

CARACTERIZAÇÃO DO FENÔMENO DAS ILHAS DE CALOR NA CIDADE DE UBERLÂNDIA - MG

Mariana Gomide Vieira¹ Gilnei Machado²

RESUMO: As ilhas de calor são comuns nas áreas urbanizadas, elas são formadas em decorrência de um conjunto de fatores presentes nestas áreas, como é o caso das atividades industriais, da concentração de asfalto, da circulação de veículos e da concentração populacional. Esta pesquisa tem o objetivo de identificar e caracterizar as ilhas de calor ocorridas em Uberlândia – MG nos anos de 2004 e 2014. Os procedimentos metodológicos abarcaram o uso de imagens do Landsat 5 e 8, da técnica do NDVI, da correção atmosférica, do mapeamento da vegetação e da busca da inter-relação entre esses elementos. O ano de 2004 se mostrou 2.0 °C mais quente que o ano de 2014. As ilhas de calor ocorreram em bairros periféricos, tendo pouca ligação com o adensamento populacional e manifestaram-se, principalmente, em razão da existência de lotes vagos com solo exposto e da pouca cobertura vegetal.

Palavras-chave: Ilhas de calor; sensoriamento remoto; temperatura, Uberlândia.

INTRODUÇÃO

O clima das cidades está em constante mudança, decorrente, principalmente, das ações antrópicas relacionadas às emissões de gases na atmosfera, retirada da vegetação natural, impermeabilização do solo, artificialização da superfície e outros, como veem mostrando uma série de estudos desenvolvidos por pesquisadores ligados ao IPCC. Dentre os fenômenos gerados estão as ilhas de calor, que são aspectos comuns e importantes no que tange aos estudos termodinâmicos urbanos.

As ilhas de calor são fenômenos ocorrentes no clima urbano em geral e influenciam na sensação térmica local. São caracterizadas pela ocorrência de temperaturas mais quentes em determinado local, se comparado com sua área circunvizinha. As grandes metrópoles são as áreas que mais enfrentam os problemas relacionados às ilhas de calor, o que não significa que as mesmas não ocorram em cidades de menor porte, como apontam os estudos desenvolvidos por Ortiz e Amorim, (2012).

A significativa aglomeração urbana e atividades relacionadas, contribui para que este fenômeno ocorra, em praticamente, todas as cidades, influenciando no conforto térmico por meio da geração de microclimas urbanos.

As ilhas de calor são descritas por Lombardo (1985) como sendo uma anomalia térmica, em que a temperatura de superfície e do ar, próximo a ela, se caracteriza por ser superior a da vizinhança. Este fenômeno é, normalmente, gerado “devido à redução da evapotranspiração, ao aumento da rugosidade e às propriedades térmicas dos edifícios e dos materiais pavimentados” (1985, p. 24).

A intensidade e até mesmo a ocorrência das ilhas de calor, de acordo com a autora, depende de como ocorre a urbanização, do tamanho da cidade, da densidade populacional, da quantidade de

1 Graduada em Geografia. Doutoranda em Geografia pela Universidade Estadual de Londrina. mariana_gomide@hotmail.com

2 Professor Adjunto 3 no Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina. gilnei@uel.br

indústrias, da quantidade de veículos, da verticalização, do tipo de material utilizado e, por fim, da quantidade de áreas verdes existentes.

Andrade, Roseghini e Mendonça (2010) afirmam que as ilhas de calor se caracterizam pelo aumento da temperatura do ar nas áreas urbanizadas, em relação ao meio rural. Por isto, as áreas menos urbanizadas normalmente apresentam gradientes de temperatura diferentes das mais urbanizadas.

Em decorrência do acúmulo de calor nestas áreas, cria-se uma zona de baixa pressão que altera o sistema de ventos, atraindo com eles partículas de poeira e poluição (AMORIM, 2000; NASCIMENTO, 2011).

Há que se ter claro que, para o estabelecimento das ilhas de calor, não se deve levar em consideração apenas a temperatura de superfície e dos materiais que nela se encontram, pois caso isso fosse feito, as temperaturas chegariam a valores na ordem de 50 a 60°C.

Coltri (2006); Fialho (2009) e Nascimento (2011) reconhecem a relação de semelhança entre a temperatura de superfície e a temperatura do ar próximo a ele, mas ressaltam a necessidade de distinção entre elas, seja conceitualmente e/ou com a utilização dos diferentes parâmetros que o conhecimento climatológico proporciona.

A temperatura aparente de superfície corresponde, de acordo com as propriedades da radiação termodinâmica, ou seja, o balanço energético da superfície, à admissão térmica, à emissividade e à entrada de radiação na superfície e atmosfera (OKE; VOOGT, 2003).

O imageador infravermelho termal, componente contido em alguns satélites, permite identificar a temperatura de superfície de um dado lugar. Este imageador registra a intensidade da radiação eletromagnética que os vários objetos da superfície emitem, resultando na sua emissividade e na temperatura do ar próximo à superfície em questão (FIALHO, 2009).

A banda do infravermelho termal, a qual é utilizada nos estudos do campo térmico, registra os comprimentos de onda no intervalo de 3,0 - 20,0 μm do espectro eletromagnético, “a energia desta porção é proveniente de vibrações moleculares decorrentes da temperatura dos corpos” (NOVO, 2008, p. 41).

Para compreender o fenômeno das ilhas de calor por meio das imagens de satélites, é necessário relembrar a Lei de Plank, que preconiza que “a emitância espectral de um corpo negro é uma função de sua temperatura e da frequência da radiação, podendo ser expressa matematicamente (...)” (VIANELLO; ALVES, 1991, p.158). Bias; Batista; Lombardo (2003) ressaltam que a captação dos fótons emitidos por um determinado objeto proporciona a avaliação de sua temperatura.

O albedo contribui para a identificação da temperatura de superfície, sendo ele “a relação da energia refletida sobre a incidente” (FERREIRA, 2006, p.19), ou seja, é a “capacidade que os corpos têm de refletir a radiação solar que incide sobre eles” (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.35). Vale ressaltar que “o albedo da maior parte da superfície varia com o comprimento de onda e com o ângulo de incidência dos raios luminosos” (AYOADE, 2006, p. 27).

Os diferentes padrões de reflectividade dos objetos da superfície ocorrem de acordo com a cor e constituição do corpo. Neste sentido, Saydelles (2005) e Ayoade (2006) destacam que os objetos mais claros e secos correspondem a maiores albedos, por sua vez, objetos/corpos escuros absorvem mais radiação e refletem menos. Disso tem-se que, os materiais empregados na construção civil possuem albedos diferentes.

