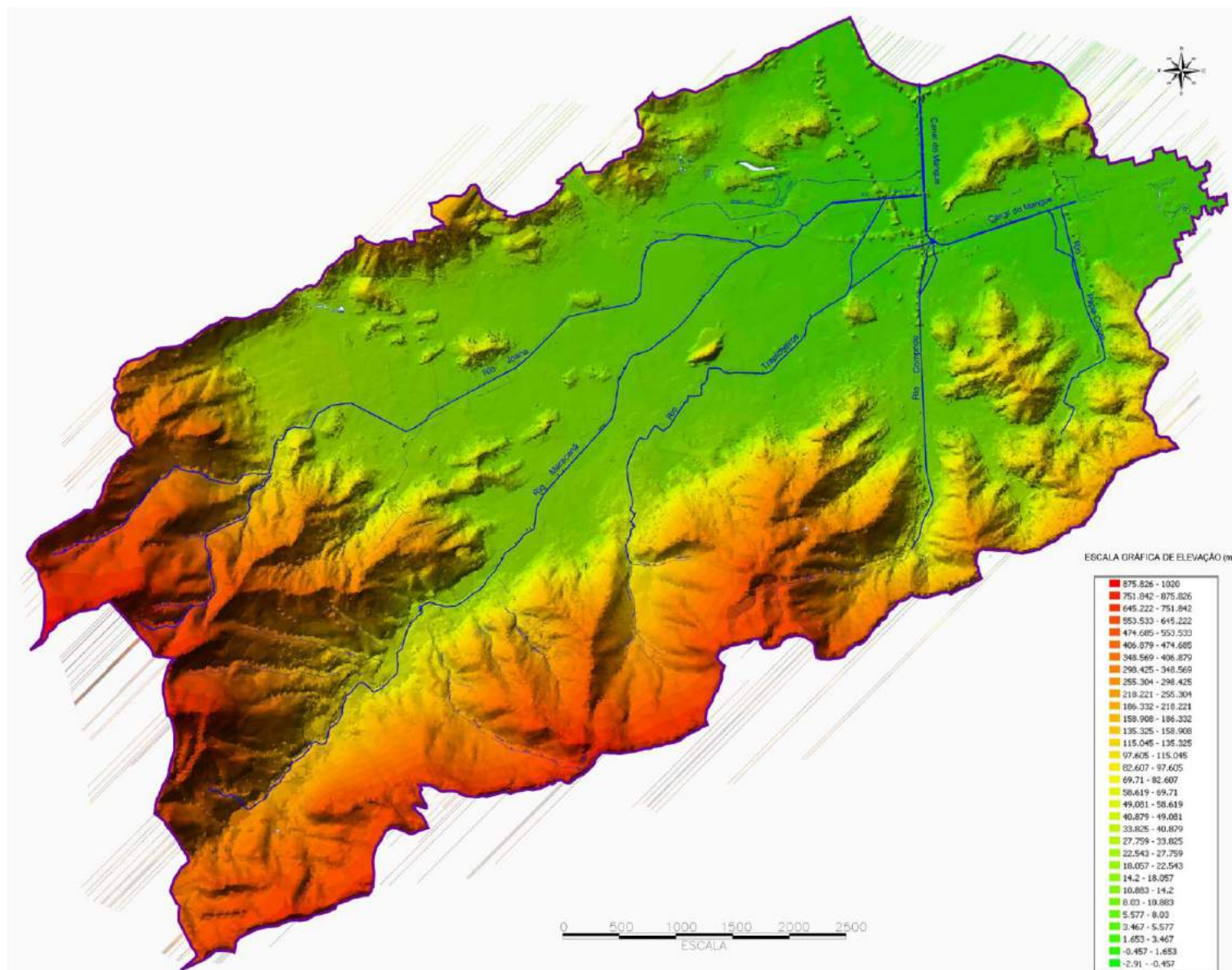


Figura 36 – Planta topográfica do relevo da bacia hidrográfica Canal do Mangue. (Fonte: Rio-Águas, 2010)

Caracterização do clima

Assim como todo o município do Rio de Janeiro, a bacia do Mangue também está situada na região térmica Tropical Úmida, estando sujeita aos efeitos de sistemas frontais e linhas de instabilidade. O relevo também tem parte na caracterização do clima, com efeitos pontuais que podem influir nos sistemas frontais e linhas de instabilidade.

As altas temperaturas são em parte fruto da intervenção do Anticiclone Tropical Atlântico, que atua na maior parte do ano. As chuvas convectivas são típicas na região, principalmente nos finais de tarde do verão, e as passagens de frentes frias também são recorrentes, ocasionadas pelo deslocamento de massas polares oriundas do Círculo Polar Antártico, mais frequentes no período do inverno.

5.1.2 Caracterização antrópica

A área da bacia do Mangue está localizada nas proximidades da região central do município do rio de Janeiro, estendendo-se para a região Norte. Os bairros que estão por inteiro ou parcialmente dentro da bacia são: Estácio, Catumbi, Rio Comprido, Cidade Nova, São Cristóvão, Maracanã, Vila Isabel, Andaraí, Grajaú, Praça da Bandeira, Tijuca, Alto da Boa Vista e Santo Cristo. São administrados pelas Regiões Administrativas (RA) do Rio Comprido, São Cristóvão, Tijuca, Vila Isabel e Zona Portuária.

População

O Brasil se tornou mais urbano no período entre as décadas de 1970 e 1980, quando mais de 55% da sua população já morava nas cidades (figura 37). Porém, esse processo se desenvolveu de maneira desigual pelo território brasileiro e, por diversas razões históricas e de integração territorial, as regiões geográficas apresentaram discrepâncias entre si no seu caminho de urbanização.



Figura 37 – Taxa de urbanização Brasileira.
(Fonte: IBGE, 2010)

A região sudeste foi a primeira a se urbanizar por volta da década de 1960, um dos motivos foi a cidade do Rio de Janeiro que, até então, ainda era o centro político-administrativo do país. Esse início de urbanização antes das demais regiões acarretou num fenômeno intenso de êxodo rural, principalmente no nordeste, onde as pessoas passaram a migrar para o sudeste. Segundo IBGE (2010) a região sudeste é ainda hoje a mais urbanizada do Brasil, com uma taxa de 92,9%. Dentro desta, o Rio de Janeiro possui uma urbanização de 96,7%. Pode-se concluir a partir desses dados que a capacidade da região já está saturada.

A bacia hidrográfica Canal do Mangue é bastante populosa e sua maior parte já está consolidada. A tabela 3 apresenta os dados populacionais registrados pelo censo do IBGE para as Regiões Administrativas estudadas com dados de 2011.

Tabela 2 – Censo demográfico para as Regiões Administrativas da Bacia do Mangue.

RA'S	Bairros	Pop (hab.) (2011)	Pop (hab.) Acima de 20 anos	Porcentagem Total da Pop. Do Rio de Janeiro
RIO COMPRIDO	Estácio, Catumbi, Rio Comprido e Cidade Nova	78.975	57.451	1,24%
SÃO CRISTÓVÃO	São Cristóvão	84.908	61.246	1,34%
TIJUCA	Praça da Bandeira, Tijuca e Alto da Boa Vista	181.810	146.982	2,87%
VILA ISABEL	Andaraí, Grajaú, Maracanã e Vila Isabel	188.310	150.277	2,99%
TOTAL	-	534.003	415.956	-

(Fonte: IBGE, 2011)

Observamos que as populações para cada região administrativa representam uma parcela considerável da população total do município do Rio de Janeiro. Verificamos também que a quantidade de habitantes com idade superior a 20 anos é grande quando comparado à quantidade de habitantes em cada região. Isso demonstra que as regiões contêm uma representação significativa da força trabalhadora do município.

Uso e ocupação do solo

A tabela 3 apresenta os percentuais de acordo com o tipo de uso do solo, para os bairros pertencentes à bacia do Canal do Mangue.

Tabela 3 – Porcentagem de ocupação do solo nos bairros da bacia do Canal do Mangue.

Bairros	Área (ha)	Área Urbana Consolidada (%)	Área Urbana não Consolidada (%)	Áreas Verdes ¹⁶ (%)	Outros ¹⁷ (%)
Estácio	98,04	91,3	-	-	8,7
Catumbi	53,95	86,1	-	-	13,9
Rio Comprido	334,20	50,6	4,2	25,6	19,6
Cidade Nova	93,48	90,3	-	-	9,7
São Cristóvão	410,60	83,9	1,8	-	13,3
Praça da Bandeira	71,99	97,4	-	-	2,6
Tijuca	1.006,56	55,7	3,9	30,3	10,1
Alto da Boa Vista	3.149,57	2,3	5,3	87,0	5,4
Andaraí	226,13	73,7	1,0	2,0	23,3
Grajaú	573,91	28,6	2,8	51,9	16,7
Maracanã	166,73	100	-	-	-
Vila Isabel	321,70	85,1	4,5	7,8	2,6
Santo Cristo	168,47	100	-	-	-

(Fonte: Disponível em <<http://www.rio.rj.gov.br/web/ipp>>, acessado em 02 de fevereiro de 2015)

¹⁶ São denominadas Áreas Verdes: Florestas, Matas e Parques.

¹⁷ São denominados Outros: Comunidades, Áreas alagadas e de mangues, Solos expostos e Áreas de mineração.

Condições econômicas

As condições econômicas na bacia hidrográfica Canal do Mangue foram avaliadas através do critério “Índice de Desenvolvimento Humano” (IDH) e através das categorias de consumo estabelecidas por meio da Pesquisa de Orçamento Familiar realizada pelo IBGE.

O índice de Desenvolvimento Humano é utilizado anualmente em seus relatórios, pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), sendo portanto considerado um parâmetro confiável. Os termos de avaliação para esse índice são: educação, longevidade e renda. O índice pode variar de 1 a 0, e no estado do Rio de Janeiro, um município possui IDH muito alto quando este é maior que 0,8, o que é o caso de Niterói (0,84). As Regiões Administrativas da bacia hidrográfica Canal do Mangue apresentam valores de IDH apresentados na tabela 4. O município do Rio de Janeiro possui o IDH alto de 0,79.

Tabela 4 – Índice de Desenvolvimento Humano por Regiões Administrativas da bacia hidrográfica Canal do Mangue.

