

Fabricio Holanda do Nascimento

Geógrafo e Mestre em Geografia Física pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
fabricio.climatologia2015@gmail.com

Amanda Fernandes Silva

Geógrafa e Mestranda em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
amandafernandeslibra@gmail.com

Variação espacial da temperatura de superfície: estudo de caso de dois episódios no município de Viana, Espírito Santo, Brasil, em 2019

Resumo

Esta pesquisa tem o objetivo de identificar e analisar a variação das temperaturas de superfície do Município de Viana, Espírito Santo, Brasil, por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto, em dois episódios, chuvoso e seco, de 2019, bem como relacionar as classes de temperatura com o uso e a cobertura do solo e a morfologia do terreno. Para tanto, foram feitos levantamentos bibliográficos entre livros, teses, dissertações e artigos científicos que discorrem sobre os principais conceitos aqui tratados (Clima, Climatologia Geográfica, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informações Geográficas etc.), aquisição de bases cartográficas (vetoriais e raster) para a elaboração dos mapas e para aplicação de recursos técnicos de geoprocessamento de imagens de satélite. Os resultados mostraram diferenças significativas na variação das temperaturas, mais elevadas nas áreas urbanas comparativamente às áreas de agricultura/pastagens (8°C) e providas de cobertura florestal (9,5°C), tanto no verão quanto no inverno, associadas às propriedades diferenciadas quanto à produção, à propagação e à conservação de calor no ambiente.

Palavras-chave: Climatologia Geográfica, Clima Urbano, Planejamento Urbano, Ordenamento Territorial, Infravermelho Termal.

Abstract

SPATIAL VARIATION OF SURFACE TEMPERATURE: CASE STUDY OF TWO EPISODES IN THE MUNICIPALITY OF VIANA, ESPÍRITO SANTO, BRAZIL, IN 2019

This research aims to identify and analyze the variation in surface temperatures in the municipality of Viana, Espírito Santo, Brazil, using Remote Sensing techniques, in two episodes, rainy and dry 2019, as well as to relate the temperature classes with the land use and cover and the terrain morphology. To this end, bibliographical surveys were made between books, theses, dissertations and scientific articles that discuss the main concepts treated here (Clima, Geographic Climatology, Remote Sensing, Geographic Information Systems, etc.), acquisition of cartographic bases (vector and raster) for the preparation of maps and for the application of technical resources for geoprocessing satellite images. The results showed significant differences in the variation of higher temperatures in urban areas compared to areas of agriculture / pasture (8°C) and provided with forest cover (9.5°C) both in summer and in winter associated with different properties as to production, propagation and heat conservation in the environment.

Key-words: Geographic Climatology, Urban Climate, Urban planning, Land use planning, Thermal Infrared.

1. Introdução

A diversidade de problemas ambientais e sociais que ocorrem em áreas urbanas provém, em sua maioria, do processo de produção das cidades e expansão das áreas urbanas. Neste contexto, muitas vezes esses processos não levam em consideração os elementos físicos ou naturais do sítio, aqui entendido como a condição geoecológica do lugar, como o relevo, o solo, os corpos d'água, a vegetação e o clima (PORANGABA; AMORIM, 2019; MONTEIRO, 1990).

É nas cidades que ocorrem as maiores intervenções do Homem sobre a Natureza, e, na escala local, nas modificações da composição da atmosfera (LOMBARDO, 1985; LANDSBERG, 2006). Nesse sentido, Coelho (2003) afirma que as alterações intensas do ambiente, devido às ocupações humanas, ocorrem em consequência da falta de planejamento adequado que vise a minimizar os efeitos nocivos ao meio físico.

Landsberg (2006) aponta três razões básicas que causam mudanças no clima em função da urbanização. A primeira delas é a substituição de

áreas naturais por um complexo de substâncias rochosas (construções); a segunda causa é a própria produção de calor pela cidade, gerado a partir de um conjunto de seres humanos, fornos de residências e indústrias, ampliada pela queima de combustíveis fósseis; a terceira refere-se ao adensamento populacional que causa expressivas modificações na composição dos elementos do clima local (ou escala inferior da atmosfera).

Os primeiros a estudarem o clima já tinham a consciência de que as atividades humanas traziam consequências para atmosfera. Trabalhos pioneiros, como o de Luke Howard (1833), já evidenciavam esse fato, ao analisar as diferenças térmicas entre cidade e campo em Londres. Além disso, os problemas relacionados à atmosfera urbana, em especial à intensificação da temperatura intraurbana, são preocupantes, não somente pelo desconforto térmico, mas também pelas consequências trazidas à saúde humana (PORANGABA; AMORIN, 2019).

Dentre as consequências das atividades humanas sobre a natureza, sobretudo em função da urbanização, a “ilha de calor” é a mais perceptível. Esta pode ser definida pela diferenciação térmica quando o ar e as temperaturas da superfície das áreas urbanas são mais elevadas em relação ao seu entorno rural (GARTLAND, 2010; BRANDÃO, 2011; JENSEN, 2009).

