

O CAMPO TERMO – HIGROMÉTRICO: ANÁLISE INTRAURBANA NO BAIRRO CAMPO GRANDE, RIO DE JANEIRO, RJ

THERMAL-HYGROMETRIC FIELD: AN INTRA-URBAN ANALYSIS IN CAMPO GRANDE NEIGHBORHOOD, RIO DE JANEIRO, RJ

Michele Souza da Silva¹, Cristiane Cardoso²

¹ Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Correspondência para: Michele Souza da Silva (michleal@hotmail.com)

doi: 10.12957/geouerj.2019.40950

Recebido em: 31 jul. 2018 | Aceito em: 19 out. 2018



RESUMO

A presente pesquisa traz uma análise do campo termo-higrométrico de duas áreas dentro do bairro Campo Grande, Rio de Janeiro, RJ, correspondendo ao centro do bairro e ao sub-bairro Rio da Prata. Visa-se examinar os resultados encontrados nas medidas de umidade relativa e temperatura do ar em campo e nas imagens de satélite com a temperatura de superfície, em datas específicas, coincidindo com o verão e o inverno do ano de 2016. Dessa forma, proporciona-se a investigação das áreas que detectaram ilhas de calor. Identificou-se a relação entre o uso e a ocupação do solo com as alterações na temperatura do ar e de superfície, e na umidade relativa do ar. Nas áreas onde a urbanização é menor e a vegetação se faz mais presente, há tendência à redução da temperatura, tanto da superfície como do ar, além do aumento da umidade relativa deste

Palavras-chave: Termo-Higrométrico. Clima Urbano. Ilha de Calor. Rio de Janeiro. Uso do Solo.

ABSTRACT

The present study brings an analysis about the thermal-hygrometric field in two different areas in Campo Grande neighborhood, in the city of Rio de Janeiro/RJ, which are the Center and a sub-neighborhood named as Rio da Prata. It was aimed to examine the results about relative air humidity and air temperature obtained during fieldworks using and also through satellite images showing the surface temperature, in two different days during summer and winter seasons of the year 2016, providing to identify heat island areas. It was able to identify a relation between land use and cover with air and surface temperature changes, as well to the relative humidity. This way, in the areas where the urbanization is lower and the vegetation is higher, there is a trend for a reduction on air and surface temperatures, beyond the increase on air humidity.

Keywords: Thermal-hygrometric. Urban climate. Heat Island. Rio de Janeiro. Use of the soil.

INTRODUÇÃO

O clima urbano vem sendo largamente investigado nos últimos 40 anos, sendo aplicado em diferentes escalas e realidades, e em várias cidades no Brasil. Para Monteiro (2003), a urbanização é uma realidade cada vez mais crescente, uma vez que as cidades vêm sendo modificadas para que haja a substituição do ambiente natural pelo construído. Isso gera, conseqüentemente, inúmeros transtornos

no que se refere ao conforto térmico, à qualidade do ar e aos impactos da alta pluviosidade, ocasionando enchentes pela baixa infiltração.

Por essa razão, as cidades, através das ruas asfaltadas, predominância de áreas concretadas, circulação de veículos automotores e verticalização das edificações, tornam-se grandes agentes modificadores do clima urbano. Todas essas circunstâncias alteram a umidade relativa do ar, a temperatura, a circulação dos ventos e a luminosidade, que, em conjunto, proporcionam uma sensação térmica elevada.

Portanto, na investigação do clima urbano, é necessário compreender os aspectos térmicos, higrométricos e pluviométricos. Nesta pesquisa, para analisar o campo térmico e higrométrico, a obtenção dos dados de temperatura e umidade relativa do ar tornou-se primordial, além de auxiliar na detecção das ilhas de calor (que são fundamentais para que se possa buscar formas de mitigá-las nas áreas urbanas).

O presente estudo tem como principais objetivos analisar o campo termo-higrométrico e identificar formações de ilhas de calor no bairro Campo Grande, localizado no município do Rio de Janeiro. O bairro possui grande extensão territorial e a existência de diversos microclimas, associados principalmente ao uso e ocupação do solo. Portanto, na análise desses microclimas foram selecionadas duas áreas: o Centro, que possui uma predominância de uso comercial e residencial com menor cobertura arbórea; e o sub-bairro Rio da Prata, com uso residencial e comercial de baixa densidade, com maior área de vegetação.

A vegetação da região é, principalmente, favorecida pela sua proximidade à vertente norte do maciço da Pedra Branca. Trata-se de uma área de proteção ambiental, sobretudo no interior do maciço, por meio da existência da unidade de conservação do Parque Estadual da Pedra Branca, criado em 1974. Sendo assim, o sub-bairro Rio da Prata está inserido nesta zona de amortecimento.

A necessidade de investigar o campo térmico e higrométrico dessas duas áreas tem como finalidade associar a influência do uso e ocupação do solo com as diferenças de temperatura e de umidade relativa do ar, e o favorecimento na formação das ilhas de calor. Como destaca Landsberg (1981), essas formações são reflexos da totalidade das alterações no microclima provocada, principalmente, pela ação humana na superfície urbana.

Dentre os métodos para a análise do campo termo-higrométrico em uma área urbana, optou-se pelo uso das coletas móveis (transectos), registrando os dados em pontos representativos. Elas foram realizadas em três horários de um dia, verificando a temperatura e a umidade relativa do ar, com o auxílio de um termo-higrômetro digital, em conjunto com as observações das condições atmosféricas atuantes. Ademais, utilizou-se o sensoriamento remoto por meio da elaboração de mapas de temperatura de superfície com imagens do satélite Landsat-8. São métodos ressaltados por Gartland (2010) como ideais para a investigação das áreas mais quentes nos centros urbanos. Escolheu-se dois períodos do ano considerados importantes para a pesquisa: as estações verão e inverno.

Estudos do clima urbano, principalmente para a detecção de ilhas de calor, são bastante realizados pela metodologia da coleta de dados meteorológicos executados por Brandão (1996) e Lucena (2005), no Rio de Janeiro. Atualmente, o uso do sensoriamento remoto com a análise da temperatura de superfície também possui um espaço relevante nos estudos do campo térmico. Por exemplo, os desenvolvidos por Quattrochi e Luvall (1997) ao utilizarem sensores remotos com imagens diurnas e noturnas no Alabama e na cidade de Huntsville, associando a temperatura da superfície com o uso e cobertura do solo, podendo, assim, identificar os efeitos das ilhas de calor. E também Lucena (2012), na detecção de ilhas de calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Caracterização da área de estudo

O bairro Campo Grande está localizado na Zona Oeste do município do Rio de Janeiro, que é dividido em Zona Oeste, Zona Norte, Zona Sul e Centro, na latitude $22^{\circ}54'01.86''S$, longitude $43^{\circ}34'01.00''O$, fazendo parte das AP5 (área de planejamento 5) e XVIII Região Administrativa da

cidade, como apresentado na Figura 1. A população da cidade gira em torno de 328.370 habitantes, de acordo com o censo do IBGE de 2010. Nele se localiza o Centro e sub-bairro Rio da Prata, ambos ilustrados na Figura 2.

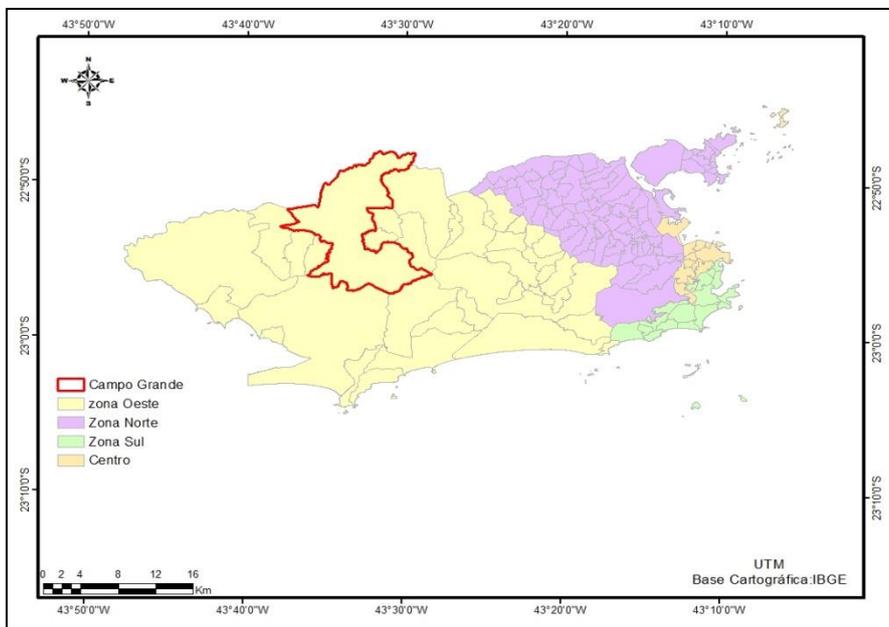


Figura 1. Mapa zonas do município do Rio de Janeiro. Fonte:Silva (2017) a partir de dados do IBGE (2010).