Rio Comprido	IDH = 0,84
São Cristóvão	IDH = 0,81
Tijuca	IDH = 0,92
Vila Isabel	IDH = 0,92

(Fonte: SEBRAE - RJ, 2011)

A bacia conta, portanto, com um bom grau de desenvolvimento humano. Com relação às categorias de consumo, a classificação dos domicílios foi feita também para cada uma das regiões administrativas em análise. O processo utilizado para se calcular as classes econômicas de cada região em 2011 levou em consideração o critério de Classificação Econômica Brasil. A classificação entre as classes econômicas é feita de acordo com a renda média familiar mensal, conforme tabela 5.

Tabela 5 – Classes Econômicas de acordo com respectiva Renda Média Familiar Mensal.

Classe A1	R\$ 14.400,00
Classe A2	R\$ 8.100,00
Classe B1	R\$ 4.600,00
Classe B2	R\$ 2.300,00
Classe C1	R\$ 1.400,00
Classe C2	R\$ 950,00
Classe D	R\$ 600,00
Classe E	R\$ 400,00

(Fonte: SEBRAE - RJ, 2011)

- No Rio Comprido, 26% dentre seus 22.769 domicílios, são de famílias pertencentes à classe C1, com renda mensal em torno de R\$1.400,00. (Tabela 6)

Tabela 6 – Classes Econômicas da Região Administrativa do Rio Comprido.

Classes Econômicas	Número de Domicílios Urbanos
A1	194
A2	1.205
B1	3.197
B2	5.776
C1	5.918
C2	3.832
D	2.519
E	128
Total	22.769

Figura 5

(Fonte: SEBRAE - RJ, 2011)

- Em São Cristóvão, 27,7% dentre seus 21.251 domicílios, são de famílias pertencentes à classe C1, com renda mensal em torno de R\$1.400,00. (Tabela 7)

Tabela 7 – Classes Econômicas da Região Administrativa de São Cristóvão.

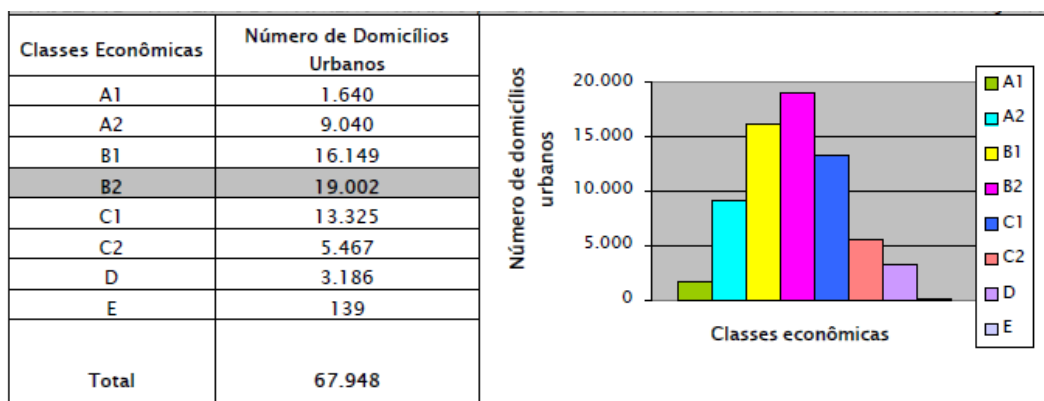
Classes Econômicas	Número de Domicílios Urbanos
A1	91
A2	674
B1	2.325
B2	5.197
C1	5.892
C2	4.149
D	2.773
E	150
Total	21.251

Figura 4

(Fonte: SEBRAE - RJ, 2011)

- Na Tijuca, 28,0% dentre seus 67.948 domicílios, são de famílias pertencentes à classe B2, com renda mensal em torno de R\$2.300,00. (Tabela 8)

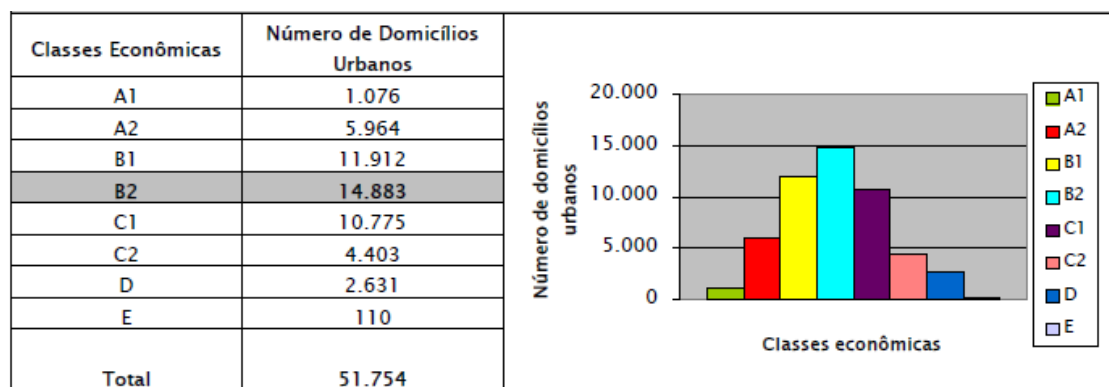
Tabela 8 – Classes Econômicas da Região Administrativa da Tijuca.



(Fonte: SEBRAE - RJ, 2011)

- Em Vila Isabel, 28,8% dentre seus 51.754 domicílios, são de famílias pertencentes à classe B2, com renda mensal em torno de R\$2.300,00. (Tabela 9)

Tabela 9 – Classes Econômicas da Região Administrativa de Vila Isabel.



(Fonte: SEBRAE - RJ, 2011)

Serviços urbanos

Em termos de transporte, a bacia conta com uma infraestrutura de duas linhas de metrô, que unem o centro da cidade à zona sul e à zona norte, uma linha ferroviária que liga o centro às regiões norte e oeste e inúmeras linhas de ônibus.

As principais vias de circulação são: Av. Maracanã, Av. Francisco Bicalho, Av. Presidente Vargas, Av. Teixeira Soares, Av. Oswaldo Aranha, Rua Conde de Bonfim, Rua Haddock Lobo, Rua Visconde de Niterói e Rua Maxwell.

Na bacia hidrográfica Canal do Mangue também se encontram algumas instituições que têm importante papel no desempenho adequado do município do Rio de Janeiro, sendo estas: a sede da Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, a sede dos Correios, o campus da Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), a rodoviária municipal, o Estádio do Maracanã e o Jardim Zoológico. Essas instituições são estratégicas e fundamentais ao exercício do município, reestabelecendo assim, a necessidade de que estejam localizadas em regiões seguras e não vulneráveis a eventos de inundação catastróficos.

Em condições emergenciais, tais como as enchentes, a região pode contar com o atendimento de seis postos do Corpo de Bombeiros, localizados no Rio Comprido, na Praça da Bandeira, no Grajaú, na Tijuca e em Vila Isabel.

A respeito dos serviços de esgotamento sanitário na bacia hidrográfica Canal do Mangue, existem três estações elevatórias que cobrem a coleta dos esgotos das regiões da bacia. Todas essas estações lançam o esgoto 'in natura' na Baía de Guanabara, sendo também comum a ocorrência de extravasamentos para o Canal do Mangue. A elevatória de São Cristóvão coleta o esgoto proveniente de Vila Isabel, Andaraí e do Gasômetro; a elevatória de Marechal Hermes coleta o esgoto proveniente da região do Rio Comprido; e a elevatória do Mangue coleta o esgoto proveniente da região próxima ao centro da cidade. Existem ainda lançamentos nos rios Maracanã e Canal do Mangue por meio de inúmeros extravasores da rede de esgoto da região.

Com relação à coleta anual de lixo na bacia do Mangue, a tabela 10 mostra os valores da COMLURB de 2013 em toneladas de lixo público e lixo domiciliar, de acordo com as regiões administrativas.

Tabela 10 – Coleta de Lixo por Região Administrativa (RA) na bacia hidrográfica Canal do Mangue.

RA	Lixo domiciliar (ton./ ano)	Lixo público (ton./ ano)	Total (ton./ ano)
RIO COMPRIDO	18.731	20.145	38.876
SÃO CRISTÓVÃO	19.468	34.622	54.090
TIJUCA	49.817	21.310	71.127
VILA ISABEL	48.191	15.648	63.839

(Fonte: SEBRAE - RJ, 2011)

Saúde

Os bairros contemplados com postos de atendimento à saúde são: Rio Comprido, Cidade Nova, São Cristóvão, Praça da Bandeira, Tijuca, Andaraí, Vila Isabel e Santo Cristo. Considerando a proporção de hospitais em relação ao tamanho

da área e número populacional, observa-se que o atendimento à saúde na região é insuficiente.

Educação

A tabela 11 apresenta as taxas médias de alfabetização e as médias de anos de estudos, por regiões administrativas, em comparação ao valor médio expressado dos municípios do Rio de Janeiro.

Tabela 11 – Relação de índices de educação por Regiões Administrativas da bacia hidrográfica do Canal do Mangue, em comparação com valores médios municipais.

RA's	Taxa média de alfabetização (%)	Média de anos de estudo (anos)
Rio Comprido	95,7	6,4
São Cristóvão	94,6	6,0
Tijuca	97,9	9,3
Vila Isabel	97,7	8,9
Municípios RJ	95,6	6,8

(Fonte: SEBRAE - RJ, 2011)

5.1.3. Caracterização dos corpos hídricos

Nesse tópico serão introduzidas sumariamente algumas características básicas das cinco sub-bacias que a bacia do canal do Mangue abrange. Essa descrição é feita com base nos principais critérios, já discutidos em capítulos anteriores, sendo estes: a geometria das seções, tipos de revestimento, declividades e estados de conservação.

As informações a seguir estão baseadas no Relatório da Rio-Águas, 2010.

Sub-bacia do Rio Maracanã

O rio Maracanã tem sua nascente junto à Pedra do Conde, na Floresta da Tijuca. Percorre uma extensão de 8,5 km até sua foz no Canal do Mangue. Recebe inúmeros afluentes até a região do Largo da Usina, e após o largo, passa a percorrer seu trecho urbano, chegando à sua foz.

A figura 38 mostra a foz do rio Maracanã no Canal do Mangue, antes de alcançar a Baía Guanabara. A figura 39 mostra um trecho do mesmo rio retificado, na região da Tijuca, onde também pode se observar certo volume de lixo depositado e lançamento de esgoto in natura.