No que se refere aos estudos sobre a radiação solar urbana com o uso do sensoriamento remoto, Oke e Voogt (2003) efetuaram um levantamento das pesquisas climáticas desenvolvidas entre os anos 1980 e 2000, que tiveram como base as imagens obtidas por meio dos sensores termais, procurando identificar os pesquisadores que as realizaram, qual ou quais sensores utilizaram e o principal objetivo das suas pesquisas. Os principais sensores usados, ao longo desse período, foram o Landsat TM e AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), e a grande maioria das pesquisas buscam examinar a estrutura térmica urbana e/ou a relação do uso da terra com o aparecimento das ilhas de calor.

No Brasil, as pesquisas sobre ilhas de calor, tendo por base o sensoriamento remoto, iniciaram-se com os trabalhos de Lombardo em 1985, que se valeu das imagens do satélite NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) para encontrar a temperatura e do Landsat para mapear os usos do solo da metrópole Paulista.

Mendonça (1995), Amorim (2000), Bias; Baptista; Lombardo (2003); Saydelles (2005); Coltri (2006); Nascimento (2011), entre outros, utilizaram sensoriamento remoto para estudos do clima urbano. O satélite mais utilizado nas pesquisas para o estudo do campo térmico climático urbano no Brasil foi o Landsat.

Nesta pesquisa, que tem por objetivo estudar a ocorrência de ilhas de calor na cidade de Uberlândia-MG (Figura 01) nos anos de 2004 e 2014, também foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 e 8, pela disponibilidade da banda Infravermelho Termal em ambos os satélites, procurando relacionar os valores obtidos com os índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* ou Índice de Vegetação da Diferença Normalizada).

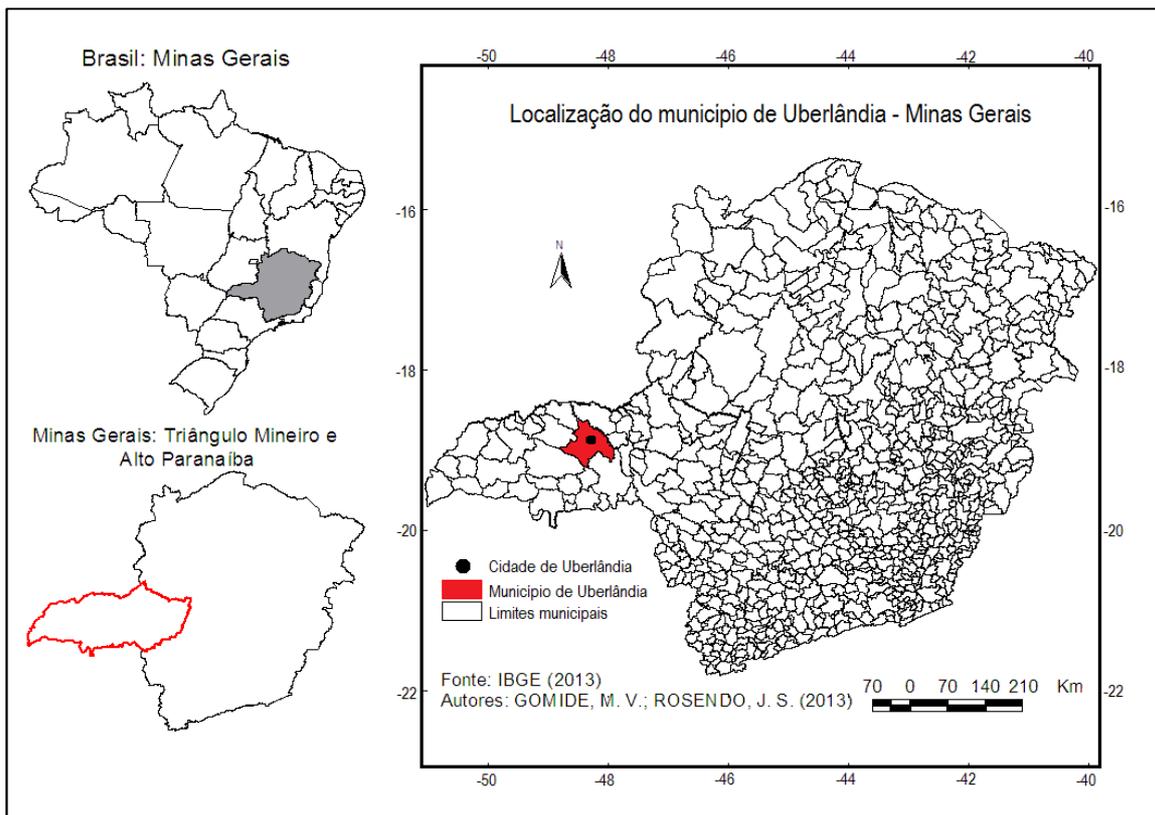


Figura 01: Localização do município de Uberlândia no estado de Minas Gerais

Fonte: Vieira (2011).

MATERIAIS E MÉTODOS

O método no qual este trabalho se baseou foi desenvolvido por Monteiro (1971), a partir da Teoria do Sistema do Clima Urbano (S.C.U), que tem a interação cidade x clima como o principal foco do estudo. Para melhor caracterizar esta relação, o autor propôs alguns subsistemas, e o termodinâmico se configura como a base para o desenvolvimento deste trabalho, que pretende compreender o campo térmico urbano, sobretudo o fenômeno das ilhas de calor em Uberlândia – MG.

Para a realização desta pesquisa foram utilizadas as imagens dos satélites Landsat 5 e 8. A partir das quais foram gerados mapas de temperatura de superfície do ano de 2004, baseados nas imagens da banda termal do satélite Landsat 5 (banda 6), e outro mapa referente ao ano de 2014, recorrendo ao Landsat 8 (banda 10). As imagens do Landsat 5 foram adquiridas através da homepage³ do USGS (*U.S. Geological Survey*) de onde foram importadas as bandas 3, 4, 5 e 6. Do mesmo site, foram extraídas as imagens do Landsat 8 nas suas bandas 4, 5, 6 e 10. Na Tabela 01, encontram-se as informações sobre a data da passagem, ponto e órbitas das imagens utilizadas.

Para caracterizar as condições meteorológicas das datas selecionadas, buscaram-se os dados meteorológicos medidos pela estação da Universidade Federal de Uberlândia, localizada no perímetro

³ <http://glovis.usgs.gov/>

urbano do município. Com esses dados foi possível organizar a Tabela 02. Vale ressaltar que os mesmos correspondem ao horário das 15 horas dos dias das imagens utilizadas.

Sensor/Satélite	Órbitas/Pontos (O/P)	Datas de passagem/Satélite	Resolução Radiométrica/imagem
TM/Landsat 5	221/73	18/06/2004	8 bits
OLI e TIRS/Landsat 8	221/73	30/06/2014	12 bits

Tabela 01: Imagens utilizadas do satélite Landsat 5 e 8
Organização: Vieira (2016). Fonte dos Dados: USGS, 2015.