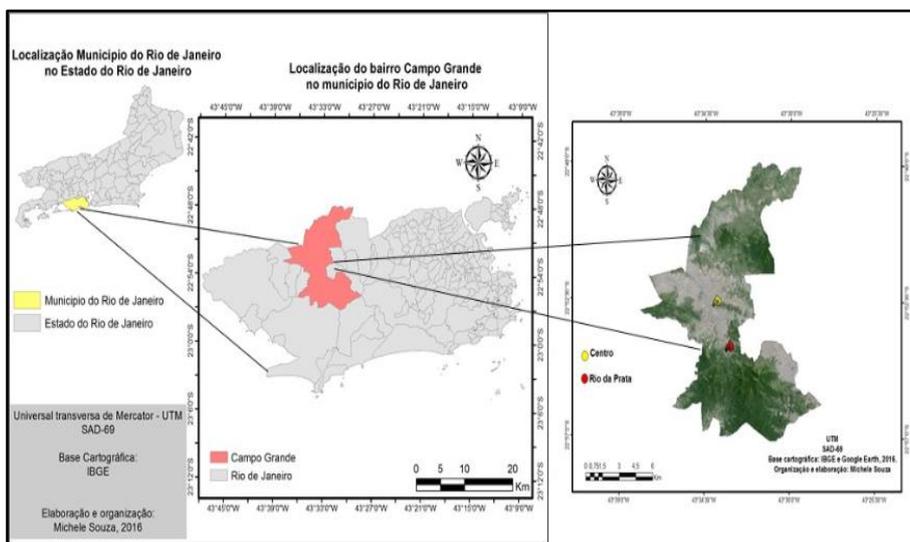


Figura 2. Mapa de localização bairro Campo Grande abrangendo o sub-bairro Rio da Prata e o Centro. Fonte: Silva (2017) a partir de dados do IBGE (2010).

Considerando as características climáticas e os sistemas atuantes na Região Sudeste, o clima do município do Rio de Janeiro, de acordo com a classificação climática de Köppen, está inserido no clima

Aw. Isto é, clima tropical com chuvas no verão e estação mais seca no inverno, conforme pode ser observado na Figura 3. O clima local do bairro Campo Grande associa-se ao clima do município do Rio de Janeiro.

Dentro das escalas climáticas, de acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), clima local é aquele que possui uma extensão de 2.000 km até 10 km, podendo abarcar uma cidade pequena ou um bairro. As características do clima do bairro Campo Grande são verões chuvosos e quentes, com temperaturas médias superiores a 27°C e precipitação maior que 100 mm, e invernos com temperaturas mais amenas, com média não inferior a 20°C e com a diminuição na precipitação, que fica abaixo dos 70 mm. O centro do bairro, por ser mais urbanizado, é mais quente e seco. Já as áreas próximas ao maciço da Pedra Branca costumam ser mais frescas e úmidas, por conta da vegetação mais preservada

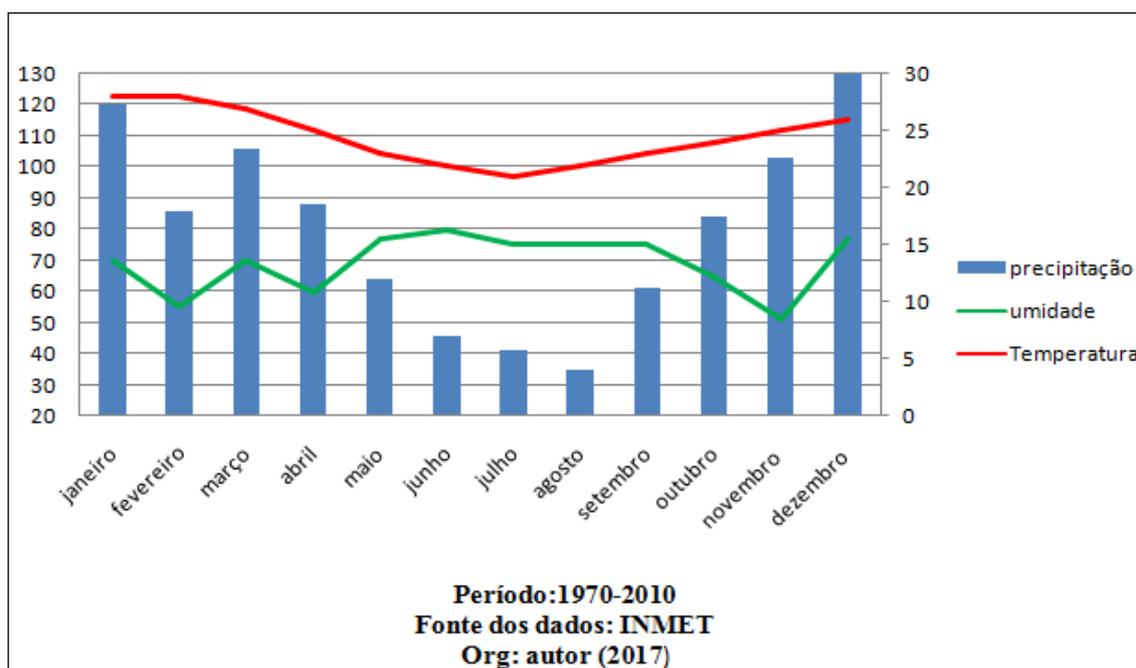


Figura 3: Média compensada da temperatura, precipitação e umidade relativa do ar. Fonte: elaborado pelas autoras a partir de dados do INMET

Fatores como relevo, vegetação e urbanização assumem o destaque no clima local do bairro Campo Grande e são essas variáveis que influenciam na temperatura, na umidade relativa do ar e na precipitação. O Rio de Janeiro apresenta características específicas do relevo que contribuem na diversificação climática.

O relevo acentuado e diversificado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e a proximidade do oceano Atlântico e das Baías da Guanabara e de Sepetiba contribuem para a grande variabilidade espacial dos elementos meteorológicos (DERECZYNSKI,et.al., 2011, p.43).

No bairro Campo Grande, o relevo tem uma grande importância no clima, pois o maciço da Pedra Branca atua como uma barreira para os ventos úmidos que vêm do oceano. Na Figura 4 podemos ver a influência do maciço no clima do bairro Campo Grande. A vegetação é um ponto de destaque, uma vez que está mais presente nas proximidades do maciço da Pedra Branca e nos morros que circundam o bairro. Além disso, há a presença de arborização e vegetação nas áreas de baixadas, o que melhora o conforto térmico e higrométrico.



Figura 4. Esquema demonstrando a área de Barlavento e de Sotavento. Fonte: Google Earth (2016).

MATERIAL E MÉTODOS

No desenvolvimento da análise do campo térmico e higrométrico dentro do bairro Campo Grande para as áreas selecionadas (Rio da Prata e Centro), foram seguidas algumas etapas para a obtenção dos resultados. São elas: coleta (temperatura e umidade relativa) em pontos específicos, elaboração de mapas termais (considerando datas que coincidisse com as estações do verão e inverno). E também elaboração de mapas de NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), a partir de imagens do satélite Landsat-8, em colaboração com a plataforma da USGS(United States Geological Survey).

O satélite foi lançado pela NASA em 11 de fevereiro de 2013, operando a uma altitude de 705 km com órbita circular heliosíncrone e inclinação de 98,2°. O equipamento opera com o sensor OLI (Operational Land Imager) com nove bandas espectrais e resolução de 30 metros e o sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor), com duas bandas espectrais infravermelho: a banda 10 (10600-11190 nm) e a banda 11 (11500-12510 nm), com resolução espacial de 100 metros.

Coleta móveis de dados

A coleta de dados em pontos específicos teve como finalidade obter os registros de temperatura e umidade relativa do ar. Nos estudos do clima urbano, são muito utilizados a coleta em pontos fixos com a instalação de mini estações meteorológicas. O registro dos dados pode ocorrer, por exemplo, a cada hora. O monitoramento móvel (transectos), por sua vez, pode ser realizado por um automóvel, com uma bicicleta ou a pé, caminhando, percorrendo um determinado trajeto e parando em locais representativos para registrar as medidas meteorológicas.

Gartland (2010) ressalta que esse método pode ser utilizado a qualquer hora do dia ou da noite. Ainda de acordo com a autora, o monitoramento móvel é uma maneira econômica de estudar ilhas de calor em áreas urbanas e suburbanas. E destaca que a desvantagem na utilização deste método é a impossibilidade de obter medições simultâneas em diferentes localidades.

Nesta pesquisa, optou-se pela utilização da metodologia de monitoramento móvel, pois foram encontradas algumas barreiras para a instalação de pontos fixos. Entre elas: a área da pesquisa ser urbana, com centro comercial, grande circulação de pessoas, inviabilizando a instalação de mini estações meteorológicas. A outra se refere à falta de recursos financeiros e, portanto, à ausência de mais instrumentos meteorológicos, estando disponível apenas um. As medições foram realizadas a pé, por um observador que fez os registros em pontos específicos no Centro e no sub-bairro Rio da Prata do bairro de Campo Grande.

