



**Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Meteorologia**

**Estudo do fenômeno da Ilha de Calor Urbana na Região
Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) usando dados do
sensor AVHRR do satélite NOAA-14**

Por Victor Hugo Pezzini de Meireles
Curso de Graduação em Meteorologia

Orientador:
José Ricardo de Almeida França, D.Sc.

**Rio de Janeiro
Agosto/2009**

Estudo do fenômeno da Ilha de Calor Urbana na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) usando dados do sensor AVHRR do satélite NOAA-14

Victor Hugo Pezzini de Meireles

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Aprovada por:

Hugo Abi Karam, D.Sc.

Andrews José de Lucena, M.Sc.

José Ricardo de Almeida França, D.Sc.

Meireles, Victor Hugo Pezzini de.

“ESTUDO DO FENÔMENO DA ILHA DE CALOR URBANA NA REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (RMRJ) USANDO DADOS DO SENSOR AVHRR DO SATÉLITE NOAA-14”.

Rio de Janeiro, Agosto de 2009.

108p.

- I Ilha de Calor Urbana.
- II AVHRR.
- III Sensoriamento Remoto.

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Monografia para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos meus familiares por sempre acreditarem em mim, especialmente minha mãe Véra por sua paciência, carinho quando me encontrava exausto, ao meu pai Nélio que me incentivou a seguir em frente, me dedicar cada vez mais, pois ser meteorologista é meu sonho. A minha irmã Vivian, que mesmo me chateando, me divertia. Obrigado família, amo vocês!

Agradeço também a minha namorada Mariana por estar comigo durante esses três anos que foram à elaboração da minha monografia, por me incentivar, por entender a minha opção de deixar de a encontrar, sair por diversas vezes para fazer este trabalho, para estudar para as disciplinas da graduação. Obrigado minha Morena!

Ao meu orientador prof. José Ricardo de Almeida França pelos inúmeros “puxões de orelha” que fizeram me dedicar cada vez mais a este estudo, por acreditar no meu potencial. Obrigado!

Agradeço também a todos os professores do Departamento de Meteorologia da UFRJ que tanto contribuíram para minha formação, seja pelos conhecimentos transmitidos em sala de aula, pelas conversas nos corredores do departamento. A professora Ângela Maria Pineschi de Avila pela dedicação em resolver meus problemas durante a graduação.

O meu muito obrigado a todos amigos que fiz nesse tempo que passei na graduação em Meteorologia, como a Caroline Mourão, Fernanda Cerqueira, William Cossich, Marcos Pristo, só para citar alguns pois são tantos! Não posso deixar de agradecer ao Bruno Duarte por solucionar diversas dúvidas sobre programação, na revisão dos textos em inglês. Obrigado a todos vocês!

Agradeço ao meteorologista Leonardo Peres por me receber algumas vezes em Cachoeira Paulista para me auxiliar com este estudo, com a parte de programação. Obrigado!

A Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (DSA/ CPTEC – INPE) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pelo fornecimento dos dados necessários para a elaboração deste trabalho.

Meus agradecimentos ao corpo de funcionários administrativos do Departamento de Meteorologia da UFRJ pelo apoio, suporte fornecido ao longo da minha formação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio prestado durante o período de novembro de 2006 a fevereiro de 2009, através de uma bolsa de estudo de fomentação à pesquisa, resultando na elaboração desta monografia.

Agradeço principalmente a Deus por nunca deixar eu desistir, por colocar em minha vida, em meu caminho, pessoas maravilhosas que muito me auxiliaram, incentivaram. Obrigado!

RESUMO

O fenômeno da Ilha de Calor Urbana começou a ser estudado por Luke Howard no início do século XIX. Diversos outros autores prosseguiram com o estudo deste tema e o relacionaram com a alteração do uso do solo. Pode-se caracterizar a área onde se observa a presença da Ilha de Calor Urbana como sendo uma região com temperaturas mais elevadas do que as áreas vizinhas. Estudos realizados nas últimas décadas do século XX utilizaram técnicas de sensoriamento remoto para a obtenção de dados da superfície com o intuito de observar a presença da Ilha de Calor, sendo estes bem sucedidos. Desta forma, este trabalho utiliza dados do sensor AVHRR, a bordo do satélite NOAA-14, para o cálculo do índice de vegetação NDVI e da temperatura estimada para a superfície (TS) da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), como forma de mostrar a potencialidade do estudo da Ilha de Calor Urbana nesta área. Foram observados áreas com valores de temperatura muito acima dos valores de zonas vizinhas nos campos de TS, evidenciando que a metodologia utilizada neste estudo é adequada.

ABSTRACT

The Urban Heat Island phenomenon started to be studied by Luke Howard in the beginning of the XIX century. Several other authors continued the study of this subject and related it to land use alteration. One can characterize the area where there is the presence of the Urban Heat Island as a region with temperatures higher than the surrounding area. Successful studies in the last decades of the twentieth century used remote sensing techniques to obtain data from the surface in order to observe the presence of the Island of Warmth. Hence, this study uses data from the AVHRR sensor on board of the NOAA-14 satellite in order to calculate the vegetation index NDVI and the estimated surface temperature (ST) for the Metropolitan Region of Rio de Janeiro (MRRJ) as a way of showing the potentiality of Urban Heat Island studies in this area. Areas with much higher temperature values than the surrounding areas were found in the ST fields, showing that the methodology is appropriate.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 ESTADO DA ARTE	15
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O FENÔMENO DA ILHA DE CALOR URBANA	15
2.2 A REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (RMRJ)	20
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO	28
3 DADOS DO SATÉLITE NOAA-14, SENSOR AVHRR	31
3.1 CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE NOAA-14	32
3.2 CARACTERÍSTICAS DO SENSOR AVHRR	33
4 METODOLOGIA	36
4.1 DIVISÃO DA RMRJ	38
4.2 MASCARAMENTO DE NUVENS	53
4.2.1 TÉCNICA “GROSS THRESHOLD”	53
4.2.2 TÉCNICA Q	54
4.2.3 TÉCNICA $T_{b4} - T_{b5}$	55
4.3 CÁLCULO DO NDVI	55
4.4 CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE TS	59
5 RESULTADOS	63
6 CONCLUSÕES E PRÓXIMOS PASSOS	102
7 REFERÊNCIAS	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.2.1: Dados das cidades que formam a RMRJ	21
Tabela 3.1: Série de satélites de órbita polar da NOAA	31
Tabela 3.2.1: Características espectrais e espaciais dos canais que compõem o sensor AVHRR (Fonte: Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação, Maurício Alves Moreira).	34
Tabela 4.1: Dias utilizados do período de outubro/2005 até maio/2007.	37
Tabela 4.1.1: Divisão por zonas da RMRJ.	52
Tabela 4.3.1: Dias utilizados para o cálculo do NDVI mensal no período de outubro/2005 até maio/2007.	58
Tabela 4.4.1: Coeficiente A_0 ou $A_{0(1,n)}$ para o satélite NOAA-14.	60
Tabela 4.4.2: Coeficientes A_1 ou $A_{(1,m)}$, A_2 ou $A_{(2,m)}$, A_3 ou $A_{(3,m)}$, A_4 ou $A_{(4,m)}$ e A_5 ou $A_{(5,m)}$ para o satélite NOAA-14.	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.2.1: Mapa da RMRJ	22
Figura 2.2.2: Mapa do relevo da RMRJ	23
Figura 2.2.3: Mapa do uso do solo do estado do Rio de Janeiro	24
Figura 2.2.4: Mapa do uso do solo da RMRJ	25
Figura 4.1: Área da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ)	36
Figura 4.1.1: Mapa da Zona da Baixada Fluminense	39
Figura 4.1.2: Mapa da Zona de Niterói/São Gonçalo	40
Figura 4.1.3: Mapa da Zona de Bangu.	41
Figura 4.1.4: Mapa da Zona da Barra da Tijuca.	42
Figura 4.1.5: Mapa da Zona de Campo Grande.	43
Figura 4.1.6: Mapa da Zona Centro.	44
Figura 4.1.7: Mapa da Zona do Grande Méier.	45
Figura 4.1.8: Mapa da Zona da Ilha do Governador.	46
Figura 4.1.9: Mapa da Zona de Irajá e Leopoldina.	47
Figura 4.1.10: Mapa da Zona de Jacarepaguá.	48
Figura 4.1.11: Mapa da Zona Norte.	49
Figura 4.1.12: Mapa das Zonas Sul 1 e Sul 2.	50
Figura 4.1.13: Mapa da Zona da Tijuca e Vila Isabel.	51
Figura 5.1: Imagem do satélite NOAA-14, sensor AVHRR, para o dia 05/12/2005 – 1121Z.	64
Figura 5.2: Imagem do satélite NOAA-14, sensor AVHRR, para o dia 19/01/2006	

– 1141Z.	65
Figura 5.3: Imagem do satélite NOAA-14, sensor AVHRR, para o dia 21/04/2006 – 1158Z.	66
Figura 5.4: Imagem do satélite NOAA-14, sensor AVHRR, para o dia 15/09/2006 – 1206Z.	67
Figura 5.5: Imagem de satélite NOAA-14, sensor AVHRR, para o dia 06/03/2007 – 1148Z.	68
Figura 5.6: Resultados da estimativa da temperatura da superfície da RMRJ, em °C, (a) a (e), cada letra corresponde aos dias das imagens.	71
	-
	75
Figura 5.7: Resultados do índice de vegetação NDVI da RMRJ, (a) a (e), cada letra corresponde aos meses dos dias das imagens utilizados.	76
	-
	80
Figura 5.8: Gráfico da TS máxima, mínima, em °C, e NDVI médio para a Zona da Baixada Fluminense.	82
Figura 5.9: Gráfico da TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona de Bangu.	83
Figura 5.10: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona da Barra da Tijuca.	84
Figura 5.11: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona de Campo Grande.	85
Figura 5.12: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona Centro.	86
Figura 5.13: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona do Grande Méier.	87
Figura 5.14: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona da Ilha do Governador.	88
Figura 5.15: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona de Irajá e Leopoldina.	89
Figura 5.16: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona de	

Jacarepaguá.	90
Figura 5.17: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona de Niterói/São Gonçalo.	91
Figura 5.18: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona da Tijuca e Vila Isabel.	92
Figura 5.19: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona Norte.	93
Figura 5.20: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona Sul 1.	94
Figura 5.21: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona Sul 2.	95
Figura 5.22: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C para o dia 05/12/2005 – 1121Z, e NDVI médio em Dezembro/2005 nas zonas da RMRJ.	97
Figura 5.23: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C para o dia 19/01/2006 – 1141Z, e NDVI médio em Janeiro/2006 nas zonas da RMRJ.	98
Figura 5.24: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C para o dia 21/04/2006 – 1158Z, e NDVI médio em Abril/2006 nas zonas da RMRJ.	99
Figura 5.25: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C para o dia 15/09/2006 – 1206Z, e NDVI médio em Setembro/2006 nas zonas da RMRJ.	100
Figura 5.26: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C para o dia 06/03/2007 – 1148Z, e NDVI médio em Março/2007 nas zonas da RMRJ.	101

1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental ocorre de diversas formas, em diferentes escalas temporal e espacial. As grandes áreas metropolitanas, principalmente aquelas situadas nos países em desenvolvimento, são as áreas onde se notam as grandes alterações. Em contrapartida a natureza reage violentamente às manipulações do homem e, nessas forças antagônicas, provocam desastres ambientais que podem ocasionar elevados custos sociais, na medida em que interferem diretamente na qualidade de vida da população (Lombardo, 1985).

Esta modificação na superfície terrestre que ocorre nas cidades, devido principalmente ao processo de urbanização (com construções de residências, prédios, estradas, grandes avenidas, parques industriais, etc) causa uma complexa alteração na estrutura micro-climática existente, incluindo: modificação da composição da atmosfera local, no balanço energético, albedo, na rugosidade da superfície (causando mudanças no escoamento atmosférico em micro escala), entre outras (Barry e Chorley, 1998) causando modificações nos campos da temperatura da superfície.

A temperatura é influenciada pelas alterações que ocorrem na superfície terrestre, pois é um dos parâmetros chave nos processos físicos resultantes de todas as interações, fluxos de energia entre a superfície e a atmosfera. Sendo assim o principal parâmetro para o estudo do fenômeno da Ilha de Calor Urbana.

Estudos sobre este fenômeno são amplamente realizados pela comunidade científica desde o início do século XIX e estes observaram uma diferença entre as temperaturas das áreas centrais e rurais de cerca de 10°C ou mais (Stull, 1980; Lombardo 1985; Oke, 1987). Assim, as cidades se tornam verdadeiros pólos de concentração de calor no meio de um ambiente não urbano.

As ilhas de calor consistem em parcelas de ar com temperaturas mais elevadas que a vizinhança e se formam sobre os centros das grandes cidades. Ocorre principalmente devido às propriedades térmicas dos materiais das construções urbanas (asfalto, concreto, telhas entre outras) armazenarem mais o calor do que o solo e a

vegetação das áreas rurais, contribuindo para um aumento do contraste da temperatura entre essas regiões. Isto se deve a alteração do albedo da superfície das cidades.

O objetivo deste trabalho é estudar através da análise de imagens de satélite, modificações no campo da temperatura da superfície na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), visando contribuir com o aumento de informações sobre o fenômeno da Ilha de Calor Urbana e melhorar o entendimento do mesmo sobre esta região. Para isso foi formado um banco de dados com imagens do satélite NOAA-14, sensor AVHRR, para a região de interesse, durante o período de outubro/2005 a maio/2007. A partir das informações extraídas dessas imagens foi possível calcular os campos da temperatura da superfície (TS) e do índice de vegetação NDVI para a área de estudo. Posteriormente a RMRJ foi dividida em zonas, onde estas variáveis foram calculadas.

O texto foi dividido em partes, a primeira parte se refere ao estado da arte. Em seguida foi descrito o processo de aquisição dos dados do satélite NOAA-14, sensor AVHRR, para a RMRJ e posteriormente a metodologia utilizada neste trabalho. Finalmente são apresentados os resultados e, na seqüência, as principais conclusões referentes a estes.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O ESTUDO DO FENÔMENO DA ILHA DE CALOR URBANA.

A cidade é considerada como um “ecossistema”, obviamente diferente dos ecossistemas naturais, visto que se trata de um meio adaptado para as necessidades da espécie humana, e não as espécies vegetais ou animais. O ecossistema urbano pode ser considerado como um conjunto de elementos, processos e inter-relações de tipo físico, químico e biológico característico do meio urbano. O clima, os fluxos de energia, o ciclo de nutrientes e sua estrutura espacial e biológica diferem sensivelmente dos ecossistemas naturais (García, 1999).

A modificação da superfície terrestre pelas construções de casas, prédios, estradas, avenidas, indústrias, entre outras, causa uma complexa alteração na estrutura micro-climática existente, incluindo: modificação da composição da atmosfera local, modificação no balanço energético e modificações na rugosidade da superfície, alterando, conseqüentemente, o escoamento atmosférico em micro escala (Barry e Chorley, 1998).

Assim, fenômenos inter-relacionados, como a ilha de calor, a poluição do ar, chuvas intensas, inundações, desabamentos, passam a fazer parte do cotidiano das cidades, fazendo com que a população se defronte com uma natureza alterada e conviva diariamente com problemas dela decorrentes (Lombardo, 1985).

Desta forma, diversos estudos têm mostrado que os espaços urbanos constituem verdadeiros pólos de concentração de calor no meio de um ambiente não urbano bem mais confortável, caracterizando-se como o fenômeno de Ilha de Calor Urbana.

As primeiras observações deste fenômeno datam do início do século XIX, quando Luke Howard, químico e meteorologista fez suas primeiras observações em Londres.

Oke (1972), concluiu que a ilha de calor urbana é resultado das modificações dos parâmetros da superfície e da atmosfera urbana. Tal fenômeno pode ser considerado, conforme Stull (1980), Lombardo (1985) e Oke (1987), como sendo uma região com temperaturas da superfície mais elevadas do que as áreas vizinhas, em alguns dias essa diferença pode atingir cerca de 10°C ou mais.

Diversos autores relacionam a formação de uma ilha de calor urbana aos seguintes fatores:

- Efeitos da transformação de energia no interior da cidade, com formas específicas (estruturas verticais artificialmente criadas), albedo e materiais de construção (propriedades térmicas dos materiais das construções urbanas facilitarem a condução de calor mais rapidamente que o solo e a vegetação das áreas rurais);
- Redução do resfriamento causado pela diminuição da evaporação (poucas áreas verdes, impermeabilização dos solos e transporte da precipitação através da canalização e diminuindo a quantidade de água disponível para evaporação);
- A radiação solar que não é usada na evaporação é carregada para o aquecimento das ruas, edifícios e do ar da cidade;
- Produção de energia antropogênica através da emissão de calor pelas indústrias, trânsito, habitações;
- O aumento da rugosidade (pela presença de edifícios), aumentando a turbulência, que age para transferir calor para cima, ao mesmo tempo em que diminui o escoamento zonal;
- Quantidade de solo exposto, condição esta que eleva a temperatura de superfície;

- Topografia da cidade, onde montanhas e vales podem servir como barreiras para a dispersão do ar quente;
- As propriedades térmicas dos edifícios e dos materiais de pavimentação absorvem energia durante o dia, e à noite emitem radiação de onda longa, o que ocasiona excesso de temperatura durante a noite, maior que durante o dia (Lombardo, 1985).

Eriksen (1978), em seu estudo mostra que o excesso de calor associado à qualidade do ar nas cidades pode prejudicar a saúde do homem, causando-lhe distúrbios de coração, de circulação e respiração. Portanto este se insere como componente básico ligado à questão do conforto térmico.

Outro efeito do fenômeno da Ilha de Calor Urbana é o aumento da precipitação nas áreas urbanas. O efeito da rugosidade das construções, o ar quente ascendente (devido ao aquecimento da superfície) e o aumento dos núcleos de condensação relacionados à concentração de aerossóis, podem provocar um aumento da quantidade de precipitação, podendo favorecer ainda mais os freqüentes episódios de enchentes nas cidades (Sailor et. al., 2003). Também é possível registrar-se elevação da incidência de granizos nas áreas urbanizadas.

Estas enchentes são intensificadas, principalmente, devido ao aumento das áreas impermeabilizadas pela pavimentação de ruas e avenidas e pela concentração de construções que alteram radicalmente as condições micro-climáticas (Karl et al., 1988). Os maiores problemas de enchentes ocorrem justamente nas áreas com alto grau de impermeabilidade do terreno. O que em grande maioria coincide com os maiores picos da ilha de calor e de intensidade de chuvas (Kinouchi, T. & Yoshitani, J., 2001).

Outro efeito importante causado pelo aumento da temperatura urbana é a elevação do uso do aparelho de ar condicionado para a refrigeração dos ambientes internos de prédios, casas. Este aumento do uso deste aparelho causa um aquecimento adicional na ilha de calor urbana e enquanto estes edifícios são esfriados durante o tempo quente, o calor que foi afastado deles é adicionado ao ar externo pelos sistemas de aparelhos de ar condicionado (Kalkstein, et. al, 1998).

Freitas & Silva Dias (2005) concluem em seu estudo sobre a ilha de calor urbana para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) que as diferenças de temperatura encontradas entre as áreas urbanas e suas vizinhanças são altamente dependentes das dimensões da área urbana. Em regiões relativamente pequenas o efeito da ilha de calor pode ser imperceptível em consequência da rápida mistura com o ar das regiões vizinhas.

Os autores destacam que a presença das áreas urbanas contribui para a formação de zonas de convergência e divergência não só sobre essas áreas, mas também sobre regiões remotas, assim promovendo uma circulação convectiva do ar: o ar relativamente quente sobe sobre o centro da cidade e é trocado por ar mais frio e mais denso, oriundo das zonas rurais.

Os autores Balling & Cerveny (1986) em seu trabalho fazem a associação da média mensal da intensidade dos ventos com o desenvolvimento da ilha de calor urbana em Phoenix, EUA. Eles concluíram que as mudanças observadas no campo de vento em Phoenix estão relacionadas diretamente com a da ilha de calor urbana, devido ao aumento do gradiente de temperatura entre a área metropolitana e os seus arredores.

Em um estudo baseado em dados de estações meteorológicas do Japão, Fujui (1964) relaciona o aumento da população com a variação da temperatura nas cidades. Esse aumento da população ocasiona a expansão da cidade. Jáuregui (1979) em seu estudo para a cidade de Toluca, no México, concluiu que quanto maior é a cidade mais acentuado será o efeito do contraste térmico entre a cidade e o campo.

Katsoulis & Theharatos (1985) analisaram registros de temperatura do ar no período de 22 anos (1961 – 1982), cobrindo a área de maior densidade populacional da cidade grega de Atenas. Seus resultados mostram um aumento da temperatura mínima média no período do estudo relacionado com o crescimento urbano.

O estudo de Maitelli et al. (2004) investiga características espaciais e temporais da ilha de calor em Cuiabá, estado do Mato Grosso, utilizando estações móveis e de ponto fixo. Os resultados revelam que a ilha de calor localiza-se no distrito

comercial, com elevação da temperatura de até 1,5°C nos dias chuvosos e de até 3,0°C em dias sem chuva.

Cech et. al (1976), investigaram a ilha de calor em Houston, Texas, EUA, durante dois anos consecutivos e evidenciaram neste estudo uma correspondência rígida entre as áreas de elevada temperatura e os padrões do uso do solo.

Ainda fazendo associação da ilha de calor com os diferentes usos do solo, Eriksen (1978) estudou o fenômeno em Hanover, Canadá. Na região central da cidade, onde a concentração de prédios é expressiva, a temperatura variou entre 25°C e 26°C, enquanto que nas áreas verdes oscilou entre 20°C e 21°C.

Jáuregui (1979) afirma em seu estudo que a magnitude dos contrastes cidade/campo está relacionada com o seu tamanho. Quanto maior a quantidade de fontes de calor e de contaminação, mais acentuada será a ilha de calor.

Segundo Ichinose et al. (1999), em um estudo realizado sobre a cidade de Tóquio, Japão, a contribuição das fontes antropogênicas ultrapassa 50% do fluxo de calor total durante o dia no período de inverno.

Entre muitos outros autores, os estudos de Oke sobre a ilha de calor, o clima urbano se destacam. O autor, em 1982, relata uma série de artigos envolvendo o fenômeno da ilha de calor urbana, destacando o balanço de energia em áreas rurais, urbanas e suburbanas.

Os autores Souza & Massambani (2004) utilizaram o índice de vegetação NDVI e temperatura da superfície na identificação de ilha de calor na Região Metropolitana de São Paulo.

No trabalho de Moraes, N. O.; Marton, E.; Pimentel, L. C. G. (2005), para a região de interesse deste estudo, os autores notam que o máximo de temperatura coincide com a ocupação urbana da RMRJ.

A cidade do Rio de Janeiro foi uma das áreas de estudo do trabalho realizado por Teza & Baptista (2005) e este teve uma amplitude térmica considerada para a delimitação da área de recobrimento do transector foi de 13°C, onde se encontrou, para

a temperatura de superfície, mínima de 28°C e máxima de 41°C, obtendo-se um perfil de ilhas de calor.

O estudo realizado por Filho et al. (2009) sobre a Ilha de Calor Urbana na RMRJ identifica três grupos diferentes de microclimas (urbano, marítimo e vegetação) nesta área. Um padrão, distintamente diferente do que tem sido comumente observado em cidades localizadas em latitudes médias, deste fenômeno ocorre durante a manhã na área estudada e não durante a noite.

O fenômeno da Ilha de Calor Urbana e os microclimas urbanos são extensivamente estudados no exterior (Oke, 1978, Grimmond & Oke, 1991, 2002), entretanto em nosso país há uma escassez de trabalhos teóricos e empíricos, se comparado a alguns países europeus e aos Estados Unidos da América, sobre esses temas. Esta situação vem sendo alterada gradualmente com o crescente número de estudos sobre o fenômeno da Ilha de Calor Urbana nas regiões metropolitanas das capitais brasileiras, principalmente a de São Paulo (Freitas, E. F. & Silva Dias, P. L., 2000, 2003).

2.2 A REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO (RMRJ)

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) congrega 17 municípios e ocupa cerca de 14,9% da área total do Estado do Rio de Janeiro e concentra, em uma superfície em torno de 6.500 km², uma população pouco maior de 11 milhões de pessoas (segundo dados do IBGE/2008), cerca de 80% da população do Estado, dos quais 60% vivem na cidade do Rio de Janeiro. A tabela 2.2.1 mostra algumas informações sobre as cidades que fazem parte da RMRJ e as figuras 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 e 2.2.4 ilustram, respectivamente, os municípios que fazem parte da RMRJ, o mapa do relevo da região de interesse, o uso do solo do estado do Rio de Janeiro e da RMRJ.

Tabela 2.2.1: Dados das cidades que formam a RMRJ (Fonte: www.ibge.gov.br).

Município	Área Territorial (km²)	População (2008)	PIB (2005)	IDH – M (2000)
Belford Roxo	80	495.694	2.989.323.000,00	0,742
Duque de Caxias	465	864.392	18.309.545.000,00	0,753
Guapimirim	361	48.688	300.325.000,00	0,739
Itaboraí	424	225.309	1.246.066.000,00	0,737
Japeri	83	100.055	397.233.000,00	0,724
Magé	386	240.940	1.240.884.000,00	0,746
Mesquita	35	187.949	993.326.000,00	*
Nilópolis	19	159.005	1.004.996.000,00	0,788
Niterói	129	477.912	6.884.677.000,00	0,866
Nova Iguaçu	524	855.500	5.764.270.000,00	0,762
Paracambi	179	44.629	280.434.000,00	0,771
Queimados	77	137.870	933.772.000,00	0,732
Rio de Janeiro	1.182	6.161.047	118.979.752.000,00	0,842
São Gonçalo	249	982.832	6.379.169.000,00	0,782
São João de Meriti	35	468.309	2.791.700.000,00	0,774
Seropédica	284	77.618	420.486.000,00	0,759
Tanguá	147	30.139	169.044.000,00	0,722
Total	5.645	11.812.482	172.563.073.000,00	0,816



Figura 2.2.1: Mapa da RMRJ. (Fonte: site <http://www.cide.rj.gov.br>).

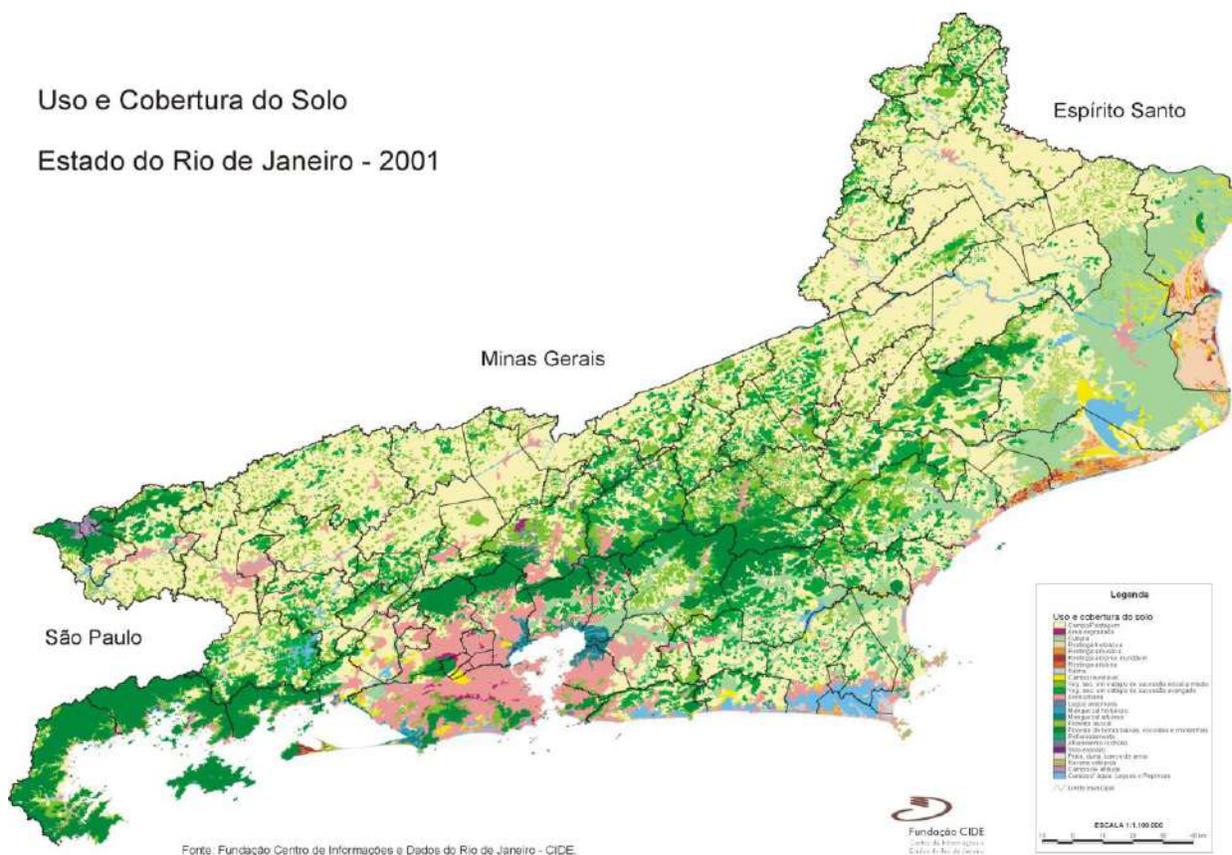


Figura 2.2.3: Mapa do uso do solo do estado do Rio de Janeiro. (Fonte: site <http://www.cide.rj.gov.br>).