Datas das imagens	Temp. do ar	Precipitação	Umidade relativa	Pressão atmosférica	Altitude da estação	Vel. vento
18/06/2004	24.4°C	0.0	53	928	869 m.	Sem dados
30/06/2014	22.4°C	0.0	54	920	869 m.	1.8 m/s Dir.163°

Tabela 02: Condições meteorológicas das datas escolhidas para os mapeamentos

Fonte: Estação Meteorológica da Universidade Federal de Uberlândia (2014).

Organização: Vieira (2016).

Com a análise dos dados apresentados na Tabela 02 foi possível verificar que ocorreu uma variação de 2.0 °C na temperatura, comparando as duas datas. Na umidade e na pressão foram medidos valores sem significativas variações, haja vista que a precipitação não ocorreu em nenhum dos dias.

Após a coleta das cenas do satélite na homepage da USGS, iniciou-se seu tratamento no software *Idrisi*® 17.0, por meio do qual foi feita a composição colorida (falsa cor) R, G, B, correspondendo às bandas 5, 4 e 3 do Landsat 5. Para o Landsat 8 utilizou-se as bandas 4, 5 e 6, respectivamente.

Por fim, as imagens foram inseridas no software *ArcGis*® 10.0 para efetuar o georreferenciamento. Para tanto, foram selecionados pontos de controle distribuídos em toda a imagem, cujas coordenadas foram obtidas por meio da carta topográfica de Uberlândia (SE - 22-Z-B-VI) de 1984, com escala de 1:100.000, em formato digital, sendo base para o georreferenciamento das imagens obtidas do satélite Landsat.

Para a análise do campo térmico, efetuada nesta pesquisa, foi seguida a metodologia utilizada por Amorim, Dubreuil e Sant'ana Neto (2009). O cálculo para identificar a temperatura de superfície constitui em método empregado na conversão dos valores digitais dos níveis de cinza (DN) das imagens do infravermelho termal em radiância absoluta, posteriormente, a reflectância é obtida em temperatura em Kelvin e, finalmente, em Celsius (NASCIMENTO, 2011; COLTRI, 2006; COELHO; CORREA, 2013). As equações e cálculos empregados estão disponibilizados no Serviço Geológico Americano⁴.

⁴ Cálculo de radiância disponibilizadas na homepage: http://landsat.usgs.gov/how_is_radiance_calculated.php.

A equação para a conversão dos níveis de cinza para radiância pode ser expressa da seguinte maneira:

$$L_{\lambda} = ML * Q_{cal} + AL$$

Onde:

L λ - Radiância espectral do sensor de abertura em (W/m² sr μ m)

ML - Fator multiplicativo de redimensionamento da banda termal

AL - Fator de redimensionamento aditivo específico da banda termal

Q $_{cal}$ - Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda termal

Chegado ao valor de radiância, por meio da fórmula anteriormente apresentada, partiu-se em busca da temperatura de superfície a ser expressa em Kelvin, para tanto, pode-se valer da seguinte equação:

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

Onde:

T = temperatura efetiva registrada pelo sensor do satélite em Kelvin;

K2 = constante de calibração 2,

K1 = constante de calibração 1,

L = radiância espectral em (W/m² sr μ m)

Por fim, para se obter a temperatura em graus Celsius, tornou-se necessário subtrair o valor de - 273.15, dos valores da imagem anteriormente gerada com a temperatura na escala de Kelvin. Isso possibilita chegar aos valores das temperaturas de superfície (atmosférica). Para que os resultados obtidos sejam confiáveis é importante realizar a correção atmosférica nas imagens.

A correção atmosférica para adequação da reflectância absoluta depende de dados de calibração registrados pelo satélite em órbita, como dados de transferência radiativa, emissividade de superfície, entre outros (NOVO, 2008; COLL et al., 2010).

Para que fosse possível a obtenção desses dados, foi criado um modelo computacional de transferência atmosférica pela NASA, denominado *Atmospheric Correction Parameter Calculator*⁵, empregado neste trabalho para obter os dados de transmissão atmosférica, radiância de resurgência e subsidência, necessários para a correção atmosférica.

Para realizar a correção atmosférica da banda termal é imprescindível inserir os dados obtidos através da *Atmospheric Correction Parameter Calculator* na seguinte equação (COLL et al., 2010).

⁵ Disponibilizado na homepage <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>.

$$CV_{R2} = \frac{CV_{R1} - L \uparrow}{\epsilon \tau} - \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} L \downarrow$$

Onde:

CV_{R2} - Valor da célula atmosférica corrigida para radiância

CV_{R1} - Valor da célula/pixel em radiância na seção 1

$L \uparrow$ - Radiância Ascendente

$L \downarrow$ - Radiância subsidente;

τ - Transmitância

ϵ - Emissividade (valor típico 0,95)

Como salientado, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) ⁶ também foi calculado neste pesquisa, visando diferenciar as áreas com densas construções das com vegetação, na malha urbana de Uberlândia.

Liu (2006) salienta que,

Geralmente, a superfície da vegetação absorve a radiação na faixa de visível, (VIS - de 0,4 a 0,7 μm) e reflete na faixa de infravermelho próximo (NIR - de 0,725 a 1,10 μm). Nesse caso, o índice de vegetação pode ser uma razão, diferença ou várias combinações entre os valores de reflectância de VIS e NIR. Um índice de vegetação ideal deve ser sensível à vegetação, insensível ao fundo do solo e não tem interferências atmosféricas (LIU, 2006, p.220).

O índice de vegetação da diferença normalizada, “foi proposto por Rouse et al. (1973), sendo calculado pela diferença de reflectância entre a faixa de NIR e a de VIS, essa diferença é normalizada pela divisão da soma das faixas de NIR e VIS” (LIU, 2006, p.220).

Para o levantamento dos índices do NDVI, a equação para o cálculo é a seguinte:

$$\text{NDVI} = \text{IVP} - \text{V} / \text{IVP} + \text{V}$$

Onde:

(1) IVP: valor da reflectância da banda no Infravermelho próximo

(2) V: valor de reflectância da banda no vermelho

⁶ *Normalized Difference Vegetation Index.*

Os resultados de NDVI foram relacionados com a temperatura de superfície, possibilitando compreender se as áreas com maiores temperaturas estão correlacionadas, ou não, à falta de vegetação e se esta vegetação é capaz, ou não, de amenizar o calor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como já mencionado, a expansão urbana de Uberlândia ocorreu de modo acelerado e contínuo, particularmente ao longo das últimas cinco décadas, com isso, surgiram muito loteamentos e bairros, o que passou a dificultar a ação da administração pública, no sentido de manter as áreas verdes. Para ter seu trabalho facilitado a Prefeitura Municipal criou o Projeto Bairros Integrados (PBI), a fim de setorizar as políticas públicas. A partir da criação do PBI, foram integrados 74 bairros, distribuídos em cinco setores: central, sul, norte, leste, oeste, como pode ser visualizado na Figura 02.