Esses pontos foram selecionados considerando as características geourbanas e ambientais. Escolheram-se quatro pontos dentro do Centro e quatro pontos no sub-bairro Rio da Prata, totalizando oito pontos. Tudo isso pode ser visualizado nas Figuras 5 e 6. Cada ponto possui aspectos específicos, relacionados sobretudo às influências urbanas que podem interferir na umidade relativa e temperaturas do ar. Todos os pontos estão localizados na vertente norte do Maciço da Pedra Branca, ou seja, a Sotavento.

O ponto 1 é localizado no centro do bairro de Campo Grande, com altitude de 24 metros, na Rua Aurélio de Figueiredo, calçada do Shopping Passeio, próximo à rua transversal Viúva Dantas. Possui pouca arborização e, por estar próximo a uma via principal, há uma grande circulação de veículos no período das 8h até 19h. A circulação dos ventos ocorre com maior fluidez devido à largura da via e à pouca quantidade de prédios com mais de quatro andares.

O ponto 2 também é localizado no centro do bairro, na Rua Viúva Dantas, com altitude de 32,8 metros, próximo à Rua José Ferreira. Possui uma circulação de veículos mais reduzida, sendo uma rua de acesso para o calçadão de Campo Grande (área com predomínio de lojas comerciais destinadas exclusivamente para pedestres) com pouca arborização. É uma área com intensa circulação de pedestres, com comércios e prédios que contam com, no máximo, três pavimentos, com exceção de alguns prédios superiores a isso.

O ponto 3 fica na Rua Coronel Agostinho, no calçadão de Campo Grande, com altitude de 33,2 metros, tendo como rua de esquina a Rua Major de Almeida Costa. É um local com grande concentração de comércio, sem circulação de veículos, exclusivamente para pedestres. Por isso, conta com um intenso fluxo de pessoas durante o horário comercial, das 9h até 19h, contendo uma arborização em vários trechos da rua.

O ponto 4, no centro, está localizado na Rua Campo Grande, com altitude de 22 metros, próximo ao início da Rua Barcelos Domingos e do túnel de Campo Grande. É uma área com baixa arborização, com

intensa circulação de veículos, quadras mais estreitas, com atividade comercial e, portanto, comum grande fluxo de pessoas no local.

O ponto 5, localizado no sub-bairro Rio da Prata, possui altitude de 41,6 metros e é um local com circulação de veículos. A estrada do Cabuçu é uma via principal que termina no centro de Campo Grande e dá acesso a outros sub-bairros localizados nas proximidades ao longo da estrada. O ponto de coleta fica próximo à Rua Adauto Câmara, que possui arborização nas proximidades, sendo uma área com predomínio residencial.

O ponto 6 é localizado no Rio da Prata, com altitude de 41,6 metros, arborizado, com circulação de veículos, atividade de restaurantes e comércio, construções de até dois pavimentos, e também pessoas circulando em menor intensidade durante o dia. No período noturno, aumenta o número de pessoas e de veículos devido ao funcionamento dos bares e restaurantes.

O ponto 7, localizado no final da Estrada do Cabuçu, na praça Mário Valadares, tem uma altitude de 41,6 metros. Fica no sub-bairro Rio da Prata, próximo à Igreja Católica. O local possui arborização na praça, que é pavimentada, e uma pequena extensão, com grande arborização no entorno do ponto, comércio e residências nas proximidades.

O ponto 8, também no Rio da Prata, é localizado em uma área com maior altitude 69,4 metros e via de acesso para o maciço da Pedra Branca. A área é localizada na vertente norte do maciço, com pavimentação e arborização significativa, e pouca circulação de veículos. É exclusivamente residencial, possui uma densidade de habitações mais baixa e controlada, considerando que o local faz parte da zona de amortecimento do Parque Estadual da Pedra Branca, uma área de proteção ambiental e que, portanto, necessita que as construções de residências sejam controladas.

As coletas ocorreram nos dias 05 de fevereiro de 2016 (correspondendo à estação verão) e 30 de julho de 2016 (correspondendo à estação inverno), em três horários distintos: 07h, 14h e 19h, contemplando os três períodos do dia (manhã, tarde e noite). O instrumento de uso era digital da marca Instrutherm, modelo THAB-500, que possui funções de medir a temperatura, a umidade relativa do ar, a velocidade dos ventos e a pressão atmosférica.

Como a principal investigação desse trabalho foi a análise térmica e higrométrica, utilizou-se a função termo-higrômetro do instrumento. As coletas dos dados foram realizadas pelo próprio observador e, dessa forma, algumas medidas foram tomadas em cada ponto fixo para minimizar as interferências externas no termo-higrômetro. Por exemplo, manter o instrumento a 1,5 metros de distância do solo para minimizar a influência da temperatura da superfície e afastar o instrumento a 60 centímetros do observador, para que o calor do corpo não influencie na temperatura e na umidade relativa registrada.

Como orienta Blair (1964) e também salientam Alves e Biude (2012), foi utilizada uma fita métrica para que, de fato, essas distâncias fossem respeitadas. Na escolha dos pontos também foram levados em consideração locais que permitissem a livre circulação do ar e que houvesse sombra para reduzir a incidência direta dos raios solares no instrumento no momento dos registros. Cabe destacar que o instrumento não foi colocado dentro de um abrigo, pois este não permaneceu fixo nos locais durante todo o dia, sendo utilizado no momento em que foram realizadas as aferições de temperatura e umidade relativa do ar nos pontos selecionados.

Para a observação das condições atmosféricas, foram utilizadas cartas sinóticas que estão disponíveis no site do CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), a fim de analisar os sistemas atuantes e as entradas de frentes.

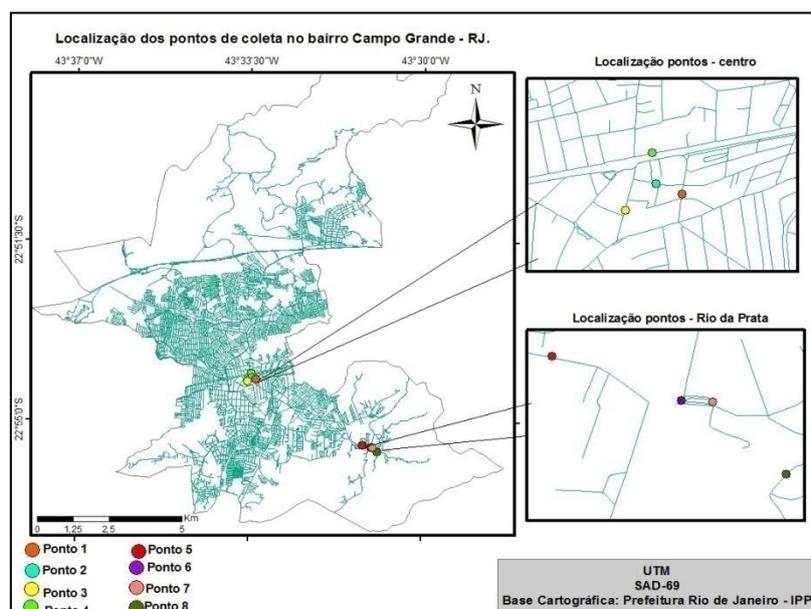


Figura 5. Localização dos pontos no centro e no Rio da Prata. Fonte: Silva (2017) a partir de dados do IPP, Rio de Janeiro (2008).

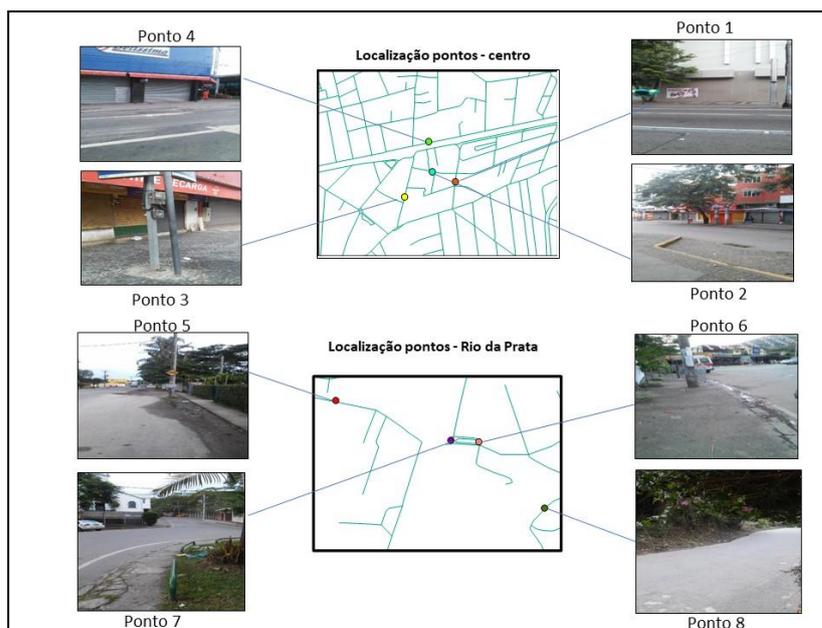


Figura 6. Distribuição dos pontos com as fotos. Fonte: Fotos (Silva, 2017).

Para a sistematização dos dados coletados nos pontos, foram construídos gráficos com os resultados encontrados no *software* Excel®, com temperatura e umidade relativa do ar registradas nos três períodos dos dias.