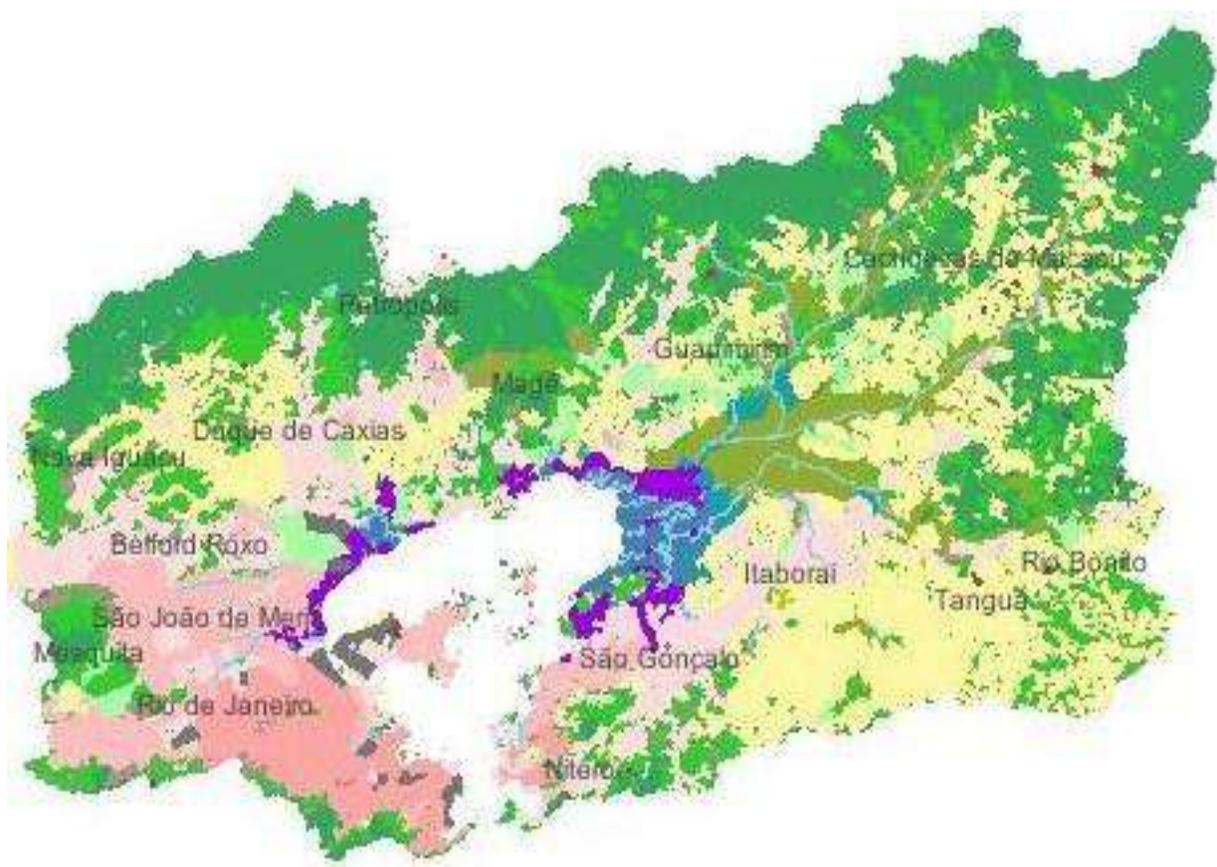


Figura 2.2.4: Mapa do uso do solo da RMRJ. . (Fonte: site <http://www.cide.rj.gov.br>).

A RMRJ é a segunda maior região metropolitana do Brasil, terceira da América do Sul e a 23ª maior do mundo. Segundo dados da FEEMA, 2003, esta área apresenta a maior densidade demográfica, aproximadamente de 1.700 hab/km², tem o maior grau de urbanização (96,8%). Além disso, nesta região encontra-se a segunda maior concentração de população, de veículos, de indústrias e de fontes emissoras de poluentes do país, gerando sérios problemas ambientais.

No estudo de Jourdan (2007) o autor descreve a RMRJ como sendo uma área de paisagem única, diferenciada de qualquer outra cidade moderna e que se expandiu pelas amplas planícies da Baixada Fluminense, de Santa Cruz e de Jacarepaguá além da área mais a leste, o município de São Gonçalo, e tendo a agricultura (através das

culturas da cana-de-açúcar e cafeeira) como auxiliar nessa expansão e nesse processo de crescimento acabou por envolver completamente os maciços litorâneos.

Para Souza (2000), o processo de expansão da área urbana do Rio de Janeiro foi, desde o começo, o de uma dura luta contra os obstáculos naturais. A imagem de uma cidade situada entre o mar e as montanhas descreve uma situação que, na realidade, representou um desafio para o crescimento urbano. Os pântanos e morros foram obstáculos para a expansão da cidade.

Neste cenário a cidade instalou-se e no seu processo de expansão envolveu os maciços, criando uma ilha florestal interior à cidade, sendo assim, não se trata de uma cidade cercada de florestas, mas sim de alguns fragmentos florestais cercados pela cidade. Estas áreas sofrem com a pressão do crescimento urbano em sua direção.

Segundo Brandão (2004), as primeiras descrições sobre o clima do Rio de Janeiro foram feitas por naturalistas e viajantes/comerciantes e incluíam relatos sobre tempestades e o forte calor, características marcantes do clima tropical desta área.

Durante os séculos XVI ao XIX relatos mostram a associação de diversos incêndios na Mata Atlântica com a expansão da atividade agrícola, pois essa prática atingia maiores áreas e facilitava o crescimento das culturas da cana-de-açúcar (no século XVI e início do século XVII) e do café (séculos XVIII e XIX). Esses incêndios eram tão intensos que Dean (1996, p.199 e 200) relata que na metade do século XIX uma nuvem amarelada pairava sobre a província durante os meses da estação seca, obscurecendo o sol durante o dia e apagando as estrelas à noite.

Segundo Abreu (1988) e Delgado de Carvalho (1988), só a partir do século XIX é que a cidade do Rio de Janeiro começa a transformar radicalmente a sua forma urbana. Esta modificação está intimamente relacionada com a vinda da família real portuguesa para a cidade do Rio de Janeiro (devido à invasão de Napoleão Bonaparte, da França, em Portugal). Além dessa alteração na área urbana da cidade, visando melhor adaptá-la para a Corte, modificações em outros campos foram feitas, como: na política da Colônia com a abertura dos portos aos produtos oriundos das nações amigas de Portugal (principalmente Inglaterra), aumento de incentivos financeiros para a

melhoria das construções, em infra-estruturas para adequar a cidade a sua nova realidade.

Até então o Rio de Janeiro era uma cidade apertada, limitada pelos Morros do Castelo, São Bento, Santo Antônio e da Conceição e ocupava uma área duramente conquistada à natureza, pelo processo de aterramento de brejos e mangues que já durava mais de três séculos. Além dos morros havia apenas pequenas extensões ocupadas que se dirigiam aos “sertões” do sul, oeste e do norte, entretanto, a partir de 1850 a cidade experimenta um importante período de expansão, caracterizado pela incorporação de novos sítios à área urbana e a intensificação da ocupação das freguesias periféricas, como as atuais regiões de Irajá, Leopoldina, Tijuca, Zona Norte do Rio de Janeiro. O desenvolvimento da infra-estrutura da cidade muito contribuiu para a sua expansão, como por exemplo, a estrada de ferro D. Pedro II em direção a Baixada Fluminense e a zona norte da cidade do Rio de Janeiro (possibilitando o assentamento de um grande número de pessoas nestas áreas).

Abreu (1988) observou que no final dos anos 40, do século XX, a urbanização, tinha, praticamente, atingido os seus limites atuais, assim os anos seguintes caracterizaram mais pelo adensamento dessa área urbana do que pelo seu avanço. As décadas de 30 a 50 se constituem na fase mais marcante da expansão física da metrópole. A partir deste período o desenvolvimento industrial é grandemente acelerado devido aos novos sítios conquistados da natureza.

Souza (2000) argumenta que a problemática das metrópoles brasileiras, há bastante tempo, não está associado a um crescimento populacional rápido, visto que seu crescimento já foi pequeno na década de 80 e ainda mais reduzido nos anos 90. Os problemas estão vinculados a fatores qualitativos e, em larga medida, gerais, embora não se deva negligenciar o crescimento demográfico rápido em períodos passados.

Souza (2000) prossegue em seu trabalho afirmando que a RMRJ é um exemplo perfeito da degradação ambiental em grandes cidades da semiperiferia capitalista. Privilegiada como poucas outras grandes cidades do planeta, no que concerne às amenidades naturais e a estética da paisagem, esta região tem sido também objeto de maciças intervenções em seu espaço ao longo de sua história,

freqüentemente com resultados nefastos, que representam uma degradação gradual de sua beleza e sua atratividade.

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO

Um dos grandes problemas para o avanço das ciências atmosféricas reside na obtenção de dados, assim, qualquer estudo, seja experimento de campo ou de modelagem numérica, é dependente da quantidade e qualidade das informações medidas. Desta forma para se descrever qualquer fenômeno atmosférico em qualquer escala necessita-se de uma extensa e ampla rede de medidas meteorológicas com uma boa distribuição espacial e temporal.

Contudo, uma rede de estações com estas características nem sempre se torna viável devido à acessibilidade ao local de instalação, aos custos da manutenção dos instrumentos que a compõe, contratação de mão-de-obra especializada para a operação, entre outras adversidades. Em suma, questões financeiras e/ou de acessibilidade ao local limitam a instalação e operação desta rede de estações e são um problema que se propaga até hoje em muitas partes do mundo.

Como forma de solucionar este problema, o sensoriamento remoto é amplamente empregado utilizando os dados obtidos a partir de plataformas orbitais – os satélites – possibilitando assim uma grande disponibilidade de medidas e fornecendo uma cobertura global com boa resolução espacial e temporal.

A técnica do sensoriamento remoto é definida por diversos autores, por exemplo Novo (1989), como sendo o processo pelo qual se obtém informações sobre as propriedades de algum material sem que haja contato físico direto com os objetos investigados. Assim a aplicação desta técnica nas ciências atmosféricas do século XXI para a coleta de dados resolve grande parte do problema de ausência de dados em

algumas regiões de difícil acesso, através de sensores instalados em plataformas orbitais – satélites.

O primeiro satélite meteorológico posto em órbita da Terra foi o TIROS-1 (Television and Infrared Observational Satellite), de origem americana e lançado em 1º de abril de 1960. Após esse lançamento outros satélites foram colocados em órbita formando verdadeiras constelações de satélites. Antes dessas plataformas orbitais, o uso do radar era empregado para fins meteorológicos, porém sua aplicabilidade restringia a fenômenos que ocorriam em pequena escala espacial.

Aliado ao salto tecnológico promovido pelos satélites nas ciências atmosféricas o grande desenvolvimento da ciência da computação foi vital para o armazenamento dos dados coletados pelas plataformas orbitais, realização de cálculos para tratamento destes dados, verificação das medições obtidas pelos sensores, além das correções no posicionamento e monitoramento dos sensores que se encontram a bordo dos satélites.

Em relação aos tipos de órbita, as plataformas orbitais podem ser divididas em duas categorias: geoestacionária e polar. Cada uma tem suas aplicações, vantagens e desvantagens, porém não existe a preferência por este ou aquele tipo de órbita. Os satélites que tem órbita da primeira categoria encontram-se a uma altura de aproximadamente 36.000 km de altitude, orbitam com a mesma velocidade angular da Terra, assim, observando sempre a mesma região, possibilitando o monitoramento de fenômenos atmosféricos durante todo seu tempo de duração, obtendo uma análise completa do evento. Como desvantagem a órbita geoestacionária cada ponto que o sensor visualiza tem uma relação geométrica fixa, ou seja, é visto por somente um determinado conjunto de ângulos zenital e azimutal. Os satélites de órbita polar estão a uma altura de cerca de 800 km, em relação à Terra, deslocam-se transversalmente em relação ao planeta, assim, conseguindo cobri-lo de 1 a 2 dias, dependendo da característica do satélite.

Na formação da imagem de um satélite o sensor realiza o processo de escaneamento do alvo, varrendo de um lado ao outro de seu campo de visão, gerando linhas de dados com as informações captadas. A resolução desta imagem é

determinada pela resolução do sensor imageador utilizado, visto que esta define em quantos espaços, chamados de *pixels*, estas linhas são separadas. Este espaçamento, o pixel, é a unidade de uma imagem, de modo que cada um possui um único valor seja de reflectância e/ou radiância medido em um tempo/espaço associado a ele.

Os sensores podem ser separados em ativos e passivos. Os ativos referem-se aos sensores que emitem radiação em um comprimento de onda específico e esta ao atingir o alvo tem uma parte absorvida e refletida por ele. A parte refletida pode retornar ao sensor e assim sendo detectada e medida. Sua principal vantagem é a possibilidade de obtenção de medidas a qualquer hora, independentes da hora do dia, estação do ano. Os sensores passivos funcionam com a detecção da energia que é refletida por um determinado alvo, sendo que a energia que atinge este objeto é oriunda de uma fonte natural (Sol, por exemplo). Este sensor também detecta a energia que é emitida naturalmente, como o infravermelho térmico.

Um dos autores pioneiros na utilização de dados de satélite no estudo do fenômeno da Ilha de Calor Urbana foi Oke. Em seu trabalho de 1982 o autor afirma que a variabilidade espacial e temporal deste fenômeno cria problemas de amostragem. Além disso, há restrições ao uso de sistemas de observação como torres, aviões, balões, radiossondagens. Desta forma Oke justifica a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto para o estudo de ilhas de calor e obtém resultados melhores que os obtidos sem o auxílio desta técnica.

Além de uma gama maior de informações, o uso do sensoriamento remoto pode auxiliar no planejamento urbano e, conseqüentemente, a melhoria da qualidade de vida nas cidades. Assim, o Plano Diretor das cidades, enquanto instrumento de política ambiental, pode ser bem direcionado, desempenhando um papel decisivo na obtenção do almejado equilíbrio ambiental urbano.

3 DADOS DO SATÉLITE NOAA-14, SENSOR AVHRR

A série de satélites operacionais meteorológicos, de órbita polar, da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), teve início com os satélites da família TIROS-N, em 1960. O projeto continuou com o lançamento dos satélites NOAA-6 até os dias atuais com o NOAA-18. A tabela 3.1 mostra esses satélites.

Tabela 3.1: Série de satélites de órbita polar da NOAA (Fonte: www.cnpm.embrapa.br/_website/sistemas_orbitais/conteudo).

SATÉLITES	PERÍODO
TIROS-N	Dezembro de 1978 a janeiro de 1980.
NOAA-6	Novembro de 1979 a abril de 1983.
NOAA-7	Julho de 1981 a fevereiro de 1985.
NOAA-8	Abril de 1983 a junho de 1984.
NOAA-9	Dezembro de 1984 a fevereiro de 1987.
NOAA-10	Novembro de 1986 a maio de 1991.
NOAA-11	Novembro de 1988 a setembro de 1994.
NOAA-12	Junho de 1991 a agosto de 2007.
NOAA-14	Dezembro de 1994 a maio de 2007.
NOAA-15	Mai de 1998 até o presente.
NOAA-16	Setembro de 2000 até o presente.
NOAA-17	Junho de 2002 até o presente.
NOAA-18	Mai de 2005 até o presente.

Em maio de 1998, com o lançamento do satélite NOAA-15, iniciou-se uma nova série de satélites da NOAA, que representou um melhoramento em relação aos anteriores, pois são utilizados, além dos fins meteorológicos e oceanográficos, para o monitoramento de áreas vegetadas, para fins ambientais em geral. Atualmente quatro satélites estão em operação (NOAA-15, NOAA-16, NOAA-17 e NOAA-18).

3.1 CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE NOAA-14

O satélite NOAA-14 foi lançado em 30/12/1994 da base militar da Força Área norte americana de Vandenberg, localizada em Santa Bárbara, estado da Califórnia. A bordo deste satélite, que foi utilizado neste estudo, encontram-se os instrumentos AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), que será melhor descrito no próximo item, TOVS (TIROS Operational Vertical Sounder) e DCS (Data Collection System).

O instrumento TOVS opera com diversos canais espectrais com o objetivo de obter dados sobre temperatura e umidade atmosférica. É composto por três sensores diferentes:

- a) HIRS/2 (High Resolution Infrared Radiation Sounder/2) com 19 canais espectrais que operam na região do infravermelho;
- b) MSU (Microwave Sounding Unit) com quatro canais na região das microondas;
- c) SSU (Stratospheric Sounding Unit) com três canais no infravermelho para obter medidas da estratosfera.

Nos satélites que se encontram em operação atualmente este instrumento teve seus sensores substituídos por outros melhores, porém com características e funções semelhantes ao anterior.

O instrumento DCS opera em conjunto com sistemas de monitoramento ambientais, recebendo informações de temperatura, pressão, velocidade e direção do vento a partir de estações em solo. Os dados são processados e transmitidos para estações em solo NOAA e servem para alimentar modelos de previsões meteorológicas e estudos climáticos.

O sistema operacional é formado por dois satélites em órbita circular próximo a órbita polar e sincronizada com o Sol, sendo um deles com uma órbita diurna a 833

km de altitude e outro em uma órbita vespertina a 870 km. Com esses dois satélites é feita a cobertura do globo terrestre quatro vezes ao dia.

O período orbital do satélite é determinado para ser de, aproximadamente, 102 minutos, o que corresponde a uma defasagem entre órbitas consecutivas de aproximadamente $25,5^\circ$ em direção a oeste. Esta defasagem, no entanto, não afeta a cobertura do satélite, graças ao amplo campo de mapeamento que este possui. Visto que a duração do dia não é um múltiplo inteiro do período, fazendo com que haja aproximadamente 14,1 órbitas por dia, segue que, com referência a um ponto fixo na superfície, as órbitas serão deslocadas de uma certa distância todos os dias e o mesmo alvo será visto de diferentes ângulos em dias consecutivos. O deslocamento correspondente da órbita em direção à oeste é da ordem de cerca de $2,74^\circ$ por dia. Fazendo com que o satélite retorne a sua posição inicial, somente a cada nove dias (Vogt, 1992).

Os dados referentes aos pixels das bordas da área imageada pelos satélites devem ser descartados, pois conforme se aproxima dos limites da imagem os pixels se deformam e assim sua resolução é alterada e conseqüentemente os dados extraídos dessas áreas da imagem contém erros.

3.2 CARACTERÍSTICAS DO SENSOR AVHRR

O sensor AVHRR é um sensor passivo composto por um radiômetro imageador multiespectral do tipo varredura transversal (cross-track) que consiste de uma série de pequenos sensores que gravam a quantidade de radiação visível e infravermelha refletida e/ou emitida a partir da atmosfera e da superfície da Terra (como números digitais). Isto fornece imagens da superfície terrestre mostrando elementos que normalmente não podem ser vistos com o olho humano.

Existem cinco sensores ou canais no sensor AVHRR, a bordo do satélite NOAA-14, cada um concebido para gravar informações de uma parte diferente do espectro eletromagnético. Em versões anteriores, foi projetado com quatro canais, um visível (canal 1), outro localizado no infravermelho (IV) próximo (canal 2) e outros dois nas regiões espectrais do infravermelho médio e termal, canais 3 e 4 respectivamente. Este último canal, nas versões mais recentes, tem sido separado em dois canais termais (canais 4 e 5).

A adição de um quinto canal possibilitou o uso de informações no IV termal, obter mapas de temperatura da superfície do mar mais exatos. A cobertura em diferentes partes do espectro eletromagnético, o torna uma ferramenta adequada para o monitoramento de diferentes parâmetros ambientais, como a temperatura da superfície e o albedo.

A tabela 3.2.1 mostra as características espectrais e espaciais deste sensor que se encontra a bordo do satélite NOAA-14, utilizado nesse estudo.

Tabela 3.2.1: Características espectrais e espaciais dos canais que compõem o sensor AVHRR (Fonte: Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação, Maurício Alves Moreira).

CANAIS	COMPRIMENTO DE ONDA (μm)	REGIÃO DO ESPECTRO	RESOLUÇÃO ESPACIAL (km^2) (nadir)
1	0,58 – 0,68	VISÍVEL	1,1
2	0,725 – 1,1	IV PRÓXIMO	1,1
3	3,55 – 3,93	IV MÉDIO	1,1
4	10,3 – 11,3	IV TERMAL	1,1
5	11,5 – 12,5	IV TERMAL	1,1

O sensor AVHRR possui um IFOV (Instantaneous Field of View) de 1,4 mrad, uma taxa de 360 varreduras por minuto e um ângulo de imageamento igual a $\pm 56^\circ$. Orbita a Terra a uma altitude de 833 km, o que proporciona uma resolução espacial nominal de 1,1 x 1,1 km no nadir e 2,4 x 6,9 km nos extremos da linha de varredura. A

largura da faixa de imageamento é de 2.700 km e o nível de quantização é de 10 bits, resultando em uma resolução radiométrica de 1.024 níveis de cinza.

O objetivo inicial do sensor AVHRR era observar as condições meteorológicas da Terra, entretanto, uma pesquisa mais aprofundada sobre os sensores, demonstrou claramente que eles poderiam ser usados além do seu objetivo original.

Atualmente os dados obtidos por esse sensor são utilizados em diversas aplicações para observar e monitorar processos da superfície terrestre e outras características da Terra, por exemplo o estudo feito por Peres (1999) para estimar o fluxo médio diário de radiação de onda longa emitida pela superfície terrestre.

4 METODOLOGIA

A área deste estudo, RMRJ, é representada na figura 4.1 e esta região compreende as cidades do Rio de Janeiro, São Gonçalo, Niterói e as que compõem a Baixada Fluminense (São João de Meriti, Duque de Caxias, Nova Iguaçu, Queimados, entre outras cidades).

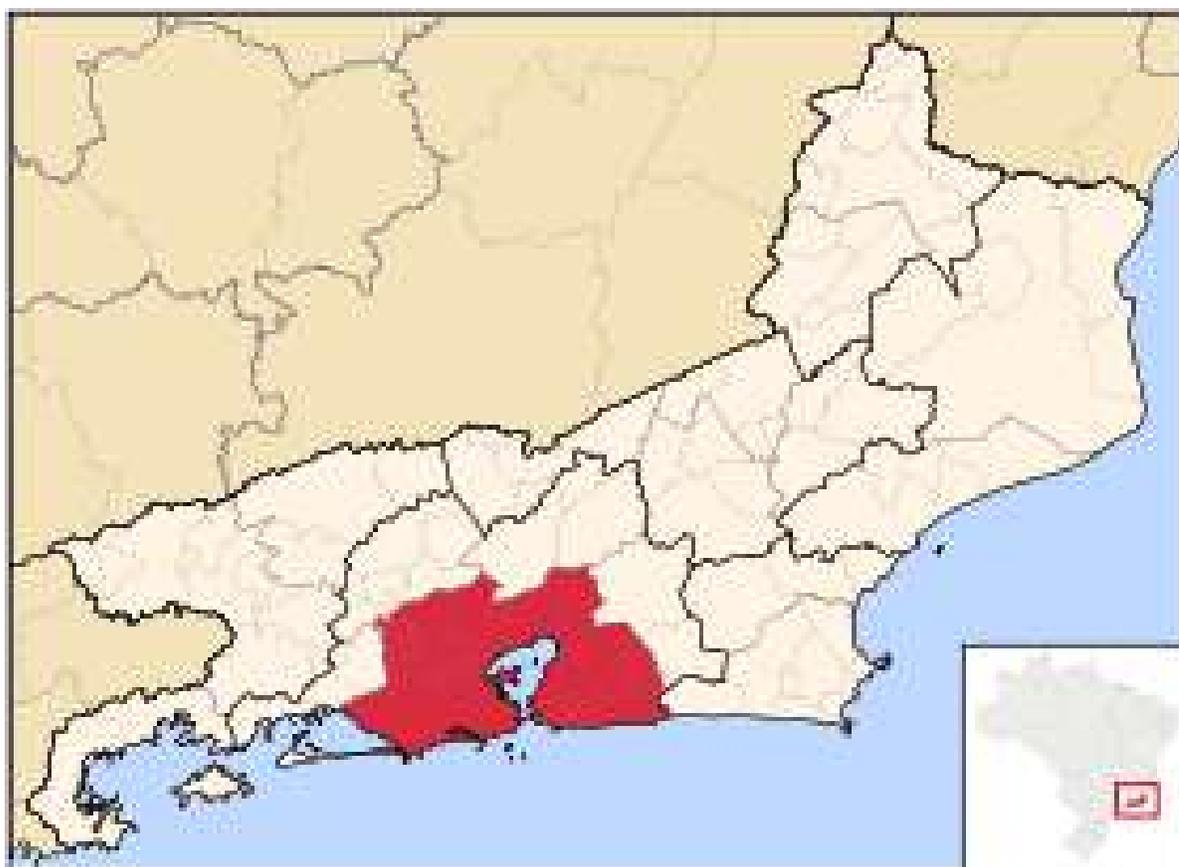


Figura 4.1: Área da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ).

A determinação da região onde foi realizado o estudo auxiliou a criação de um banco de dados contendo imagens obtidas a partir do satélite NOAA-14, sensor AVHRR, que foram selecionadas obedecendo ao critério de ausência de nebulosidade sobre a área de interesse, visto que a presença de nuvens interfere no cálculo da

estimativa da temperatura na superfície terrestre (TS) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Essas imagens do satélite têm uma resolução de 1km². Os dados dos canais utilizados foram fornecidos pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, localizado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC/INPE). O período destas imagens é de outubro/2005 até maio/2007, entretanto serão utilizados cinco dias de dados de forma a compreender as estações do ano nesse intervalo para a geração dos resultados, que serão apresentados no próximo capítulo. A tabela 4.1, abaixo, mostra os dias utilizados neste trabalho.

Tabela 4.1: Dias utilizados do período de outubro/2005 até maio/2007.

DIAS UTILZADOS DO PERÍODO DE OUTUBRO/2005 – MAIO/2007
05/12/2005 – 1121Z
19/01/2006 – 1141Z
21/04/2006 – 1158Z
15/09/2006 – 1206Z
06/03/2007 – 1148Z

Com os dados das reflectâncias dos canais 1, 2, 4, 5 e do ângulo zenital do sensor AVHRR em conjunto com técnicas de mascaramento de nuvens foi possível o cálculo do NDVI e a estimativa de TS.

Primeiramente, foram gerados campos referentes à estimativa da temperatura da superfície e do índice de vegetação NDVI para a RMRJ. Esta foi dividida em três zonas, com a finalidade de melhor compreender e observar os campos de TS. Estas zonas são a Baixada Fluminense, Niterói/São Gonçalo e da cidade do Rio de Janeiro, sendo esta última novamente dividida, seguindo o plano estratégico da prefeitura deste município. A divisão da RMRJ pode ser melhor observada na seção seguinte.

4.1 DIVISÃO DA RMRJ

A separação inicial da RMRJ foi feita em Zona da Baixada Fluminense, Zona de Niterói/São Gonçalo e cidade do Rio de Janeiro. Na primeira região os municípios utilizados para compor essa zona foram: Seropédica, Paracambi, Japeri, Queimados, Nova Iguaçu, Belford Roxo, Mesquita, São João de Meriti, Nilópolis, Duque de Caxias, Magé e Guapimirim.

A cidade do Rio de Janeiro foi dividida de forma a seguir o plano estratégico de zoneamento que a prefeitura do município disponibiliza em seu sítio eletrônico, sendo estas zonas: Zona de Bangu, Zona da Barra da Tijuca, Zona de Campo Grande, Zona Centro, Zona do Grande Méier, Zona da Ilha do Governador, Zona de Irajá e Leopoldina, Zona de Jacarepaguá, Zona Norte, Zona Sul e Zona da Tijuca e Vila Isabel. Para facilitar os cálculos de TS e NDVI a Zona Sul foi separada em duas áreas, Zona Sul 1 e Zona Sul 2, e as áreas de Irajá e Leopoldina formaram uma única zona, visto que a Irajá separa a última região em duas partes. As figuras 4.1.1 a 4.1. 13 ilustram as zonas em que a RMRJ foi dividida. A tabela 4.1.1, abaixo, mostra quais cidades e/ou bairros fazem parte de cada uma das zonas em que a RMRJ foi dividida.