Esses cinco setores foram levados em consideração para realizar a análise do comportamento das ilhas de calor nos dois anos estudados, isto é, 2004 e 2014. A finalidade da utilização dos setores é evitar descrever o comportamento térmico de cada um dos 74 bairros (Figura 02).

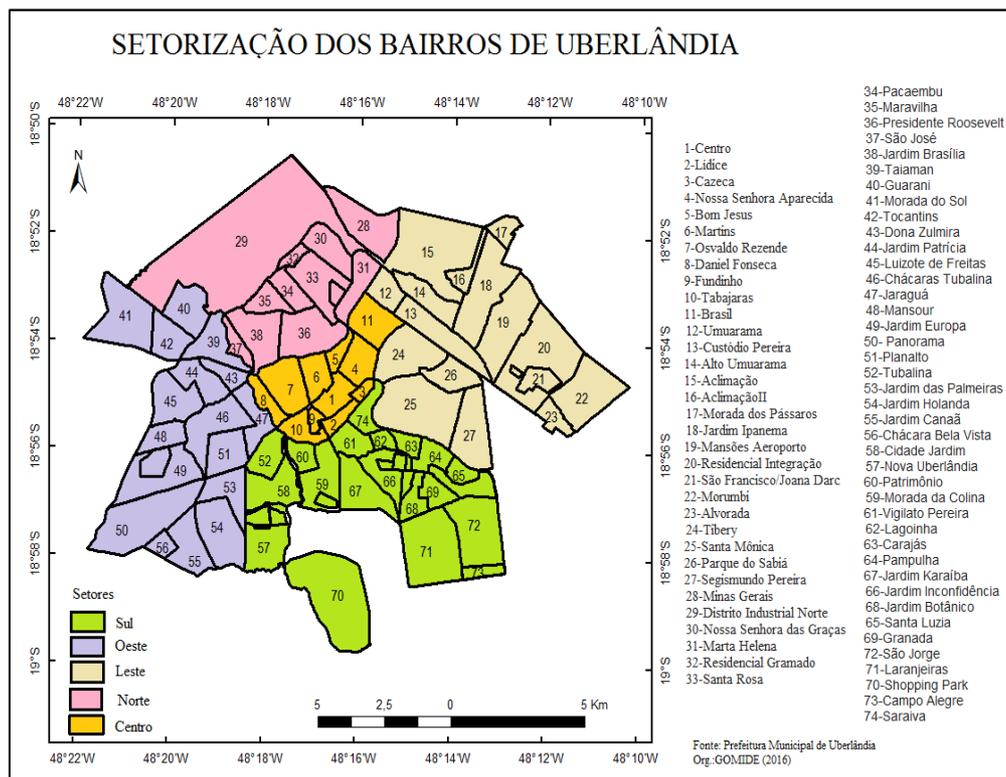


Figura 02: Delimitação dos bairros integrados e setorização da cidade de Uberlândia

Fonte: Prefeitura Municipal de Uberlândia. Organização: Vieira (2016).

Comportamento das Ilhas de Calor na Cidade de Uberlândia em 2004

Para compreender o comportamento da temperatura de superfície na área urbana do município de Uberlândia foram aplicados os procedimentos metodológicos anteriormente descritos, a partir dos

quais se obteve como resultado um mapa do comportamento térmico de superfície. Entenda-se aqui, que não se trata da superfície do solo, mas sim do ar localizado imediatamente acima dele. Sobre esse mapa do comportamento térmico foi sobreposta a malha urbana com a divisão de todos os bairros e setores apresentados na Figura 02.

Para os dois anos analisados, a saber, 2004 e 2014, foram consideradas ilhas de calor apenas os pontos cujas temperaturas ultrapassaram os 32.1 °C.

Setor Central

No Setor Central, durante o ano de 2004, ocorreram ilhas de calor apenas na área relativa ao Bairro Osvaldo Rezende, com temperaturas variando entre 32.1 e 35.0 °C (Figura 03). Isto ocorreu devido a presença de alguns galpões industriais com telhado de alumínio e alta reflectância. Tal fato chama a atenção, uma vez que o Setor possui pouca cobertura vegetal com índices de NDVI (Figura 04), na sua maioria, negativos ou muito próximos a zero.

Ilhas de frescor foram percebidas nos bairros Tabajara, Osvaldo Rezende, Martins e Brasil, particularmente nas áreas onde os valores de NDVI foram positivos variando entre 0.23 e 0,73. Estas áreas correspondem a parques, praças e pátios de escolas. Nessas áreas a temperatura variou entre 20 e 26°C.

Setor Norte

Neste setor as ilhas de calor foram detectadas nos Bairros Santa Rosa, São José, Minas Gerais, Presidente Roosevelt, Maravilha e Jardim Brasília (Figura 03). Dentre esses bairros, o que teve maior concentração de ilhas foi o Santa Rosa, devido à presença de inúmeros terrenos baldios com solo exposto ou fina camada de vegetação seca. Na maioria das áreas de ocorrência foi detectada a presença de loteamentos recém-abertos com solo exposto ou cobertura de gramínea. No São José, a elevação da temperatura ocorreu em função da presença, à época, de uma fábrica da Sadia com significativa área construída.

As ilhas de frescor identificadas neste setor estão relacionadas à presença de mata ciliar ao longo dos córregos e áreas de Preservação permanentes. Algo que chamou a atenção neste setor foi a ocorrência de manchas esbranquiçadas no mapa de temperatura. A busca pela causa de tais manchas apontou a presença de instalações industriais com telhados metálicos e sem cobertura vegetal em seus terrenos, como percebido na Figura 04, relativa ao NDVI.

Setor Sul

Neste setor foram identificadas ilhas de calor (Figura 03) significativas nos Bairros Bons Olhos (incluindo os loteamentos do Jardim Barcelona), Morada da Colina, Jardim Inconfidência (Royal Park e Vila Real) e Jardim Karaíba e algumas pequenas ilhas nos Bairros Tubalina, Laranjeiras e Shopping Park.

Destaca-se nestas localidades a presença de terrenos baldios com solo exposto e loteamentos recém-abertos. No Jardim Karaíba, na sua área sul, o material usado na confecção de telhados foi o grande responsável pelo surgimento da ilha identificada.

Ilhas de frescor, por sua vez, foram detectadas nos Bairros Shopping Park, Jardim Inconfidência, Pampulha e limites entre os bairros Morada da Colina, Patrimônio e Cidade Jardim em virtude da presença de matas ciliares e áreas verdes existentes em condomínios fechados, o que pode ser comprovado pelo NDVI (Figura 04).