Figura 38 – Foz do Rio Maracanã no Canal do Manguê.
(Fonte: Rio-Águas, 2010)



Figura 39 – Trecho retificado do Rio Maracanã, próximo à Rua Ribeiro Guimarães.
(Fonte: Rio-Águas, 2010)

Sub-bacia do Rio Trapicheiros

O rio Trapicheiros tem sua nascente próxima ao Alto do Sumaré, na Floresta da Tijuca. Percorre uma extensão de 5,9 km até sua foz no rio Maracanã. Sua vazão na foz atualmente segue dividida entre os rios Maracanã e Canal do Mangue (figura 35), isso por conta da implementação de um extravasor¹⁸.

A figura 40 mostra um trecho retificado do rio Trapicheiros com depósito de lixo, já a figura 41 mostra uma seção assoreada do rio, próxima a Rua Alzira Brandão na Tijuca, também com depósito de lixo e lançamento de esgoto. As figuras possibilitam uma melhor visualização dos canais e das áreas críticas de inundação.



Figura 40 – Seção do Rio Trapicheiros próxima à Rua São Francisco Xavier.
(Fonte: Rio-Águas, 2010)

¹⁸ Extravasor é a canalização destinada a escoar excessos de águas dos reservatórios.



Figura 41 – Seção do Rio Trapicheiros assoreada, próxima à Rua Alzira Brandão.
(Fonte: Rio-Águas, 2010)

Sub-bacia do Rio Joana

O Rio Joana tem sua nascente junto ao Pico do Andaraí, na Floresta do Grajaú. Percorre uma extensão de 8,0 km até sua foz no Rio Maracanã.

A figura 42 mostra um trecho retificado do Rio Joana na Rua Maxwell no Andaraí, em frente ao supermercado Boulevard.



Figura 42 – Galeria do Rio Joana na Rua Maxwell, em frente ao Boulevard.
(Fonte: Rio-Águas, 2010)

Sub-bacia do Rio Comprido

O Rio Comprido tem sua nascente em uma área de mata nativa localizada na Serra do Sumaré. Percorre uma extensão de 4,5 m até sua foz no Canal do Manguê. A figura 43 mostra a foz do Rio Comprido no Canal do Manguê, e a figura 44 mostra sua seção retificada na Avenida Paulo de Frontin, próximo à Rua Haddock Lobo.



Figura 43 – Foz do Rio Comprido no Canal do Mangue.
(Fonte: Rio-Águas, 2010)



Figura 44 – Seção retificada do Rio Comprido próxima à Rua Haddock Lobo.
(Fonte: Rio-Águas, 2010)

Sub-bacia do Rio Papa-Couve

O Rio Papa-Couve tem sua nascente em uma área bastante antropizada, localizada no morro do Catumbi. Percorre 2,9 km até sua foz no Canal do Mangue, dos quais somente 600 m correspondem à sua extensão em seção aberta, sendo o restante em galerias.

5.1.4 Identificação das áreas de inundação

Os principais pontos de inundação observados no Canal do Mangue são:

1. Área que se estende do Estádio do Maracanã até a foz do Rio Joana;
2. Região da Rua Uruguai;
3. Região à jusante do Shopping Tijuca;
4. Região da Praça da Bandeira;
5. Região entre as Ruas Professor Gabizo e Gonçalves Crespo;
6. Região que se estende da foz dos Rios Trapicheiros e Comprido, até o Rio Maracanã;
7. Região entre as Ruas Júlio do Carmo e Av. Salvador de Sá;
8. Região da Rua do Matoso;
9. Região entre a Rua São Francisco Xavier e Av. professor Manuel de Abreu.

O **Anexo A** mostra em vermelho as manchas de inundação observadas em abril de 2010, indicando as principais áreas de alagamento da bacia hidrográfica Canal do Mangue e a localização das ruas listadas anteriormente. Verificamos através dessa imagem que a maior concentração de manchas vermelhas se dá na área entre o Estádio do Maracanã e o Canal do Mangue.

5.2 Justificativa do projeto

São diversos os aspectos relacionados aos problemas que afetam as bacias hidrográficas, mas são também diversas as medidas que podem ser adotadas em prol de se melhorar a qualidade de vida e o bem estar da população de uma bacia densamente urbanizada. O capítulo 4 apresentou um pouco sobre as medidas estruturais e não estruturais para a contenção de enchentes no ambiente urbano. Em sua grande maioria, essas medidas possuem seus acertos e erros, sendo algumas vezes mais voltadas para o lado ambiental e outras mais para o lado econômico, estas quase sempre visando o retorno social. Dentre múltiplas opções, a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro optou pelos reservatórios subterrâneos de detenção como sistema mais apropriado no caso das históricas inundações na região da Grande Tijuca. Como propósito, esse capítulo também visa justificar a escolha desse sistema de acordo com os argumentos apresentados pela Prefeitura no Relatório da Rio-Águas, 2010.

Primeiramente foi realizado um estudo espacial, com base em imagens aéreas, para definir as áreas potencialmente disponíveis para servirem às intervenções necessárias. Suas respectivas localizações foram dispostas na tabela 12 para servir de base aos futuros estudos.

Tabela 12 – Áreas disponíveis para possíveis intervenções na bacia hidrográfica Canal do Mangue.

Bacia	Área (m ²)	Total (m ²)
Rio Maracanã	4.500	30.500
	4.000	
	11.000	
	11.000	
Rio Joana	7.100	128.700
	4.100	
	46.500	
	19.000	
	12.500	
Rio Trapicheiro	20.000	66.000
	46.000	
Rio Comprido	20.000	65.500
	45.500	
Total		290.700

(Fonte: Rio-Águas, 2010)

As áreas listadas na tabela 12 foram as selecionadas como possibilidade para implantação da obra, uma vez analisadas suas infraestruturas, os técnicos puderam selecionar as melhores opções. A seguir, pensou-se no tipo de obra que seria construída para mitigar as enchentes. Estudando-se a área e o histórico de chuvas da

região, pode-se fazer uma análise crítica, verificando-se dentre as possibilidades de obras, qual seria a mais adequada à situação.

Os principais cursos d'água da cidade do Rio de Janeiro não se encontram mais em seu estado natural, estando em sua maioria retificados ou canalizados. Sendo assim, excluem-se a prática de técnicas que visem reverter ou mitigar alterações geomórficas na bacia de drenagem. O alto grau de impermeabilização também compromete a eficácia de dispositivos como pisos porosos e valas de infiltração, visto que a geologia local é desfavorável, já que, a velocidade de infiltração em solos pouco permeáveis é muito reduzida. Seria necessário uma grande parcela destas valas, em relação à área total impermeabilizada, para que surtisse um efeito significativo nos deflúvios críticos.

O uso de telhados verdes é levantado como opção de medida mitigadora das inundações, pois além do aspecto positivo que ele traz por aproveitar as águas das chuvas, também reduz significativamente a impermeabilidade efetiva das edificações. Porém, como argumentos contra destacam-se sua eficácia somente em situações de eventos de menor dimensão e o fato de requererem a colaboração e aporte financeiro dos proprietários dessas edificações. Muitas vezes, os prédios também carecem de melhorias, para que suportem a carga adicional trazida pelos telhados.

A conclusão chegada foi, portanto, de que somente a utilização de medidas de caráter complementar não seriam suficientes para o abatimento das enchentes mais críticas, como por exemplo as com TR da ordem de 25 anos. Chama-se muito a atenção também para os gastos que teriam de ser empregados na implantação dessas técnicas, ditos como “não condizentes” com os custos usuais de obras estruturais, evidenciando a maior viabilidade da construção de reservatórios de detenção.

Os reservatórios de detenção são indicados pela Prefeitura como medida eficiente na proteção contra eventos críticos de enchentes. Tratam-se de uma extensão das pequenas bacias de detenção, promovendo a redução do pico das enchentes por meio do amortecimento e retardamento na liberação das ondas de cheia. Armazenam parte do volume escoado e por causa disso são capazes de melhorar a qualidade das águas de deflúvio, já que, aumenta-se o tempo de residência dessas durante as épocas de estiagem. A utilização desta medida não provoca a ocorrência de enchentes adicionais em outros trechos, conceito este que está de acordo com os princípios de solução integrada do ponto de vista da macro bacia de drenagem.

O município do Rio de Janeiro não possui muitos terrenos vazios ou imóveis subutilizados nas dimensões e localização adequadas para a implantação dessas obras de controle de inundações, o que pode ser um fator que dificulta sua utilização.

Além do fato de que quando há imóveis nessas condições, seu custo de desapropriação é extremamente elevado, sem contar com o tempo despendido num processo desse quesito. Destaque para a praticidade e funcionalidade da utilização de reservatórios de detenção subterrâneos, passíveis de serem usados em áreas particulares pavimentadas não edificadas, áreas de estacionamento ou áreas pavimentadas que possuam distanciamento de 15 m dos edifícios.

Os reservatórios de detenção necessitam de limpeza e manutenção periódica. Para o município do Rio de Janeiro, considera-se altamente recomendável que o estabelecimento de um sistema de tempo real de chuvas e predições de enchentes, baseados em dados de satélite e na avaliação de desempenho da rede de drenagem permitindo tomadas de decisões em tempo real, esteja atrelado a essas medidas.

No relatório da Rio-Águas (2010) destaca-se também que não é descartada por completo a utilização das técnicas complementares, que apesar de não substituírem as medidas estruturais recomendadas, auxiliam enormemente na retenção e infiltração das águas pluviais, trazendo grandes benefícios à recarga de aquíferos e promovendo a melhoria da qualidade das águas dos córregos urbanos.

5.3 Estudos preliminares realizados

Os estudos e modelos utilizados para planejar e necessários à elaboração do projeto da obra de contenção de enchentes na Grande Tijuca atualmente em implantação, serão apresentados neste item de maneira sintetizada. Mostrando como foi baseado o planejamento deste projeto de grande porte e, conseqüentemente, justificar sua validade ao se apresentarem todos os critérios e bases de análise.