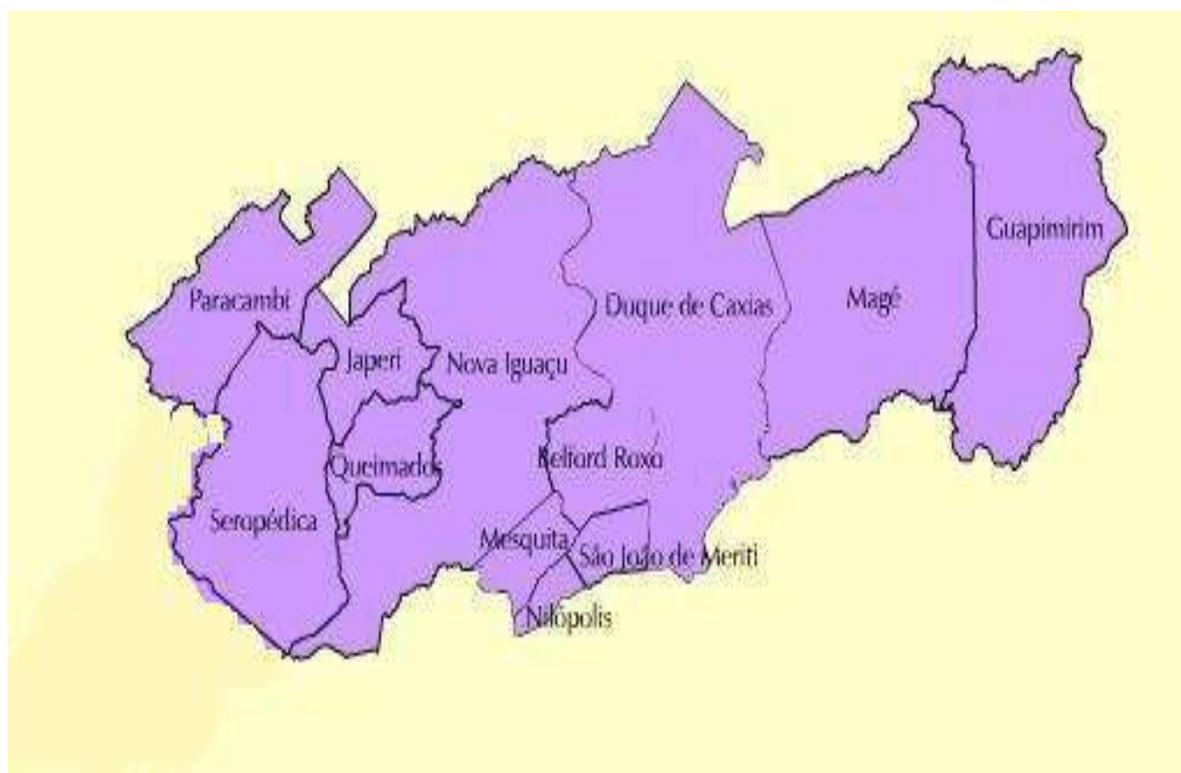


Figura 4.1.1: Mapa da Zona da Baixada Fluminense. Adaptado de: <http://www.ipahb.com.br/>



Figura 4.1.2: Mapa da Zona de Niterói/São Gonçalo. Fonte: http://www.saogoncalo.rj.gov.br/imagens/mapa_sg.jpg

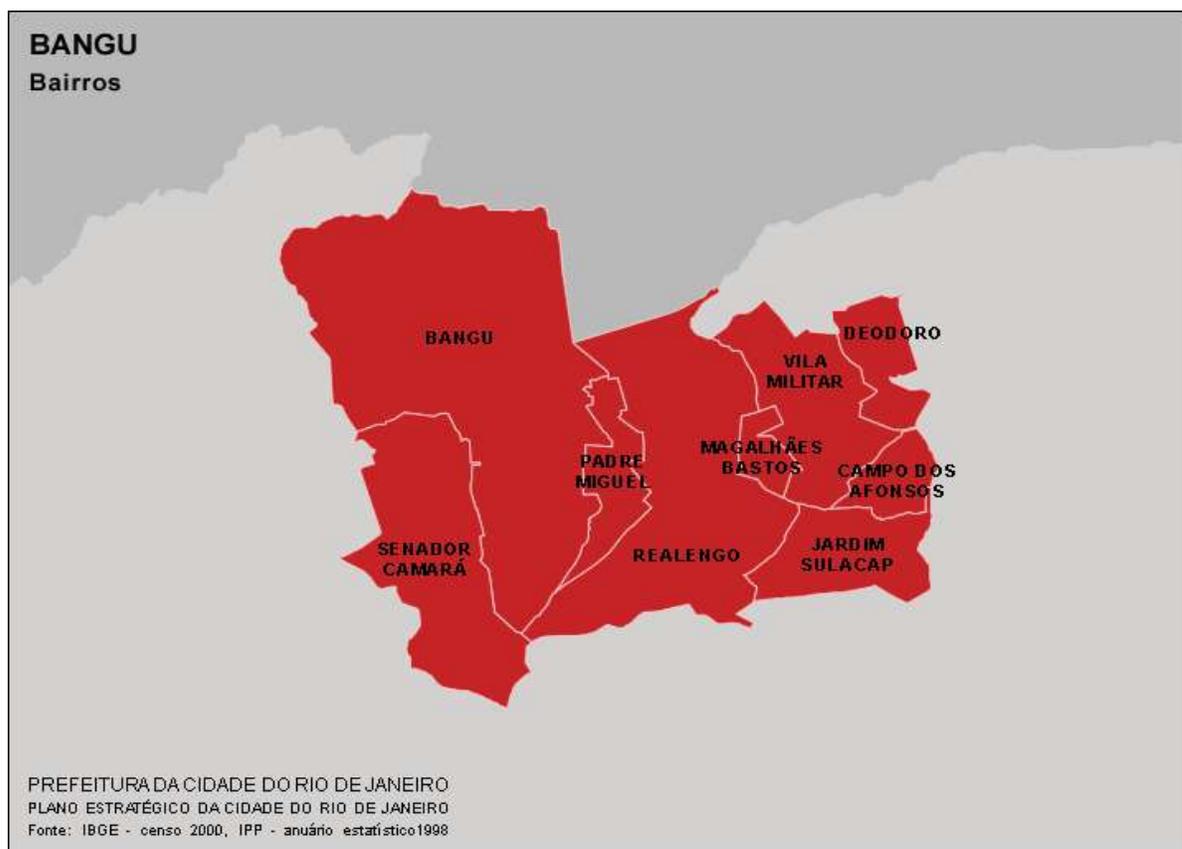


Figura 4.1.3: Mapa da Zona de Bangu. Fonte: <http://www.rio.rj.gov.br/planoestrategico/>



Figura 4.1.4: Mapa da Zona da Barra da Tijuca. Fonte: <http://www.rio.rj.gov.br/planoestrategico/>

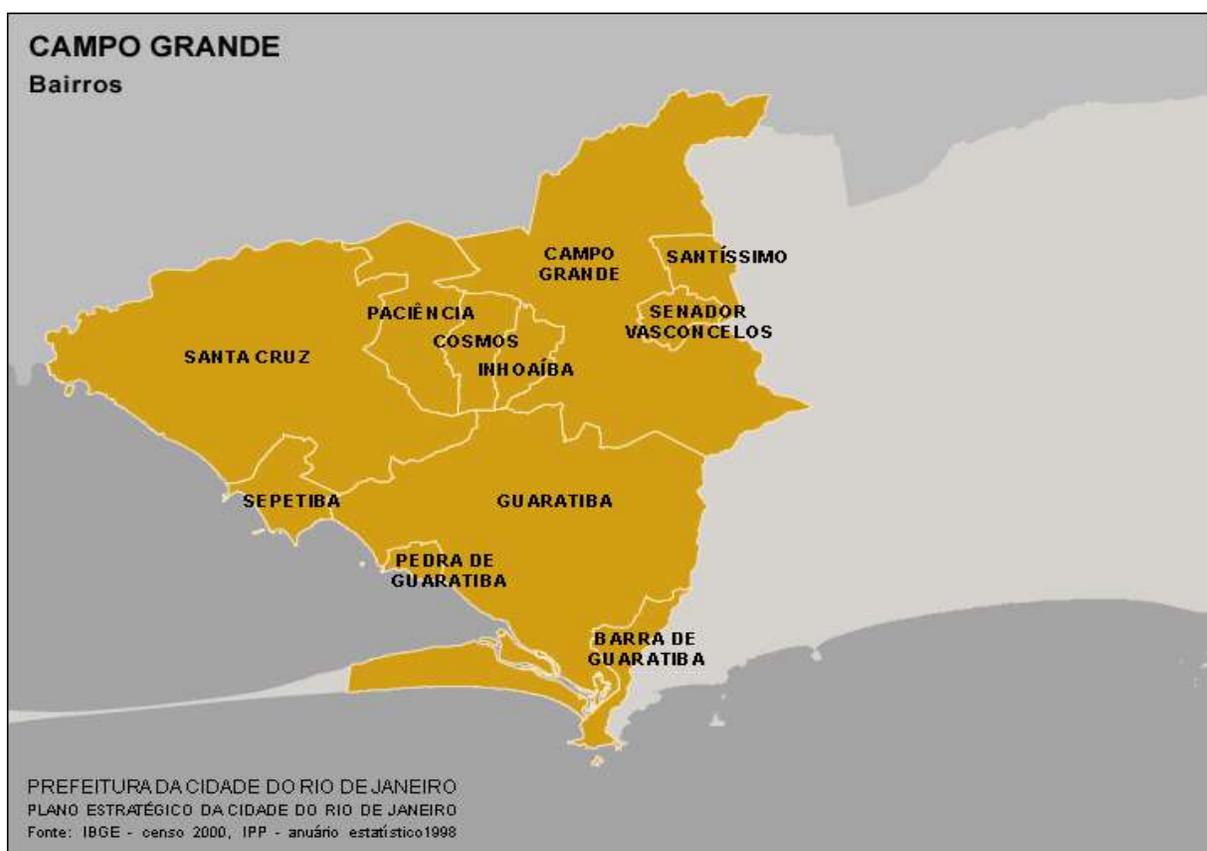


Figura 4.1.5: Mapa da Zona de Campo Grande. Fonte: <http://www.rio.rj.gov.br/planoestrategico/>

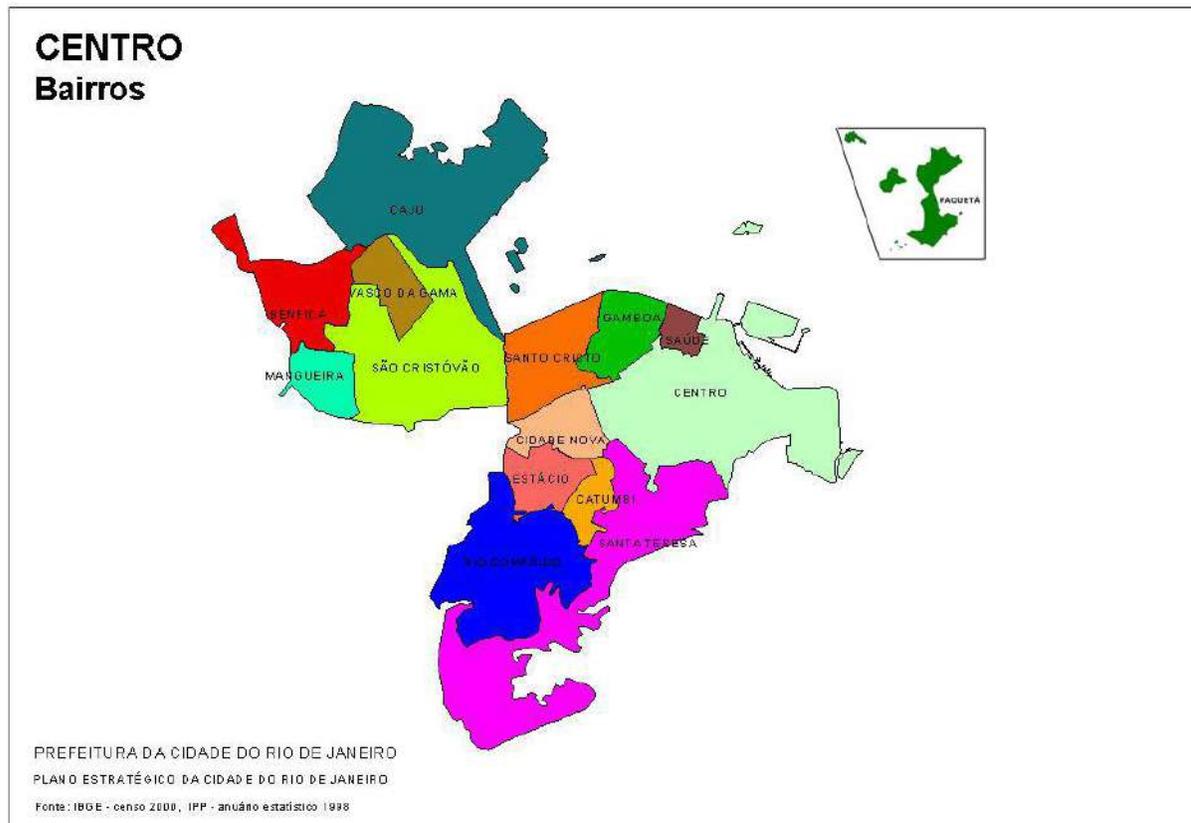


Figura 4.1.6: Mapa da Zona Centro. Fonte: <http://www.rio.rj.gov.br/planoestrategico/>



Figura 4.1.7: Mapa da Zona do Grande Méier. Fonte: <http://www.rio.rj.gov.br/planoestrategico/>

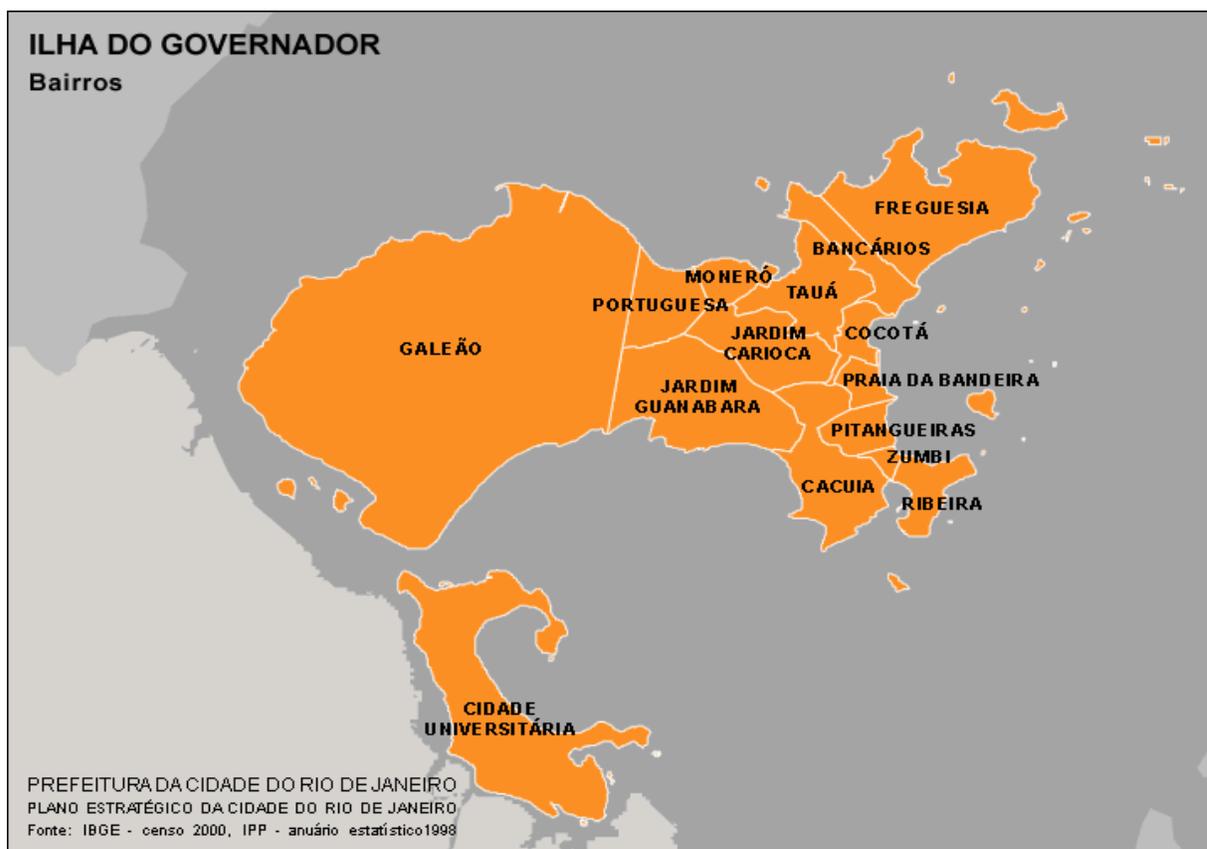


Figura 4.1.8: Mapa da Zona da Ilha do Governador. Fonte: <http://www.rio.rj.gov.br/planoestrategico/>

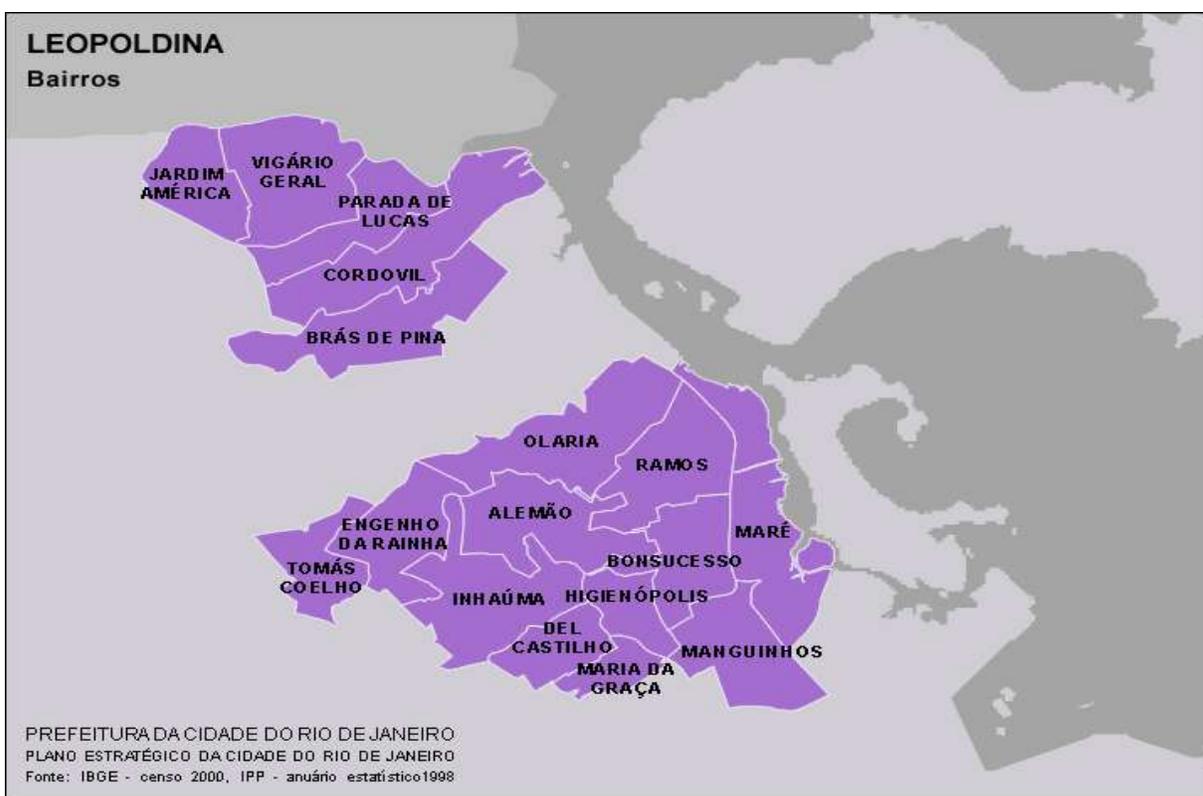
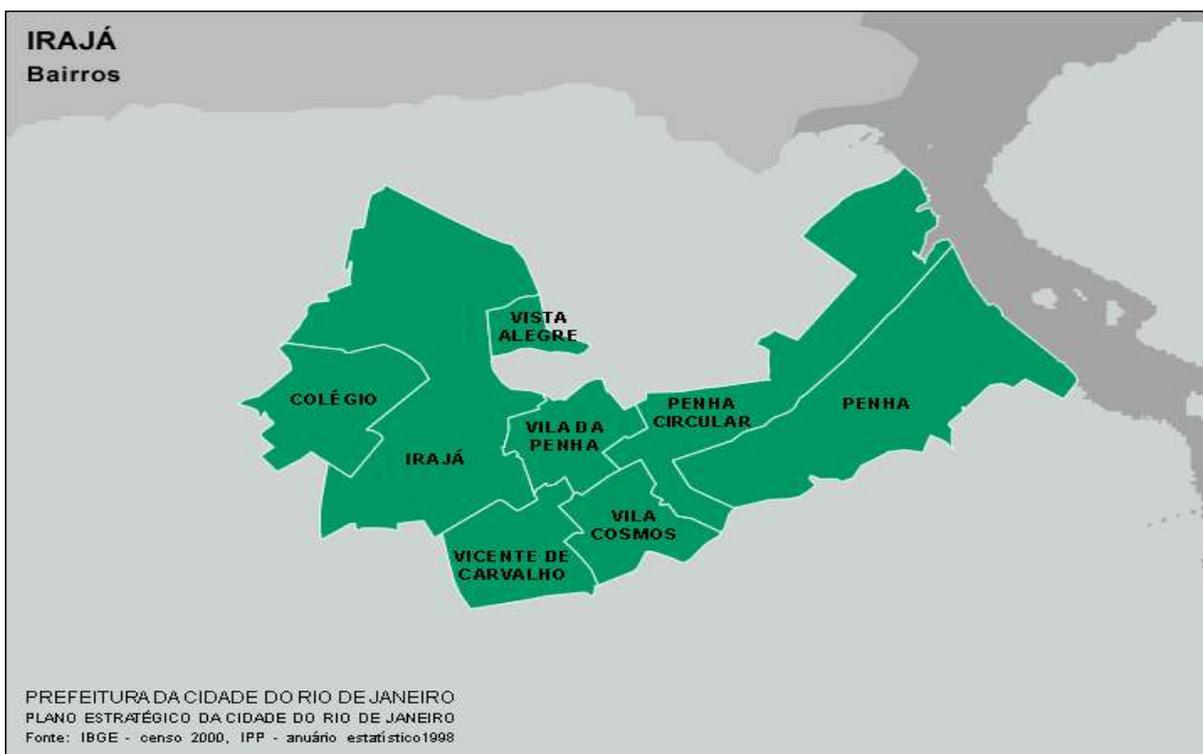


Figura 4.1.9: Mapa da Zona de Irajá e Leopoldina. Fonte: <http://www.rio.rj.gov.br/planoestrategico/>



Figura 4.1.10: Mapa da Zona de Jacarepaguá. Fonte: <http://www.rio.rj.gov.br/planoestrategico/>

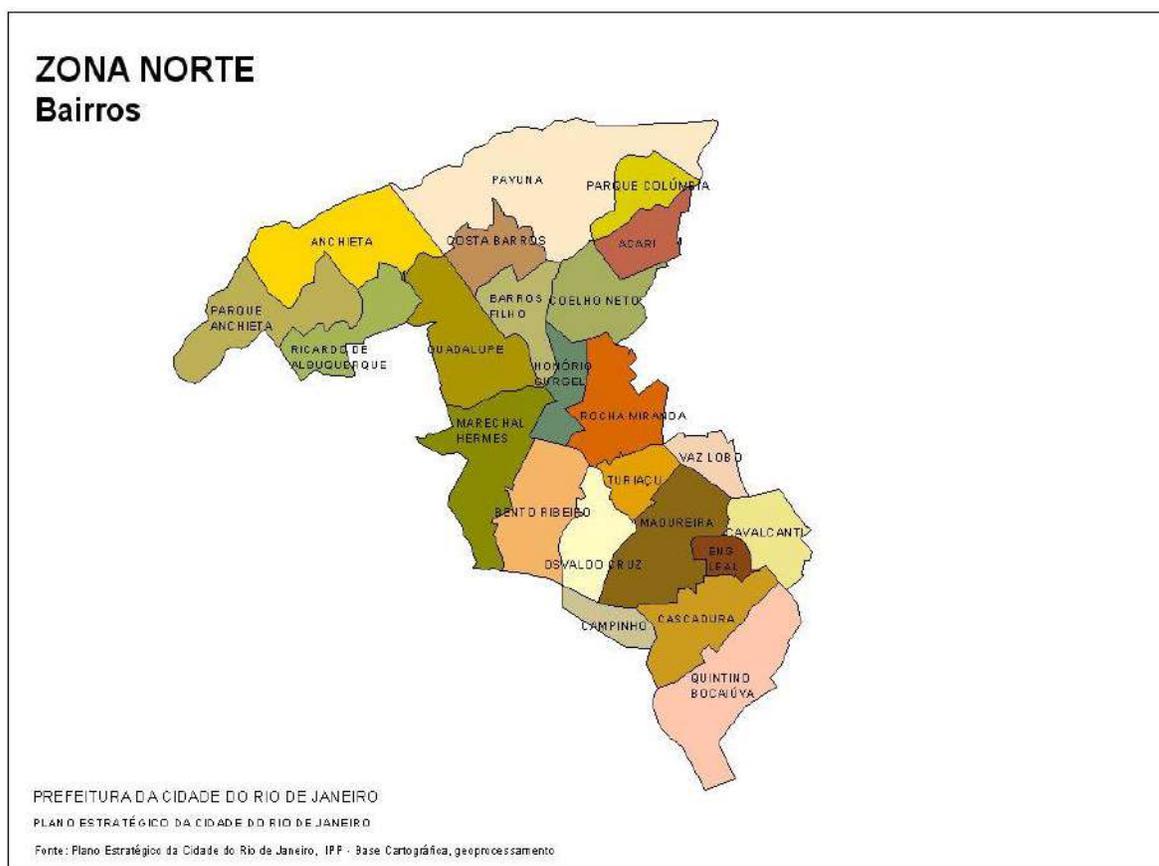


Figura 4.1.11: Mapa da Zona Norte. Fonte: <http://www.rio.rj.gov.br/planoestrategico/>

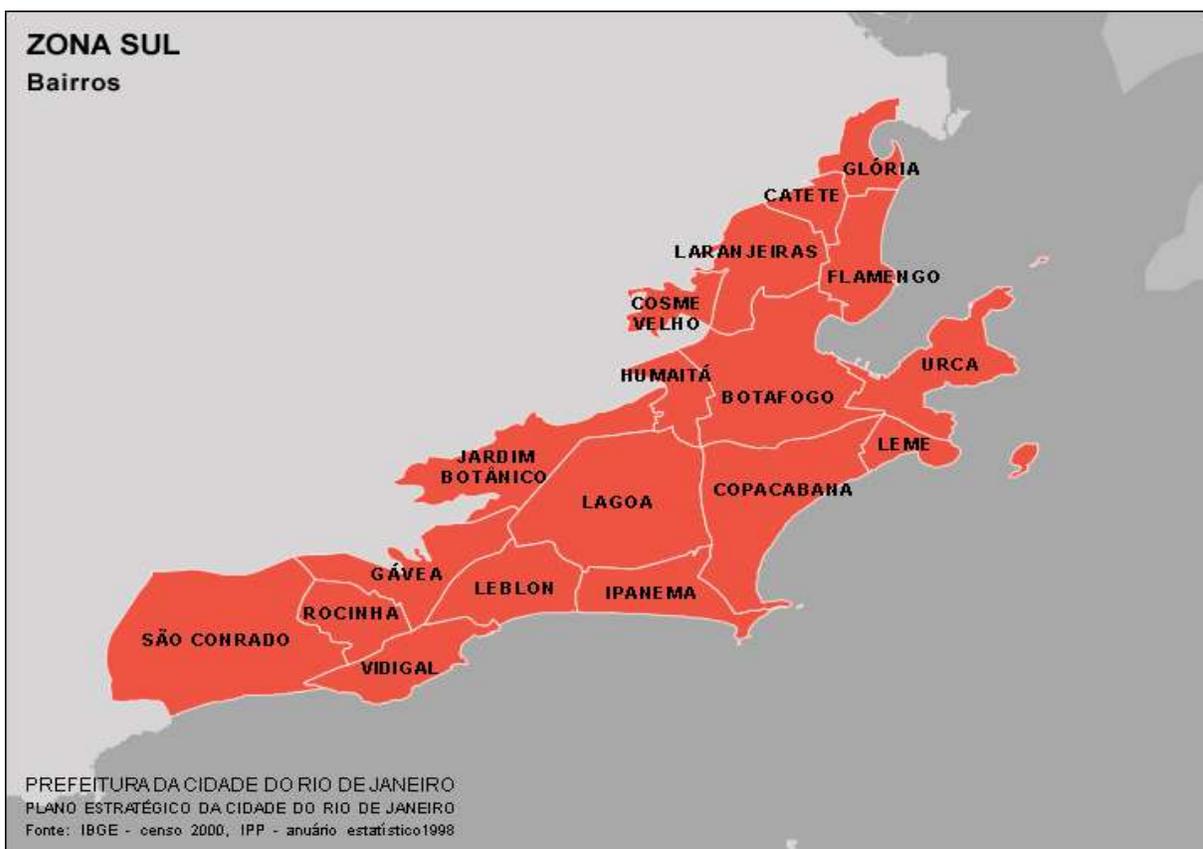


Figura 4.1.12: Mapa das Zonas Sul 1 e Sul 2. Fonte: <http://www.rio.rj.gov.br/planoestrategico/>



Figura 4.1.13: Mapa da Zona da Tijuca e Vila Isabel. Fonte: <http://www.rio.rj.gov.br/planoestrategico/>

Tabela 4.1.1: Divisão por zonas da RMRJ.