Setor Leste

Neste setor foram identificadas três grandes ilhas distribuídas nos Bairros Residencial Integração, Alto Umuarama e Aclimação (Figura 03). Os responsáveis pelo surgimento destas ilhas foram, no Bairro Aclimação, os terrenos baldios com solo exposto e algumas áreas ainda utilizadas para pastagem e cultivos. No Residencial Integração, por ser limite com a área rural e uma área carente de infraestrutura, a ilha ocorreu em virtude de área cultivada em época de pousio.

Dos bairros do Setor Leste, os mais frescos são o Mansões Aeroporto e Morada dos Pássaros, os quais possuem construções espaçadas e significativa área verde representada por condomínios de chácaras. Outra zona de frescor significativa neste setor é o Parque do Sábia, cujo NDVI apresenta valores altos de NDVI (Figura 04), onde as temperaturas apresentam uma diferença de menos 15 °C em relação às outras áreas do setor.

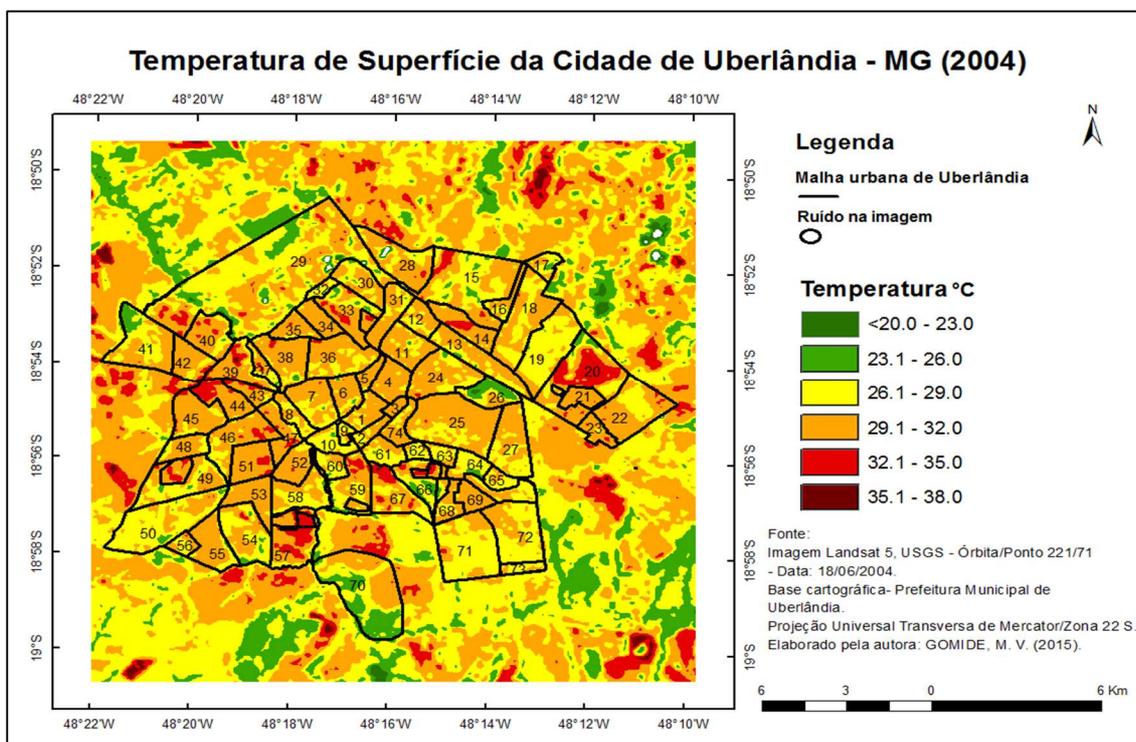


Figura 03: Temperatura de superfície da cidade de Uberlândia – MG (2004)

Fonte: Vieira (2016).

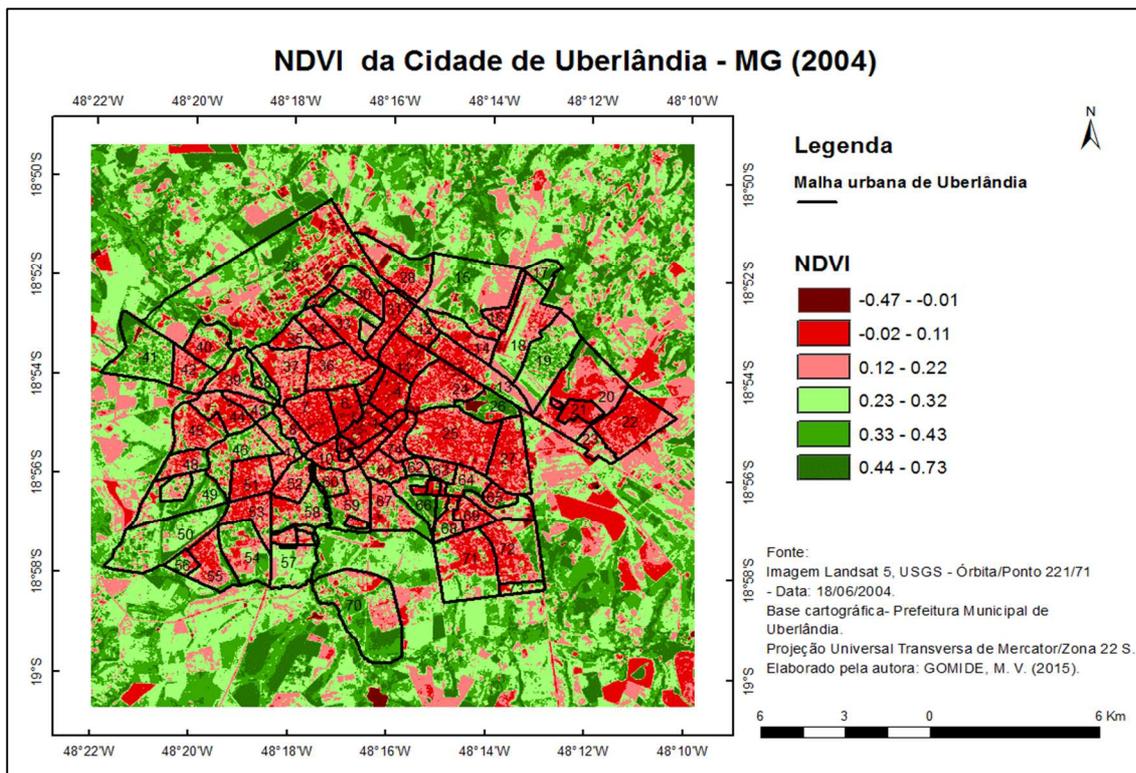


Figura 04: NDVI da cidade de Uberlândia – MG (2004)
Fonte: Vieira (2016).