Construção de mapas de uso e ocupação do solo e de NDVI

O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado a partir de um arquivo *shapefile*, fornecido pelo IPP (Instituto Pereira Passos) do Rio de Janeiro, realizando, a partir do arquivo, o recorte do bairro Campo Grande.

A partir da imagem de satélite do Landsat-8 para o ano de 2015, foi realizado o mapa de NDVI. Ele estabelece a diferença entre a máxima absorção de radiação, que ocorre devido à presença de clorofila na vegetação, e a máxima reflexão da radiação na região do infravermelho próximo, com as primeiras análises realizadas por Rouse et al. (1974) ao índice de vegetação dos corredores de pastagens, o TVI (Índice de Vegetação Transformada), com a utilização das bandas 5 e 7 do Landsat-1.

Para Tucker e Sellers (1986), as estruturas das folhas mostram variações na absorção e reflexão da radiação solar proveniente da copa das árvores e plantas. A folha possui características de

interceptação de radiação ligadas à fotossíntese e à evapotranspiração, podendo inferir no índice de vegetação a partir de medições da energia solar que é refletida. Portanto, o NDVI vem sendo utilizado por mostrar sinais de existência de vegetação nas áreas analisadas

O NDVI é obtido pela fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{pIVP} - \text{pV}) / (\text{pIVP} + \text{pV}) \quad (1)$$

Onde:

pIVP = valor de reflectância da banda infravermelho próximo

pV = valor de reflectância da banda vermelho

As imagens foram tratadas e, por meio da fórmula acima, foram gerados os mapas de NDVI no *software* ArcGis®. A variação das cores corresponde aos valores de <0 e 1, sendo que os valores mais próximos de zero indicam que a área possui menos vegetação e os valores mais próximos de 1, áreas com maior índice de vegetação.

Elaboração de mapas de temperatura de superfície

Utilizou-se a banda 10 do satélite Landsat-8 das imagens adquiridas do município do Rio de Janeiro nas datas de 31 de janeiro de 2016 (coincidindo com a estação verão) e 26 de agosto de 2016 (coincidindo com a estação inverno), na órbita/ponto:217/076, às 12h52m. Em seguida, as imagens foram tratadas no *software* ArcGis® e aplicadas as fórmulas na calculadora *raster*.

Pela realização das etapas para o processamento das imagens até a obtenção da temperatura de superfície, neste trabalho, desenvolveu-se a metodologia para a obtenção da temperatura do topo da atmosfera, pois o principal objetivo é analisar a espacialização da temperatura no bairro Campo Grande, especificamente no Centro e sub-bairro Rio da Prata. Não foram realizadas as correções da radiância, da emissividade e dos efeitos atmosféricos, conforme realizados nos trabalhos de Giannini et.al.(2015), Rajeshwari e Mani (2014) e Yuet.al. (2014).

Na primeira etapa foram convertidos os níveis de cinza da banda 10 para a radiância espectral (TOA) por meio da equação:

$$L\lambda = M_L \cdot Q_{CAL} + A_L \quad (2)$$

Onde:

$L\lambda$ = Radiância espectral (W/ m²·sr·μm)

M_L = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda (3.3420E-04)

Q_{cal} = Valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN)

A_L = Fator aditivo de redimensionamento da banda (0.1000)

Após a conversão para a radiância espectral, foi preciso converter em temperatura em escala Kelvin (temperatura de brilho) utilizando a equação:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

Onde:

T = Temperatura sem correção atmosférica (Kelvin)

$K1$ = Constante de calibração 1 (774.89 W/ m² srμm)

$K2$ = Constante de calibração 2 (1321.08 K)

$L\lambda$ = Radiância espectral (W/m² srμm)

Na última etapa, a temperatura da superfície é transformada da escala Kelvin para graus Celsius (C°) por meio da subtração: $T_S - 273.15$. O *layout* final dos mapas de temperatura da superfície foi elaborado no *software* ArcGis®, utilizando a base cartográfica no formato *shapefile* do bairro Campo Grande, sendo possível, assim, analisar o comportamento térmico da superfície nos dois períodos do ano de 2016.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados e apresentados a seguir trazem os dados obtidos das coletas nos pontos e as imagens termais para as duas estações, verão e inverno, além do NDVI e o mapa de uso e ocupação do solo, que complementam a análise. Em relação aos resultados das coletas, foi realizada análise das temperaturas registradas nos pontos, identificando os que apresentaram as maiores temperaturas nos três períodos do dia e mostrando o grau de intensidade da ilha de calor registrada. Para tal, utilizou-se a classificação de García (1996), conforme apresentado na Tabela 1

C°	Intensidade da ilha de calor
0° a 2°	Fraca
2° a 4°	Média
4° a 6°	Forte
> 6°	Muito forte

Tabela 1. Classificação da intensidade das ilhas de calor. Fonte: Silva(2017) a partir de dados de García, Fernández (1996).

Coletas móveis nos pontos - verão de 2016

No dia 05 de fevereiro, as condições sinóticas fornecidas pelo CPTEC/INPE mostraram a atuação de um sistema frontal no Oceano Atlântico com um sistema de baixa pressão, localizado a 60°S e 35°W, no período da manhã. À tarde, passamos a ter a Alta Pressão Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), centrado em torno de 35°S e 28°W e mantendo-se à noite. As atuações desses sistemas garantiram a ausência de nebulosidade sobre o estado do Rio de Janeiro.

Os registros encontrados durante as coletas nos pontos no período da manhã tiveram início no Centro e mostraram que, no ponto 1, a temperatura foi de 27,6°C. A temperatura registrada no ponto 4 foi de 28,2°C e a umidade relativa do ar ficou entre 70% e 75%, registrando, assim, uma ilha de calor de fraca intensidade no mesmo ponto. No Rio da Prata, o ponto 5 registrou a maior temperatura: 30,7°C, e o ponto 8 teve registro de 27,6°C, o que nos mostra uma formação de ilha de calor de intensidade média no ponto 5 (a umidade relativa ficou entre 67% e 80%).

À tarde, as medições tiveram início no Rio da Prata, verificando que, no ponto 6, a temperatura foi de 38,5°C e no ponto 8, 34°C, com uma ilha de calor forte no ponto 6 (a umidade relativa do ar teve uma grande queda, ficando entre 35% e 50%). No Centro, a maior temperatura foi registrada no ponto 4,

com 40°C, e a menor no ponto 1, 37,5°C, registrando uma ilha de calor média no ponto 4 (a umidade relativa ficou entre 35% e 40%).

À noite, a temperatura já sofre uma redução e ocorre um aumento na umidade relativa do ar. No Rio da Prata, o ponto 8 (Estrada da Batalha) registrou 30,8°C e o ponto 5, 31,7°C, com a maior temperatura, mostrando a formação de uma ilha de calor de fraca intensidade no ponto 5 (a umidade relativa do ar ficou entre 55% e 65%). No Centro, a maior temperatura foi registrada no ponto 1, com 33,2°C, e a menor no ponto 2, com 32,8°C, mostrando uma formação de uma ilha de calor no ponto 1 de fraca intensidade (a umidade relativa ficou entre 50% e 55%).

A partir da leitura do Gráfico 1, de temperatura, e do Gráfico 2, de umidade relativa do ar, pode-se perceber as mudanças que ocorrem nos registros dos oito pontos, principalmente na parte da tarde.

Com o objetivo de validar essa afirmação elaborou-se as figuras 9 e 10, que representam em gráficos, a partir da estatística, a variação da precipitação, considerando a rede densa de pluviômetros ao longo das 24 horas dos episódios. Ambas as figuras permitem destacar que, durante as horas que marcam as chuvas mais intensas nos episódios de inundações, a variação entre os 40 e 42 pluviômetros alcança valores superiores ao 100% de variação (Figuras 9 e 10).

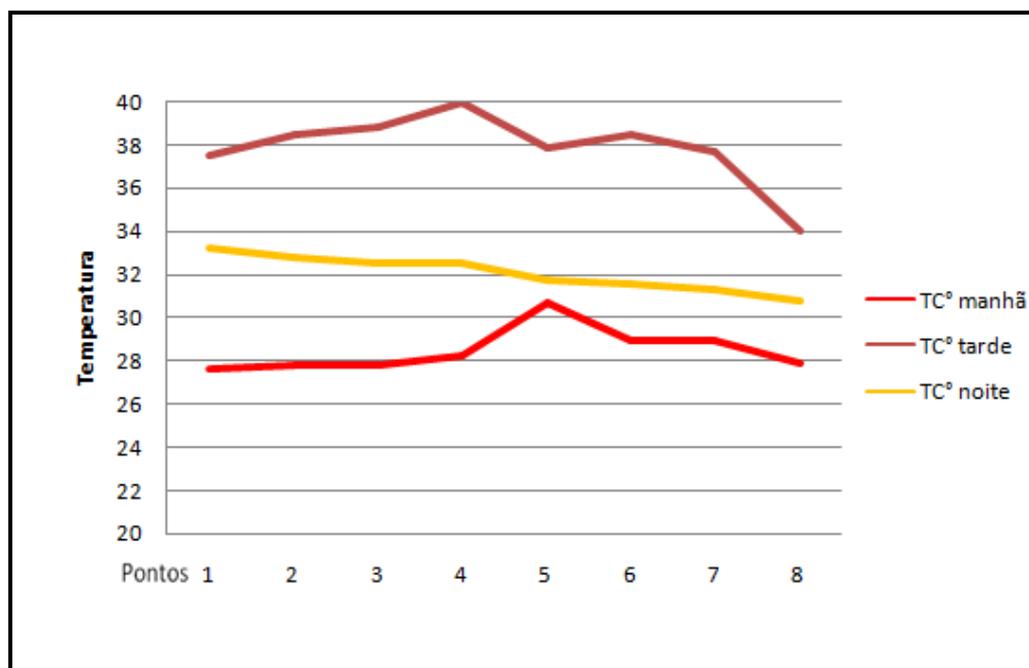


Gráfico 1. Temperatura do ar registrada nos pontos em 05 de fevereiro de 2016. Fonte: Silva (2016).