ZONAS DA RMRJ	BAIRROS E/OU CIDADES
Zona da Baixada Fluminense	Belford Roxo, Duque de Caxias, Guapimirim, Japeri, Magé, Mesquita, Nilópolis, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, São João de Meriti, Seropédica.
Zona de Niterói e São Gonçalo	Niterói, São Gonçalo.
MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO	
Zona de Bangu	Bangu, Campo dos Afonsos, Deodoro, Jardim Sulacap, Magalhães Bastos, Padre Miguel, Realengo, Senador Camará, Vila Militar.
Zona da Barra da Tijuca	Barra da Tijuca, Camorim, Grumari, Itanhangá, Joá, Recreio dos Bandeirantes, Vargem Grande, Vargem Pequena.
Zona de Campo Grande	Barra de Guaratiba, Campo Grande, Cosmos, Guaratiba, Inhoaíba, Paciência, Pedra de Guaratiba, Santa Cruz, Santíssimo, Senador Vasconcellos, Sepetiba.
Zona Centro	Benfica, Caju, Catumbi, Centro, Cidade Nova, Estácio, Lapa, Mangueira, Paquetá, Rio Comprido, Santa Teresa, Santo Cristo, São Cristóvão, Saúde.
Zona do Grande Méier	Abolição, Água Santa, Cachambi, Encantado, Engenho de Dentro, Engenho Novo, Jacaré, Jacarezinho, Lins de Vasconcellos, Méier, Piedade, Pilares, Riachuelo, Rocha, Sampaio, São Francisco Xavier, Todos os Santos.
Zona da Ilha do Governador	Bancários, Cacuia, Cidade Universitária, Cocotá, Freguesia, Galeão, Jardim Carioca, Jardim Guanabara, Moneró, Pitangueiras, Portuguesa, Praia da Bandeira, Ribeira, Tauá, Zumbi.
Zona de Irajá e Leopoldina	Alemão, Bonsucesso, Brás de Pina, Colégio, Cordovil, Del Castilho, Engenho da Rainha, Higienópolis, Inhaúma, Irajá, Jardim América, Manguinhos, Maré, Maria da Graça, Olaria, Parada de Lucas, Penha, Penha Circular, Ramos, Tomás Coelho, Vicente de Carvalho, Vigário Geral, Vila Cosmos, Vila da Penha, Vista Alegre.
Zona de Jacarepaguá	Anil, Cidade de Deus, Curicica, Freguesia, Gardênia Azul, Jacarepaguá, Pechincha, Praça Seca, Tanque, Taquara, Vila Valqueire.
Zona Norte	Acari, Anchieta, Barros Filho, Bento Ribeiro, Campinho, Cascadura, Cavalcanti, Coelho Neto, Costa Barros, Engenheiro Leal, Guadalupe, Honório Gurgel, Madureira, Marechal Hermes, Oswaldo Cruz, Parque Anchieta, Parque Colúmbia, Pavuna, Quintino Bocaiúva, Ricardo de Albuquerque, Rocha Miranda, Turiaçu, Vaz Lobo.
Zona Sul 1	Copacabana, Gávea, Ipanema, Lagoa, Leblon, Rocinha, São Conrado, Vidigal.
Zona Sul 2	Botafogo, Catete, Cosme Velho, Flamengo, Glória, Humaitá, Jardim Botânico, Laranjeiras, Leme, Urca.
Zona da Tijuca e Vila Isabel	Alto da Boa Vista, Andaraí, Grajaú, Maracanã, Praça da Bandeira, Tijuca, Vila Isabel.

4.2 MASCARAMENTO DE NUVENS

A superfície terrestre é coberta por uma grande quantidade de nuvens e esta condição interfere nos cálculos do NDVI e de TS resultando em erros. Portanto a obtenção de resultados confiáveis dessas variáveis depende da identificação e separação de pixels que estejam cobertos por nuvens.

Os algoritmos de mascaramento de nuvens utilizados neste trabalho são compostos por três técnicas distintas. Estas foram calibradas por França e Cracknell (1994), utilizando-se áreas pré-classificadas das imagens, nuvem, terra e mar. Através da calibração foram obtidos limiares espectrais destas superfícies para áreas tropicais, empregando-se os canais 1, 2, 4 e 5 do sensor AVHRR. Também foram utilizados os estudos desenvolvidos por França, J.R.A. (1994, 1996) como base para utilização dessas técnicas.

As técnicas usadas foram: técnica “Gross Threshold”, técnica Q e técnica $T_{b4} - T_{b5}$; que são explicadas abaixo.

4.2.1 TÉCNICA “GROSS THRESHOLD”

Esta técnica consiste em classificar o pixel como coberto por nuvem através do valor da temperatura de brilho do canal 5, T_{b5} .

O clima equatorial apresenta uma pequena variação da temperatura do ar relativamente pequena, de 290 K até 310 K, ao longo de todo o ano (França e Cracknell, 1994). Esta variação permitiu estabelecer um valor para T_{b5} de 278 K. Nos estudos de França (1994, 1996) foi estabelecido um valor superior ao de França e Cracknell (1994) para a T_{b5} e este sendo de 287 K. Tal valor foi considerado como limiar para o pixel ser

considerado como nuvem, dessa forma valores de T_{b5} menores ou igual a 287 K são considerados como nuvem.

4.2.2 TÉCNICA Q

A técnica Q é baseada na razão entre as reflectâncias do canal 1 e 2, respectivamente bandas do visível e do infravermelho próximo, como é mostrado na equação 1 abaixo.

$$Q = R2/R1 \quad (1)$$

Os valores de Q sobre pixels cobertos de nuvens são aproximadamente iguais a um, devido ao efeito similar de espalhamento da energia refletida para ambos os canais. Sobre a terra os valores de Q são maiores devido a maior reflectividade do R2 em relação ao R1. Já na superfície marítima R1 é muito maior que R2 devido ao efeito da absorção pela água no intervalo do infravermelho próximo.

Com base nos conhecimentos da interação da radiação com o sistema Terra-atmosfera e após aplicações diversas desta técnica sobre estas áreas, foi determinado que para valores de Q maior ou igual a 0,8 e menor ou igual a 1,6 para pixels com nuvem. Para valores de Q menores que 0,8 o pixel é classificado como terra e maiores que 1,6 como mar.

4.2.3 TÉCNICA $T_{b4} - T_{b5}$

Alguns estudos sobre a diferença entre $T_{b4} - T_{b5}$ para latitudes médias demonstraram a vantagem deste método na detecção de tênues camadas de nuvens cirrus e de bordas de nuvens espessas, o que era extremamente difícil com a utilização de outras técnicas. A calibração feita para uma área equatorial sobre o mar demonstrou que essa diferença tem seu valor maior que 1,0 K e menor que 2,0 K. Já outros testes mostraram que esta diferença pode chegar até 3,0 K e raramente a 4,0 K, de acordo com o estado atmosférico. Estes testes demonstraram que o pixel pode ser considerado como coberto por nuvens para valores de $T_{b4} - T_{b5}$ maiores que 4,0 K (França e Cracknell, 1994).

4.3 CÁLCULO DO NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, NDVI no acrônimo em inglês, (Normalized Difference Vegetation Index) se traduz como sendo um indicador numérico que pode ser utilizado para analisar dados de sensoriamento remoto e determinar se o alvo observado contém vegetação verde com vida ou não, permitindo mapear a vegetação, medir a quantidade e a condição da vegetação em uma determinada área. Consequentemente, o NDVI pode ser utilizado no estudo do ciclo de crescimento da vegetação e na análise de eventuais perturbações em seu ciclo sazonal. O referido índice pode ser utilizado em uma vasta gama de estudos como modelagem climática e hidrológica; balanço de carbono, detecção de mudanças climáticas, estimativas de parâmetros da vegetação (cobertura vegetal, índice de área foliar); atividades agrícolas (monitoramento do ciclo de crescimento de culturas, modelagem do crescimento e produtividade de plantações); monitoramento de secas; detecção de

desmatamentos, avaliação de áreas queimadas, entre outras aplicações (site do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

O seu cálculo é feito utilizando as reflectâncias de duas bandas, sendo uma localizada na região do vermelho (0,6 μm) e outra na do infravermelho próximo (0,8 μm) do espectro eletromagnético. Essas bandas são, respectivamente, os canais 1 e 2 do satélite NOAA-14, sensor AVHRR. A forma do cálculo do NDVI é bastante simples e sendo definido como a diferença entre as reflectâncias do infravermelho próximo e do visível dividido sobre a soma destas reflectâncias e sendo adimensional. A equação 2, abaixo, mostra o cálculo para o NDVI.

$$\text{NDVI} = (R_{c2r} - R_{c1r}) / (R_{c2r} + R_{c1r}) \quad (2)$$

Onde temos que:

NDVI : é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

R_{c1r} , R_{c2r} : são as reflectâncias dos canais 1 e 2 respectivamente.

O princípio físico deste índice está relacionado com o fato de as plantas verdes com vida absorverem fortemente a radiação solar na região do vermelho e utilizando-a como fonte de energia no processo de fotossíntese. Por outro lado, as células das plantas refletem fortemente na região do infravermelho próximo, visto que a energia nos comprimentos de onda maiores que 0,7 μm não é alta o bastante para sintetizar moléculas orgânicas. Caso houvesse absorção neste comprimento de onda resultaria em um sobre aquecimento da planta ocasionando danos em seus tecidos. Portanto, combinando estas duas bandas é possível distinguir a presença de vegetação verde com vida.

Existe uma grande variedade de índices de vegetação, além do NDVI, entre eles: PVI (Perpendicular Vegetation), SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index), GEMI (Global Environment Monitoring Index) e o EVI (Enhanced Vegetation Index). O índice utilizado neste estudo tem como

principal vantagem em relação aos outros índices a sua simplicidade, visto que não requer informações auxiliares adicionais.

Teoricamente os valores do NDVI variam entre $-1,0$ e $+1,0$, sendo que uma área que contém uma vegetação densa típica de florestas temperadas e tropicais tende a ter valores positivos altos, entre $0,5$ e $1,0$. Valores positivos mais baixos representam áreas menos vegetadas, ou seja, áreas urbanizadas. Solos possuem valores ainda mais baixos, entre $0,1$ e $0,2$, dependendo do solo alcançando valores negativos.

As nuvens apresentam valores próximos de zero e no caso de corpos de água o índice apresenta valores negativos. Entretanto para evitar contaminação dos dados pela presença de nuvens foram utilizadas as técnicas de mascaramento de nuvens descritas em seções anteriores.

Mapas de NDVI são gerados em intervalos quinzenais e/ou mensais utilizando-se da técnica de máximo valor para a composição desses mapas. Este método de Composição de Máximo Valor, CMV, é aplicado pixel por pixel, onde cada valor do índice de vegetação em uma imagem é examinado e o pixel com maior valor de NDVI ao longo da série temporal analisada é selecionado para a composição final. O emprego deste método é importante para eliminar *pixels* contaminados com nuvem, mesmo após a aplicação do procedimento de mascaramento de nuvens e também para mitigar os efeitos atmosféricos nos dados.

Os valores de NDVI tendem a ser baixos para *pixels* contaminados com nuvens e pela atmosfera, assim a técnica CMV acaba por selecionar o pixel com menor contaminação. Além disto, como a influência atmosférica e a cobertura residual de nuvens aumentam com o comprimento do caminho ótico, o critério de máximo valor de NDVI tende a selecionar *pixels* correspondentes a um ângulo de visão próximo ao nadir e ao menor ângulo zenital solar.

Neste estudo foram utilizados alguns dias de cada mês (devido ao critério adotado na seleção das imagens e a disponibilidade de dados). Apesar de ser esperado que a superfície não sofra grandes alterações num período de 15 dias ou de 1 mês, salvo em casos de grandes alterações na superfície terrestre, como as queimadas, é

feita uma composição de dados para a geração das figuras do índice de vegetação NDVI após a utilização das técnicas de mascaramento de nuvens e da composição de máximo valor. Os dias de cada mês utilizados para a composição do NDVI mensal no período de outubro/2005 até maio/2007 são mostrados na tabela 4.3.1.

No presente trabalho este índice é utilizado como ferramenta para a determinação da ocupação da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, RMRJ.

Tabela 4.3.1: Dias utilizados para o cálculo do NDVI mensal no período de outubro/2005 até maio/2007.

MÊS/ANO	DIAS UTILIZADOS
OUTUBRO/2005	10,11,14,16,17,21,24
NOVEMBRO/2005	01,07,12,15,17,19,20,21,24,27,28,29
DEZEMBRO/2005	04,05,14,15,16,20,24
JANEIRO/2006	08,09,13,14,15,16,17,18,19,21,22,25,26,27
FEVEREIRO/2006	03,04,09,17,19,26,28
MARÇO/2006	01,02,03,09,12,13,17,18,19,20,21,22,23,27,28,31
ABRIL/2006	01,03,05,09,12,13,14,20,21,23,24,25,26,28,29,30
MAIO/2006	01,02,04,05
JUNHO/2006	12,13,14,15,17,20,21,22,24
JULHO/2006	05,06,07,08,09,11,12,13,14,15,16,19,21,23,24,25
AGOSTO/2006	06,07,09,16,17,25,31
SETEMBRO/2006	08,11,12,14,15
OUTUBRO/2006	15,16,25,26,29,30,31
NOVEMBRO/2006	01,16,17,22,24,25
DEZEMBRO/2006	01,03,04,13,17,18,19,20,21
JANEIRO/2007	09,11,25
FEVEREIRO/2007	01,03,04,05,09,10,13,15,17,23,24
MARÇO/2007	06,08,09,10,11,12,13,25,27,28,29,30,31
ABRIL/2007	01,11,12,14,15,18,19,24,25,26
MAIO/2007	03,05,06,12,18

4.4 CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE TS

No cálculo da estimativa da temperatura da superfície da RMRJ foi utilizado o método split-window, mais conhecido com método SW, (Coll, 2003) que utiliza o índice de vegetação NDVI (cuja equação é novamente mostrada em conjunto com as outras equações), as temperaturas de brilho e as emissividades dos canais 4 e 5 do satélite NOAA-14.

O objetivo desse método é obter somente a temperatura da superfície, usando algoritmos que envolvem combinações lineares das temperaturas de brilho de dois canais com diferentes condições de absorção da atmosfera. Os coeficientes do algoritmo são obtidos através de regressões tendo como base os dados de condições atmosféricas mundiais e os tipos de superfícies. Esses coeficientes são dependentes da emissividade da superfície, então diferentes coeficientes devem ser obtidos para diferentes tipos ou classes da superfície terrestre.

Dessa forma, é necessário o conhecimento das características da superfície e isto se torna a mais importante desvantagem deste método. Por esse motivo o método SW é aplicado em áreas onde as emissividades são conhecidas e constantes ou próximas de um corpo cinza (como água e vegetação). A ausência da utilização de perfis atmosféricos obtidos por radiossondagens é uma vantagem deste método. Assim é necessário se conhecer as emissividades dos dois canais com precisão e nesse estudo estas foram calculadas como sendo em função do índice de vegetação NDVI, como é mostrado nas equações 7, 8 e 9.

Dessa forma a estimativa da temperatura da superfície da área de estudo é obtida pelas equações abaixo, onde a equação 3 é a forma simplificada e a equação 4 é a forma como a equação 3 é utilizada no programa para o cálculo de TS.

$$T_{SK} = A_0 + A_1(T_{b4}) + A_2(DIF) + A_3(DIF)^2 + A_4(E_{dp}) + A_5(E_d) \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
T_{SK} = & \sum_{n=1}^4 [A0_{(1,n)} I_C^{(4-n)}] + T_{b4r} \sum_{m=1}^3 [A_{(1,m)} I_C^{(3-m)}] + (D_{IF}) \sum_{m=1}^3 [A_{(2,m)} I_C^{(3-m)}] + \\
& + (D_{IF})^2 \sum_{m=1}^3 [A_{(3,m)} I_C^{(3-m)}] + (E_{dp}) \sum_{m=1}^3 [A_{(4,m)} I_C^{(3-m)}] + (E_d) \sum_{m=1}^3 [A_{(5,m)} I_C^{(3-m)}]
\end{aligned}$$

(4)

O símbolo T_{SK} nas equações 3 e 4 referem-se à estimativa da temperatura da superfície da área de estudo, dada em Kelvin. Na primeira equação temos que A_0 , A_1 , A_2 , A_3 , A_4 e A_5 são coeficientes do método SW para o satélite NOAA-14 e na equação 4 estes se tornam, respectivamente, $A_{0(1,n)}$, $A_{(1,m)}$, $A_{(2,m)}$, $A_{(3,m)}$, $A_{(4,m)}$ e $A_{(5,m)}$, sendo todos esses coeficientes calculados pelo pesquisador Leonardo Peres, então membro da DSA/CPTEC/INPE. Os valores que esses coeficientes assumem no cálculo de TS são mostrados nas tabelas 4.4.1 e 4.4.2, onde a primeira se refere ao coeficiente $A_{0(1,n)}$ (ou A_0) enquanto que os outros coeficientes assumem os valores mostrados na outra tabela.

Tabela 4.4.1: Coeficiente A_0 ou $A_{0(1,n)}$ para o satélite NOAA-14.

Coeficientes A_0 ou $A_{0(1,n)}$	Valores
$A_{0(1,1)}$	- 1,4810588 x 10 ⁻¹
$A_{0(1,2)}$	- 1,0739869
$A_{0(1,3)}$	- 3,2271673 x 10 ⁻¹
$A_{0(1,4)}$	- 4,0106622

Tabela 4.4.2: Coeficientes A1 ou $A_{(1,m)}$, A2 ou $A_{(2,m)}$, A3 ou $A_{(3,m)}$, A4 ou $A_{(4,m)}$ e A5 ou $A_{(5,m)}$ para o satélite NOAA-14.

Coeficientes	Valores		
	$A_{(i,1)}$	$A_{(i,2)}$	$A_{(i,3)}$
$A_{(1,m)}$	$-1,5467271 \times 10^{-3}$	$-1,5982384 \times 10^{-3}$	1,015675
$A_{(2,m)}$	$4,5628342 \times 10^{-2}$	$1,0102679 \times 10^{-1}$	1,2855443
$A_{(3,m)}$	$-3,2887759 \times 10^{-2}$	$1,7258145 \times 10^{-1}$	$7,3485755 \times 10^{-3}$
$A_{(4,m)}$	$5,7528862 \times 10^{-2}$	$-9,6674096 \times 10^{-1}$	$5,3305836 \times 10^{+1}$
$A_{(5,m)}$	1,1800487	$-1,5183808 \times 10^{+1}$	$-8,9804256 \times 10^{+1}$

Além desses coeficientes citados são utilizadas outras quantidades para o cálculo de TS e essas são obtidas por outras equações, conforme é mostrado abaixo.

$$DIF = (T_{b4r} - T_{b5r}); \quad (5)$$

$$NDVI = (R_{c2r} - R_{c1r}) / (R_{c2r} + R_{c1r}); \quad (6)$$

$$E4 = 0,9897 + 0,029 \ln (NDVI); \quad (7)$$

$$E5 = (E4 - E_d); \quad (8)$$

$$E_d = 0,01019 + 0,01344 \ln (NDVI); \quad (9)$$

$$E_{dp} = 1 - [(E4 + E5)/2]; \quad (10)$$

$$l_c = [1/\cos (\text{sazr})] = \sec (\text{sazr}) \quad (11)$$

Onde temos que:

T_{b4r} , T_{b5r} : são as temperaturas do brilho dos canais 4 e 5, respectivamente;

D_{IF} : é a diferença entre as temperaturas de brilho dos canais 4 e 5;

NDVI: é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

R_{c1r} , R_{c2r} : são as reflectâncias dos canais 1 e 2 respectivamente;

E_4 , E_5 : são as emissividades dos canais 4 e 5 respectivamente;

E_d : é a diferença das emissividades dos canais 4 e 5 e pode ser calculado em função do NDVI;

sazr : é o ângulo zênite do satélite;

l_c : índice relativo ao ângulo zênite do satélite.

O valor da estimativa da temperatura da superfície terrestre é dado em Kelvin e para facilitar a sua compreensão é feita a conversão para °C pela seguinte fórmula:

$$T_s = T_{SK} - 273,15 \quad (12)$$

Onde:

T_s : é a temperatura na superfície terrestre, em °C.

5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados para os 5 dias utilizados para representar o período de outubro/2005 a maio/2007 para a detecção do fenômeno da Ilha de Calor Urbana, com a utilização de imagens do satélite NOAA-14, sensor AVHRR, para a RMRJ.

Nas figuras 5.1 a 5.5 são exibidas as imagens do satélite utilizado neste estudo para os dias considerados. Estas imagens têm resolução de 1 km². Analisando essas figuras nota-se a ausência de nebulosidade na área da RMRJ, porém como existe a possibilidade da existência de nuvens baixas que não são vistas a olho nu nessas imagens é aplicado técnicas de mascaramento de nuvens para o cálculo de TS e do NDVI. Também é observada uma nebulosidade ao norte da área de estudo (esta região limita a RMRJ), onde está localiza a Serra do Mar, e este relevo atua como um obstáculo ao movimento do ar e conseqüentemente este é forçado a subir e iniciando o processo de convecção.

Posteriormente são apresentados os campos da temperatura estimada para a superfície e o índice de vegetação NDVI para a RMRJ. Também são exibidos gráficos para cada uma das zonas em que a região de estudo foi dividida e gráficos comparativos destas zonas.

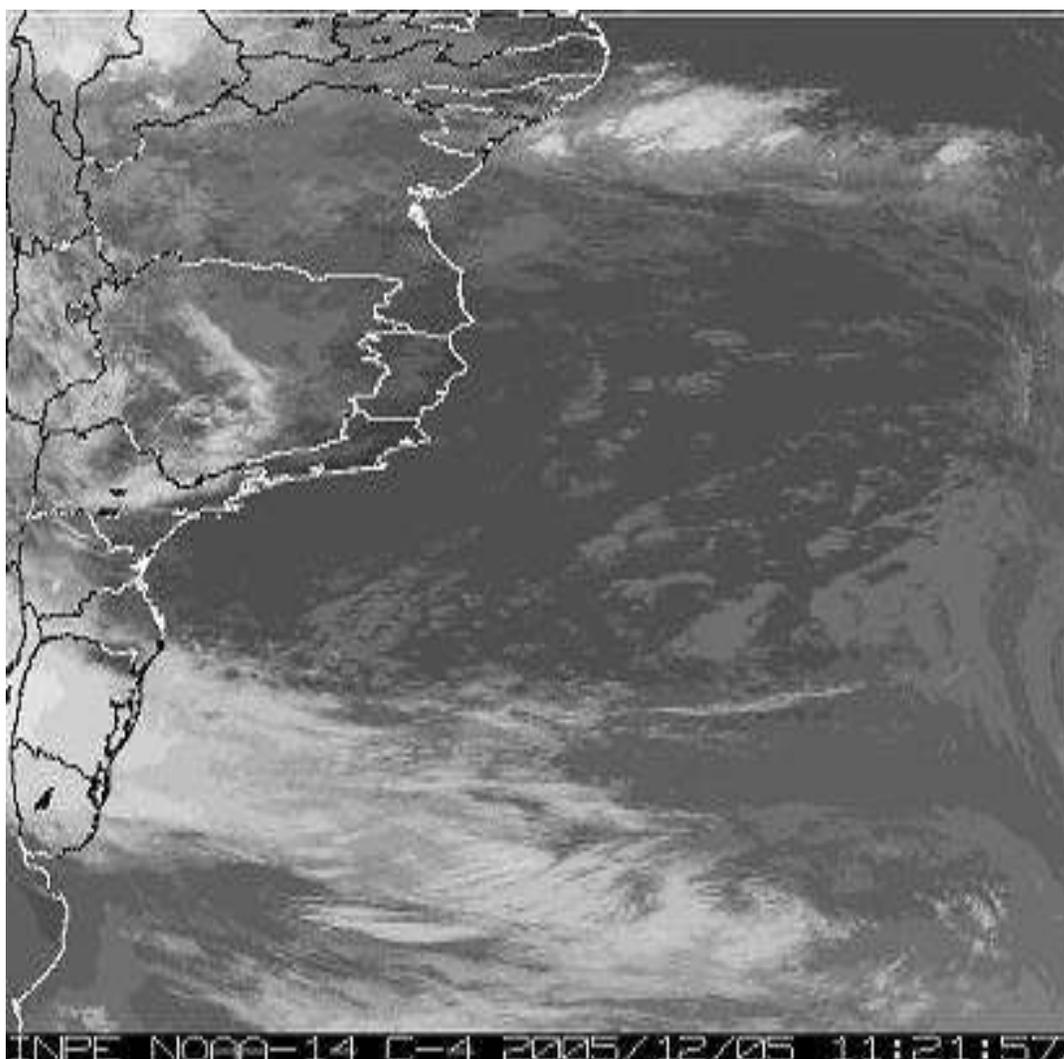


Figura 5.1: Imagem do satélite NOAA-14, sensor AVHRR, para o dia 05/12/2005 – 1121Z.

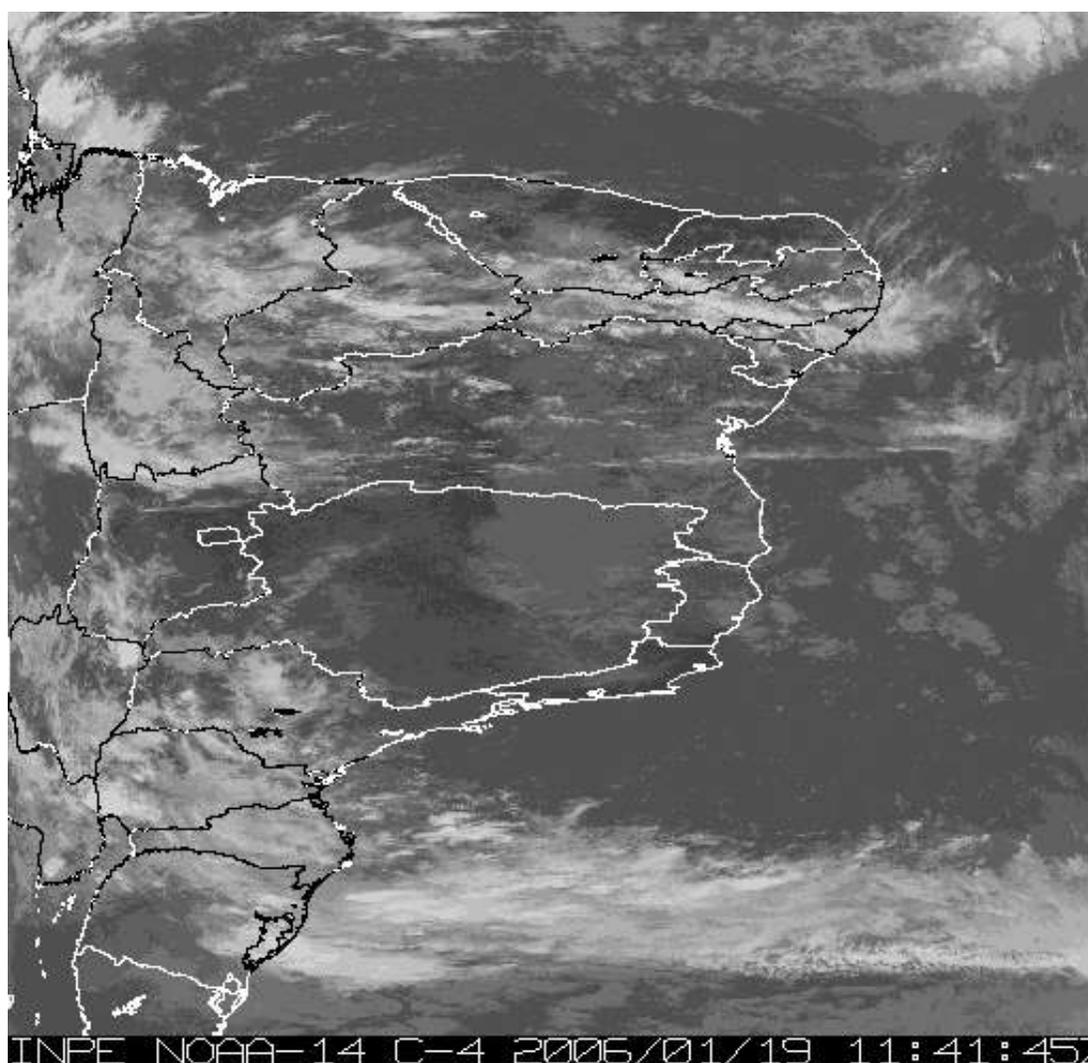


Figura 5.2: Imagem do satélite NOAA-14, sensor AVHRR, para o dia 19/01/2006 – 1141Z.