Setor Oeste

No Setor Oeste as ilhas de calor foram identificadas em vários bairros compreendendo o jardim Holanda, Planalto, Jardim Europa, Chácara Tubalina, Dona Zulmira, Jardim Patrícia e Taiaman. No bairro Jardim Holanda foi possível verificar que a ocorrência da ilha se deu em função da presença de um conjunto de prédios com os telhados metalizados e pintados de branco, o que não deve causar estranheza, uma vez que telhados brancos proporcionam maior reflexão e menor absorção do calor, transferindo esse calor para o ar atmosférico próximo, justamente o que é analisado pela carta de comportamento térmico (Figura 03). Nos jardins Zulmira e Patrícia, a ocorrência de ilhas de calor está relacionada à presença da Rodovia MG-365, que divide os bairros.

Ilhas de frescor foram identificadas nos bairros Morada do Sol, Jardim Holanda e Panorama devido à maior presença da cobertura vegetal (em chácaras) como podem ser comprovada pela análise do NDVI (Figura 04).

Comportamento das Ilhas de Calor na Cidade de Uberlândia em 2014

A Área urbana de Uberlândia apresentou durante o período 2004 e 2014 um crescimento de aproximadamente 150 mil habitantes. Com um total de 638.063 pessoas distribuídos em mais de 160.000 domicílios a cidade mostra-se significativamente densa.

Para o ano de 2014, foram delimitadas como ilhas de calor, as temperaturas entre 32.1 a 39.0 °C. Se comparado ao ano de 2004, foi registrado um aumento na média de 1.0°C para o ano de 2014 (Figura 05).

Setor Central

No setor central, as maiores temperaturas do ano de 2014 e, portanto, as ilhas de calor (Figura 05), foram registradas nos bairros Osvaldo Rezende, Bom Jesus, Nossa Senhora Aparecida e Cazeca. Bairros estes que apresentam predomínio de edificações verticalizadas e funções diversificadas como a comercial e a residencial.

Os bairros citados apresentam cobertura vegetal rara ou completamente ausente, o que pode ser comprovado pelos índices de NDVI que variaram entre -0,27 e 0,16 (Figura 06). A exceção a esta regra são as praças da Bíblia, Nicolau Feres, Sergio Pacheco e Tubal Vilela.

A presença de uma quadra, coberta com grama, no Bairro Osvaldo Rezende, contribuiu para gerar nesta área uma ilha de frescor (Figura 05), assim como a sombra dos prédios da Escola Estadual Américo René Gianetti e a presença das Praças Coronel Carneiro e Clarimundo Carneiro, no Bairro Fundinho. Interessante destacar que neste setor, as áreas de frescor não estão associadas, exclusivamente, à presença de vegetação.

Setor Norte

Neste setor as ilhas de calor foram identificadas em quatro diferentes bairros, a saber: São José, Santa Rosa, Minas Gerais e Distrito Industrial. A ilha encontrada no Bairro São José está relacionada à uma grande indústria ali localizada (Figura 05).

No Bairro Santa Rosa, as temperaturas elevadas que deram origem às ilhas de calor, estiveram relacionadas ao prolongamento do Loteamento. O mesmo ocorreu no Bairro Minas Gerais, onde o solo exposto, a escassa cobertura vegetal (Figura 06) e a presença de algumas plantas industriais foram as grandes responsáveis pelo surgimento de ilhas de calor.

Os solos expostos também foram responsáveis pelo surgimento de ilhas no Distrito Industrial, o que pode ser verificado principalmente em sua área norte/noroeste. Neste bairro, bem como no Minas Gerais foram identificados na imagem, dois pontos brancos, representados por ruídos na imagem. Tais pontos de ruído correspondem ao telhado de galpões (em alumínio), o que denota a sua alta reflectância.

As ilhas de frescor do ano de 2014 deste setor ocorreram nos bairros Presidente Roosevelt, Industrial, devido à presença de cobertura vegetal (Figura 06).

Setor Sul

Este setor caracteriza-se pela presença de um alto contingente populacional e pelas suas áreas de preservação, que contribuem para diversificar o comportamento da temperatura em sua área.

Neste setor foram encontradas ilhas de calor no ano de 2014 nos Bairros: Shopping Park, Laranjeiras, Jardim Inconfidência, Jardim Karaiba e Morada da Colina. Isto demonstra o mesmo comportamento do ano de 2004. A análise conjunta dos mapas de temperatura (Figura 05) e NDVI (Figura 06), demonstra que as altas temperatura estão ligadas à pouca cobertura vegetal ou à ausência dela.

Zonas de frescor, neste setor, estão ligadas à presença da cobertura vegetal de fundo de vale, como se pode destacar as margens do Rio Uberabinha que passa pelos limites dos Bairros Tubalina, Patrimônio, Cidade Jardim, Bons Olhos (Nova Uberlândia) e Shopping Park (Figura 05).

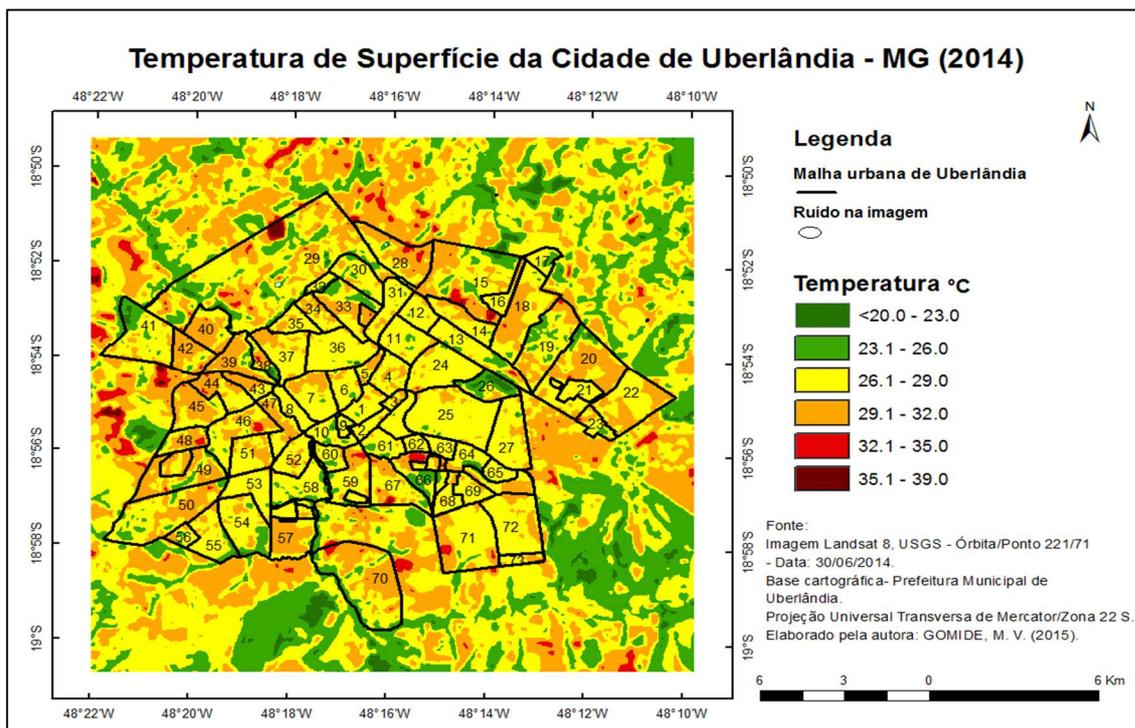


Figura 05: Temperatura de superfície da cidade de Uberlândia – MG (2014)
Fonte: Vieira (2016).