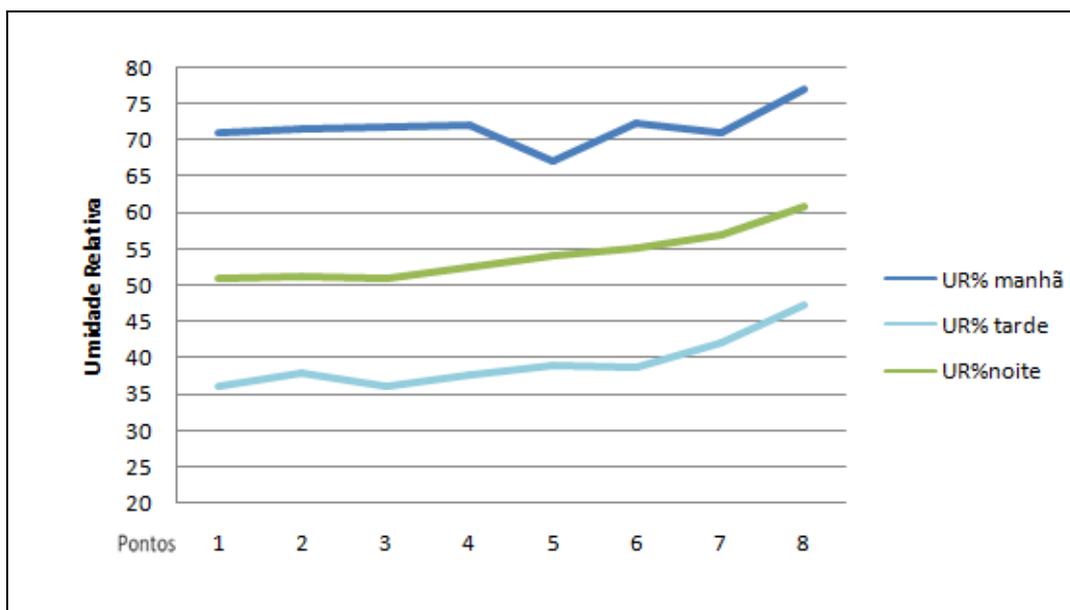


Gráfico 2. Umidade relativa do ar registrada nos pontos em 05 de fevereiro de 2016. Fonte: Silva (2016).

Coletas móveis nos pontos - inverno de 2016

No dia 30 de julho de 2016, a partir das condições sinóticas fornecidas pelo CPTEC/INPE, tem-se, no período da manhã, a atuação de um sistema de Alta Pressão (Pós-Frontal) sobre o Atlântico no litoral Sul e Sudeste do Brasil. Esse sistema permaneceu durante todo o dia, favorecendo a ausência de nebulosidade no estado do Rio de Janeiro.

Na parte da manhã, no Centro, os pontos 1 e 2 registraram temperatura de 21,5°C. Já no ponto 3, a temperatura foi 20,9°C, apontando para alterações pequenas entre os pontos e mostrando a formação de uma ilha de calor de fraca intensidade (a umidade relativa ficou entre 70% e 75%). No Rio da Prata, o ponto 5 registrou a temperatura de 24,6°C e o ponto 8, 21,4°C, mostrando uma ilha de calor de média intensidade no ponto 5. A higrometria nesse ponto foi de 65% e foram aferidas temperaturas maiores na parte da manhã.

No período da tarde no Rio da Prata, no ponto 8, a temperatura registrada foi de 23°C. No ponto 7, a temperatura ficou em 26,6°C, com uma ilha de calor de intensidade média (a umidade relativa do ar ficou em torno de 60% a 75%). No Centro, a maior temperatura foi registrada no ponto 4, com 27,8°C, e a menor no ponto 1, com 26°C, mostrando a formação de uma ilha de calor de fraca intensidade e com uma umidade relativa entre 50% e 60%.

À noite, as temperaturas tiveram poucas alterações. A maior temperatura foi encontrada no ponto 5, com 23,9°C, e a menor no ponto 6, 23,2°C. A ilha de calor verificada foi de fraca intensidade e a umidade relativa do ar manteve-se entre 65% e 70%. No centro, o ponto 1 teve a maior temperatura registrada, com 24,2°C, e a menor no ponto 3, com 22,6°C (com uma ilha de calor de fraca intensidade e a umidade relativa nos pontos entre 65% e 75%).

Conforme Gráficos 3 e 4, referentes à temperatura e à umidade relativa do ar, observa-se a evolução de cada uma durante os períodos do dia.

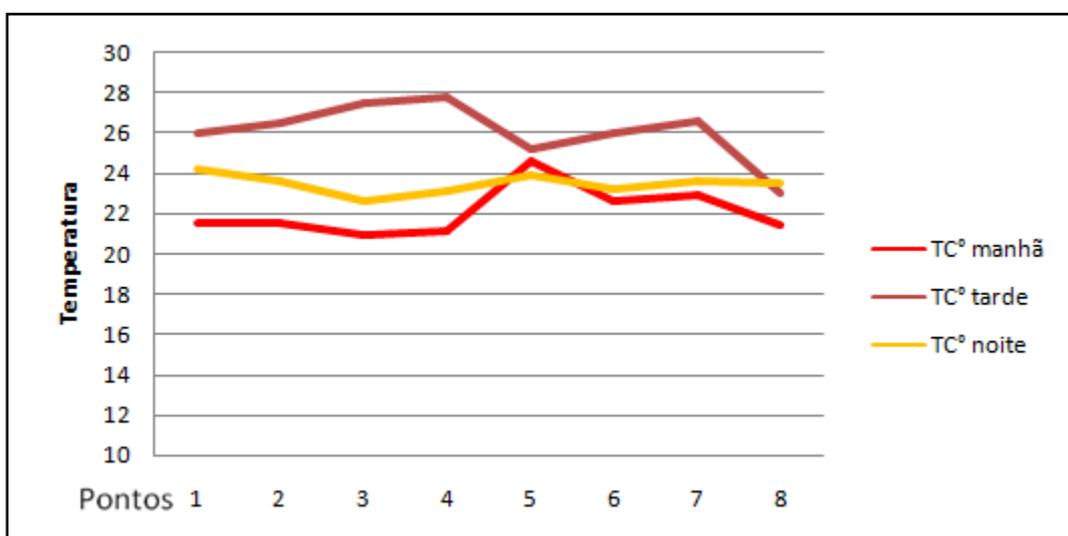


Gráfico 3. Temperatura do ar registrada nos pontos em 30 de julho de 2016. Fonte: Silva (2016)

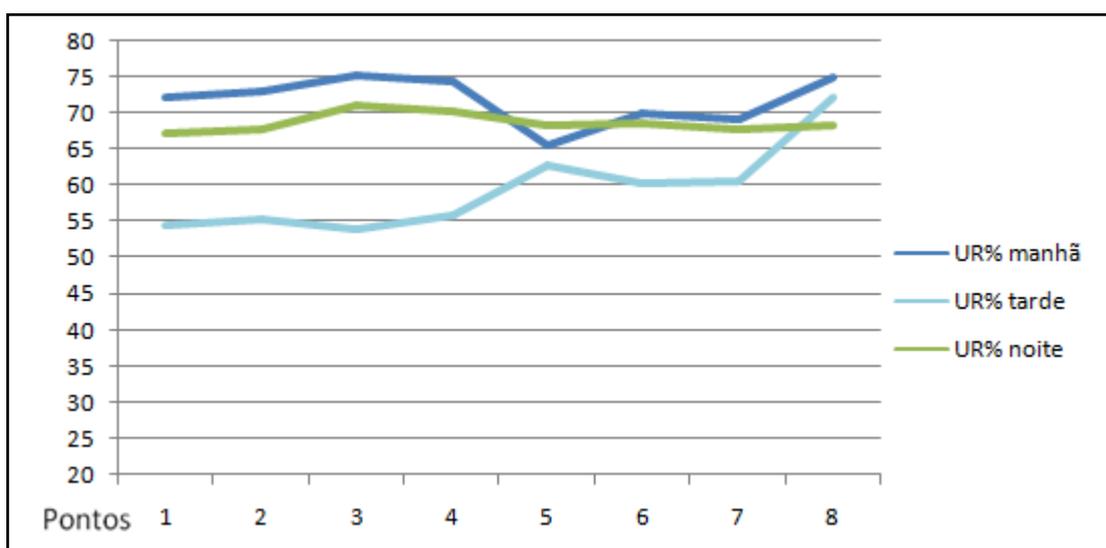


Gráfico 4. Umidade relativa do ar registrada nos pontos em 30 de julho de 2016. Fonte: Silva (2016)

Temperatura de superfície

O uso do sensoriamento remoto a partir da banda termal obtém a temperatura da superfície. Nesse caso, inclui vegetação, as construções urbanas e o solo que emite calor. Voogt e Oke (2003) salientam que o sensoriamento remoto termal é um caso especial de observação da temperatura superficial, que varia de acordo com a resposta do equilíbrio energético. A temperatura da superfície resultante incorpora os efeitos das radiações superficiais e termodinâmicas, incluindo a umidade da superfície e a emissividade superficial, entrada da radiação solar e os efeitos da superfície próxima à atmosfera.