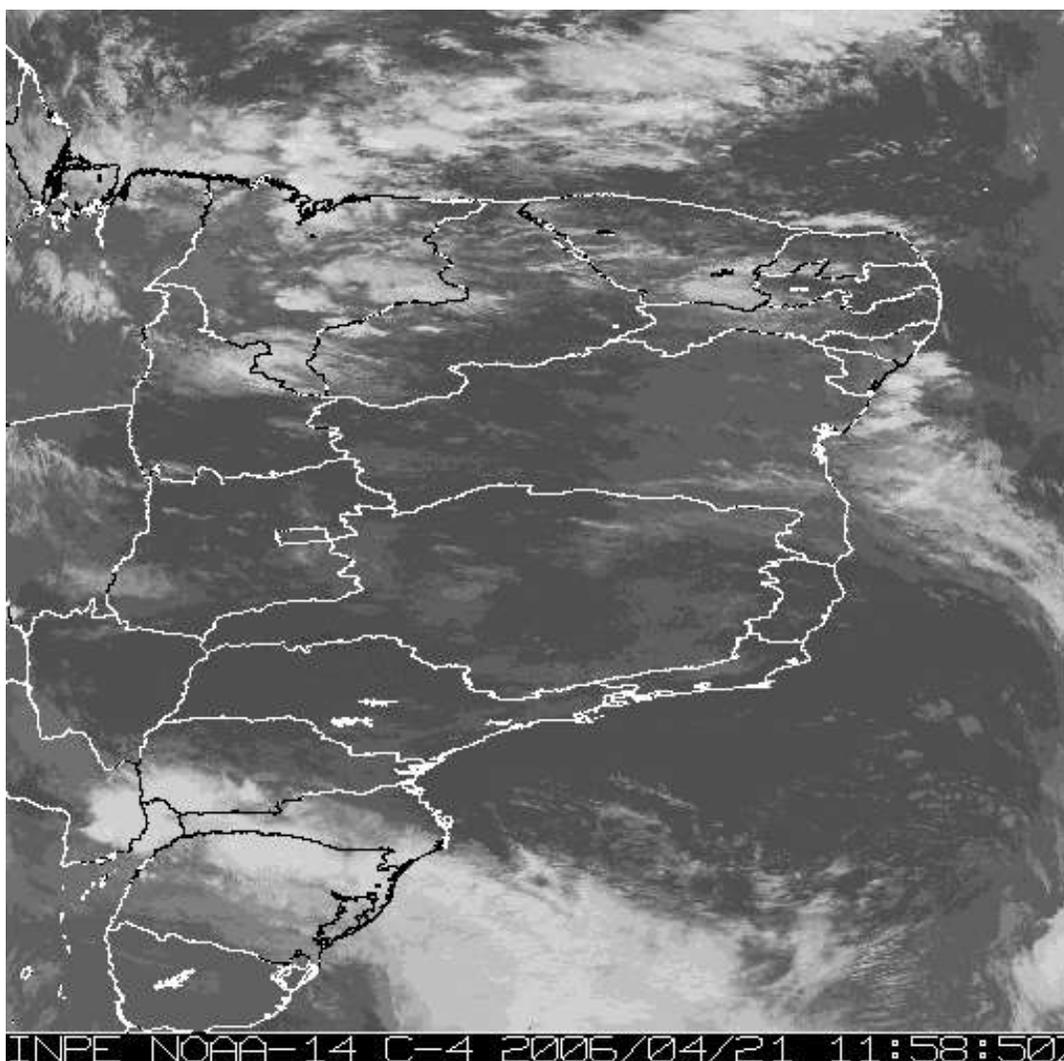


Figura 5.3: Imagem do satélite NOAA-14, sensor AVHRR, para o dia 21/04/2006 – 1158Z.

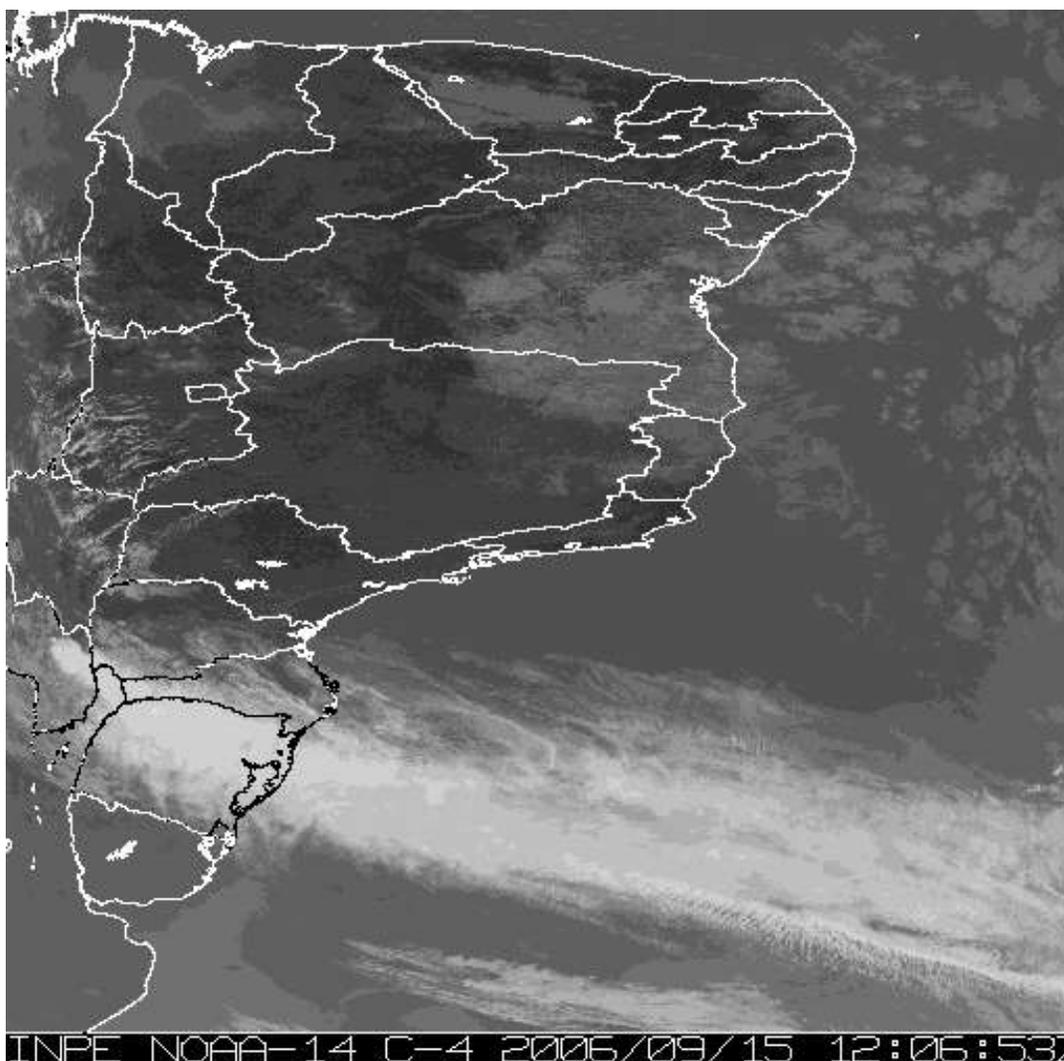


Figura 5.4: Imagem do satélite NOAA-14, sensor AVHRR, para o dia 15/09/2006 – 1206Z.

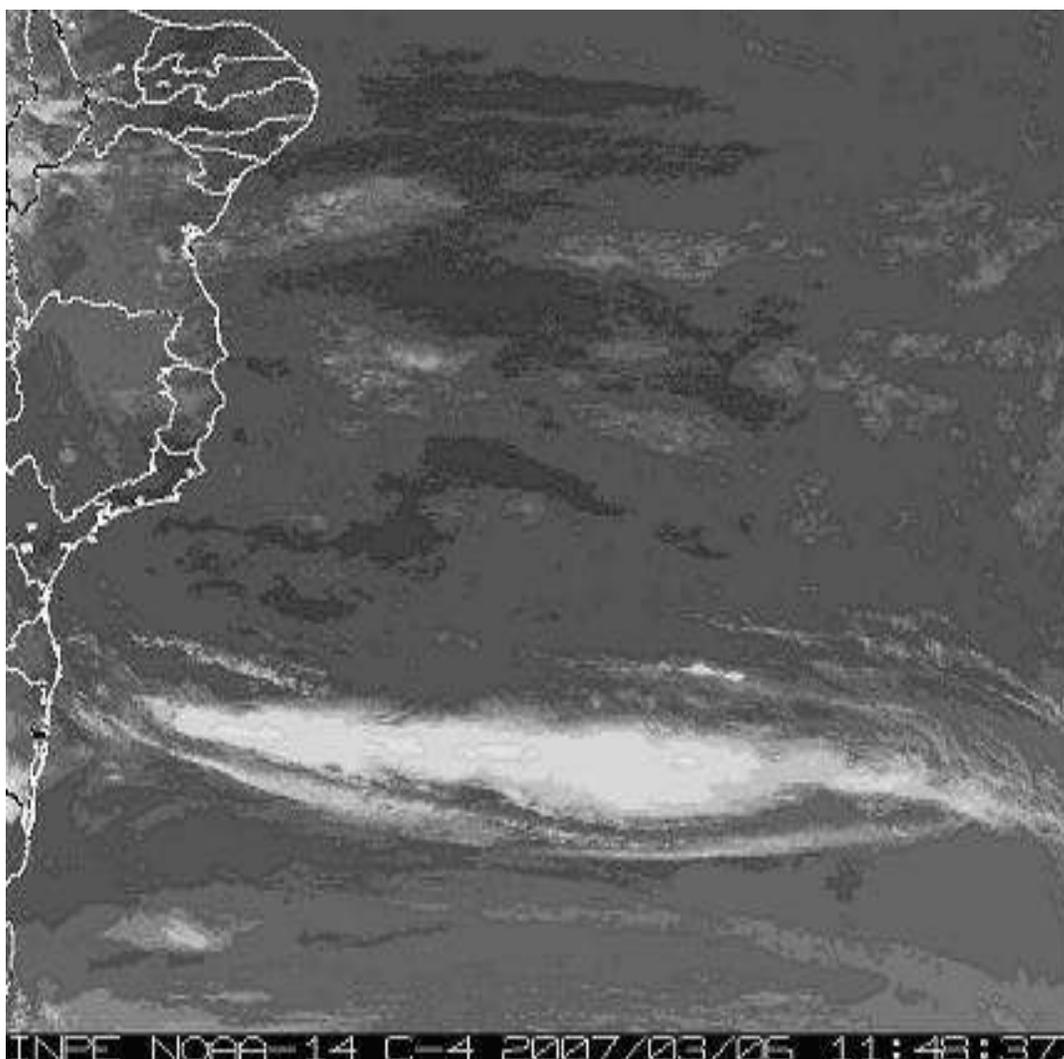


Figura 5.5: Imagem de satélite NOAA-14, sensor AVHRR, para o dia 06/03/2007 – 1148Z.

Os resultados obtidos da temperatura estimada para a superfície, em °C, e do índice de vegetação NDVI para a área de estudo são exibidos nas figuras a seguir. A figura 5.6, (a) a (e), representa a TS e cada letra corresponde aos dias das imagens utilizados para a RMRJ e a figura 5.7 de (a) a (e) está relacionada ao índice de vegetação NDVI, onde cada letra corresponde aos meses dos dias das imagens utilizados. Esses dias de imagens utilizadas estão de acordo com a tabela 4.1.

Analisando estas figuras percebemos que existem áreas em branco tanto nos campos da estimativa da temperatura de superfície como no NDVI na superfície terrestre e no oceano. Nas figuras referentes ao TS esses *pixels* brancos estão

principalmente localizadas nas áreas ao norte da RMRJ e na Zona Centro, o que indica a contaminação de nuvens nestas regiões. Essa presença da nebulosidade na área ao norte da RMRJ, que corresponde a Serra do Mar, foi observada nas imagens do satélite NOAA-14 que foram mostradas nas figuras 5.1 a 5.5 anteriormente, o que comprova a utilidade das técnicas de mascaramento de nuvens utilizadas. Nos campos do índice de vegetação NDVI os *pixels* em branco são pouco observados sobre a superfície terrestre da RMRJ e isto é relacionado à utilização do método CMV para a composição desse índice. Em ambos os campos as áreas correspondentes ao Oceano Atlântico e as da superfície terrestre que estão fora da RMRJ foram desconsideradas, assim essas regiões também são representadas pela cor branca.

Ao se observar às figuras 5.6 itens (a) a (e), referentes à estimativa da temperatura da superfície, dada em °C, para RMRJ, tem-se que as cores com tonalidades mais próximas ao vermelho referem-se às temperaturas estimadas para a superfície mais elevadas, enquanto que as tonalidades mais para o azul representam as menores temperaturas. Pode-se destacar na RMRJ a presença de áreas com temperaturas menores do que as áreas vizinhas, sendo estas encontradas nos três maciços da cidade do Rio de Janeiro (o primeiro, ao norte, o maciço de Gericinó, o segundo, atravessando a cidade de leste a oeste, o maciço da Pedra Branca e por último o maciço da Tijuca, mais ao sul), a Serra do Mar ao norte da área de estudo, conseqüentemente ao norte da Baixada Fluminense, e uma série de maciços próximo ao litoral de Niterói que formam as serras do Malheiros, Calaboca e da Tiririca, por exemplo.

Além disto, é observado áreas com temperaturas muito mais elevadas que nas áreas vizinhas, como por exemplo, nas Zonas Centro, Bangu, Campo Grande Irajá e Leopoldina, além de uma parte da Baixada Fluminense (superior a 40°C). Outras áreas também registram TS mais elevadas que a vizinhança, porém não tão intensas quanto às zonas citadas acima. Por exemplo, na área do centro da cidade do Rio de Janeiro é percebido, por diversas vezes, valor de TS superiores a 45°C, enquanto que áreas ao redor têm temperaturas menores (como o maciço da Tijuca, com temperaturas menores que 30°C) e nos dias durante ou próximos ao verão atingem picos superiores a

50°C. Outro exemplo é a Zona de Bangu que tem elevados valores estimados de TS, o que está relacionado à sua localização, pois esta zona é situada em um vale entre os maciços de Gericinó (ao norte) e o da Pedra Branca (ao sul).

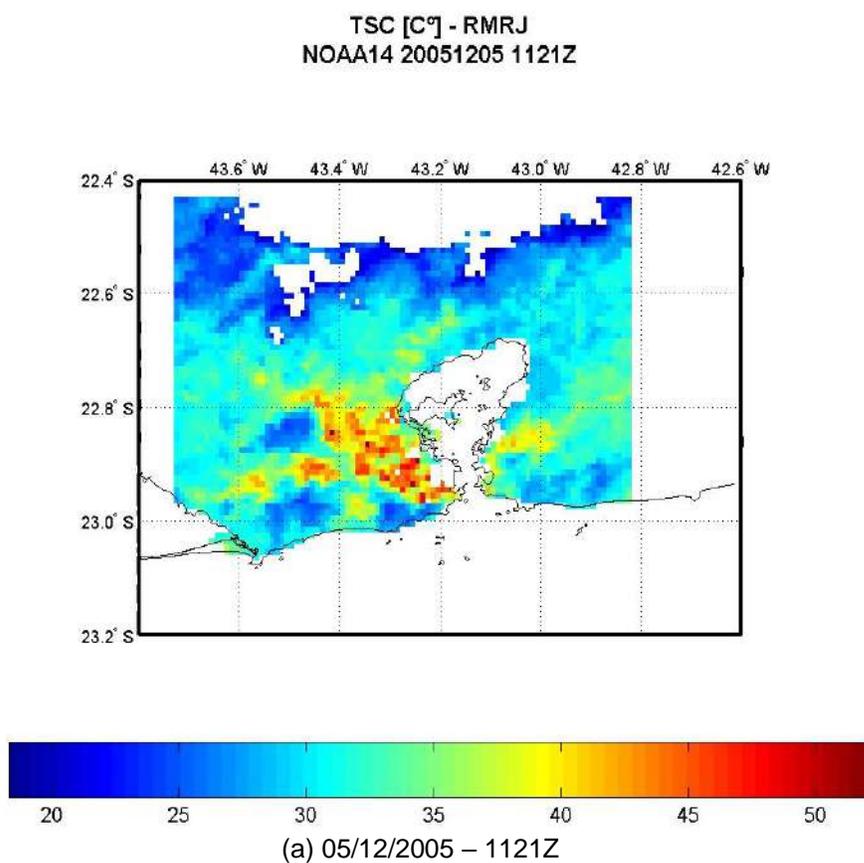
Nota-se a sazonalidade das estações do ano no campo da temperatura estimada para a superfície da RMRJ, pois nos dias que estão no verão ou próximos a esta estação percebe-se a TS mais elevada em comparação aos dias próximos ao inverno, o que já era esperado.

As figuras de 5.7 itens (a) a (e) estão relacionadas ao índice de vegetação NDVI para a RMRJ nos meses referentes aos 5 dias considerados e nestas as tonalidades vermelha referem-se aos menores valores deste índice, ou seja, áreas menos vegetadas, enquanto que as tonalidades em azul representam os maiores valores (áreas com presença de vegetação). Dessa forma percebe-se que algumas áreas das zonas Centro, Irajá e Leopoldina, Baixada Fluminense tem valores de NDVI menores que 0,1 e estas áreas se caracterizam pela presença de uma grande urbanização e com pouca, ou quase nenhuma, vegetação. Já nas áreas localizadas nos três maciços da cidade do Rio de Janeiro, na Serra do Mar e nas serras próximas ao litoral de Niterói nota-se valores maiores que 0,5 que representam áreas com vegetação, o que de fato ocorre nessas regiões.

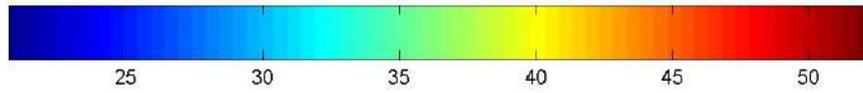
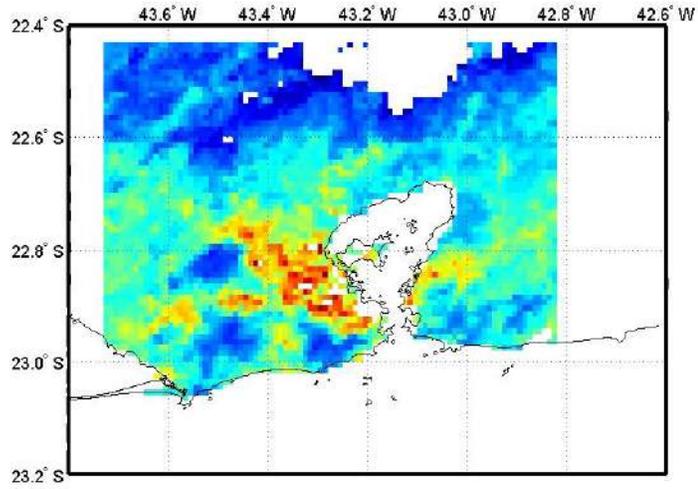
Um fator que deve ser ressaltado é a relação existente entre a temperatura estimada para a superfície e o índice de vegetação NDVI, já evidenciada na metodologia pelo cálculo de TS, visto que esta variável é dependente desse índice de vegetação para ser estimada. Portanto, percebe-se que a ocorrência de TS mais elevadas é justamente nas áreas onde se observa o NDVI com seus menores valores, ou seja, áreas altamente urbanizadas, como a centro da cidade do Rio de Janeiro. Por outro lado, o inverso (menores valores de TS ocorrendo nas áreas onde o NDVI tem seus maiores valores) ocorre nas áreas mais vegetadas, como por exemplo os maciços e serras da RMRJ. Desta forma, é percebida uma relação inversamente proporcional entre essas duas quantidades.

As altas temperaturas nas áreas mais urbanizadas estão relacionadas à ausência de vegetação nestas regiões em conjunto com a impermeabilização do solo e

a canalização das águas da superfície faz com que a energia solar incidente não seja utilizada nos processos de fotossíntese das plantas e de evaporação, então esse excedente de energia será usado no aquecimento do ar próximo a superfície e consequentemente elevando as temperaturas.

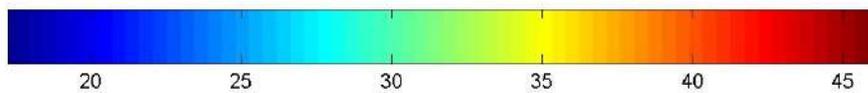
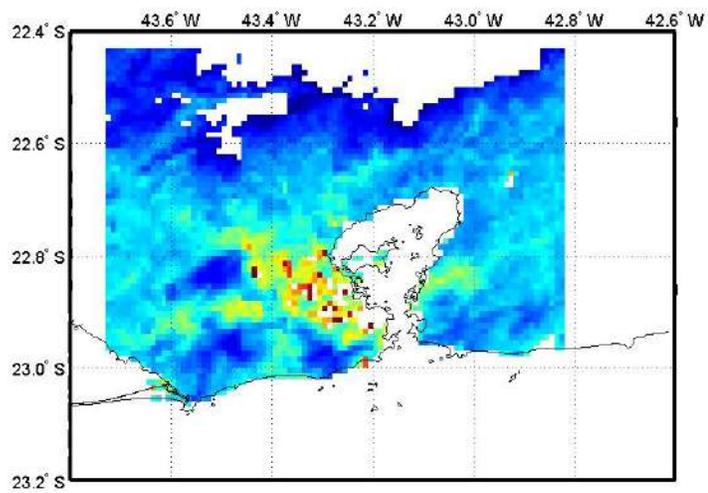


TSC [C°] - RMRJ
NOAA14 20060119 1141Z



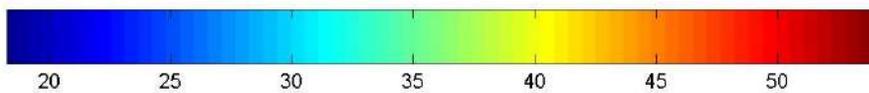
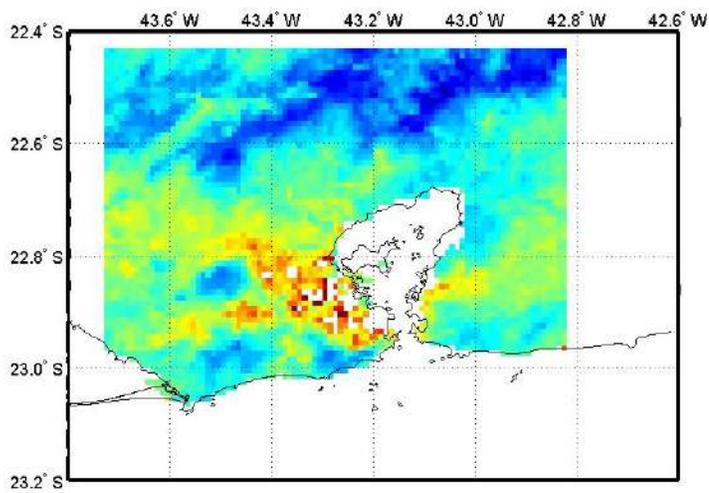
(b) 19/01/2006 – 1141Z

TSC [C°] - RMRJ
NOAA14 20060421 1158Z



(c) 21/04/2006 – 1158Z

TSC [C°] - RMRJ
NOAA14 20060915 1206Z



(d) 15/09/2006 – 1206Z

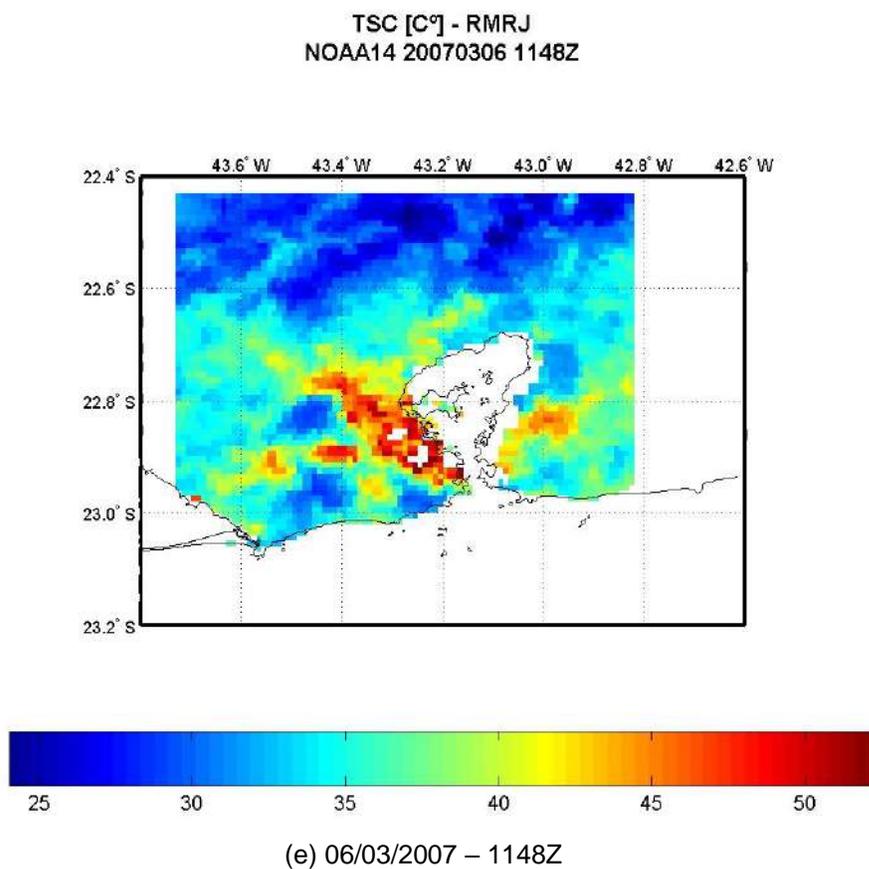
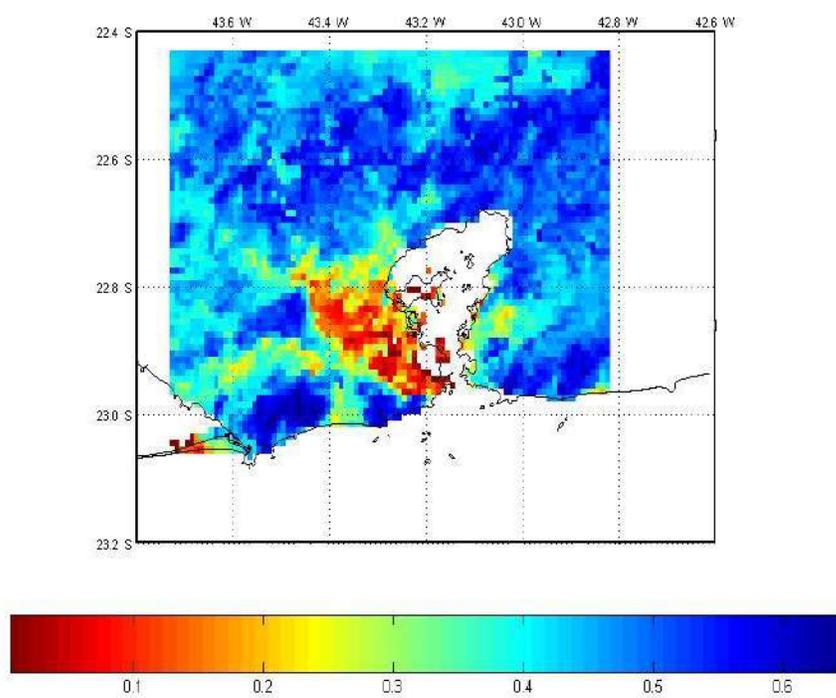


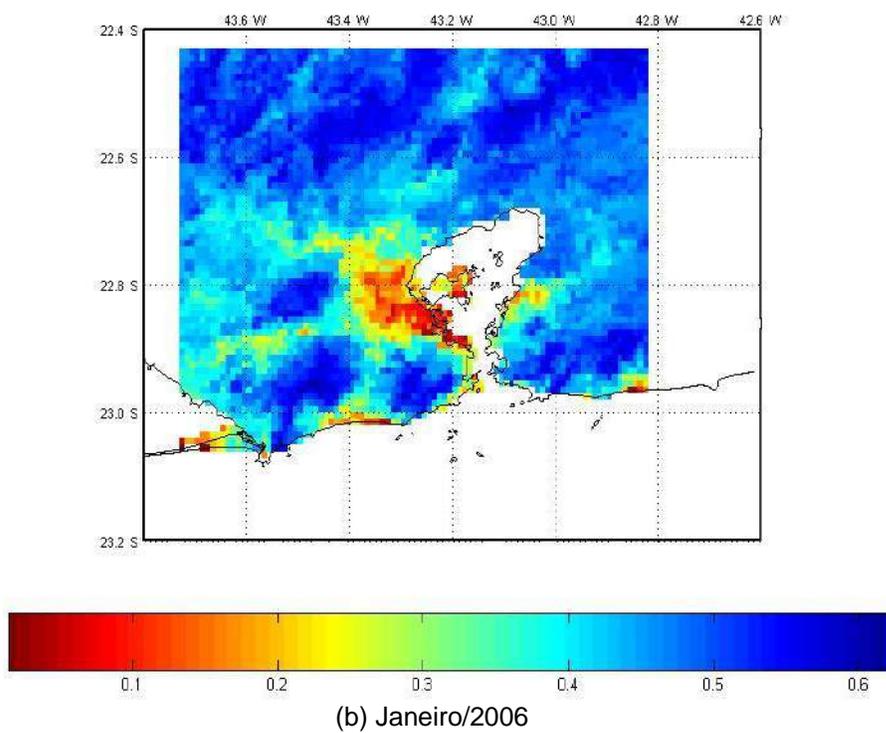
Figura 5.6: Resultados da estimativa da temperatura da superfície da RMRJ, em °C, (a) a (e), cada letra corresponde aos dias das imagens de acordo com a tabela 4.1.