Setor Leste

No Setor Leste as ilhas de calor, do ano de 2014 (Figura 05), foram identificadas em apenas dois pontos, uma no Bairro Custódio Pereira e outra no bairro Aclimação, ambas em decorrência da presença de lotes vagos, com pouca vegetação (Figura 06) e solo exposto. Destaca-se que a presença de vegetação seca pode ter contribuído para a identificação destas ilhas, particularmente no Bairro Aclimação.

Áreas com temperatura mais amenas foram encontradas nos Bairros: Parque Sabiá, Custódio Pereira, Aclimação, Mansões Aeroporto e Morada dos Pássaros (Figura 05), provenientes de áreas verdes com vegetação densa e espaçamento das construções. Essas áreas podem ser consideradas como ilhas de frescor, apresentando temperaturas entre 20 e 26°C, o que representa, no mínimo 13°C a menos, quando comparadas às áreas com ilhas de calor.

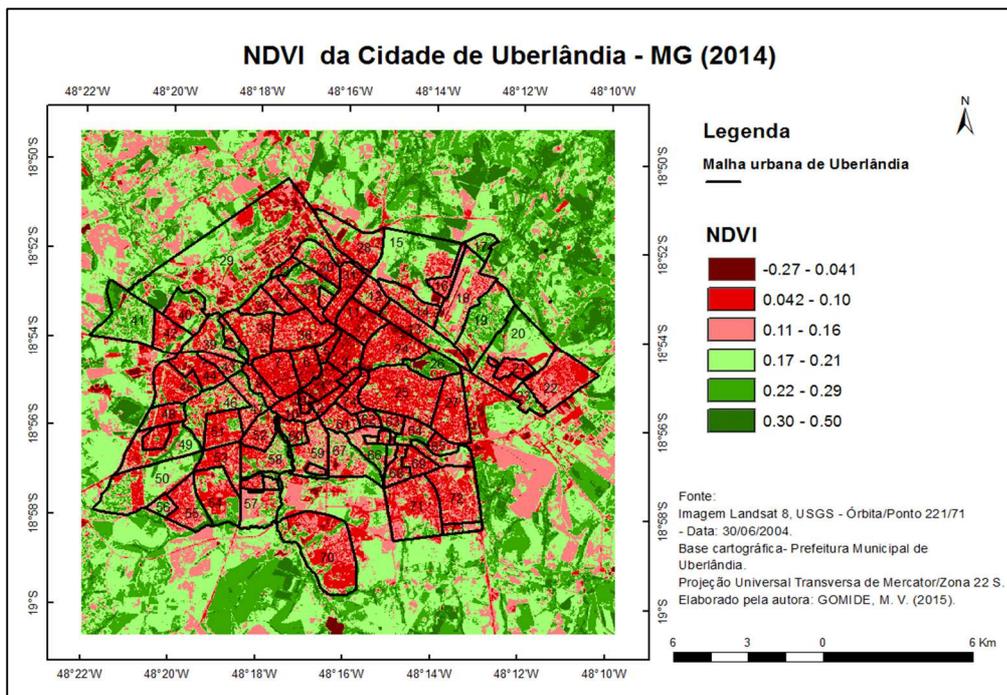


Figura 06: NDVI da Cidade de Uberlândia – MG (2014).

Fonte: Vieira (2016).

Setor Oeste

Dentre os setores analisados, este é o mais populoso e maior em extensão territorial, sendo composto por 18 bairros. Nesta área, no ano de 2014, foram encontrados dois principais pontos considerados como ilhas de calor (Figura 05), um deles localizado no Bairro Mansur e o outro nas Chácaras Tubalina. Na Chácara Tubalina, a ocorrência de ilhas de calor, naquele ano, esteve relacionada à presença de um terreno do 36º Batalhão de Infantaria Motorizada com vegetação rasteira seca, em função do período de inverno.

No caso do Bairro Mansur, a ocorrência de ilhas de calor esteve relacionado à construção de conjuntos habitacionais prediais em loteamentos novos do bairro. O índice de NDVI (Figura 06) demonstra a ausência de cobertura vegetal arbórea e a presença de solo exposto. A partir da Figura 05 é possível verificar a presença de outras ilhas de calor espalhadas pelos bairros Luizote de Freitas, Jardim Patrícia e Dona Zulmira estas, porém, sem abranger áreas significativas.

Zonas de frescor foram identificadas nos bairros Jardim Palmeiras, Cidade Jardim, Jardim Canaã, Tubalina e Morada do Sol, além de Panorama, Jardim Holanda, Jardim Europa e Taiaman (Figura 05). Em todos estes, a vegetação ciliar e as áreas de preservação permanentes, com exceção do Bairro Morada do Sol, onde existem chácaras com vegetação, são as grandes responsáveis pela ocorrência das ilhas de frescor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constatou-se, com os resultados desta pesquisa, que as ilhas de calor se manifestam em Uberlândia, principalmente, em decorrência de locais com solo exposto, ou com fina camada de

vegetação. Na zona rural, as áreas destinadas aos cultivos, após a colheita, ficam com o solo exposto provocando aquecimento. No caso da zona urbana, são decorrentes de lotes vazios, com presença de pouca vegetação ou ausência desta.

No ano de 2004, observou-se diferença de um grau de temperatura a menos quando comparado com 2014. Mensurou-se, neste último ano, a maior temperatura, 39.0 °C dos dois anos analisados. Apesar do ano de 2014 ter apresentado maior temperatura, notou-se que no ano de 2004 ocorreu o predomínio de temperaturas mais elevadas na cidade, sendo de 29.1 a 32.0 °C, ou seja, tecnicamente falando, 2004 apresentou mais ilhas de calor que 2015, apesar deste ter sido mais quente.

Isto se deu devido à temperatura média do ar, para o ano de 2004, estar cotada em 24.4 °C, enquanto que, no ano de 2014, a temperatura do ar foi mais baixa, 22.4°C e a de superfície predominante ficou entre 26.1 a 29 °C. Vários outros fatores poderiam ter contribuído para este resultado, como a massa de ar atuante no dia e os sistemas de ventos. Referente às ilhas de calor, foram identificadas em maior predominância no ano de 2004.