Weng (2001) analisou os impactos da expansão urbana em Zhuijeng, localizada no Delta Sul da China, no que se refere à temperatura da superfície, utilizando os dados obtidos nas imagens do Landsat e as ferramentas do SIG. Stathopoulou et.al.(2003), por meio dos mapas de temperatura, comprovou que a intensidade das ilhas de calor não está relacionada ao tamanho, mas sim ao grau e tipo de desenvolvimento urbano das cidades, observando uma forte relação entre a temperatura da superfície e os recursos da cobertura do solo. Pelo mapa de uso e ocupação do solo do bairro Campo Grande (Figura 7), pode-se constatar, a partir da comparação com os mapas de temperatura de superfície, a grande relação dos usos do solo com a variação das temperaturas.

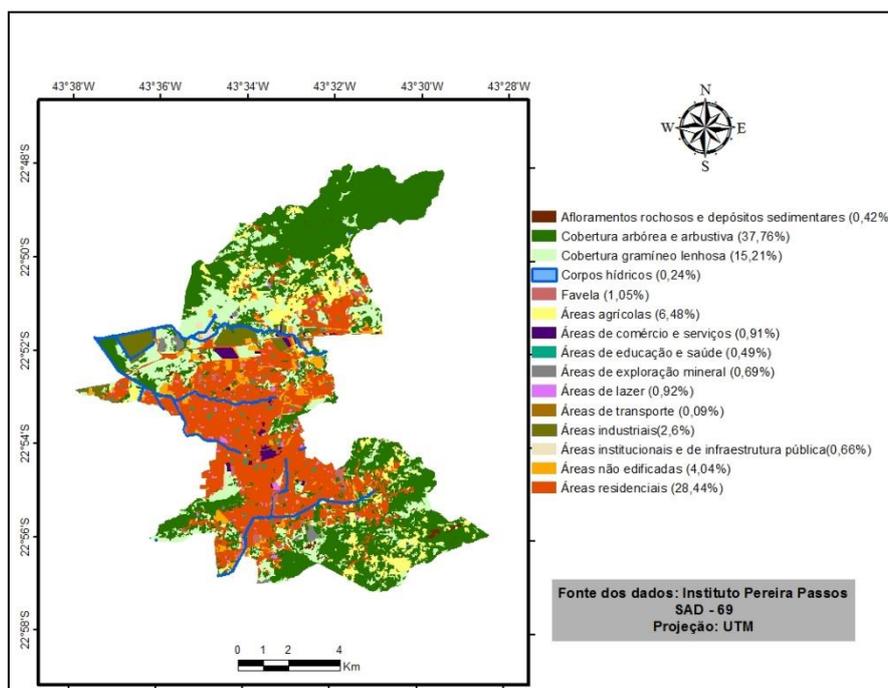


Figura 7– Mapa de uso e ocupação do solo do bairro Campo Grande – 2012. Fonte: Silva (2017) a partir de dados do IPP (2012)

Na Figura 8, o mapa de NDVI, de 2015, mostra um panorama mais atual da situação da vegetação. Já é possível perceber, em todo município, uma redução da vegetação e uma maior quantidade de áreas urbanizadas com solo exposto. No bairro Campo Grande a análise também cabe, pois se observa um aumento dos tons laranja e o tom vermelho em alguns pontos chegando às vertentes dos maciços, revelando o quanto a mancha urbana aumentou e a vegetação vem sendo reduzida.

Ainda assim, bairros como Campo Grande possuem um maior índice de vegetação, quando comparado com os bairros da Zona Norte. A maior parte da vegetação em Campo Grande está localizada, principalmente, próxima aos maciços da Pedra Branca e do Mendanha. Devido a maiores dificuldades de ocorrer uma ocupação urbana nestes locais, a área de baixada foi priorizada para a ocupação, resultando em seu desmatamento.

A vegetação é um fator muito importante para o clima do bairro, uma vez que, como já mencionado, os maciços formam uma barreira natural para a umidade que vem do oceano. Sendo assim, garante um maior conforto térmico e higrométrico. Normalmente, nas áreas com vegetação preservada, a tendência é que as temperaturas sejam amenizadas e ocorra um aumento na umidade do ar. Portanto, existe a necessidade de ampliar a arborização nas áreas urbanas do bairro e preservar a vegetação dos maciços.

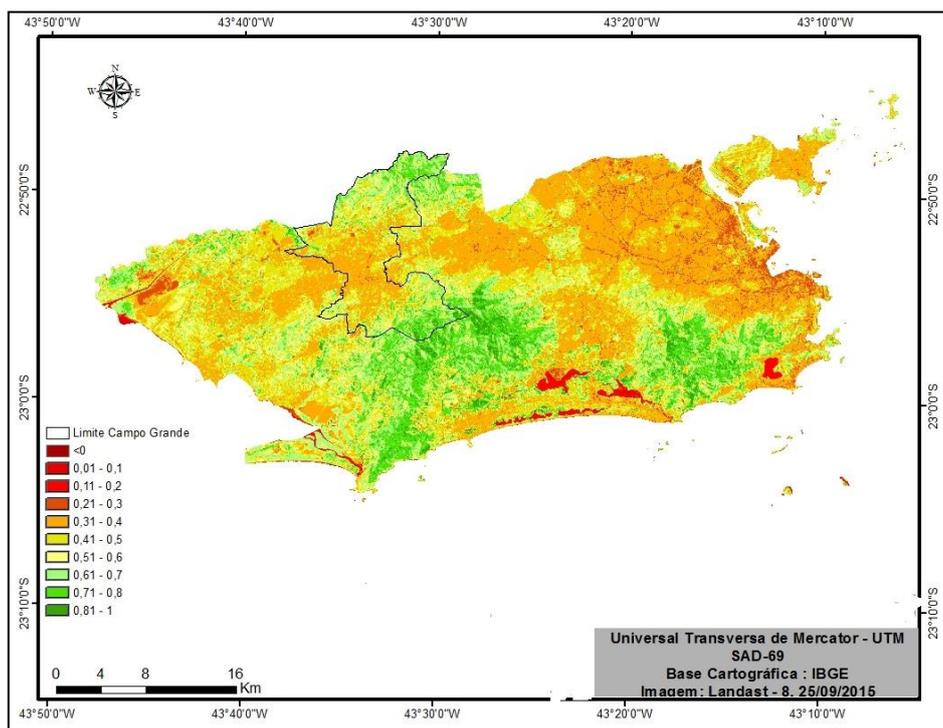


Figura 8 -Mapa de NDVI de 2015. Fonte: Elaborado por Silva (2017), a partir de imagem Landsat-8.

As influências do uso do solo podem ser confirmadas nas imagens termais de satélite. Pela leitura do mapa de temperatura de superfície do dia 31 de Janeiro (Figura 9), na estação verão,o Rio da Prata apresenta temperaturas entre 31,6°C e 32,6°C.Nas proximidades do maciço da Pedra Branca as temperaturas diminuem, ficando entre 26,9°C e 28°C. O Centro apresentou as maiores temperaturas: entre 33,7°C e 38,6°C.

O mapa de temperatura da superfície do dia 26 de agosto (Figura 10), correspondente ao inverno, observa-se uma redução nas temperaturas devido à própria estação do ano - pois as temperaturas ficam mais baixas. No Centro, predominam as tonalidades de laranja, com temperaturas entre 25,9°C a 26,7°C, e de 26,8°C a 27,7°C e alguns pontos apresentam temperaturas menores. No Rio da Prata, a faixa de temperatura predominante é de 22,2°C a 23°C, e de 23,6°C a 24,8°C, com as tonalidades de azul e verde.