NDVI RMRJ - DEZEMBRO 2005

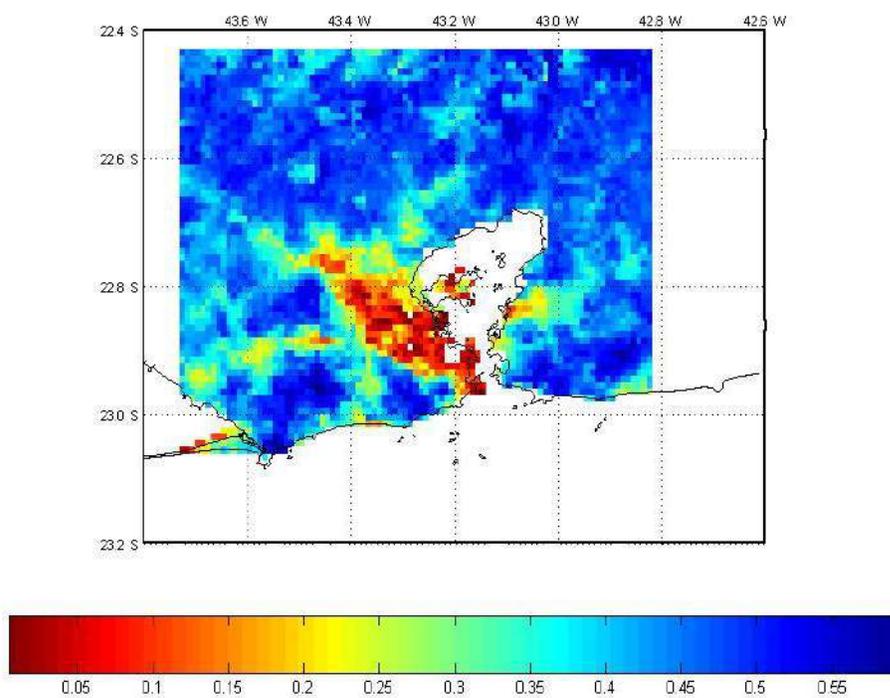


(a) Dezembro/2005

NDVI RMRJ - JANEIRO 2006

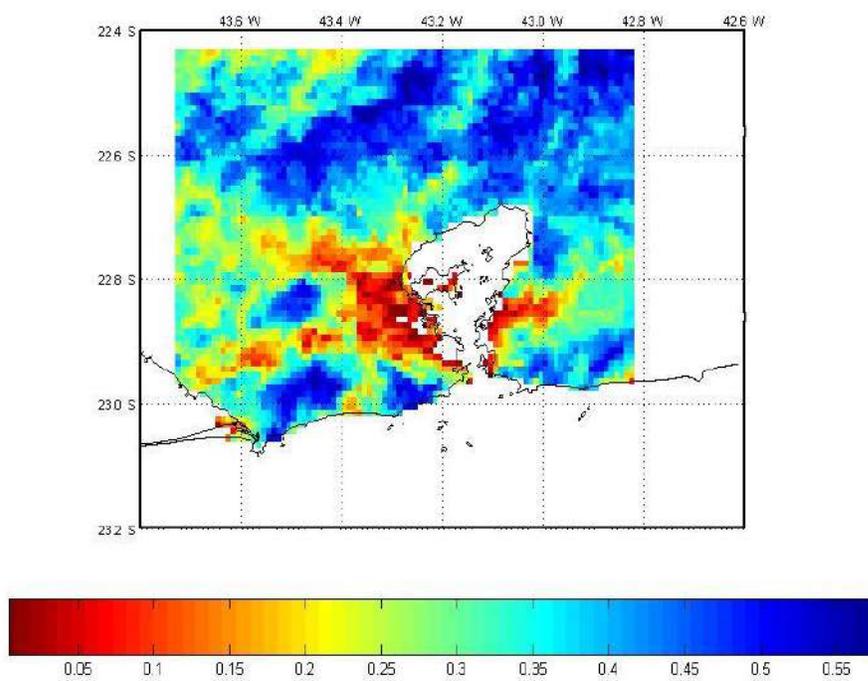


NDVI RMRJ - ABRIL 2006



(c) Abril/2006

NDVI RMRJ - SETEMBRO 2006



(d) Setembro/2006

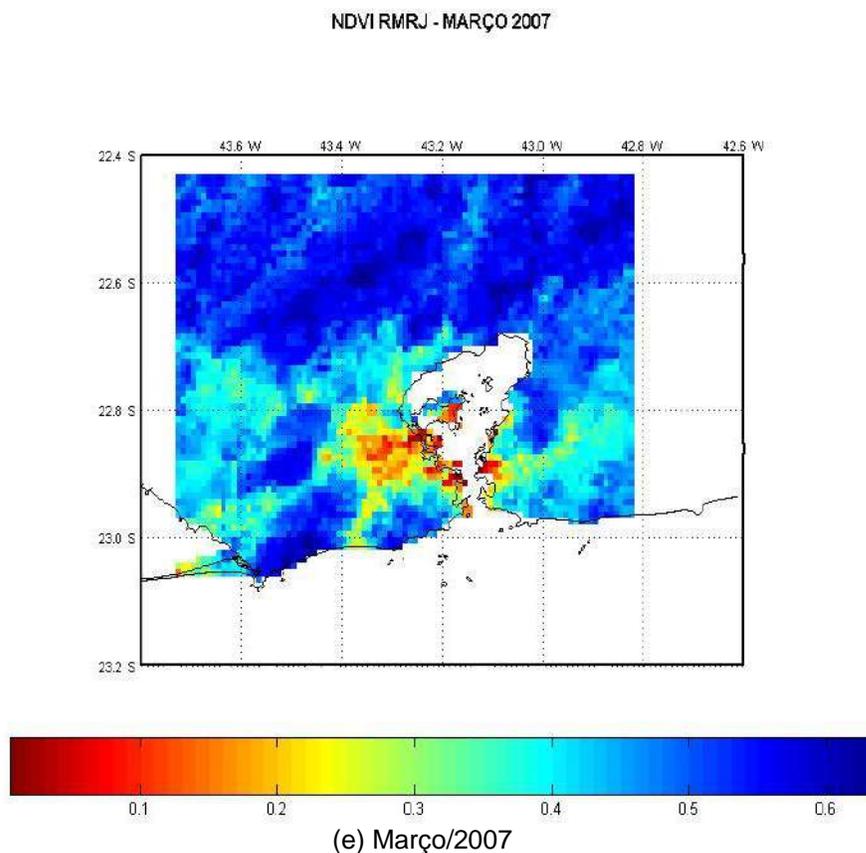


Figura 5.7: Resultados do índice de vegetação NDVI da RMRJ, (a) a (e), cada letra corresponde aos meses dos dias das imagens utilizados.

A partir dos dados de TS e NDVI para a RMRJ foram feitos gráficos contendo os valores máximos de temperatura (barra vermelha), mínimos (barra de cor azul), ambos em °C, nos 5 dias utilizados e o índice de vegetação NDVI médio (linha preta) para os meses referentes a esses dias. O eixo vertical a direita representa as temperaturas máxima e mínima e a esquerda o NDVI médio. O eixo horizontal inferior se refere aos dias utilizados e o superior aos meses em que estes dias se encontram. Os resultados são mostrados nas figuras de 5.8 a 5.21 que exibem estes valores para cada uma das zonas em que a região de interesse deste estudo foi dividida.

Estes valores máximos e mínimos da temperatura estimada foram identificados nas figuras referentes aos campos de TS da RMRJ e extraídos destes e foi observado que os valores máximos de temperatura ocorriam em áreas próximas em uma determinada zona. O mesmo foi observado para os valores mínimos de TS, entretanto em uma área diferente do valor máximo de TS.

A análise destas figuras permitiu observar que os valores máximos de temperatura foram superiores, em quase todas as zonas, a 35°C, por vezes atingindo picos de aproximadamente 55°C como nas zonas da Baixada Fluminense, Bangu, Centro, Grande Méier, Irajá e Leopoldina, Jacarepaguá, Tijuca e Vila Isabel, Zonas Norte e Sul 2 da cidade do Rio de Janeiro. Nota-se que os valores mínimos da TS foram elevados, por vezes próximo ou superior a 30°C, em algumas zonas, como: Bangu, Barra da Tijuca, Campo Grande, Centro, Grande Méier, Ilha do Governador, Irajá e Leopoldina, Niterói/São Gonçalo, Tijuca e Vila Isabel e a Zona Norte da cidade do Rio de Janeiro. Observa-se que para o dia 21/04/2006 – 1158Z foram estimadas os menores valores máximos e mínimos das temperaturas para quase todas as zonas, exceto as zonas da Ilha do Governador e Sul 1 que tiveram os menores valores de máximos na temperatura, respectivamente, nos dias 05/12/2005- 1121Z e 06/03/2007 – 1148Z. Também é notado a sazonalidade dos valores máximos e mínimos da temperatura em todas as zonas, sendo que os maiores valores ocorreram no verão ou próximo a esta estação e os menores próximos ao inverno.

Ao se observar os valores do índice de vegetação NDVI observa-se que o mesmo possui uma variação com o decorrer do ano, alcançando o seu maior valor nos meses de verão ou próximos a esta estação do ano, e os menores valores no mês de setembro/2006 (com exceção das zonas de Tijuca e Vila Isabel, Sul 1 e 2 em que este menor valor ocorre na primeira e última região em dezembro/2005 e a segunda em abril/2006) em todas as zonas em que a RMRJ foi dividida. É percebido que todas as zonas apresentaram uma queda no NDVI ao passar do mês de janeiro/2006 para abril/2006 e posteriormente ocorre a elevação do NDVI de setembro/2006 para março/2007. Este fato está relacionado com a precipitação, visto que no primeiro intervalo de tempo ocorre um ligeiro declínio na precipitação acumulada mensal,

enquanto que no outro intervalo temporal tem-se um rápida elevação desta variável, de acordo com as normais climatológicas da precipitação acumulada mensal do período de 1961 – 1990.

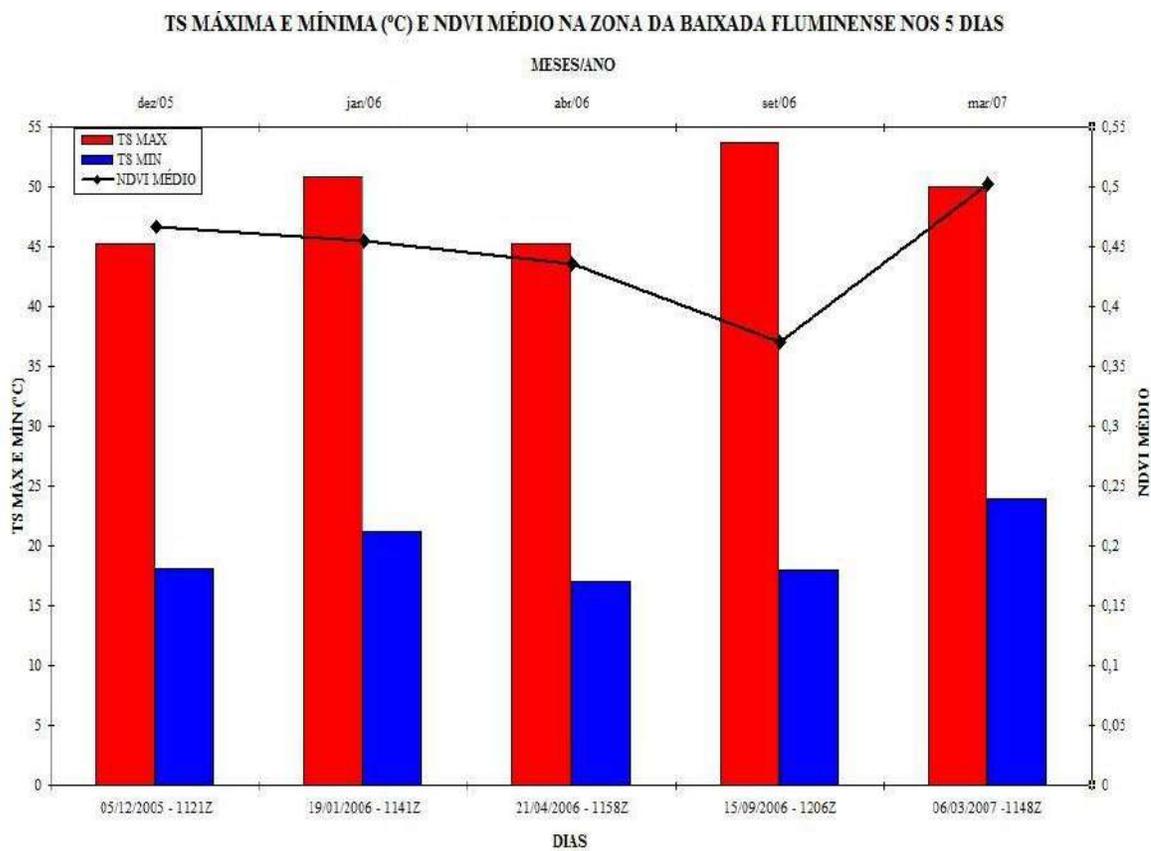


Figura 5.8: Gráfico da TS máxima, mínima, em °C, e NDVI médio para a Zona da Baixada Fluminense.

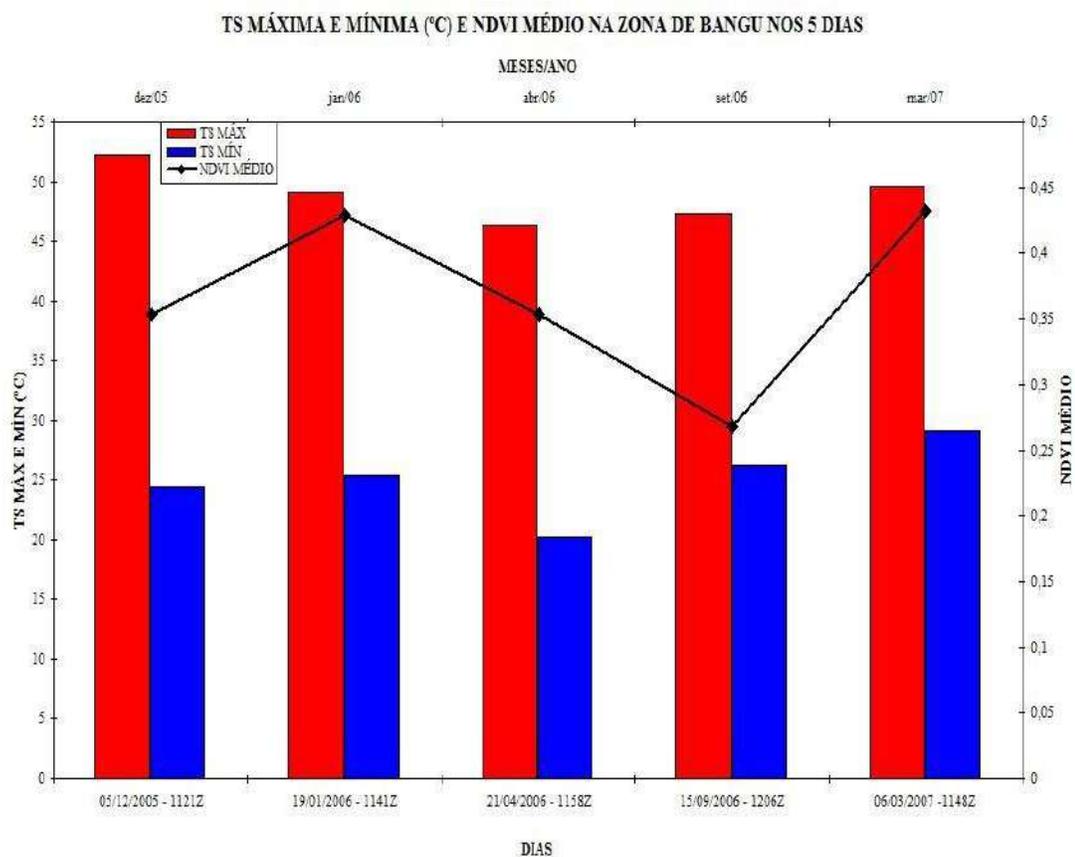


Figura 5.9: Gráfico da TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona de Bangu.

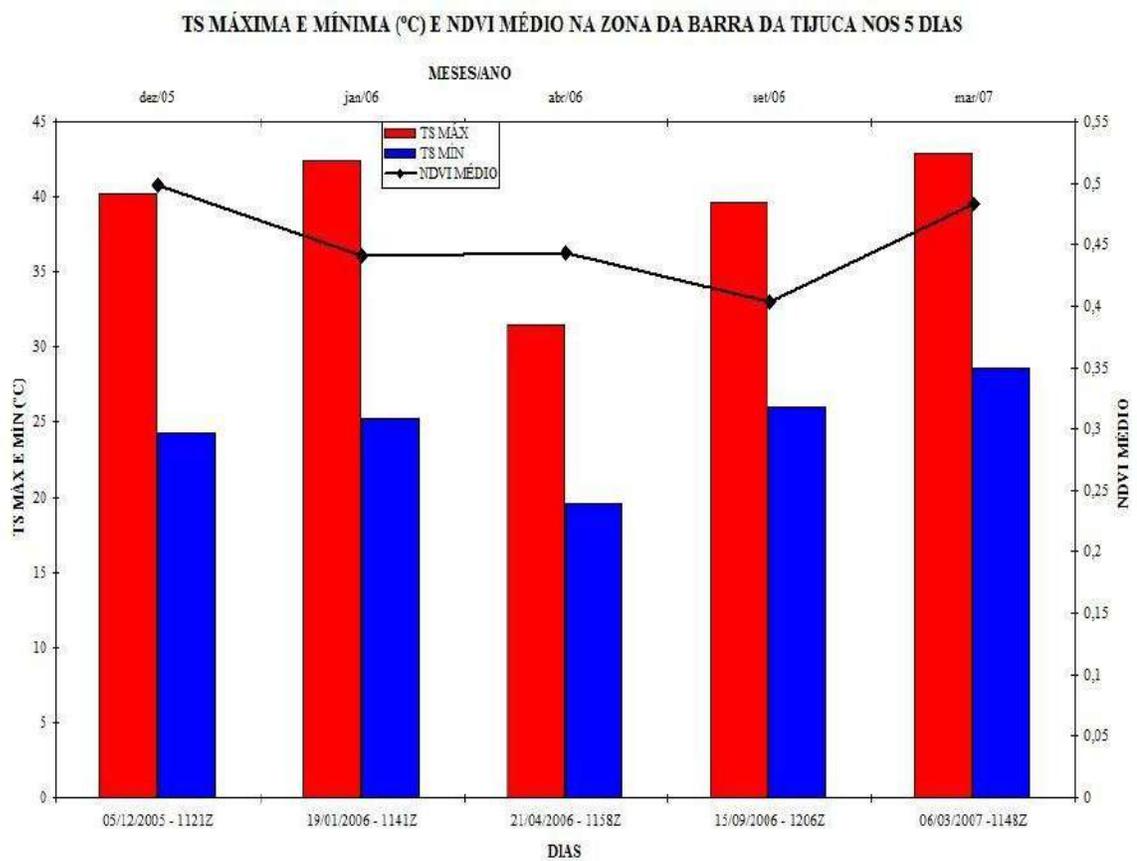


Figura 5.10: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona da Barra da Tijuca.

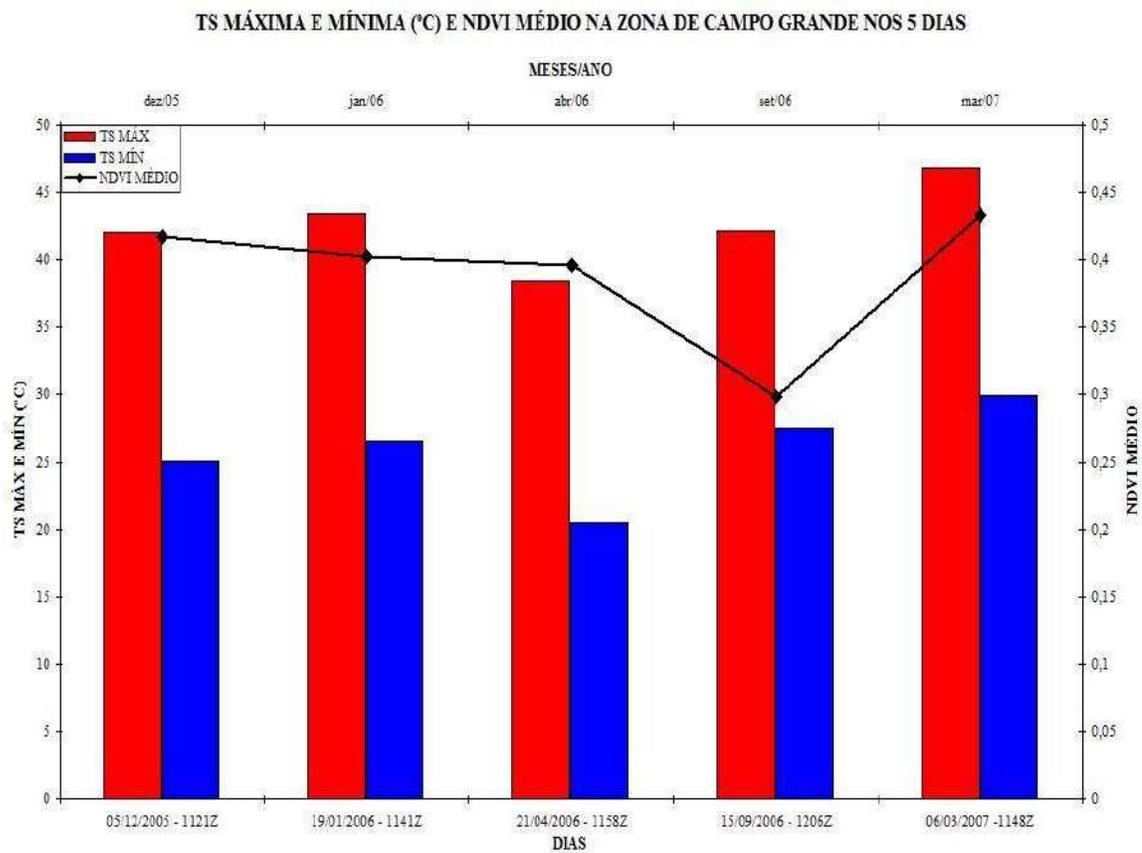


Figura 5.11: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona de Campo Grande.

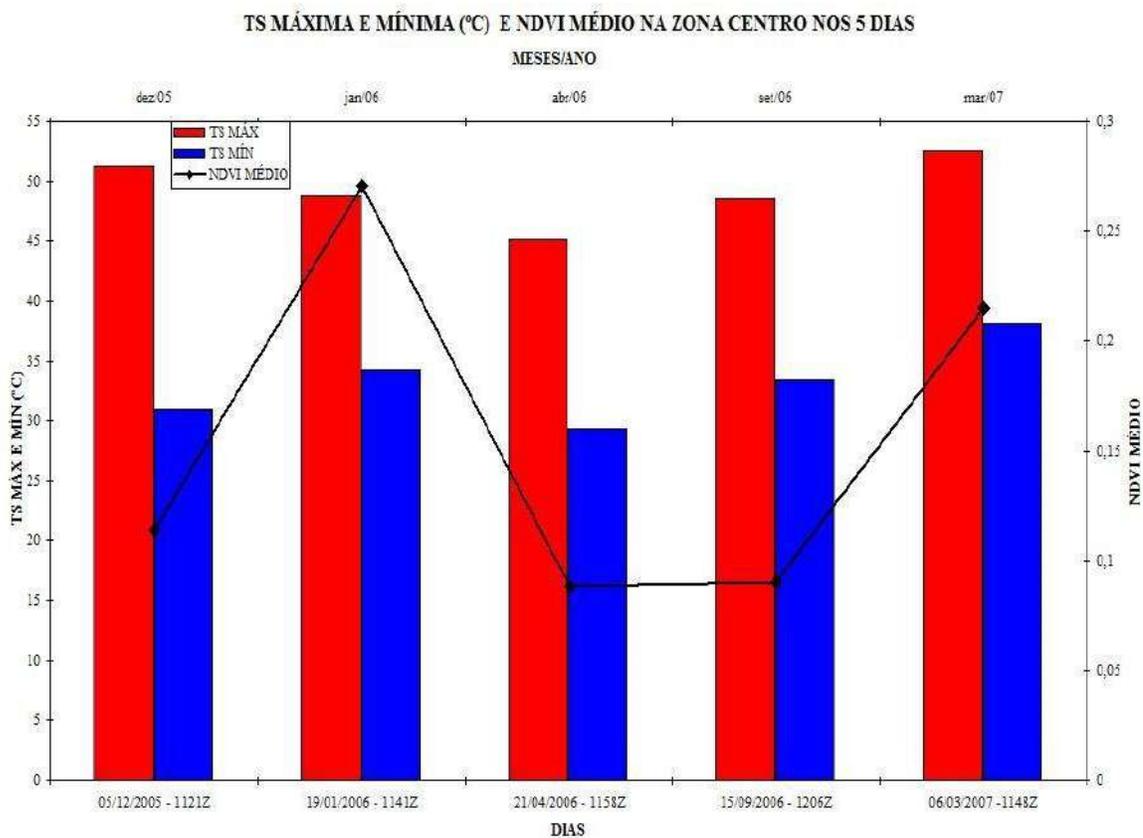


Figura 5.12: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona Centro.

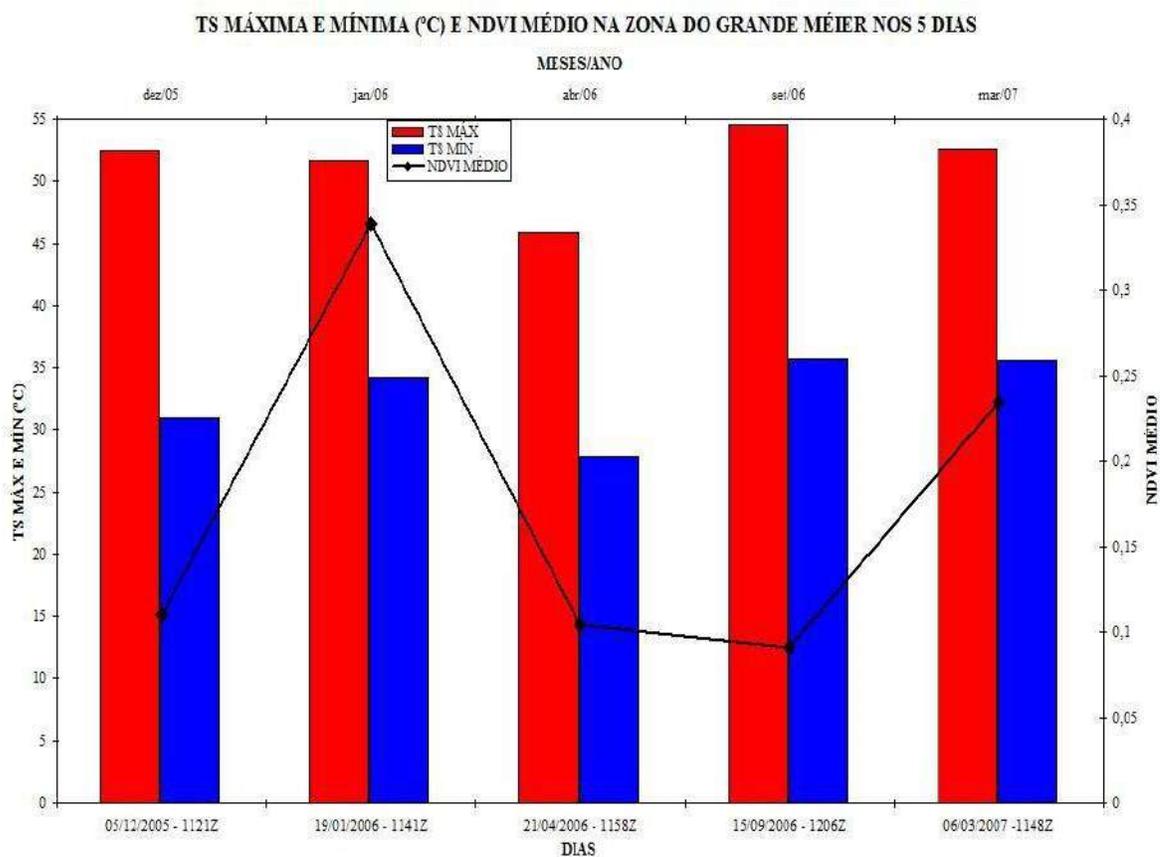


Figura 5.13: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona do Grande Méier.