As informações e dados exibidos aqui, foram retirados do relatório 'Diagnóstico do sistema de Drenagem e Plano diretor Preliminar – RA0027.RA.024-2', da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

Ao iniciar-se o planejamento de uma obra de drenagem urbana, devem ser realizados estudos hidrológicos e hidráulicos. Estes estudos têm o propósito de estimar as vazões de projeto na bacia e a capacidade dos canais de macrodrenagem de veicular estas vazões. Os modelos hidrológicos, quando usados para simulação em drenagem urbana, objetivam representar o processo de formação do escoamento superficial e das vazões de cheia nos canais de macrodrenagem para uma dada chuva. Para fazer essa representação, os modelos simulam os processos hidrológicos

na bacia hidrográfica em função de suas características físicas e condições de escoamento e infiltração da água no solo, de tal maneira que, quanto mais impermeabilizada estiver a bacia, maior o volume que irá escoar de precipitado e menor o tempo de escoamento.

A primeira etapa constitui-se então, em escolher um modelo hidráulico-hidrológico que pudesse retratar satisfatoriamente o sistema em estudo. O modelo escolhido foi o SCS (Soil Conservation Service) desenvolvido pelo Natural Resources Conservation Service (1976). O motivo dessa escolha foi que os parâmetros de entrada do SCS não condizentes com as informações disponíveis para a bacia do Mangue, assim como sua confiabilidade e disponibilidade no mercado. Feita a escolha, a primeira tarefa consta na obtenção da precipitação efetiva, calculada através do método do “curve number” (CN). Os parâmetros usados para aplicação do método foram a classificação dos tipos de solo presentes na bacia, as condições de umidade e tipo de cobertura da superfície, e uma base bibliográfica já existente para diversas cidades brasileiras sobre parcelas impermeáveis em áreas urbanas com base na densidade demográfica. Esses dados foram fundamentados na etapa de caracterização e estudo da bacia.

Uma vez determinada a chuva de projeto¹⁹, procede-se à transformação chuva-vazão para obtenção dos hidrogramas de projeto. Esses hidrogramas são referentes às chuvas de projeto e análise das precipitações antigas, importantes para garantir a eficácia e funcionalidade do projeto.

O próximo passo é selecionar o software que irá simular o modelo. Nesse estudo foi utilizado o software HEC-HMS, da plataforma HEC (Hydrologic Engineering Center), desenvolvida pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos. O HEC-HMS calcula a precipitação excedente e simula o processo chuva-vazão em sistemas de bacias e sub-bacias hidrográficas, uma vez que são fornecidos os dados da chuva de projeto e parâmetros físicos da bacia, como suas sub-bacias, seus trechos de canal, reservatórios e nós. Até esta fase, serão as determinações dos critérios de projeto são então realizadas de acordo com os modelos e softwares introduzidos. Estes critérios são: chuvas de projeto e suas distribuições espacial e temporal, parâmetro CN, tempo de concentração, cálculo das vazões de projeto e propagação da onda de cheia em canais.

¹⁹ Chuvas de projeto são chuvas críticas de referência, utilizadas para obter as vazões de projeto no sistema de macrodrenagem. Neste estudo, as chuvas de projeto foram obtidas com base nos períodos de retorno.

O monitoramento pluviométrico no município do Rio de Janeiro está previsto como parte do sistema Alerta Rio. São ao todo 25 postos pluviométricos, identificados na figura 45.

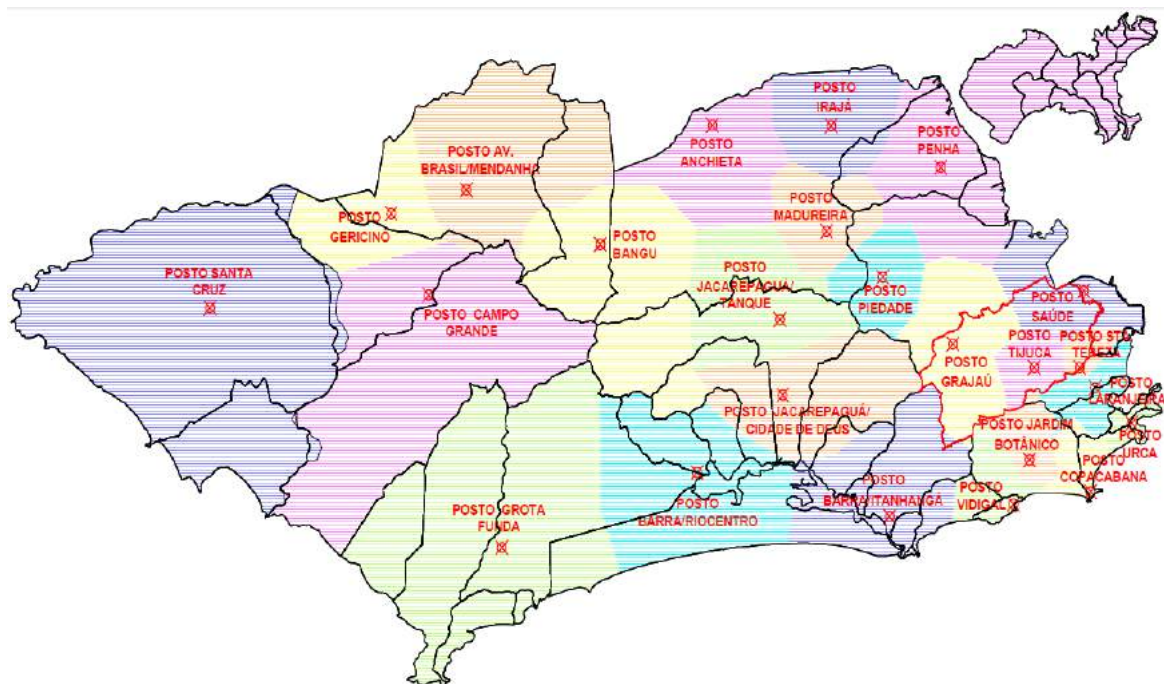


Figura 45 – Localização dos postos pluviométricos do município do Rio de Janeiro e suas respectivas áreas de influência. (Fonte: Rio-Águas, 2010)

A figura 45 mostra a bacia hidrográfica Canal do Mangue delimitada em vermelho. Através desta imagem, constata-se que os postos que têm total ou parcial influência na área da bacia são: Posto Grajaú, Posto Saúde, Posto Tijuca e Posto Santa Tereza. Com base em seus registros, que são datados desde 1997, foram analisados os eventos de chuvas significativas em intensidade e volume. Este trabalho de levantamento das áreas de inundação observadas, assim como a frequência desses eventos e sua gravidade, é muito importante de ser realizado de modo a embasar a modelagem e simulação das manchas de inundação para os diversos períodos de retorno. Isso porque, a avaliação das áreas expostas a esses riscos permite a elaboração de um diagnóstico prévio das causas das enchentes, assim como evitar situações especiais como a construção de escolas e hospitais em áreas inundáveis. A Prefeitura se torna capaz de realizar o planejamento desses locais, definindo a desocupação ou proteção das áreas mais críticas e as restrições construtivas nas áreas onde se pode conviver com cheias eventuais.

O maior evento registrado nesses postos, como já mencionado, foi o de abril de 2010, no qual ocorreu uma chuva de cerca de 36 horas que resultou na paralisação da cidade em diversos pontos. Uma ocorrência de tal magnitude já não era observada há décadas na região. Essa precipitação de abril de 2010 foi selecionada como chuva

observada, e serviu de base para as simulações hidrológicas. Essas simulações foram conduzidas de forma a avaliar a formação de cheias na bacia hidrográfica do Canal do Mangue para as condições da época do início do projeto. Os resultados dessas simulações são apresentados na forma de gráficos.

Os gráficos elaborados foram feitos para cada foz dos cinco rios, mais a foz do Canal do Mangue, isso porque as ações de controle do escoamento superficial no âmbito de uma bacia hidrográfica devem levar em consideração as vazões de restrição de cada rio. Existe um limite físico para a expansão e aumento da capacidade hidráulica de escoamento de um curso d'água. Dada a condição de capacidade máxima da calha, o controle das cheias se faz viável por meio da manutenção ou restrição da capacidade de amortecimento dos cursos contribuintes.

Assim sendo, foram realizadas seis simulações de hidrogramas, cinco com chuvas de projeto para os tempos de retorno: 5, 10, 25, 50 e 100 anos; e uma com a chuva observada.

A representação que se encontra no **Anexo B**, inclui um mapa da bacia hidrográfica do Mangue, indicando nesta, os pontos de localização da foz dos respectivos rios e do canal.

5.4 Esquematização geral do projeto

Com o estudo das áreas que mais sofrem com as inundações, pôde-se analisar os pontos mais críticos da região e elaborar o esquema das intervenções em implantação necessárias para mitigar as enchentes. A seguir, a situação dos pontos críticos de inundações na região da Grande Tijuca, é melhor detalhada, em vista de justificar as escolhas feitas no projeto.

A partir da travessia sob a Av. Presidente Castelo Branco e da linha férrea, o Rio Joana segue em galeria fechada até sua foz no Rio Maracanã (figura 46). Este trecho apresenta severas restrições de escoamento devido ao efeito de remanso no desemboque do Rio Joana no Rio Maracanã e, durante eventos de cheias, a seção ficar totalmente afogada. Já o Rio Maracanã percorre desde sua nascente até sua foz no Canal do Mangue. Seus principais tributários são os Rios Joana e Trapicheiros, os quais têm seus pontos de deságue localizados na área de baixada da bacia do Mangue, próximo à foz do Rio Maracanã. As manchas de inundação se perpetuam por diversos pontos ao longo do curso do Rio Maracanã. O Rio Trapicheiros segue em galeria ao longo da Rua Vicente Licínio até as proximidades da Travessa Soledade, onde ocorre uma bifurcação em seu curso. O rio passa a ser dividido então em dois braços, o direito segue em direção ao Canal do Mangue e o esquerdo em direção ao Rio Maracanã, passando pela Praça da Bandeira e por sob a linha férrea. A Praça da Bandeira está localizada em um ponto baixo, e se apresenta como um dos principais pontos de alagamento da bacia hidrográfica Canal do Mangue, exibindo também problemas logísticos acarretados por esses alagamentos, uma vez que a Praça da Bandeira é um importante eixo de ligação entre a região central e a zona norte do município do Rio de Janeiro. Em ambos os braços há registros de inundações observadas.

Observando-se a figura 46 e analisando a descrição da situação, percebemos que há uma sobrecarga sob o Canal do Mangue, que recebe as vazões dos cinco rios em três pontos para depois desaguar na Baía de Guanabara. O primeiro ponto (1) é onde o canal recebe a vazão do Rio Papa-Couve. Os outros dois pontos (2) e (3), são onde se situam os locais de maior pressão: o ponto dois recebe as vazões dos Rios Comprido e o braço direito do Trapicheiros. O ponto três recebe o Rio Maracanã, que por sua vez já havia recebido a vazão do braço esquerdo do Rio Trapicheiros.