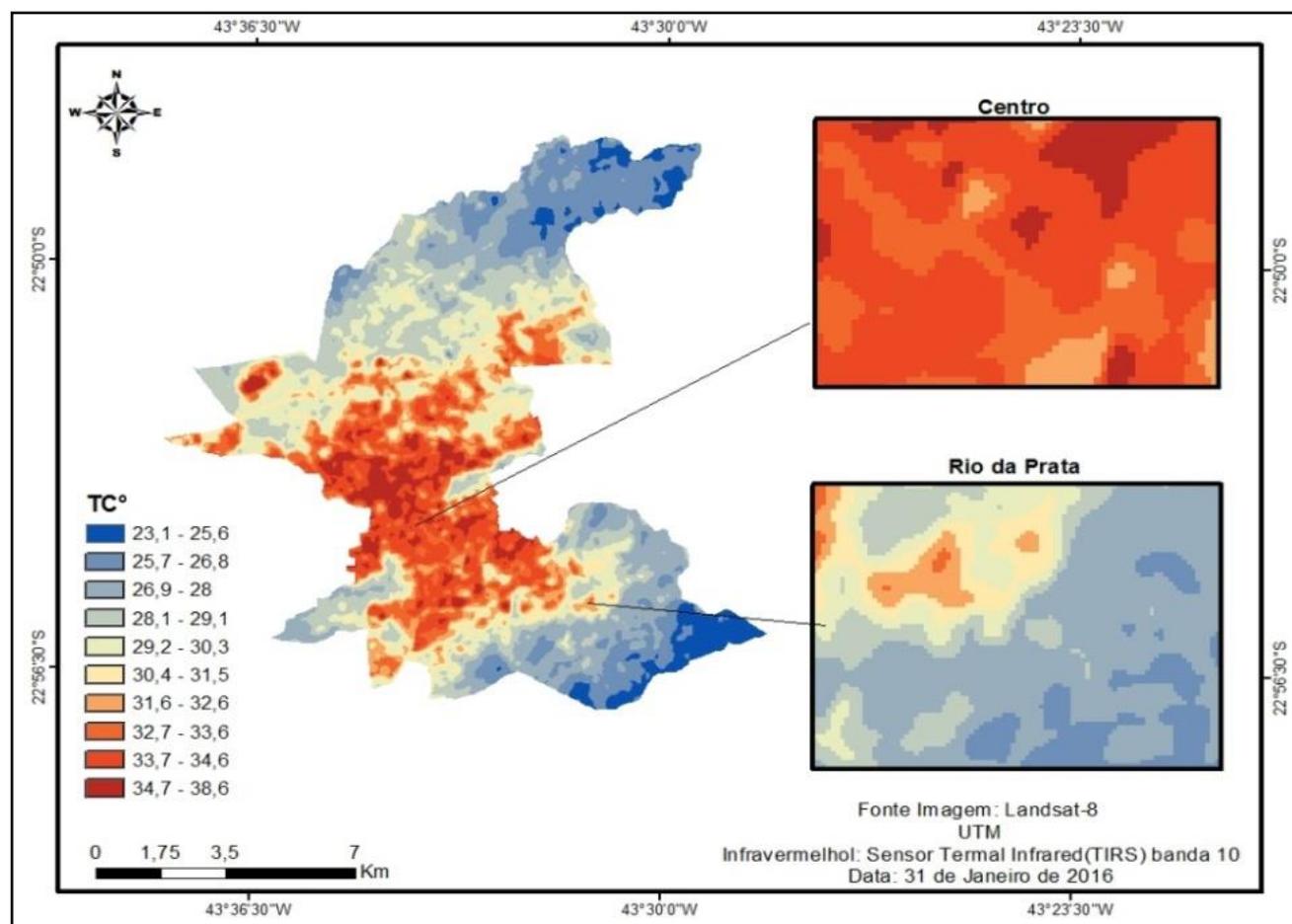


Figura 9- Mapa de temperatura de superfície de 31 de Janeiro de 2016. Fonte: Elaborado por Silva (2017) a partir de Imagem Landsat-8.

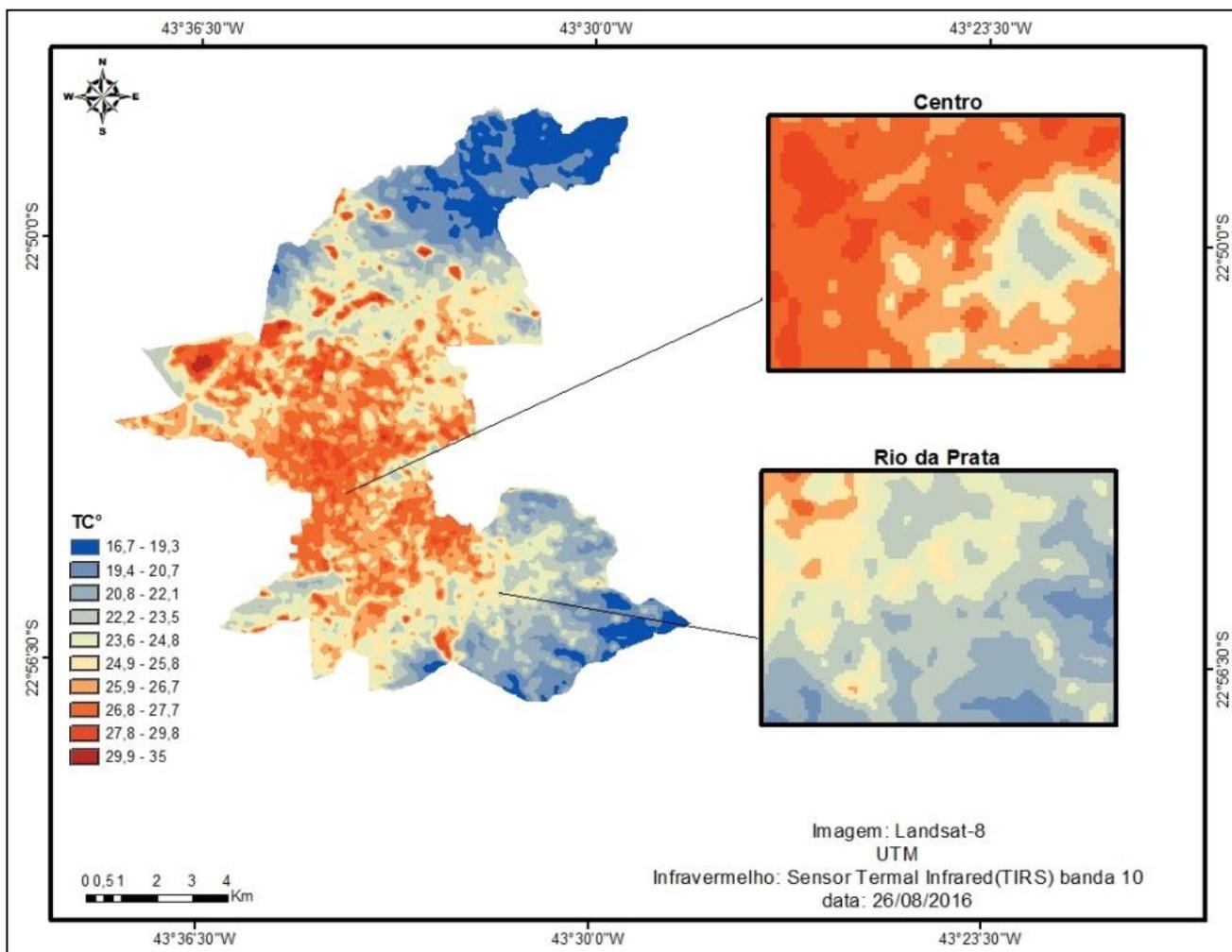


Figura 10-Mapa de temperatura de superfície de 26 de agosto de 2016 Fonte:Silva (2017) a partir de imagem Landsat-8.

Ao realizar uma análise do conjunto de informações apresentadas no monitoramento móvel e das imagens de satélite, é preciso, inicialmente, destacar que não foi possível a realização de comparação entre as duas áreas, Centro e Rio da Prata. Isso devido ao fato da não simultaneidade na coleta dos dados móveis e da data das imagens de Landsat-8 não coincidirem com os dias em que foram realizadas as coletas móveis. Porém, as obtenções desses dados mostram o comportamento das temperaturas e da umidade relativa do ar nos locais destacados dentro dessas áreas e o quanto aspectos ambientais e geourbanos influenciam nas temperaturas e na umidade relativa do ar.

Durante todos os dias do monitoramento, como mencionado, na coleta dos dados entre o Centro e o Rio da Prata, as medições não ocorreram de forma simultânea, sendo realizadas num intervalo de uma hora entre uma área e outra. No período da manhã, as temperaturas foram maiores no Rio da Prata e

menores no Centro. O esperado era encontrar em todos os períodos do dia temperaturas maiores nos pontos localizados no Centro. De fato, isso foi verificado na parte da tarde e da noite, principalmente nas medições do verão, quando as ilhas de calor adquirem maior intensidade, considerando que as características urbanas influenciam no aumento das temperaturas e na redução da umidade do ar. Dessa forma, o Centro apresenta mais elementos urbanos, ou seja, uma densidade maior de construções urbanas do que o Rio da Prata.

Diante do que foi registrado na parte da manhã, a provável explicação para a ocorrência desses registros pode estar relacionada ao horário em que ocorreram as medições. As coletas tiveram início no Centro por volta das sete horas, coincidindo com o início do aquecimento solar. E as coletas no Rio da Prata iniciaram no horário das oito horas, quando já se pode verificar um aumento da radiação solar. Outra possível explicação é a diferença que pode ocorrer entre as temperaturas e a umidade do ar entre áreas urbanizadas e de baixa urbanização.