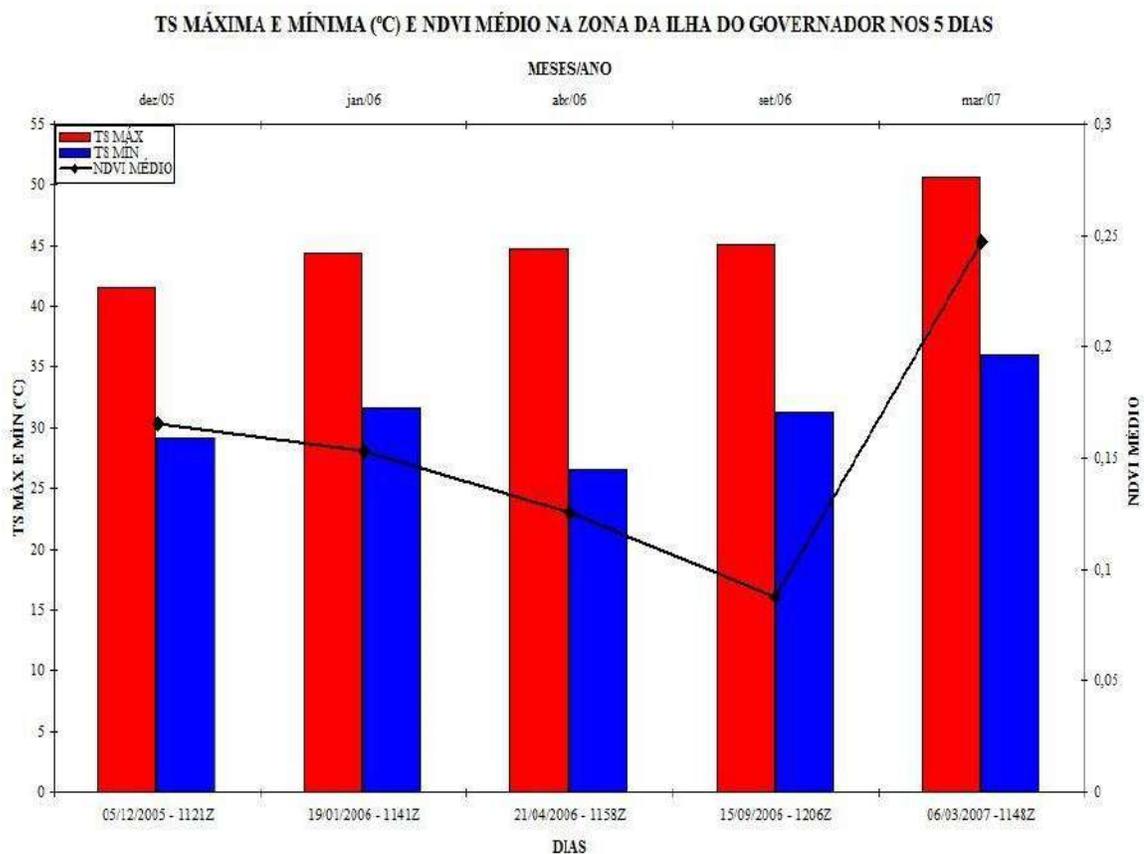


Figura 5.14: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona da Ilha do Governador.

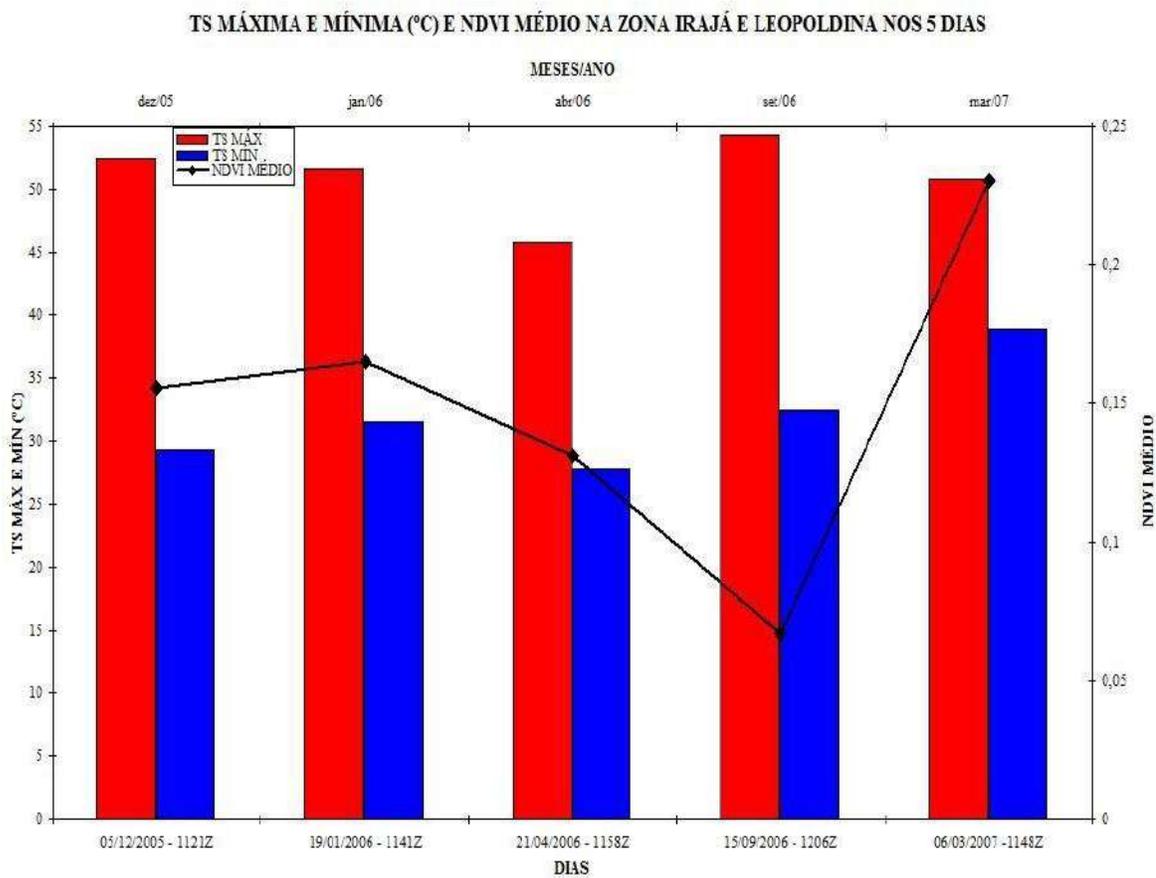


Figura 5.15: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona de Irajá e Leopoldina.

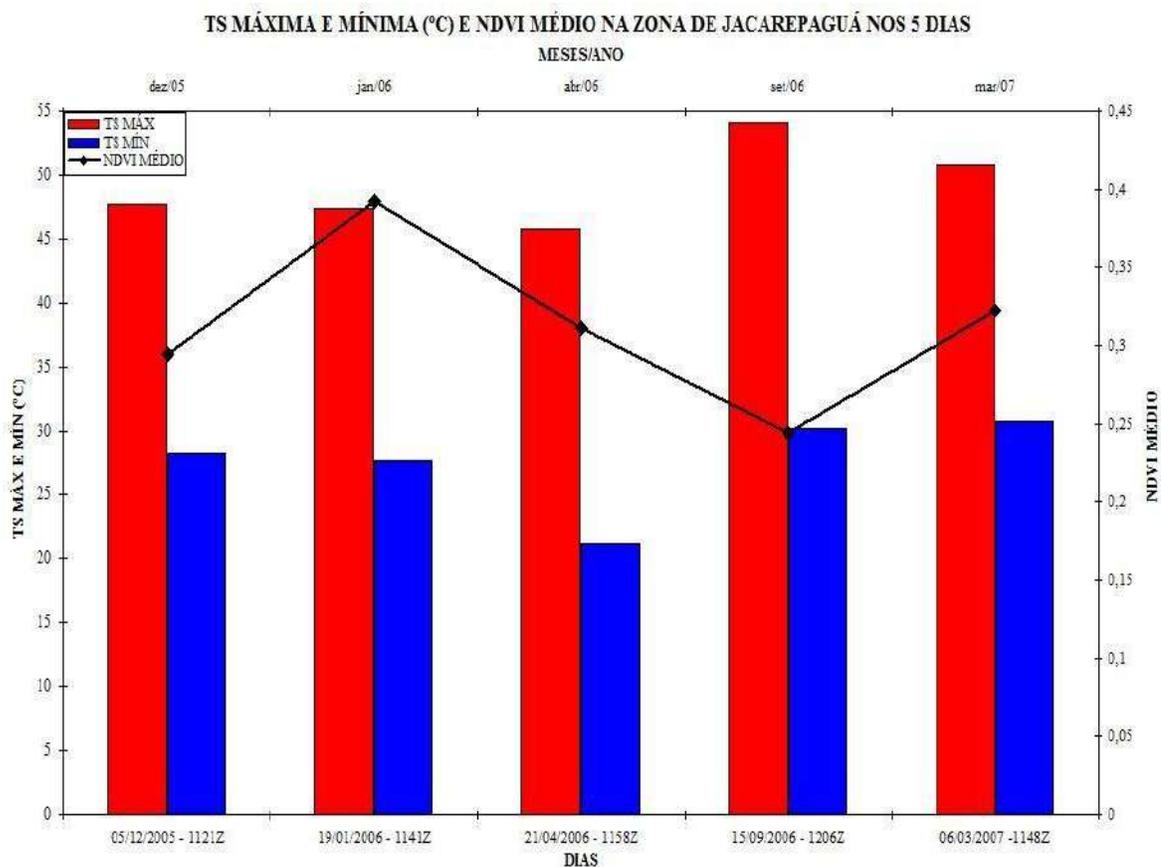


Figura 5.16: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona de Jacarepaguá.

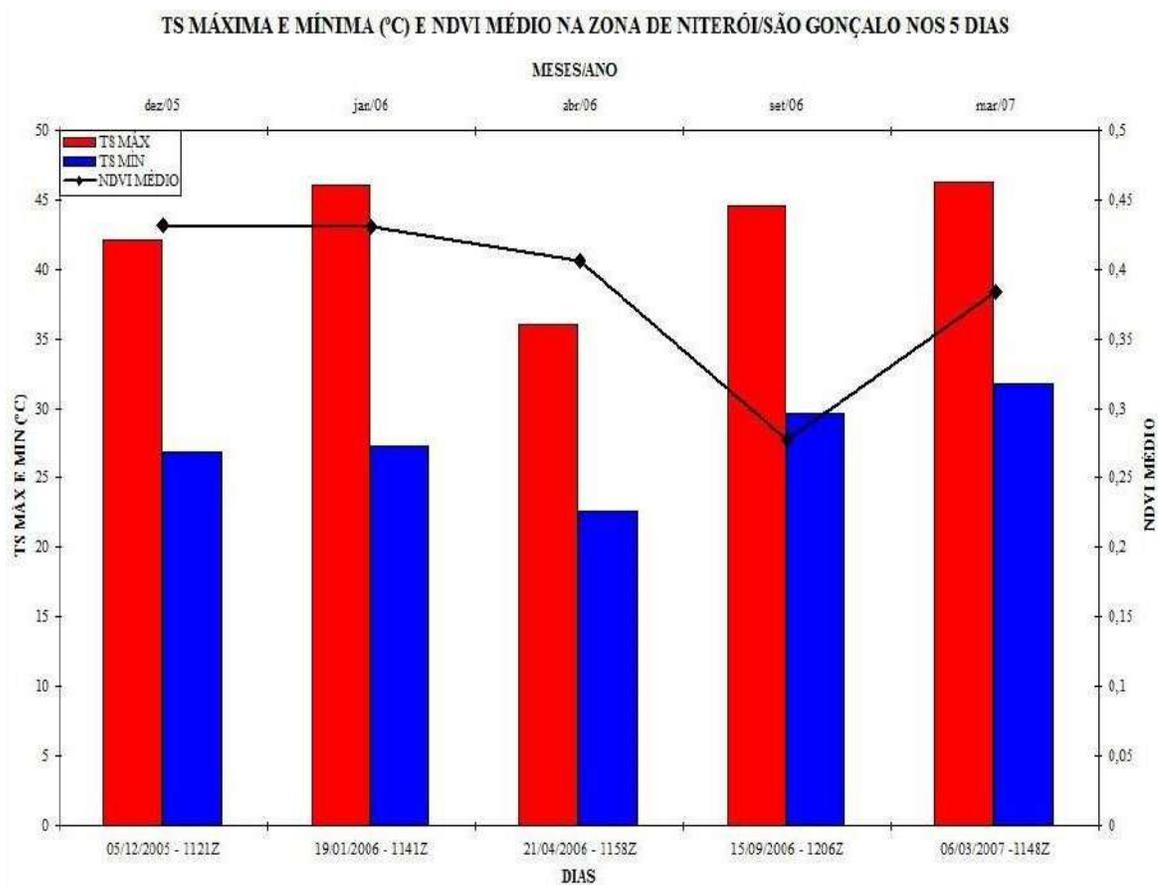


Figura 5.17: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona de Niterói/São Gonçalo.

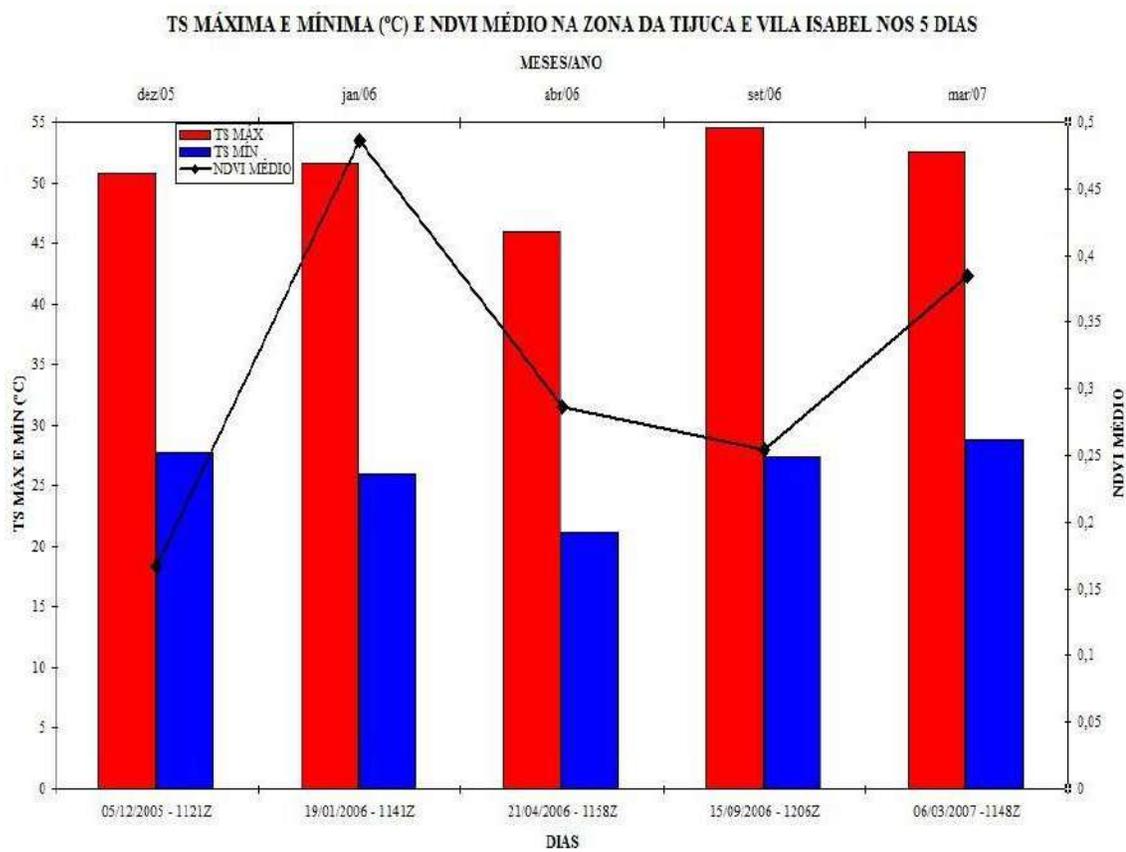


Figura 5.18: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona da Tijuca e Vila Isabel.

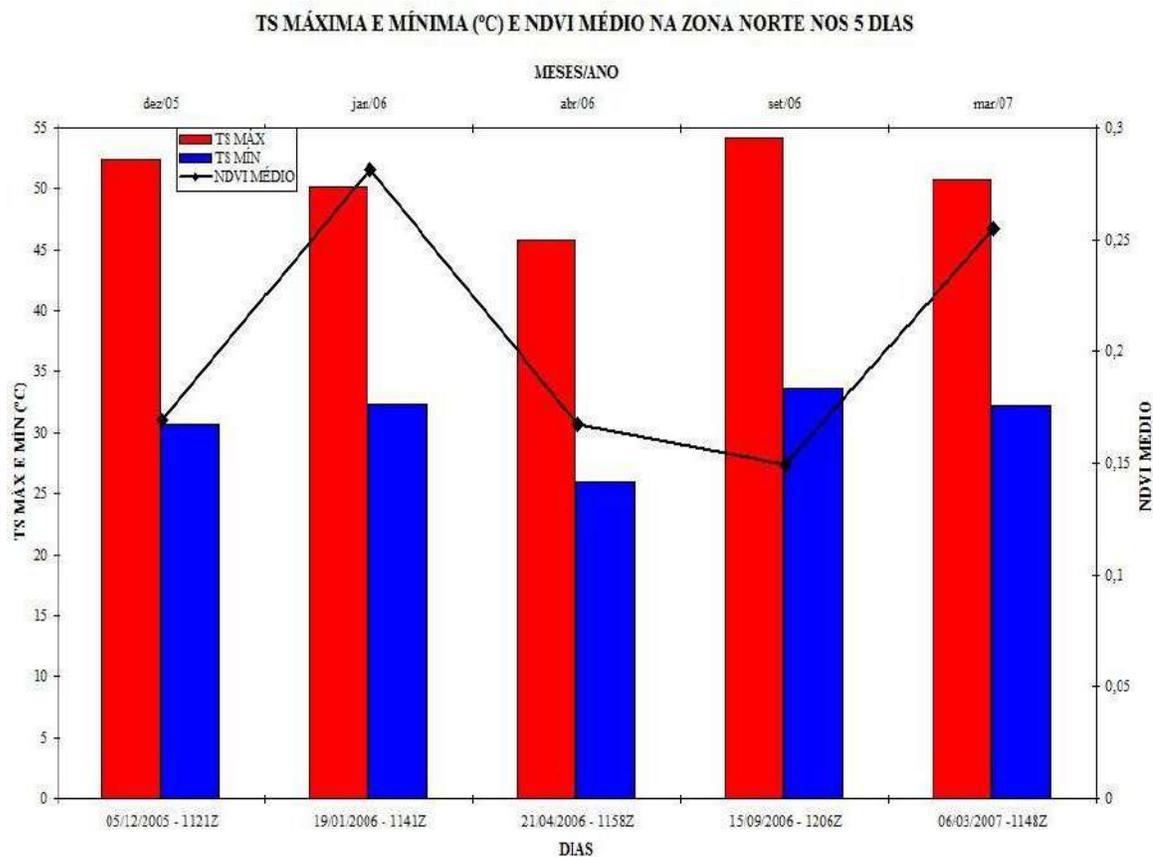


Figura 5.19: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona Norte.

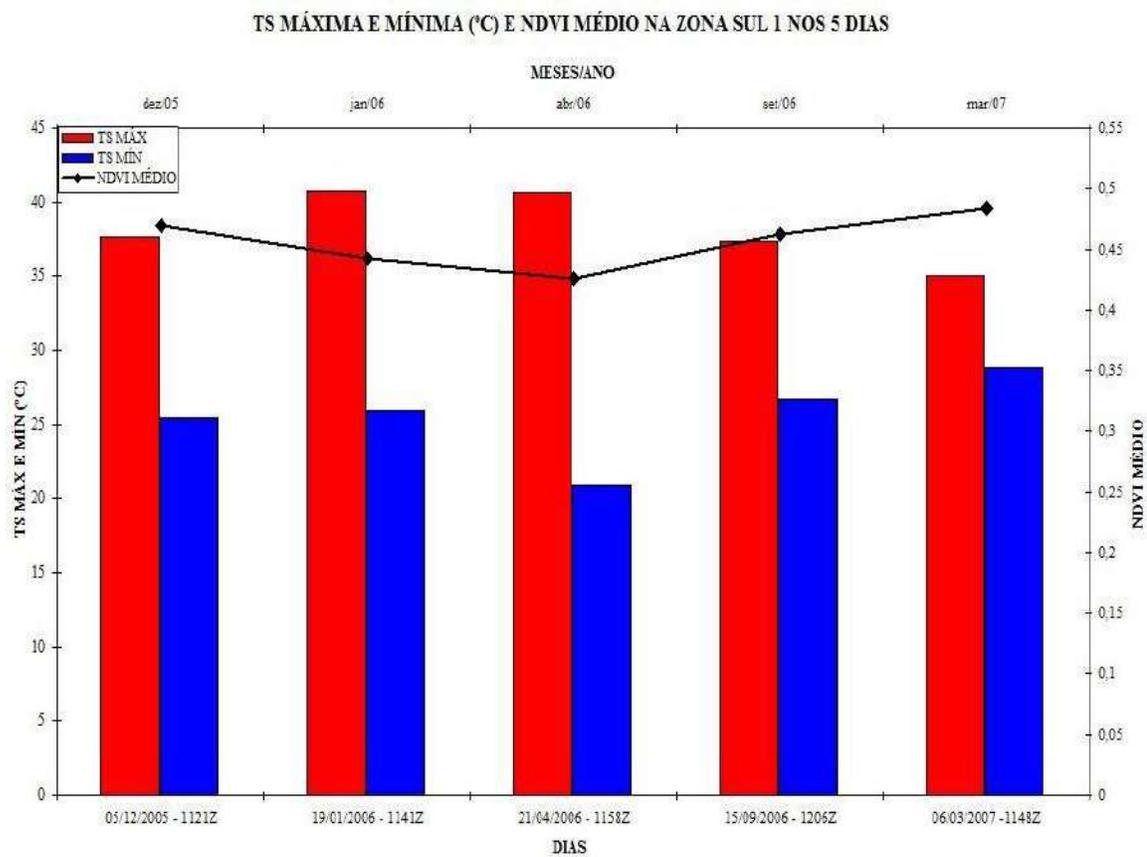


Figura 5.20: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona Sul 1.

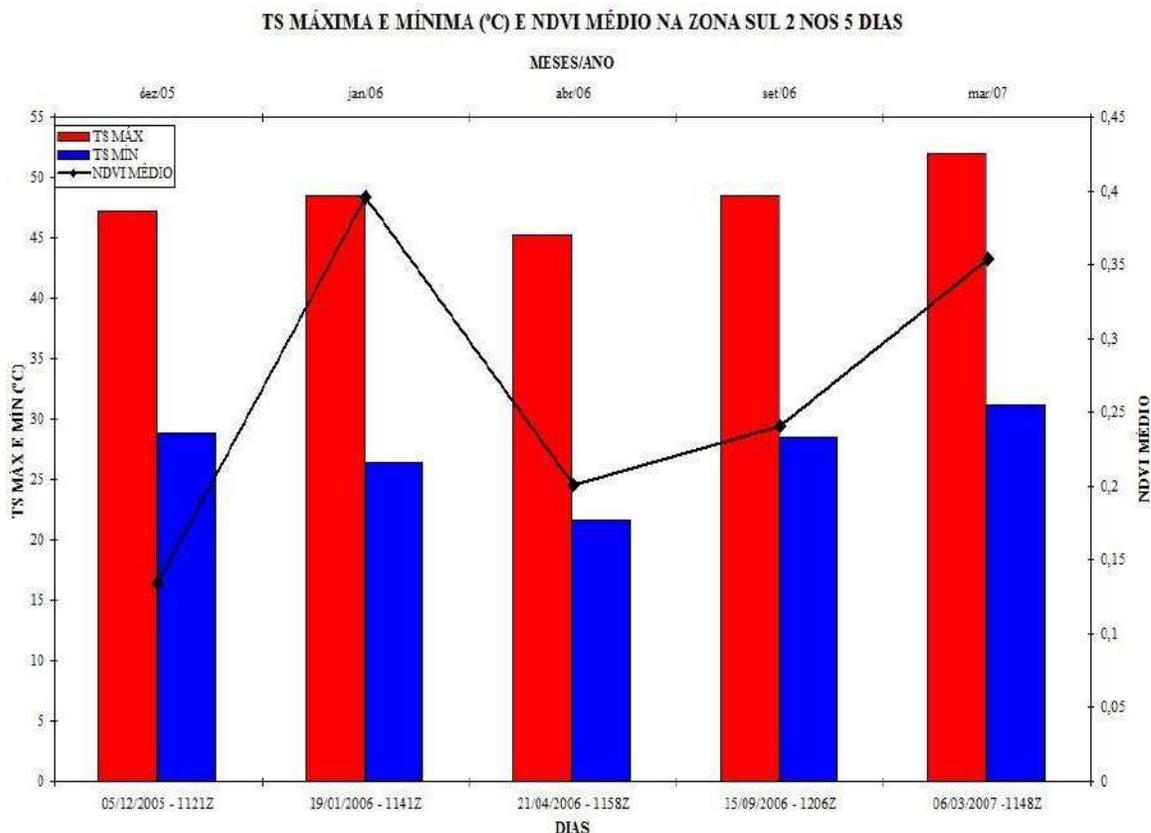


Figura 5.21: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C, e NDVI médio na Zona Sul 2.

Os dados das figuras de TS e NDVI para a RMRJ também possibilitaram fazer gráficos para cada um dos dias utilizados, sendo que cada um desses tem informações dos valores máximos de temperaturas (barra em vermelho), mínimo (barra azul) e o NDVI médio (linha preta) do mês em que a data usada está contida para todas as zonas. As figuras de 5.22 a 5.26 exibem essas quantidades onde o eixo vertical a direita representa os valores máximo e mínimo da temperatura, em °C, e a esquerda o NDVI médio. O eixo horizontal inferior se refere às zonas em que a RMRJ foi dividida.

Ao se analisar estas figuras percebe-se que as zonas do Centro, Grande Méier, Irajá e Leopoldina tiveram elevados valores máximos e mínimos de TS, acima de, respectivamente, 45°C e 30°C. Estes altos valores das temperaturas podem ser uma boa indicação de uma possível consequência do fenômeno da Ilha de Calor Urbana. Em outras zonas também são estimados altos valores máximos e mínimos de TS (como Tijuca e Vila Isabel, Zona Norte, Bangu), porém estas zonas não persistem em todos os

5 dias utilizados. As zonas com os mais elevados valores máximos e mínimos da temperatura da superfície também têm os menores valores do índice de vegetação NDVI o que indica que essas zonas são intensamente urbanizadas, o que de fato ocorre. Também é notado que existem áreas com os menores valores de máximo e mínimo de temperatura e tal fato ocorre, durante os 5 dias, na Zona da Barra da Tijuca e da Zona Sul 1. Estas zonas possuem os maiores valores de NDVI, indicando a presença de uma área coberta por vegetação, que de fato é evidenciado.

Outro fato interessante ocorre na Zona da Baixada Fluminense onde observa-se elevados valores máximos de TS, por vezes superior a 45°C, baixos valores mínimos de temperatura, em todos os dias inferior a 23°C, além de um alto valor de NDVI, sempre superior a 0,35. Isto ocorre pois valores máximos de TS são encontrados na área onde ocorre grande urbanização e os valores mínimos de TS encontram-se em uma região com uma extensa cobertura de vegetação (a Serra do Mar, ao norte desta zona).