Figura 46 – Pontos de afunilamento das vazões que desaguam no Canal do Mangue.
(Fonte: Rio-Águas, 2010)

Uma vez identificado o problema, busca-se entender o funcionamento do novo sistema que visa solucionar essas questões para uma chuva com tempo de retorno da ordem de 25 anos, conforme recomendação do Ministério das Cidades.

O projeto executivo das obras de controle de enchentes da Bacia do Canal do Mangue conta com um sistema, que quando completo, será composto pelas seguintes construções, conforme apresentado nas tabelas 13 e 14:

Tabela 13 – Descrição dos 5 reservatórios subterrâneos

Reservatório	Sigla	Volume (m ³)	Observação
Alto Grajaú	RJ-3	50.000	Rio Jacó (afluente do Rio Joana)
Praça Niterói	RJ-4	58.000	Rio Joana
Praça Varnhagen	RM-1	42.000	Rio Maracanã
Heitor Beltrão (Extra)	RT-1	70.000	Rio Trapicheiros
Praça da Bandeira	RT-2	18.000	Em sistema de polder*

*Para o tratamento das áreas baixas da região da Praça da Bandeira, e sistema de microdrenagem no entorno.

(Fonte: Rio-Águas, 2010)

Tabela 14 – Descrição do desvio do Rio Joana e das galerias de reforço e derivação.

Rio	Capacidade (m ³ /s)	Base x h (m ²)	Extensão (m)
Túnel de Desvio do Rio Joana ●	100	8,00 x 4,00	2.593m até a Rua São Cristóvão, + 180m deste ponto, até a Baía de Guanabara
● Galeria de reforço do Rio Joana ao longo da Av. Prof. Manoel de Abreu	33	5,00 x 3,00	584
Galeria de derivação do Rio Maracanã para o Rio Joana, ao longo da Rua Felipe Camarão ●	25	3,00 x 2,50	445

(Fonte: BORGES, 2013)

As intervenções descritas nas tabelas 13 e 14 são demonstradas em mapa na figura 47.



Figura 47 – Identificação dos pontos de localização dos 5 reservatórios, das 2 galerias, e do túnel extravasor. (Fonte: Disponível em <<http://www.rio.rj.gov.br/web/rio-aguas>>, acessado em junho de 2014)

As alternativas de intervenção na macrodrenagem avaliadas foram a reservação, o reforço de galerias e canais, e o desvio de cursos d'água. Já foi visto anteriormente que a reservação na macrodrenagem é uma tecnologia estrutural que visa restituir ou fornecer à bacia um amortecimento dos picos dos hidrogramas e um retardo no tempo de concentração da bacia hidrográfica, promovendo a adequação das vazões de projeto às capacidades de escoamento dos canais de macrodrenagem. Sendo assim, os 4 reservatórios, que vamos chamar aqui de: RT-2, RT-1, RJ-4 e RM-1, localizados respectivamente na Praça da Bandeira, Extra, Praça Niterói, e na Praça Varnhagen irão armazenar os volumes de cheia durante os eventos de maior intensidade e, posteriormente, devolverão estes volumes aos cursos d'água em condições condizentes com a capacidade das calhas. Essa redistribuição aos cursos d'água acontecerá por meio de gravidade no caso de RJ-4 e RM-1 e por bombeamento no caso de RT-1 e RT-2.

Enquanto isso, o reservatório que chamaremos de RJ-3, localizado no Alto Grajaú, no pátio Furnas, tem sua concepção um pouco diferente dos outros. É denominado como um "reservatório de pé de morro" e, além de amortecer os picos de vazão dos hidrogramas, viabilizará também o controle de sedimentos na bacia hidrográfica provenientes das cheias rápidas. O reservatório planeja acomodar um volume de 50.000 m³, que iria aliviar a calha do Rio Joana a jusante. Essa solução é possível graças a sua localização, já que, esse tipo de cheia é característica da sua região de implantação.

O reforço hidráulico proveniente das galerias e canais se conceberá através do aumento da capacidade dos canais, o que é possível, uma vez que sua aplicação não constitui um incremento de vazões a jusante, o que agravaria o problema de inundações em bacias adjacentes.

Na bacia hidrográfica do Rio Joana, foi considerada como a melhor alternativa avaliada, a construção de um desvio para o curso do Rio Joana, que seguirá parte em túnel e parte em galeria, diretamente para a Baía de Guanabara. O traçado do desvio tem início no trecho de travessia da linha férrea, na altura do cruzamento da Av. Prof. Manuel de Abreu com a Rua Felipe Camarão. Começa em forma de galeria, segue em túnel, e por fim, novamente em galeria, segue ao longo da Rua São Cristóvão até o ponto de deságue na Baía de Guanabara, próximo à foz, conforme figura 47.

Na bacia hidrográfica do Rio Maracanã, a alternativa estudada, consiste em uma galeria de derivação que interliga o rio ao desvio projetado para o Rio Joana. Esta galeria se inicia na Av. Maracanã e desemboca na galeria de reforço do canal do Rio Joana, será subterrânea e terá capacidade para veicular as vazões afluentes. Esta

medida, além de possibilitar a regularização do escoamento, também proporcionará um aproveitamento mais eficiente da calha do Rio Maracanã em sua parte jusante.

Na bacia do Rio Trapicheiros, a alternativa estudada é a de implantação do reservatório que irá se localizar no estacionamento do supermercado Extra (RT-1), na Rua Heitor Beltrão, com capacidade de armazenamento de aproximadamente 70.000 m³. Este reservatório viria aliviar a afluência de vazão jusante, possibilitando um melhor aproveitamento da calha no trecho em galeria.

O **Anexo C** nos permite, assim como a figura 47, visualizar o esquema descrito neste item, contendo as localizações em destaque dos 5 reservatórios, das duas galerias e do túnel, com os detalhes das ruas e indicação das obras na região da Bacia do Canal do Mangue estudada.

O reservatório da Praça da Bandeira (RT-2), devido à pequena área disponível, é o menor de todos, comportando um volume de 18.000 m³. Tem a função de auxiliar na drenagem local, já que, o bairro da Praça da Bandeira está situado num ponto baixo da bacia do Mangue e de frequentes inundações. No presente momento, trata-se do único reservatório cujas obras subterrâneas já estão finalizadas. Os reservatórios da Praça Niterói e da Praça Varnhagen estão em construção e os do Extra e do Alto Grajaú não tiveram suas obras iniciadas. A figura 48 mostra o bairro da Praça da Bandeira quando ainda estava em obras.



Figura 48 – Parte externa do local de obras da Praça da Bandeira.
(Fonte: Autora, foto tirada em 26 de Novembro de 2014)

As figuras 50 e 51 mostram a aparência interna dos reservatórios da Praça da Bandeira e Praça Niterói, respectivamente.



Figura 49 – Reservatório subterrâneo da Praça da Bandeira.
(Fonte: Autora, foto tirada em 26 de Novembro de 2014)



Figura 50 – Construção do poço C na Praça Niterói ao todo são 3 poços (A, B e C), dispostos um ao lado do outro.
(Fonte: Autora, foto tirada em 26 de Novembro de 2014)

A figura 51 mostra a obra de desvio do Rio Joana.



Figura 51 – Desvio do Rio Joana.

(Fonte: Disponível em <<http://www.rio.rj.gov.br/web/rio-aguas>>, acessado em junho de 2014)

Muito já se foi discutido por especialistas e por órgãos públicos, acerca do projeto dos “piscinões”, como são chamados os reservatórios subterrâneos e do túnel extravasor. Os primeiros, envolvem alto custo, que inclui além da própria obra, as desapropriações muitas vezes necessárias (o que não foi o caso dos três reservatórios na região da grande Tijuca), sua manutenção e limpeza.

O material depositado no fundo do reservatório pode criar ambiente propício ao mau cheiro e contaminações se não for submetido a limpezas periódicas. Sendo que a superfície dos reservatórios será destinada ao lazer da população, esta questão deve ser tratada com atenção. Para essa água residual acumulada no fundo, está prevista então sua limpeza periódica, apesar de ainda não haver nenhum contrato a respeito. Já o monitoramento das bombas hidráulicas será feito pelo COR (Centro de Operações Rio), que acompanhará a abertura dos dispositivos para entrada e saída de água nos reservatórios.

Em relação ao período de construções, os reservatórios RJ-4 e RT-2 (Praça Niterói e Praça da Bandeira, respectivamente), visitados em campo, por serem construídos em área residencial/comercial, principalmente o RJ-4 (área residencial), há um monitoramento constante quanto à possibilidade de recalque através de sensores colocados nas edificações ao redor da área (figura 52). A informação passada pelo mestre de obras local é que não houve recalque em nenhuma das edificações monitoradas até o momento. A leitura é realizada diariamente pelo técnico.



Figura 52 – Monitoramento de recalque (em amarelo) em edifício na Praça Niterói.
(Fonte: Autora, foto tirada em 26 de Novembro de 2014)

O túnel extravasor, por sua vez, é uma solução mais aceita e defendida pela maioria dos especialistas. O projeto data do início da década de setenta e foi atualizado para ser executado após análise e aprovação da Prefeitura. Foi iniciado quando a obra dos “piscinões” já estava em andamento inicial. Além de não afetar o trânsito de forma mais significativa, nem de promover remoções, seu custo é bem inferior ao dos “piscinões”. O desvio do Rio Joana, com a construção do túnel extravasor e das galerias de reforço, permitirá que o fluxo de água antes recebido no Canal do Mangue, passe a desaguar diretamente na Baía de Guanabara. Contribuindo também assim, para a maior eficiência do sistema.

Os reservatórios trabalham acumulando volumes e amortecendo os picos das vazões na bacia, evitando assim o transbordamento dos rios. De forma geral, os reservatórios subterrâneos e as obras de desvio e reforço da galeria dos Rios Joana e Trapicheiros, uma vez finalizados e operando em conjunto, prometem ser efetivos no que se refere ao fim dos alagamentos na Grande Tijuca. A água acumulada será liberada para a rede de drenagem e cursos d’água, aos poucos, de forma a retardar a ida dos volumes para a parte baixa da região, impedindo os alagamentos.