O comportamento das ilhas de calor, em geral, é diferente nos dois anos analisados, mas se repete, principalmente, em seis bairros: Jardim Karaíba, Jardim Inconfidência, Aclimação, Chácaras Tubalina, Laranjeiras e Distrito Industrial.

A incidência e o tamanho das ilhas de calor variam em cada ano e também em sua localidade nos bairros, mas estão, visivelmente, ligados aos solos expostos ou com pouca cobertura de vegetação, tratando-se de loteamentos vazios/vagos.

Um adendo sobre a discussão dos solos expostos identificados na cidade, é que o mês de Junho (empregando como referência das imagens de satélite) é um mês seco na região de estudo, e muitos dos terrenos que possuíam vegetação rasteira as perdem, devido à estiagem, colaborando para a elevação do albedo e da temperatura.

Ao longo da pesquisa foram identificados no mapa de temperatura de superfície, alguns pontos brancos, onde a reflectância foi extremamente alta, e a emissividade extremamente baixa. Estes locais correspondem à construções industriais com telhados de alumínio. Isto demonstra o quanto é importante o conhecimento sobre projetos arquitetônicos industriais e de grandes obras, optando pela utilização de materiais de construção que contribuam para as zonas de frescor e o conforto térmico.

Conclui-se que as menores temperaturas ocorreram em áreas com significativa vegetação. Em 2014, visualizaram-se mais áreas com temperaturas amenas decorrentes da vegetação, quando comparadas ao ano de 2004, isto pode ser em razão de áreas de preservação permanente, próximas a córregos, mananciais e parques, ou mesmo pelo fato de a temperatura do ar, no ano de 2014, ter sido mais amena que a de 2004. Nota-se, por meio de identificação visual no NDVI, que as áreas com ausência de vegetação ampliaram-se, principalmente, no setor sul de Uberlândia.

Também foi notório, nos dois anos estudados (2004 e 2014), que, em três bairros (Morada do Sol, Morada dos Pássaros e Mansões Aeroporto), ocorreram temperaturas amenas entre 23.1 a 26.0 °C

em virtude da quantidade de vegetação. Nestes bairros as construções são em formato de chácaras, espaçadas entre si, com grandes terrenos e vastas áreas verdes, colaborando para criação das zonas de frescor, com maior circulação de ar, evapotranspiração e temperaturas mais amenas.

As zonas de frescor estão, estritamente, ligadas à existência de vegetação. Em Uberlândia, identificaram-se algumas zonas de frescor em decorrências de matas ciliares, parques, praças, entre outros, mas, no geral, a cidade possui pouca vegetação, principalmente na região central. As zonas de frescor propiciam melhor conforto térmico para a população.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. C. T. **O Clima Urbano de Presidente Prudente/SP**. São Paulo, 2000, 322f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, 2000.

AMORIM, M. C. C.T.; DUBREUIL, V. H. Q.; SANT'ANA NETO, J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França), *Confins*, n. 7, 2009.

ANDRADE, A. R.; ROSEGHINI, W. F. F.; MENDONÇA, F. A. Análise do campo térmico da cidade de Irati/PR: primeiros experimentos para a definição do clima urbano. *Revista Brasileira de Climatologia*, nº 6, v. 6, p. 675 – 689, Junho/ 2010. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/revistaabclima/article/view/25587>> Acesso em: 13 nov. de 2012.

UBERLÂNDIA - **BANCO DE DADOS INTEGRADOS** – BDI- Prefeitura Municipal de Uberlândia, Secretaria Municipal de Planejamento Urbano (2014). Disponível em <<http://www.uberlandia.mg.gov.br/2014/secretaria-pagina/56/514/secretaria.html>>. Acesso em: 20 de Jan. 2015.

BIAS, E. de S.; BAPTISTA, G.M.de M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados landsat e ikonos. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, Brasil, *Anais do XI SBSR*, Belo Horizonte, Brasil, abril, 2003 INPE, p. 1741 – 1748. 2003. Disponível em: <http://mar.te.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/09.12.18.52/doc/14_005.pdf> Acesso em: 20 abr. de 2014.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. S. C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. *Revista Geográfica Acadêmica* v.7, n.1. 2013.

COLL, C.; GALVE, J.M.; SÁNCHEZ, J. M.; CASELLES, V. “Validation of Landsat 7/ETM+ Thermal-Band Calibration and Atmospheric Correction With Ground-Based Measurements”, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, v. 48, n. 1, pp. 547–555, Jan. 2010.

COLTRI, P.P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto**. 2006. 166p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-25102006-123617/pt-br.php>> Acesso em: 22 mai. De 2014.

- FIALHO, E. S. **Ilha de Calor em cidade de pequeno porte: Um caso de Viçosa, Zona da Mata Mineira**. São Paulo, 2009. 259p. Tese (Doutorado em Geografia/Geografia Física) –Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.
- MENDONÇA, F. de A. **O clima e o planejamento urbano das cidades de porte médio e pequeno: proposições metodológicas para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR**. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, FFLCH/USP, São Paulo. 1995.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia noções básicas e climas do Brasil**. Ed. Oficina de Textos. São Paulo. 2007.
- MONTEIRO, C. A. de F. **Análise Rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho**. São Paulo: Universidade de São Paulo/Instituto de Geografia, 1971. 21 p. (Série Climatologia n° 1).
- MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. In: MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. (Org.) **Clima Urbano**. São Paulo: Editora Contexto, 2003.
- NASA - **National Aeronautics and Space Administration**. Disponível em <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=5596>> Acesso em 23 fev. de 2015
- NASCIMENTO, D. T. F. **Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986-2010)**. 2011.98 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, 2011.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2008.
- OKE, T. R.; VOOGT, J. A. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing Environment**, v. 86, p. 370-384, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425703000798>> Acesso em : 17 jul. 2014.
- ORTIZ,G.F.; AMORIM,M. C. C. T. Clima urbano e ilhas de calor em Cândido Mota/SP. **Revista Geonorte**, edição especial 2, v.2, n.5, p.455 – 468. 2012. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/viewFile/822/1089>> Acesso em: 25 jun. de 2013.
- SAYDELLES, A. P. **Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria-RS**. 2005. 219f. Dissertação (Dissertação de mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppggeo/files/dissertacoes_2005/Alexandre%20Pistoia%20Saydelles.pdf> Acesso em: 29 de fevereiro de 2014.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e aplicações**. Viçosa, UFU, 1991.
- VIEIRA, M. G. **Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento Aplicadas ao mapeamento da cana-de-açúcar no Triângulo Mineiro e alto Paranaíba – MG**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Geografia. Universidade Federal de Uberlândia/FACIP, 2011.

VIEIRA, M. G. **Caracterização do Fenômeno Ilhas de Calor na Cidade de Uberlândia – MG nos anos de 2004 e 2014 por meio de técnicas de sensoriamento remoto.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Londrina, 2016.