TS MÁXIMA E MÍNIMA (°C) EM 05/12/2005 - 1121Z E NDVI MÉDIO EM DEZEMBRO/2005 NAS ZONAS DA RMRJ

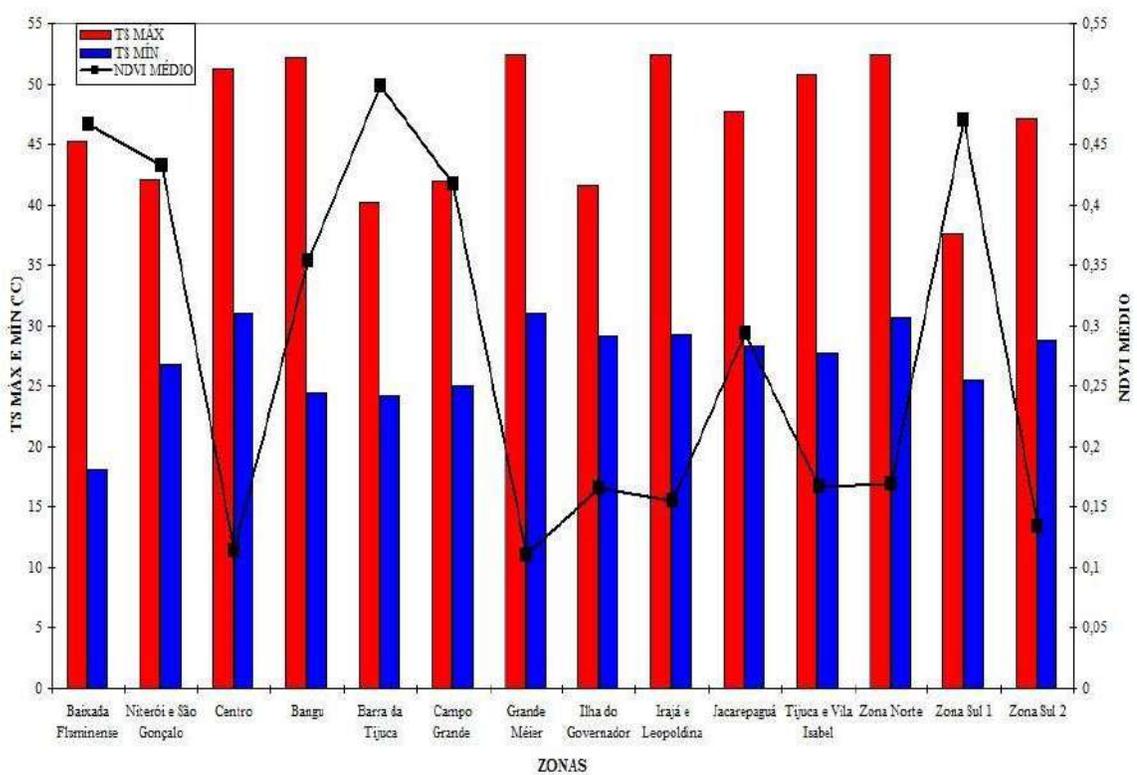


Figura 5.22: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C para o dia 05/12/2005 – 1121Z, e NDVI médio em Dezembro/2005 nas zonas da RMRJ.

TS MÁXIMA E MÍNIMA (°C) EM 19/01/2006 - 1141Z E NDVI MÉDIO EM JANEIRO/2006 NAS ZONAS DA RMRJ

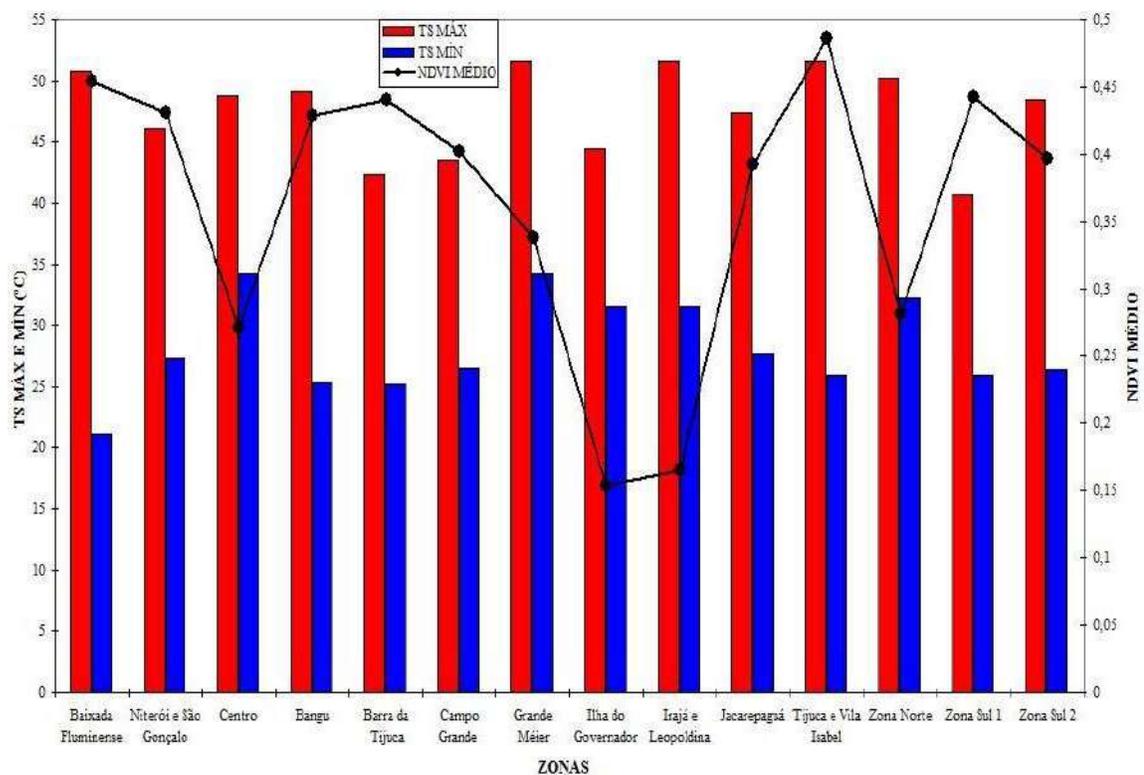


Figura 5.23: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C para o dia 19/01/2006 – 1141Z, e NDVI médio em Janeiro/2006 nas zonas da RMRJ.

TS MÁXIMA E MÍNIMA (°C) EM 21/04/2006 - 1158Z E NDVI MÉDIO EM ABRIL/2006 NAS ZONAS DA RMRJ

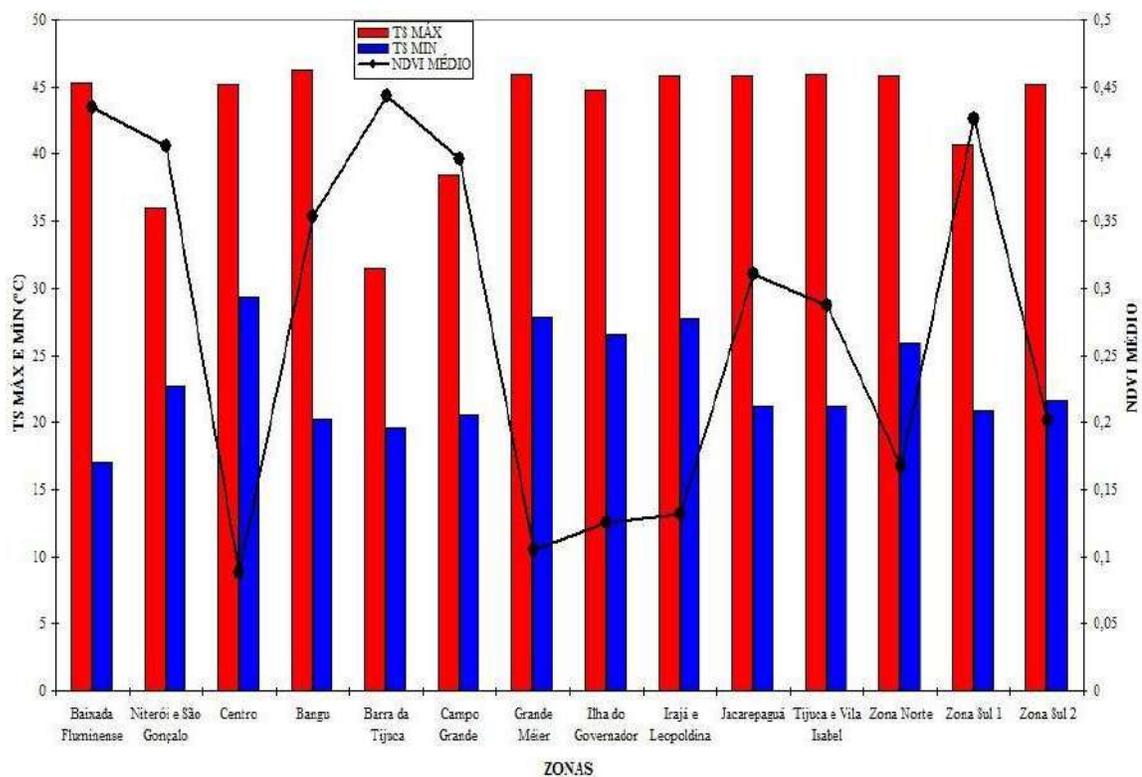


Figura 5.24: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C para o dia 21/04/2006 – 1158Z, e NDVI médio em Abril/2006 nas zonas da RMRJ.

TS MÁXIMA E MÍNIMA (°C) EM 15/09/2006 - 1206Z E NDVI MÉDIO EM SETEMBRO/2006 NAS ZONAS DA RMRJ

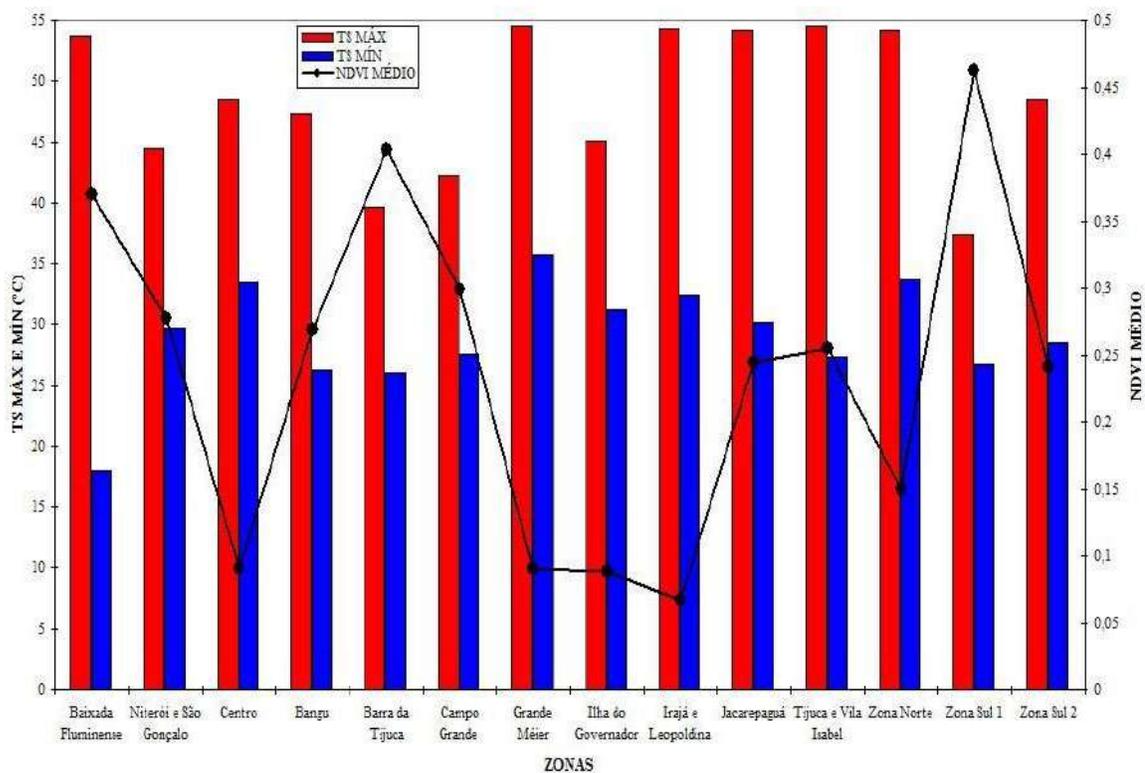


Figura 5.25: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C para o dia 15/09/2006 – 1206Z, e NDVI médio em Setembro/2006 nas zonas da RMRJ.

TS MÁXIMA E MÍNIMA (°C) EM 06/03/2007 - 1148Z E NDVI MÉDIO EM MARÇO/2007 NAS ZONAS DA RMRJ

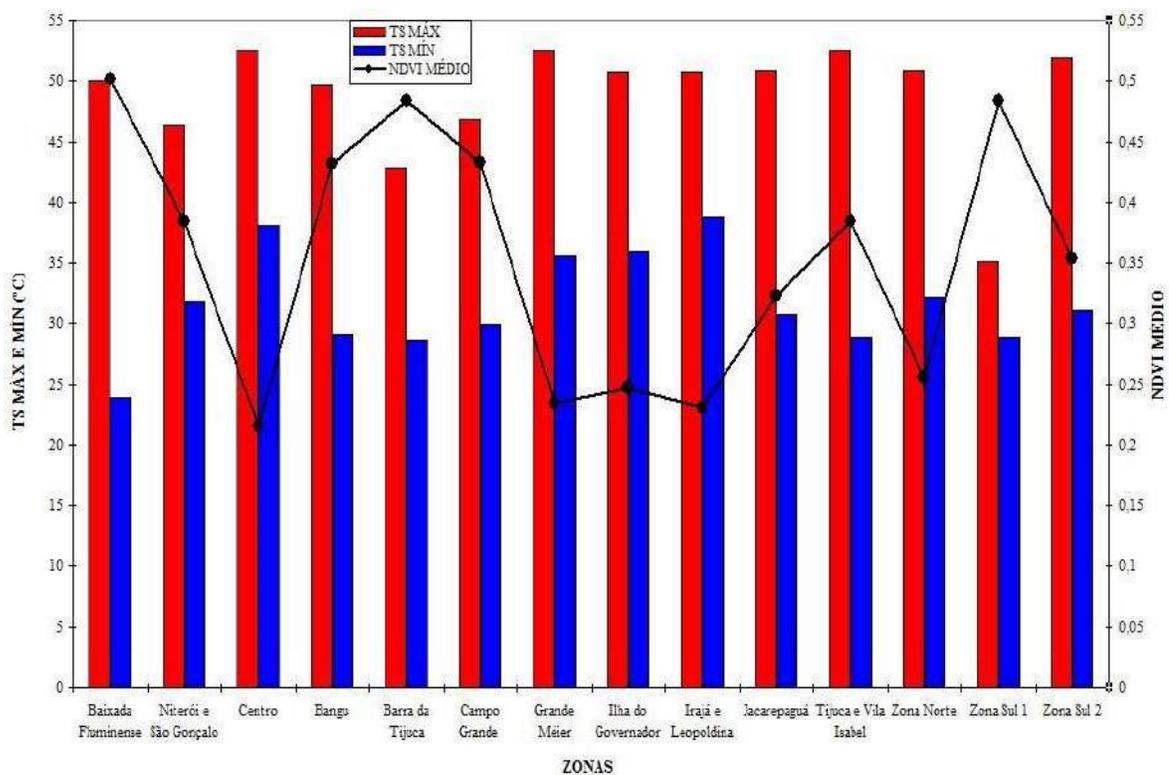


Figura 5.26: Gráfico de TS máxima e mínima, em °C para o dia 06/03/2007 – 1148Z, e NDVI médio em Março/2007 nas zonas da RMRJ.

6 CONCLUSÕES E PRÓXIMOS PASSOS

Os resultados obtidos permitem revelar aspectos do fenômeno da Ilha de Calor Urbana na RMRJ.

As figuras representativas do campo de temperatura estimada para a superfície da RMRJ mostraram o grande potencial para o estudo do fenômeno da Ilha de Calor Urbana, visto que foram observadas regiões onde a TS está muito acima dos valores das zonas vizinhas, podendo destacar-se as zonas do Centro da cidade do Rio de Janeiro, Bangu, Irajá e Leopoldina, Grande Méier apresentando essa característica.

Assim como o estudo de Filho (2009) o presente estudo também observou um padrão distintamente diferente do que é observado em áreas de latitudes médias, pois a Ilha de Calor ocorre durante a manhã na região de estudo e não durante a noite.

As zonas com os maiores valores de TS ocorrem nas que tiveram os menores valores do índice de vegetação NDVI, ou seja, em áreas mais urbanizadas. Os menores valores de TS ocorreram nas áreas com os maiores valores de NDVI, ou seja, em áreas mais vegetadas (como os maciços da cidade do Rio de Janeiro, Niterói e a Serra do Mar ao norte da RMRJ), portanto existe uma relação inversa entre o NDVI e a TS.

Foi possível obter uma sazonalidade da temperatura estimada para a superfície para a RMRJ e esta variação é também apreciada nos gráficos dos valores máximo e mínimo de TS.

As zonas com valores mínimos de TS superiores a 30°C (como em Bangu, Campo Grande, Centro, Grande Méier, Irajá e Leopoldina, Zona Norte, entre outras), são uma das consequências da mudança do uso do solo.

Os resultados e as suas análises, obtidos a partir de dados do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-14, mostraram fortes indícios da presença do fenômeno da Ilha de Calor Urbana na RMRJ durante o período estudado, dessa forma a continuação deste estudo é importante.

Assim a continuação deste trabalho pode ser feita com a utilização de um período maior de dados passados, desse mesmo satélite, ou a aquisição de dados futuros. Entretanto com a desativação do satélite NOAA-14 é necessário à escolha de outra plataforma orbital para a coleta de dados, podendo ser o satélite NOAA-18 (sensor AVHRR-3, se diferenciando pela inclusão de um canal adicional localizado na região do infravermelho próximo) ou o sensor MODIS que se encontra a bordo dos satélites TERRA e AQUA, e conseqüentemente o cálculo da estimativa da temperatura da superfície e do índice de vegetação NDVI para a RMRJ e para as zonas em que esta área foi dividida, possibilitando uma melhor descrição, avaliação deste fenômeno para áreas tropicais.

7 REFERÊNCIAS

- ABREU, M.A.: **A Evolução Urbana do Rio de Janeiro**; 2ª Edição; IPLANRIO/ZAHAR; Rio de Janeiro; (1988);
- ANDRADE, L.L.; SOUZA, L.H.; SAKURAGI, J.; CASTRO, R.M.: **Estudo de Ilhas de Calor na cidade de São José dos Campos Utilizando o Canal Infravermelho Termal do LANDSAT-5 e o Aerotransportado HSS**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – 2007; (2007);
- BALLING, R.C.JR.; CERVENY, R.S.: **Long-Term Associations Between Wind Speeds and the Urban Heat Island of Phoenix, Arizona**. In: Journal of Applied Meteorology, 26 (6): 72 – 716; (1986);
- BARRY, R.G.; CHORLEY, R.J.: **Atmosphere, Weather and Climate**, Routledge, London, 409 pp; (1998);
- BRANDÃO, A. M. de P. M.: **Clima Urbano e Enchentes na Cidade do Rio de Janeiro - Impactos Ambientais Urbanos no Brasil** – Antonio José Texeira Guerra e Sandra Baptista da Cunha (Orgs) – Bertrand Brasil; (2004);
- CECH, I.; WEISBERG, R.; HACKER, C.; LANE, R.: **Relative Contribution of Land Uses to the Urban Heat Problem in the Coastal Subtropics**. In: Int. J. Biometer, 20, nº 1, pp 9 – 18; (1976);
- COLL, C.: **Validation of Temperature-Emissivity Separation and Split-Window Methods From TIMS Data and Ground Measurements**. Remote Sensing of Environmental, 85, 232 – 242 pp; (2003);
- DEAN, W.: **A Ferro e Fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica Brasileira** – Companhia das letras – São Paulo; (1996);
- DELGADO DE CARVALHO: **História da Cidade do Rio de Janeiro**. Biblioteca Carioca, V.6; (1988);
- ERIKSEN, W. – KIMATOLOGISCH: **Okologische Crapekte der umweltbelastung Hannovers Stadtklima und Lutverunreinigung**. In: Hannover und sein Unland; Hannover; (1978);
- FEEMA – Relatório Anual da Qualidade do ar 2003; Rio de Janeiro; (2004);

- FILHO, E.P.M.; KARAM, H.A.; MIRANDA, A. G., FRANÇA, J.R.A.: **Rio de Janeiro's Tropical Urban Climate**. International Association For Urban Climate. n°52, Junho/2009; (2009);
- FRAGOSO, J.L.R.: **Homens de Grossa Ventura, Acumulação e Hierarquia na Praça Mercantil do Rio de Janeiro (1790/1930)**. Rio de Janeiro, Arquivo Nacional; (1992);
- FRANÇA, G.B.; CRACKNELL, A. P.: **A Simple Cloud Masking Approach Using NOAA-AVHRR Daytime Data for Tropical Areas**. International Journal of Remote Sensing, vol. 16, n°9, 1697 – 1705; (1994);
- FRANÇA, J.R.A.: **Téledetection Satellitaire des Feux de Végétation en Région Intertropicale- Application à l'Estimation des Flux des Composés en Trace Émis dans l'Atmosphère**. Tese de Doutorado da Universidade Paul Sabatier, 1749, Toulouse, França, 215pp.; (1994);
- FRANÇA, J.R.A , J. –M. Brustet and J. Fontan: **Multispectral Remote Sensing of Biomass Burning in West Africa**. J. Atmosph. Chemistry, vol. 22, 81-110; (1996);
- FRANÇA, J.R.A.: **Meteorologia Urbana e Sensoriamento Remoto: Estudo das Ilhas de Calor e Impacto no Microclima da Região Metropolitana da Cidade do Rio de Janeiro**. Projeto de Pesquisa; (2006);
- FREITAS, E.D.; SILVA DIAS, P.L.: **O Efeito da Ilha de Calor Sobre os Fluxos de Calor Através da Utilização do Modelo RAMS**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, Rio de Janeiro, 2000. Anais, Rio de Janeiro, SBMET, p. 3566 – 3574; (2000);
- FREITAS, E.D.; SILVA DIAS, P.L.: **A Importância das Fontes Antropogênicas de Calor na Modelagem Numérica dos Efeitos de Ilha de Calor Urbana**. In: Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, 3, Santa Maria, 2003. Revista Ciência e Natura, Santa Maria, UFSM, p. 227 – 231; (2003);
- FREITAS, E.D.; SILVA DIAS, P.L.: **Alguns Efeitos de Áreas Urbanas na Geração de uma Ilha de Calor**. Revista Brasileira de Meteorologia, V.20, n°3,355 – 366, 2005; (2005);
- FUJUI, E.: **Increasing Temperature Due to the Expansion of Urban Áreas in Japan**; Tokio Journal of Climatology, 1, n°1, Tóquio; (1964);
- GARCÍA, M.C.M.: **Climatologia Urbana**. Barcelona. Edicions de la Universitat de Barcelona, 1999, 71 p; (1999);

- GRAÇA FILHO, A. de A.: **A Princesa do Oeste e o Mito da Decadência de Minas Gerais**. São João Del Rei, 1831 – 1888; (2002);
- GRIMMOND, C.S.B.; OKE, T.R.: **An Evapotranspiration – Interception Model for Urban Areas**. Water Resources Research, 27 (7), 1739 – 1755; (1991);
- GRIMMOND, C.S.B; OKE, T.R.: **Turbulent Heat Fluxes in Urban Areas: Observations and a Local-Scale Urban Meteorological Parameterization Scheme (LUMPS)**, J. Appl. Meteor., vol. 41, n°7, 792 – 810; (2002);
- ICHINOSE, T.; SHIMODOZONO, K.; HANAOKI, K.: **Impact of Anthropogenic Heat on Urban Climate in Tokyo**. Atmos. Environ, 33, 3897 – 3909; (1999);
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Disponível em http://satelite.cptec.inpe.br/ndvi/info_ndvi.jsp. Acessado em: 17/03/2008;
- IPAHB (Instituto de Pesquisas e Análises Históricas e de Ciências Sociais da Baixada Fluminense). Disponível em <http://www.ipahb.com.br>. Acessado em 04/05/2009;
- JAUREGUI, O. E.: **La isla de calor en Toluca, México**; Boletín Del Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, n° 19, p. 27 – 37; México; (1979);
- JOURDAN, P.: **Caracterização do Regime de Ventos Próximo à Superfície na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**; Dissertação de monografia da UFRJ; (2007);
- KAKSTEIN, L.S.; SHERIDAN, S.C.; GRAYBEAL, D.Y.: **A Determination of Character and Frequency Changes in air Masses Using a Spatial Synoptic Classification**. Int. Journal of Climatology, 18, 1223 – 1236; (1998);
- KARL, T.R.; DIAZ, H. F.; KIKLA, G.: **Urbanization: Its Detection and Effect in the United States Climate Record**. Journal of Climate, 1, 1099 – 1123; (1988);
- KATSOUKLIS, B.D.; THEOHARATOS, G.A.: **Indications of the Urban Heat Island in Athens, Greece**. Journal of Applied Meteorology, 24 (12); 1296 – 1302; (1985);
- KINOUCI, T.; YOSHITANI, J.: **Simulation of the Urban Heat Island in Tokyo with Future Possible Increases of Anthropogenic Heat, Vegetation Cover and Water Surface**. In: International Symposium on Environmental Hydraulics, 3, Geographical Survey Institute, Japão, 2002, 12; (2001);
- KRIEGER, S.: **Estudos Biometeorológicos do Clima Urbano**. Universidade de São Paulo; (2004);

- LOMBARDO, M.A.: **Ilha de Calor nas Metr6poles: O Exemplo de S6o Paulo**. S6o Paulo, Ed. HUCITEC, 244 p.; (1985);
- LUCENA, A. J.: **O Campo T6rmico na Zona Oeste do Rio de Janeiro/RJ: Uma Contribui76o ao Estudo do Clima Urbano**; Tese de mestrado da UERJ; (2005);
- MAITELLI, G.T.; CHILETO, E.C.; JUNIOR, N.L.A.; CHIETO, R.: **Intensidade da Ilha de Calor em Cuiab6/MT, na Est6o7ao Chuvosa**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, Fortaleza/CE, 2004. Anais, Fortaleza, SBMET, p 69 – 82; (2004);
- MONTEIRO, L.A.: **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplica76o**, 3^a. Ed. Atualizada e Ampliada, Vi7osa, Editora UFV; (2005);
- MORAES, N. O.; MARTON, E.; PIMENTEL, L.C.G.: **Simula76es Num6ricas da Forma76o da Ilha de Calor na Regi76o Metropolitana do Rio de Janeiro**. Anu6rio do Instituto de Geoci4ncias – UFRJ – vol. 28 – 2/2005, p6g. 487 – 534; (2005);
- NOAA POD GUIDE, U.S. Departament of Commerce – NOAA NESDIS – NCDC – Satellite Services Branch – FOB3, room G233, E/cc 33, 4700 Suitland Road, Suitland, MD 20746;
- NOVO, E.M.L.M.: **Sensoriamento Remoto: Princ6pios e Aplica76es**; S6o Paulo; Edgard Blucher; (1989);
- OKE, T.R.: **City Size and the Urban Heat Island**. Conference on Urban Environment and Second Conference on Biometeorology, American Meteorological Society, Philadelphia, pp. 144 – 146; (1972);
- OKE, T.R.: **Boundary Layer Climates**. Methuen, London, UK; (1978);
- OKE, T.R.: **Boundary Layer Climates**, Second Edition. Routledge, London & New York, 435 pp; (1987);
- OLIVEIRA, F.J.G. de: **Mudan76a no Espa76o Metropolitano: Novas Centralidades e Din6micas Espaciais na Metr6pole**. Rio de Janeiro, DPGA; (2006);
- PERES, L.F.: **Estimativa do Fluxo M6dio Di6rio de Radia76o de Onda Longa Emitido pela Superf6cie Terrestre Usando Dados do NOAA-AVHRR**; Disserta76o de monografia da UFRJ; (1999);
- PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Dispon6vel em <http://www.rio.rj.gov.br/planoestrategico/>. Acessado em: 08/08/2008;
- ROCHA, A. S.; **(Re)Pensando a Baixada Fluminense em um contexto da Regi76o Metropolitana do Rio de Janeiro: Sociedade, Territ6rio e Representa76o**;

- SAILOR, D.J.; LU, L.;, FAN, H.: **Estimating Urban Anthropogenic Heating Profiles and Their Implications for Heat Island Development**. International Conference on Urban Climate, 15, Lodz, Polônia, 2003. Lodz, Sessão Oral 28; (2003);
- SOUZA, A. L. F.; MASSAMBANI, O.: **Ilha de Calor Urbana na Região Metropolitana de São Paulo**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13, Fortaleza/CE, 2004. Anais, Fortaleza, SBMET, p. 565 – 584; (2004);
- SOUZA, M. L.: **O Desafio Metropolitano: Um estudo sobre a problemática sócio-espacial nas metrópoles brasileiras**; Bertrand Brasil; Rio de Janeiro; (2000);
- STULL, R.B.: **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**; Kluwer Academic Publishers; The Netherlands; (1980);
- TEZA & BAPTISTA: **Identificação do Fenômeno Ilhas Urbanas de Calor por Meio de Dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): Metrópoles Brasileiras**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – 2005; (2005);
- VOGT, J.: **Characterizing the Spatio-Temporal Variability os Surface Parameters From NOAA-AVHRR Data. A Case Study for Southern Mali**. CEC – IRC – IRSA, 1 – 74; (1992);
- YOSHIKADO, H.: **Numerical Study of the Daytime Urban Effect and its Interaction eith the Sea Breeze**. J. Appl. Meteor., 31, 1146 – 1164 pp; (1992).