É fato que há muito tempo se exigia do poder público uma atitude mais efetiva que tivesse como meta acabar com o problema das enchentes nesta região com tradição histórica de alagamentos causados pelo desequilíbrio do sistema hídrico. O ideal seria que tais atitudes viessem acompanhadas de todo o planejamento necessário e da disponibilidade de tempo que permitisse estudos e possibilidades alternativas possibilitando redução de custos e menores transtornos à população.

5.5 Condicionantes ambientais e Licenciamento do Projeto

Critérios ambientais devem sempre ser considerados na elaboração de projetos e obras da Prefeitura. A existência do cuidado com o meio ambiente está prevista por lei na Política Nacional do Meio Ambiente²⁰. As práticas ambientais são feitas de diversas formas e quando se associam à urbanização, devem possibilitar o controle desse processo que só se intensifica na bacia hidrográfica do município do Rio de Janeiro.

A implantação de novas áreas verdes é uma das práticas que se pode adotar nesse sentido e, além de atender às necessidades da comunidade local, também serve de apoio à não criação de espaços vazios que provocam a degradação do ambiente. Um dos exemplos dessa prática, aplicado ao Projeto de controle de enchentes na Grande Tijuca, ocorreu na Praça Niterói.

A Praça Niterói, antes do início das obras (figura 53), contava com um espaço verde considerável para uma área urbana: onde cerca de 33 árvores tiveram que ser retiradas por causa das construções e, além disso, um espaço de lazer e uma quadra de esportes para os moradores locais, pois o entorno da área conta com prédios habitacionais de classe média. Essa área residencial está localizada bem próxima ao canteiro de obras e, por causa disso, ao longo da implantação do projeto, ocorreram várias reuniões com os moradores que se interessassem em participar, entender e discutir as alterações que seriam realizadas na região.

²⁰ Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981.



Figura 53 – Praça Niterói antes do início das obras dos piscinões subterrâneos.
(Fonte: Disponível em <<https://www.facebook.com/PracaNiteroiMaracanaRj>>, acessado em 07 de fevereiro de 2015)

Como pagamento de compensação ambiental pelas árvores retiradas, tiveram que ser plantadas cerca de 1000 mudas na reserva do Grajaú. A escolha do local se deu porque necessitava-se de um espaço que comportasse todas essas mudas e que estivesse inserido dentro dos limites da mesma bacia que a Praça Niterói.

Para que se tenha um sistema de drenagem sustentável, são necessárias medidas estruturais que, por ventura, muitas vezes implicam na desconstrução e degradação de outros ambientes. Mas ao mesmo tempo que isso não pode ser um empecilho à melhoria da segurança populacional, também não pode ser completamente ignorado. Para que haja união entre comunidade, governo e empresários, todos devem trabalhar atrelados ao meio ambiente. Somente o cuidado com o planeta que vivemos, lembrando que isso inclui ações em todos os níveis, é capaz de proporcionar o bem estar almejado por todos.

5.6 Algumas reflexões sobre o projeto

O reservatório da Praça da Bandeira, com 18.000 m³, foi o primeiro a ter suas obras finalizadas no Rio de Janeiro, após um período de 2 anos de construções. Portanto, ainda se encontra muito cedo para informar sobre possíveis problemas de manutenção. A inauguração ocorreu no dia 7 de fevereiro de 2015, e o resultado recebe destaque por expor um visual e infraestruturas bem diferentes do que o espaço apresentava antes da revitalização.

Antes do projeto do reservatório subterrâneo, a área não servia para o lazer da população local, pois não continha infraestruturas adequadas, quaisquer focos de interesse ao público e apresentava constantes ameaças à população, tanto na segurança pessoal, com riscos de assalto, quanto na segurança pública, sendo facilmente palco de diversos alagamentos ao menor sinal de chuva mais intensa.

Já foi relatado no presente trabalho sobre a importância de se arquitetar ambientes multifuncionais que possam suprir diversas demandas e que ao mesmo tempo sejam úteis se complementando em relação ao uso. O projeto dos reservatórios, sempre que possível, deve possibilitar, além da atenuação de enchentes, a utilização como áreas de lazer, esporte, centro cultural e de convivência. Ao se pensarem esses usos múltiplos, é indispensável pensar-se também em condições que resguardecam a saúde e o bem estar populacional, além de uma análise criteriosa da estrutura superficial, para que sejam definidos quais elementos da paisagem natural serão preservados.

A nova paisagem construída na Praça da Bandeira conta com um rинque de patinação de aproximadamente 450 m², uma academia para a terceira idade, canteiro arborizado, bancos, nova iluminação e um circuito de 212 m para caminhada, conforme apresentado na figura 54. (Manchete Online, 2015)



Figura 54 – Praça da Bandeira pós revitalização da área superficial.
(Fonte: Disponível em <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia>>, acessado em 08 de fevereiro de 2015)

Apesar dos pontos positivos que a obra trouxe à região, também existem alguns pontos reflexivos que valem ser mencionados aqui.

Na conjuntura atual, o Brasil passa por uma crise hídrica grave, com diversas regiões sofrendo lapsos de abastecimento, mas o epicentro da escassez hídrica se encontra no sudeste, que conta com constantes riscos de apagão, além do desabastecimento. (CALDAS, 2015) No estado de São Paulo, por exemplo, a população já sofre com a pressão reduzida na rede; a crise é dita como a pior da história e afeta diariamente cerca de 17 milhões de pessoas. (O Globo, 2014) O governo paulista, planejando evitar o racionamento, já iniciou obras no interior de São Paulo avaliadas em torno de 80 milhões de reais, que permitam a retirada da água que fica no fundo (volume morto), além do alcance do atual sistema de captação. (SALLES, 2014) Contextualizando assim a importância de haver uma reservação e reaproveitamento da água da chuva, pode considerar-se um ponto a ser levantado pelo fato de não existir um projeto que preveja a utilização da água acumulada no reservatório da Praça da Bandeira nem nos próximos a serem finalizados, com capacidade de reservação ainda maiores. Segundo a justificativa da Prefeitura, é de que primeiramente seriam necessários testes de funcionamento para que se possa avaliar a qualidade da água acumulada, para posteriormente se pensar no reuso.

A perspectiva multifuncional visa à gestão sustentável do território e, nesse aspecto, o projeto de revitalização da Praça da Bandeira apresenta algumas falhas em seu escopo, não constando um plano de reaproveitamento da água acumulada. Atualmente existe um pedido de estudo de viabilidade técnica-econômica para a finalidade de reuso. Porém, o assunto só passou a ser abordado mais claramente depois que o projeto foi concluído, o que em termos de planejamento e para fins de execução, não seria a melhor opção.

A fase de planejamento do projeto também falhou ao não envolver até onde se sabe, todas as partes interessadas no processo de sua elaboração. O planejamento não se desenvolveu em conjunto com a população local que na inauguração da Praça já apresentou queixas a respeito do local estar situado em uma área muito vulnerável a acidentes de carro, pois se encontra entre duas vias expressas, e por isso deveriam ter sido instaladas grades de segurança para garantir o lazer seguro das crianças.

O projeto dos “piscinões” subterrâneos na região sudeste são pioneiros no Brasil. Na região metropolitana do Estado de São Paulo já havia sido implantado projeto semelhante ao do Rio de Janeiro, porém em maior escala, como medida de controle de enchentes. Em sua maioria, esses reservatórios são abertos e acompanham áreas de lazer, propiciando à população o uso do espaço no entorno para prática de esporte e parque de diversões. Dependem de recursos das Prefeituras para sua manutenção, principalmente no que diz respeito às bombas hidráulicas, necessárias ao esvaziamento do volume de água, e da constante limpeza de seu interior. Estas seriam medidas básicas para que se tornem efetivas no combate às enchentes. Em São Paulo já houve casos dessa manutenção não ter sido feita de forma periódica, comprometendo a eficácia do sistema. Um dos motivos para a falta de manutenção foi o atraso na licitação dos contratos, o que acarretou o acúmulo de lixo e outras situações que favoreceram a degradação do local, tornando-o inadequado e comprometido do ponto de vista sanitário e de segurança. Desta forma, muitos locais puderam dar margem à ocupações de moradores de rua, piorando ainda mais a situação. Em São Paulo está sendo cogitada a possibilidade de parceria público privada para manutenção de reservatórios.

Atenção deve ser dada aos reservatórios do Rio de Janeiro, no que se refere à questão da periodicidade da limpeza, devendo ser de responsabilidade da Prefeitura a Licitação do serviço, para que não haja comprometimento da eficiência do sistema.

Capítulo 6 – CONCLUSÕES

Após um extenso estudo sobre a conjuntura do planejamento urbano no Brasil, e sobre os impactos sociais, econômicos e ambientais que o descaso com a questão das enchentes, pode acarretar, chega-se ao final deste trabalho com alguns pontos e reflexões a serem destacados.

Em primeiro lugar é importante lembrar que as inundações são um processo natural e necessário ao funcionamento do sistema fluvial. São as calamidades públicas, provenientes de inundações fora do controle, que causam os verdadeiros problemas. Diversos são os motivos e as causas que elevam as precipitações a tal categoria das calamidades. No presente trabalho vimos os principais, que são a retirada da vegetação natural da bacia, a impermeabilização do solo na área drenada, o assoreamento das calhas dos sistemas de drenagem, e as construções desenfreadas nas planícies de inundação dos rios. Analisando-se essas ações em conjunto, percebe-se que todas se enquadram num perfil de alterações resultantes da antropização, e a partir destas entra-se num looping: Ao mesmo tempo que estas ações aliadas às características físicas do local, aliados ao processo de mudanças climáticas que temos vivido, são também as causas da ocorrência de eventos extremos. Esses episódios extremos em conjunto com as ações antrópicas, além da falta de um eficiente sistema de alerta de enchentes que atue de forma competente, mais a falta de treinamento da população para situações de risco e seu desconhecimento de práticas de educação ambiental corretas, são os criadores de um ambiente propenso à tragédias. Inicia-se assim um ciclo difícil de se sair.