Amorim (2012), em um estudo realizado sobre clima urbano a partir da comparação entre ambientes rurais e ambientes urbanos em Presidente Prudente (SP), no período da manhã detectou temperaturas superiores na área rural, revelando um contraste com as que foram encontradas nas áreas urbanas na parte da manhã. Ainda segundo a autora, esse fato ocorre por conta do “efeito sombra” que as áreas construídas exercem na temperatura do ar quando comparadas com o ambiente rural, pois ocorre uma interceptação dos raios solares nesses ambientes construídos no período do início do aquecimento solar.

Diferente do que Gartland (2010) destaca, de que as ilhas de calor são mais intensas após o pôr do sol, nas áreas que foram analisadas neste estudo, elas foram mais intensas na parte da tarde e na estação do verão. A variação de temperatura e higrometria foi menor no inverno.

As imagens de satélite corroboram e trazem evidências de que as construções e os elementos presentes no espaço podem trazer alterações e influências na temperatura. Os dados obtidos da temperatura de superfície de 31 de janeiro e 26 de agosto de 2016 mostraram uma maior amplitude na temperatura de superfície no Centro (local em que predominam as construções urbanas) e menores temperaturas no

Rio da Prata (que possui uma maior quantidade de vegetação, sobretudo nas localidades que se aproximam do maciço da Pedra Branca, com predomínio de vegetação e redução nas construções urbanas).

Esse fato também foi verificado nas coletas móveis nos pontos. Por exemplo, dentro do Rio da Prata, o ponto 8, que fica mais próximo a uma das vertentes do maciço da Pedra Branca e que possui maior vegetação, registrou-se temperaturas menores do que o ponto 5, também inserido no Rio da Prata. No entanto, o ponto 5 possui menos vegetação e, por estar em uma estrada principal, tem uma maior circulação de veículos automotores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do quadro exposto nesse artigo, percebe-se que, apesar dos inúmeros trabalhos realizados sobre o clima do Rio de Janeiro, essa realidade ainda precisa de muitos estudos para ser compreendida de forma eficaz. A urbanização e a transformação dos espaços vegetados têm trazido uma substituição do ambiente natural pelo construído, intensificando problemas relacionados à qualidade do ar, conforto térmico, impactos provenientes da alta pluviosidade. Todos esses problemas refletem na vida da população.

Vários estudos apontam para o aparecimento das ilhas de calor nas áreas urbanas, as causas normalmente são apontadas como os concretos e asfaltos nas ruas, circulação de veículos automotores e verticalização das edificações, entre tantos outros. Assim, compreender os aspectos térmicos, higrométricos e pluviométricos torna-se de fundamental importância.

Nesta pesquisa, o objetivo foi analisar o campo térmico e higrométrico de duas áreas (região central e sub-bairro Rio da Prata) de um bairro importante para o Rio de Janeiro, Campo Grande. Ele é conhecido por ser uma das áreas mais quentes do município do Rio de Janeiro e com uma formação clássica de ilha de calor. Investigar essas duas áreas trouxe um cenário interessante.

Diante do exposto, percebe-se que, no microclima, ilhas de calor são formadas principalmente nos locais com maior quantidade de elementos urbanos. Isso não necessariamente é uma regra, uma vez que, nesta pesquisa, pontos localizados dentro do sub-bairro Rio da Prata, uma área menos urbanizada, registrou maiores temperaturas - fato que foi comprovado nas coletas móveis. Entretanto, ainda que não seja possível estabelecer comparações entre o Centro e o Rio da Prata, os pontos localizados no Centro registraram, durante o verão, no período da manhã e da tarde, temperaturas muito superiores às que foram encontradas nos pontos dentro do sub-bairro Rio da Prata.

Os usos das imagens de satélite com as temperaturas de superfície registradas pelo sensor termal ilustraram que as temperaturas da superfície se tornam mais altas nas áreas mais densamente urbanizadas. E são reduzidas nas áreas menos urbanizadas e com predomínio de vegetação.

Nos estudos do clima urbano, as análises referentes à temperatura e à umidade relativa do ar são de grande importância para compreender as variações térmicas e higrométricas que ocorrem no espaço urbano. Embora tenhamos hoje a possibilidade de observar dados de temperatura por imagens de satélite e realizar atividades de coleta em pontos a partir de instrumentos de medição, é relevante, como Monteiro (1990) destaca, adentrar a cidade e tomar-lhe a temperatura, além de auxiliar um maior contato do pesquisador com o seu objeto de estudo.

Os resultados encontrados comprovam o quanto a produção do espaço urbano pode alterar a temperatura e a umidade relativa do ar. Logo, com aumento do desmatamento para dar lugar às construções urbanas, a temperatura se amplia, e, conseqüentemente, os impactos são sentidos com desconforto térmico e higrométrico para a população. Além disso, há os prejuízos que irão ocorrer no ambiente como um todo, sendo importante a inserção de planejamentos urbanos que incluam a reposição da vegetação, o aumento da arborização nas áreas urbanas e a criação de espaços verdes para lazer e conforto da população.

Os estudos do clima urbano são necessários atualmente, principalmente quando se percebe um aumento da urbanização que avança para áreas que até então se mantinham sem ou com baixa densidade desta.

É preciso que o planejamento das cidades esteja aliado aos efeitos que as construções urbanas causam no clima, sendo necessário mitigar as ilhas de calor, garantir o conforto térmico e higrométrico da população, além de preservar as unidades de conservação.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Elis D. L.; BIUDES, Marcelo S. Padrões da temperatura do ar e da umidade relativa: estudo de caso no campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso. **Boletim de Geografia**, V. 30, n. 3, p. 5-16, 2012.
- AMORIM, M. C. C. TA Produção do Clima Urbano em Ambiente Tropical: o Exemplo de Presidente Prudente/SP. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, V.2, n° 5, p. 52-64, 2012.
- BLAIR, T. **Meteorologia**, Rio de Janeiro: Editora Livro Técnico, 1964.
- BRANDÃO, Ana Maria P. M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. 1996. 362fl. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento em Geografia Física, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1996.
- DERECZYNSKI, C. P.; MARENGO, J.; SILVA, M. G. A. J.; SANTOS, I. A. Clima e Mudanças Climáticas na Cidade do Rio de Janeiro. In: **Projeto Megacidades**, Vulnerabilidade e Mudanças Climáticas: Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Coord: CTS/INPE e NEPO/UNICAMP, 2011.
- DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the urban environment: Microclimate Analysis and benefits. **Elsevier Science**, V.35, p.69-76, 2003.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. **Manual de Climatología Aplicada. Clima, médio ambiente y aplicación**, Madrid: Editorial Síntesis, 1996.
- GARTLAND, Lisa. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução GONÇALVES, S.H, São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2010.
- GIANNINI, M. B. et al. Land Surface Temperature from Landsat 5 TM images: comparison of different methods using airborne thermal data. **Journal Of Engineering Science And Technology Review**, v. 3, n. 8, p.83-90, out. 2015.
- LANDSBERG, Helmut E. **The urban climate**. New York: Academic Press, 1981.
- LUCENA, A. José. **O Campo Térmico na Zona Oeste do Rio de Janeiro/RJ: Uma Contribuição ao Estudo do Clima Urbano**. 2005. 198fl. Dissertação (Mestrado em Geografia) -Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- _____. **A Ilha de calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2012. 357p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) -Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
- MENDONCA, F.; DANI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2007.
- MONTEIRO, C. A. F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Revista GeoSul**, Florianópolis, n° 9, Ano V, P.57-74, 1° semestre de 1990.

_____. **Teoria e Clima Urbano**. In: MENDONÇA, Francisco; MONTEIRO C. A. F. (orgs.). *Clima Urbano*. São Paulo: Ed. Contexto, 2003, p.9-68.

QUATTROCHI, D.; LUVALL, J. Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect. **Journal Remote Sensing**, v. 18, n. 2, p.287-304, jan. 1997.

RAJESHWARI, A.; MANI, N.d. Estimation of land surface temperature of dindigul district using landsat8 data. **International Journal Of Engineering Development And Research**, v. 3, n. 5, p.122-126, mai. 2014.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; Deering, D. W.; SCHELL, J. A. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Austin: Texas A. M. University, College Station, 1974.

SILVA, M.S. **O campo termo-higrométrico intra-urbano e a formação de ilhas de calor e frescor urbanas no bairro de Campo Grande (RJ)**. 2017. 171 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

STATHOPOULOU, M.; CARTALIS C.; KERAMITSOGLU, I. Mapping micro-urban heat islands using NOAA/AVHRR images and CORINE Land Cover: an application to coastal cities of Greece. **Journal Remote Sensing**, Vol. 25, N°. 12, p. 2301–2316, jun. 2003.

TUCKER, C. J.; SELLERS, P. J. Satellite remote sensing of primary production. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p.1395-1416, nov. 1986.

VOOGT, J.A.; OKE, T.R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, V.86, p. 370–384, 2003.

WENG, Q. A remote sensing–GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. **Journal Remote Sensing**, v. 22, n. 10, p.1999-2014, 2001.

YU, X.; GUO, X.; WU, Z.. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method. **Journal Remote Sensing**, v. 6, n. 6, p.9829-9852, out. 2014.