Com o provável aumento da ocorrência de eventos extremos, é de se esperar que os sistemas de drenagem se encontrem com uma sobrecarga cada vez maior, e estejam mais sujeitos às falhas durante sua vida útil. Chegamos então à importância de se estabelecer regulamentos que considerem a bacia hidrográfica como unidade de gestão, com preceitos que visem resgatar sua capacidade de armazenagem e infiltração. Combinam-se assim, medidas estruturais e não estruturais para que se possa construir um ambiente menos suscetível à vulnerabilidades que vemos sendo expostos, e que o território municipal seja tratado como único, ao contrário de analisá-lo por casos isolados, criando dificuldades para que se alcance o máximo êxito comum.

Eventos hidrológicos futuros podem chegar a novas proporções até então não esperadas, aumentando a abrangência espacial dos alagamentos e alcançando locais até então não alagáveis. Vista essa nova configuração, seria adequado a constituição de um Plano Diretor de Drenagem que considere os cenários futuros das mudanças climáticas. Atentando-se também na melhoria dos pontos fracos que os planos atuais

apresentam, como reforços nas partes de Planejamento, Educação Ambiental, Gestão dos Resíduos Sólidos, Saneamento Ambiental, e Saúde Pública. Inserindo a questão da falta d'água que o país vem lidando atualmente, um exemplo de melhoria prática em nosso Plano Diretor, poderia ser a inclusão de pequenos reservatórios em condomínios residenciais. Na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, a construção de condomínios residenciais vem se expandindo continuamente ao longo dos últimos anos, portanto, esse adendo no Plano Diretor como exigência de implementação a nível de projeto na construção, já seria funcional no acúmulo e posterior reuso das águas. É preciso deixar claro que quando fala-se em reforços, eles devem incluir não só uma melhoria teórica dentro dos planos, mas também, e principalmente, melhorias em suas implantações. Necessita-se, no Brasil como um todo, de mais fiscalização e execução de nossas leis e direitos.

Inserindo-se nesse contexto, no que se diz respeito às medidas estruturais para o controle de inundações do sistema de macro drenagem, que foi aqui apresentado para a região da Grande Tijuca, deve-se ressaltar que tais medidas devem ser adequadas a cada bacia hidrográfica. Os reservatórios subterrâneos têm como finalidade principal promover a redução do pico das enchentes por meio do amortecimento das ondas de cheia. Redução esta, obtida pelo armazenamento de parte do volume escoado. A utilização destas estruturas está associada a outros usos como recreação e lazer. Porém, apresentam alto custo de implantação, necessitam de limpeza e manutenção periódicas, como vimos no caso dos reservatórios de São Paulo, caso não seja dado a devida importância a esta questão, as consequências podem ser graves para o ambiente público. Outro ponto importante é a necessidade de terrenos livres viáveis para construção destes reservatórios subterrâneos, condição esta que dificulta todo o processo de implantação dessas obras, já que, terrenos livres são cada vez mais escassos e caros em áreas densamente urbanizadas, como na cidade do Rio de Janeiro.

Durante a obra, podem ser causados transtornos à população que habita a região, acompanhada de alterações do trânsito no entorno provocando congestionamentos devido ao fechamento de ruas para sua conclusão, causando um descontentamento ainda maior dos que habitam a região. Tais situações poderiam ser minimizadas se planejadas devidamente de forma a causar o menor impacto possível.

Em relação ao problema do planejamento urbano, acrescenta-se a falta de limites do poder imobiliário, não previsto por lei. As consequências desta falta de limites leva o setor a priorizar os interesses individuais à frente dos coletivos, prejudicando o planejamento da cidade. Para que se evite questões como esta é necessário

regulamentar em lei o controle do uso do solo limitando o domínio máximo do poder imobiliário em determinada região, como por exemplo, através do Plano Diretor.

Resgatando a ideia central do trabalho em relação à problemática das cheias urbanas, a população e as autoridades devem lembrar-se constantemente que prevenir custa muito menos que remediar, até porque, quando lidamos com a ocorrência de fenômenos catastróficos que levam vidas, não existem cálculos para esse custo. Mas, existe sim uma forma de tentarmos ao máximo evitar esses cenários, aliando-se conhecimento científico à tecnologia, e à mobilização política e populacional, preconizando o meio ambiente como nosso bem maior, buscando através de leis e práticas não tentar sobreviver apesar dele, mas sim viver com ele.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. D. "Pensando a Cidade no Brasil do Passado". In: **Brasil: Questões Atuais da Reorganização do Território**, pp. 145-184, Editora Bertrand Brasil, 1996.

AFONSO, A. & BARBOSA, F. "A bacia ambiental como uma nova matriz urbanística de planejamento". Universidade Católica de Brasília, **1st International Congress on Environmental Planning and Management**, Brasília, DF, 2005.

ALFREDINI, P. & ARASAKI, E. **Obras e Gestão de Portos e Costas – A técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. Editora BLUCHER, 2009.

BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N. & BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Editora ABRH, 2005.

BORGES, S. R. **Intervenções em Bacias Hidrográficas Urbanas no Rio de Janeiro: O Desvio Do Rio Joana e Reservatórios**. Dissertação de M.Sc., Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Rio de Janeiro, 2013.

BOTZEN, W. J. W., BERGH, J. C. J. M. van den. "Insurance Against Climate Change and Flooding in the Netherlands: Present, Future, and Comparison with Other Countries". In: **Risk Analysis**, n.8, pp. 413-426, 2008.

CARDOSO, A. S. **Desenvolvimento de Metodologia para Avaliação de Alternativas de Intervenção em Cursos de Água em Áreas Urbanas**. Dissertação de M.Sc., Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2008. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/499M.PDF>>. Acesso em: 6 Jan. 2015.

CARVALHO, A. S. "Na contramão da reforma urbana: Empresariamento das cidades e os limites dos processos participativos". **Encontro Internacional Participação, Democracia e Políticas Públicas: Aproximando agendas e agentes**. Araraquara, SP, Brasil, 23-25 Abr. 2013.

CIRIA. **The SUDS Manual**, C697, 2007. Disponível em: <<http://www.ciria.org.uk/suds>>. Acesso em: 7 Jul. 2008.

CORRÊA, R. G., BARBOSA, G. L., FALCÃO, M. M., et al. **Faixa Marginal de Proteção**. Instituto Estadual do Ambiente – Inea, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwff/mde0/~edisp/inea_014685.pdf>. Acesso em: 12 Jan. 2015.

DE ANDRADE, R. P. "A Agenda do Keynesianismo Filosófico: Origens e Perspectivas". In: **Revista de Economia Política**, v. 20, pp. 76-94, Jun. 2000.

DEL RIO, V. & GALLO, H. **O legado do urbanismo moderno no Brasil - Paradigma realizado ou projeto inacabado?**. 01 Nov. 2000. Disponível em Vitruvius: <<http://www.vitruvius.com.br>>. Acesso em: 22 Jan. 2015.

FADIGAS, L. D. **Fundamentos Ambientais do Ordenamento do Território e da Paisagem**. 2 ed. Lisboa, Portugal, Editora Sílabo, 2007.

FERRARI Jr., J. C. "Limites e Potencialidades do Planejamento Urbano - Uma discussão sobre os pilares e aspectos recentes da organização espacial das cidades brasileiras". In: **Estudos Geográficos**, pp. 15-28, Rio Claro, Porto Alegre, RS, Jun. 2004. Disponível em: <www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista.htm>. Acesso em: 20 Nov. 2014.

GONDIM FILHO, J. & MEDEIROS, V. V. "Gestão da água no meio urbano e controle de inundações". **Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais**, pp. 443-453, 2004.

KLEIMAN, M. & KAUFFMANN LEIVAS, M. O. "Superação do Planejamento Urbano Contemporâneo: apontamentos inspirados em Henri Lefebvre". **Revista Labor & Engenho**, v.7, n.2, pp. 63-78, Campinas, SP, Brasil, 2013. Disponível em: <www.conpadre.org>. Acesso em: 20 Nov. 2014.

KOBAYASHI, F. Y., FAGGION, F. H., DEL BOSCO, L. M., et al. **Drenagem Urbana Sustentável**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2008.

LEOPOLD, L. B. **Hydrology for Urban Land Planning: A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use**. Washington, USA, Editora Geological Survey, 1968. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/circ/1968/0554/report.pdf>>. Acesso em: 07 Jan. 2015.

MARICATO¹, E. **Brasil, cidades alternativas para a crise urbana**. Petrópolis, RJ, Brasil, Editora Vozes, 2001.

_____². "Limitações ao Planejamento Urbano Democrático". In: **Temas de Direito Urbanístico 3**. Coord. FREITAS, José Carlos de. São Paulo, SP, Brasil, Editora Imprensa Oficial do Estado MPSP, 2001.

MATTOS, R. A. **A gestão sustentável de recursos hídricos - Experiência e desafios regionais: O caso do controle das enchentes da bacia hidrográfica do Rio Joana, Rio de Janeiro**. Dissertação de M.Sc., Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Centro de Tecnologia e Ciências, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.

MONTENEGRO, M. H. **Os Municípios e as Diretrizes para os Serviços Públicos de Saneamento Básico**. Brasília, DF, Editora Agência Reguladora de Águas Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal, 2008.

MOUTINHO, V. D. **Avaliação e Reabilitação de Redes de Microdrenagem**. Trabalho Final de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente - DRHIMA, Rio de Janeiro, 2011.

NASCIMENTO, N. O., BAPTISTA, M. B., "Técnicas Compensatórias em Águas Pluviais". In: RIGHETO, A.M., **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**, Projeto PROSAB, Cap. 4, p. 149-197, Natal, RN, Editora ABES, 2009.

OLIVEIRA, L. H. & SANCHES, C. **Educação Ambiental e as Enchentes Urbanas na Área da Grande Tijuca - Praça da Bandeira e Tijuca**. Universidade Cândido Mendes - UCAM, Jul. 2003.

PIEROT, R. M. & de LIMA, A. J. "Reflexões sobre Planejamento e Crise Urbana no Brasil". **XIII Colóquio Internacional de Geocrítica - El control del espacio y los**

espacios de control, Universitat de Barcelona e Universidade Federal do Piauí, Barcelona, Espanha, 5-10 Mai. 2014.

REZENDE, O. M. **Avaliação de medidas de controle de inundações em um plano de manejo sustentável de águas pluviais aplicado à baixada fluminense**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Mar. 2010.

Rio-Águas. **Bacia Hidrográfica do Canal do Mangue - Diagnóstico do Sistema de Drenagem e Plano Diretor Preliminar**. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.

SANTOS, A. M., LEITE, M. P. & FRANCA, N. **Quando memória e história se entrelaçam: a trama dos espaços na Grande Tijuca**. Rio de Janeiro, RJ, Editora IBASE, 2003.

SANTOS, M. A., **Urbanização Brasileira**. 3 ed. São Paulo, Brasil, Editora HUCITEC, 1993.

SERLA - Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas. **Enchentes no Estado do Rio de Janeiro - Uma Abordagem Geral**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro, Ago. 2001.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE. **Informações Socioeconômicas da Região Administrativa Rio Comprido**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.

_____. **Informações Socioeconômicas da Região Administrativa São Cristóvão**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.

_____. **Informações Socioeconômicas da Região Administrativa Tijuca**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.

_____. **Informações Socioeconômicas da Região Administrativa Vila Isabel**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.

STAHRE, P. "15 Years Experiences of Sustainable Urban Storm Drainage in the City of Malmo, Sweden". **World Water and Environmental Resources Congress**, Alaska, USA, 15-19 Mai. 2005. Disponível em: <<http://www.ascelibrary.org>>. Acesso em: Jan. 2015.

State Office for Water Management. "Case study: Isar River, Munich". **Rivers by Design**, pp. 38-39, 2014. Disponível em The network for best practices of river restoration in Greater Europe: <<http://www.restorerivers.eu/Portals/27/Isar%20River%20Munich.pdf>>. Acesso em: 03 Out. 2014.

Toronto and Region Conservation. **Water Budget Discussion Paper**. Toronto, Editora Gartner Lee Limited, 2006. Disponível em: <<http://www.sustainabletechnologies.ca/wp/wp-content/uploads/2013/01/Water-Budget-Discussion-Paper.pdf>>. Acesso em: 06 Jan. 2015.

TUCCI, C. E. M. "Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção". **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, n.2, pp. 5-12, Dez. 1997. Disponível em: <<http://rhama.net/download/artigos/artigo2.pdf>>. Acesso em: 06 Jan. 2015.

TUCCI, C. E. M. & BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. 1 ed. Porto Alegre, RS, Brasil, Editora ABRH, 2003.

VIVAS, E. & SILVA, C. “Definição de unidades de análise para a prevenção, Avaliação e gestão de situações de seca - Aplicação ao caso da bacia do rio Guadiana”. **10.º Congresso da Água – Marcas d’Água**, Algarve, 21-24 Mar. 2010.

YAZAKI, L. F., TOMINAGA, E., SOSNOSKI, A., et al. “Projeto Técnico: Jardins de Chuva”. In: **Soluções para Cidades**, pp. 1-13. Disponível em: <http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/04/AF_Jardins-de-Chuva-online.pdf>. Acesso em: 03 Out. 2014.

LEGISLAÇÃO

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988: atualizada até a Emenda Constitucional nº 80, de 4 Jun. 2014. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: Nov. 2014.

_____. Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências**. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 8 Jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: Nov. 2014.

_____. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e dá outras providências**. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 9 Jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: Nov. 2014.

_____. Lei n.6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação e dá outras providências**. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2 Set. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: Nov. 2014.

_____. Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001. **Estatuto da Cidade: Estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências**. Brasília, DF, 17 Jul. 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm>. Acesso em: Nov. 2014.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional**. Brasília, DF, 17 Fev. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: Nov. 2014.

SITES VISITADOS

Alerta Rio: <http://alertario.rio.rj.gov.br> Acesso em: 30 Jan. 2015.

Automatic House:

www.automatichouse.com.br/AutomaticHouse/WebSite/Noticia/arquiteto-cria-um-edificio-agro-urbano-para-cidade-japonesa,20110624094809_U_097.aspx Acesso em: 02 Out. 2014.

Facebook: <https://www.facebook.com/PracaNiteroiMaracanaRj> Acesso em: 07 Fev. 2015.

Flickr.com: <https://www.flickr.com/photos/fonteslarissa/5115237627/in/photostream/> Acesso em: 07 Jan. 2015.

G1 Notícias: <http://g1.globo.com/Noticias> Acesso em 7 Jan. 2015.

IBGE: <http://www.ibge.gov.br/> Acesso em 15 Jan. 2015.

Instituto Pereira Passos: <http://www.rio.rj.gov.br/web/ipp> Acesso em: 02 Fev. 2015.

JusBrasil: <http://carollinasalle.jusbrasil.com.br/noticias/114419870/maior-crise-hidrica-de-sp-expoe-lentidao-do-governo-e-sistema-fragil> Acesso em: 07 Fev. 2015.

Manchete Online: <http://www.mancheteonline.com.br/praca-da-bandeira-revitalizada-e-inaugurada-pelo-prefeito-eduardo-paes/> Acesso em: 09 Fev. 2015.

National and Kapodistrian University of Athens:

<http://www.floodresilience.eu/en/case-studies/hamburg> Acesso em: 02 Out. 2014.

O Globo: <http://oglobo.globo.com/brasil/em-sao-paulo-maior-crise-de-abastecimento-da-historia-13317475> Acesso em: 07 Fev. 2015.

_____. <http://oglobo.globo.com> Acesso em: 30 Jan. 2015.

R7 Rio de Janeiro: <http://noticias.r7.com/rio-de-janeiro/noticias/tragedia-na-regiao-serrana-e-resultado-da-negligencia-dos-governos-diz-especialista-20110113.html> Acesso em: 18 Set. 2014.

Revista de História.com.br:

<http://www.revistadehistoria.com.br/secao/reportagem/aguas-passadas> Acesso em: 18 Set. 2014.

Rinnovabili: <http://www.rinnovabili.it> Acesso em: 17 Nov. 2014.

Rio Águas: <http://www.rio.rj.gov.br/web/rio-aguas> Acesso em Jun. 2014.

SoBiologia: <http://www.sobiologia.com.br/> Acesso em: 05 Jan. 2015.

Veja SP: <http://veja.sp.abril.com.br> Acesso em: 07 Jan. 2015.

Word Express: <http://eliomarcoelho.wordpress.com/tag/enchentes> Acesso em: 02 Fev. 2015.

ZH Notícias: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/noticia/2015/01/o-brasil-conta-gotas-entenda-as-causas-e-desafios-da-falta-de-agua-que-se-espalha-pelo-pais-4691649.html> Acesso em: 07 Fev. 2015.

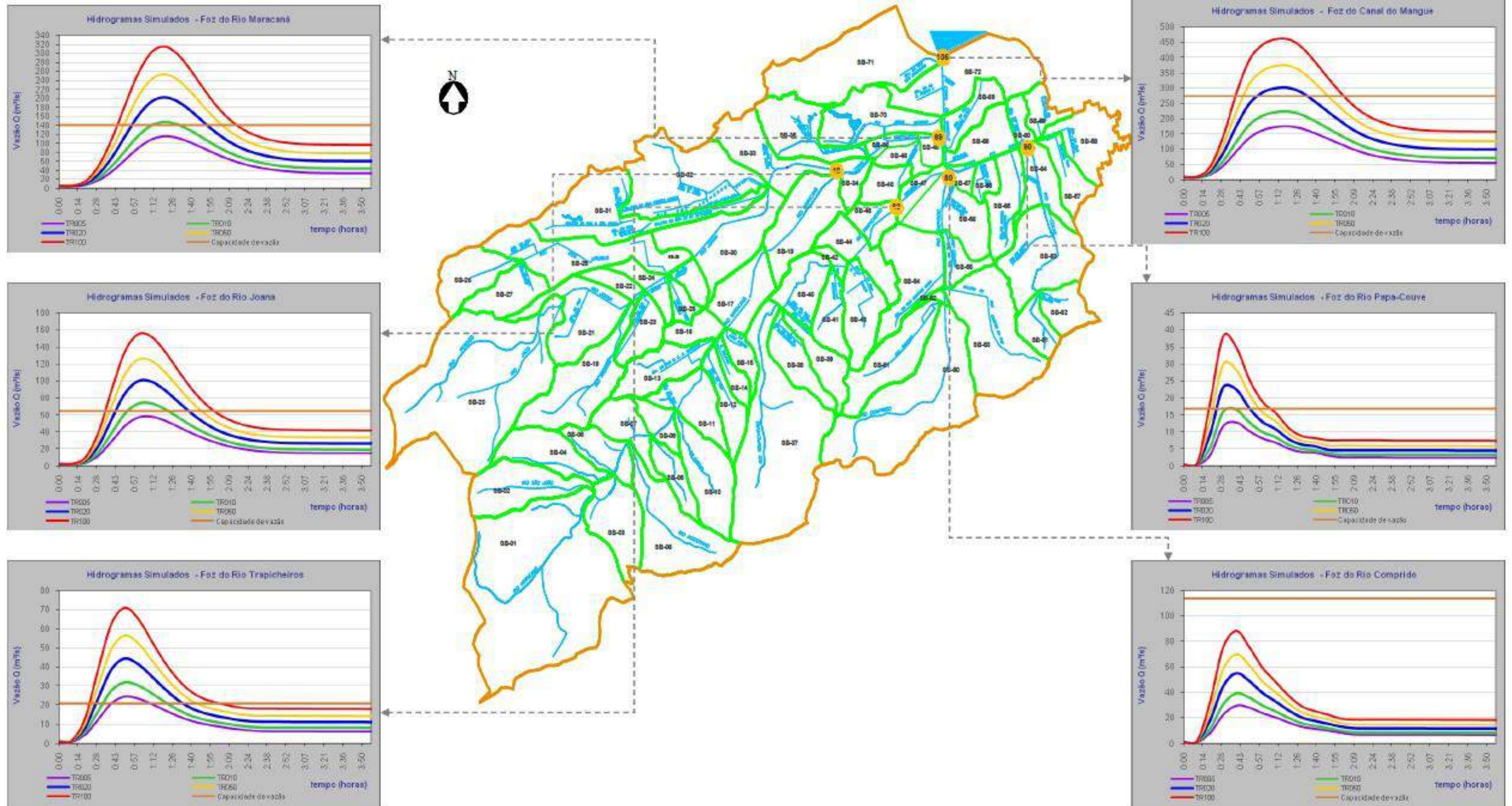
NOTAS DE AULA

BARBOSA, Paulo R. J. D. – Notas de Aula da Disciplina Hidrologia Geral – Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, em Set. 2009.

LUCENA, André F. P. – Notas de Aula da Disciplina Economia e Meio Ambiente – Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, em Set. 2014.

ANEXOS

ANEXO B



ANEXO C