Há diversas metodologias para se aferir os elementos da atmosfera, em especial das temperaturas do ar e da umidade relativa do ar, como, por exemplo, os balões meteorológicos, os aparelhos *data-loggers*, e o Sensoriamento Remoto (SR); este último mais recentemente, em especial na aferição das temperaturas de superfície de distintos materiais que compõem a paisagem, a partir do canal do infravermelho termal.

O Sensoriamento Remoto (SR) aqui é entendido como uma arte e uma ciência, capaz de obter informações sobre um objeto qualquer sem a necessidade de se ter contato direto com esse objeto. Além disso, o SR pode ser entendido como uma técnica ou ferramenta fundamental que, através de conceitos matemáticos, pode medir a quantidade de energia eletromagnética que emana de um dado geográfico (JENSEN, 2009).

O SR faz parte de um conjunto maior, o Geoprocessamento, e funciona em harmonia com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), bem como

a cartografia, e, por meio desses, é possível trabalhar com sobreposição de camadas da superfície terrestre (JENSEN, 2009; FITZ, 2008).

No que se refere ao uso do Sensoriamento Remoto para identificação de temperaturas de superfícies, diversos autores (no Brasil e no exterior) utilizaram essa tecnologia da faixa do infravermelho termal para estudar o fenômeno das ilhas de calor, a exemplo de Lombardo (1985), Mendonça (1995), Weng (2003), Oke (2003), Jensen (2009), Coelho; Correa (2013) e Nascimento et al. (2018).

De forma particular, o SR vem ganhando aceitação cada vez maior entre profissionais e acadêmicos, em função de diversos fatores, a exemplo do acesso gratuito a *softwares* de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e produtos derivados de satélites e radares, como os dados do satélite Landsat, e dados interferométricos da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (COELHO; CORREA, 2013).

Nesse âmbito, destaca-se a contribuição de Chandé; Markham; Helder (2009), em seu estudo sobre temperaturas de superfície, no qual discute e aplica fórmulas de coeficientes na calibração radiométrica e na obtenção de temperaturas em graus celsius em imagens de satélites Landsat-5 TM, metodologia essa empregada neste trabalho e adaptada à área de estudo, com o emprego do sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), do Landsat-8.

Pesquisas dessa natureza são importantes e se justificam cada vez mais, na medida em que as áreas urbanas aumentam em velocidade cada vez maior. Ademais, podem fornecer aos gestores do espaço subsídios na elaboração de projetos que visem à manutenção de áreas verdes e corpos hídricos em áreas urbanizadas, auxiliando-os nos planejamento e ordenamento territoriais, garantindo assim qualidade de vida ambiental à sociedade.

Em face ao exposto, este trabalho tem o objetivo de identificar e mapear as temperaturas de superfície em Viana, Espírito Santo, em dois períodos, seco e chuvoso, no ano de 2019, com emprego de técnicas de Sensoriamento Remoto. Como objetivos específicos, pretende-se discutir a relação das diferentes faixas de temperatura de superfície com as distintas tipologias de uso e cobertura da terra e verificar a eficácia da metodologia empregada para área de estudo.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

Esta pesquisa é um estudo de caso, cujo recorte empírico refere-se ao município de Viana, localizado nas coordenadas geográficas de latitude 20° 23'25" sul e longitude 40° 29'46" oeste, a 34 metros de altitude. Viana faz parte da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), composta por mais seis municípios, Cariacica, Fundão, Guarapari, Serra, Vila Velha e Vitória, capital do estado do Espírito Santo (figura 1).

De acordo com o INCAPER (2019), o clima de Viana pode ser classificado como Tropical, com períodos de chuvas bem definidos entre os meses de novembro a abril, considerando a série histórica mensal de 1984 a 2014, e temperatura média mensal entre 14°C em julho e 34°C em fevereiro (figura 2).

Quanto ao relevo, Viana possui altitudes que variam de 1 metro a 700 metros, em especial nas porções sudoeste e noroeste. Nessa porção encontra-se um trecho da Reserva Biológica Duas Bocas (ReBio), umas das principais reservas biológicas do Espírito Santo. Uma área com 2.910 hectares, que abrange os municípios de Cariacica e Viana, protegida e criada como Reserva Florestal em 1965, por meio da Lei Estadual nº 2.095/1965, e como Reserva Biológica em 1991, sendo de posse e domínio público. Nesta reserva está localizada a represa de Duas Bocas, abastecida pelos rios Sertão Velho, Pau Amarelo, Panela e Naia-Assú. A unidade faz parte do Corredor Ecológico Duas Bocas - Mestre Álvaro. A reserva protege um importante fragmento florestal de vegetação primária de Mata Atlântica ainda bem conservada do estado (IEMA, 2020).

Figura 1
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. ELABORADA PELOS AUTORES/2020

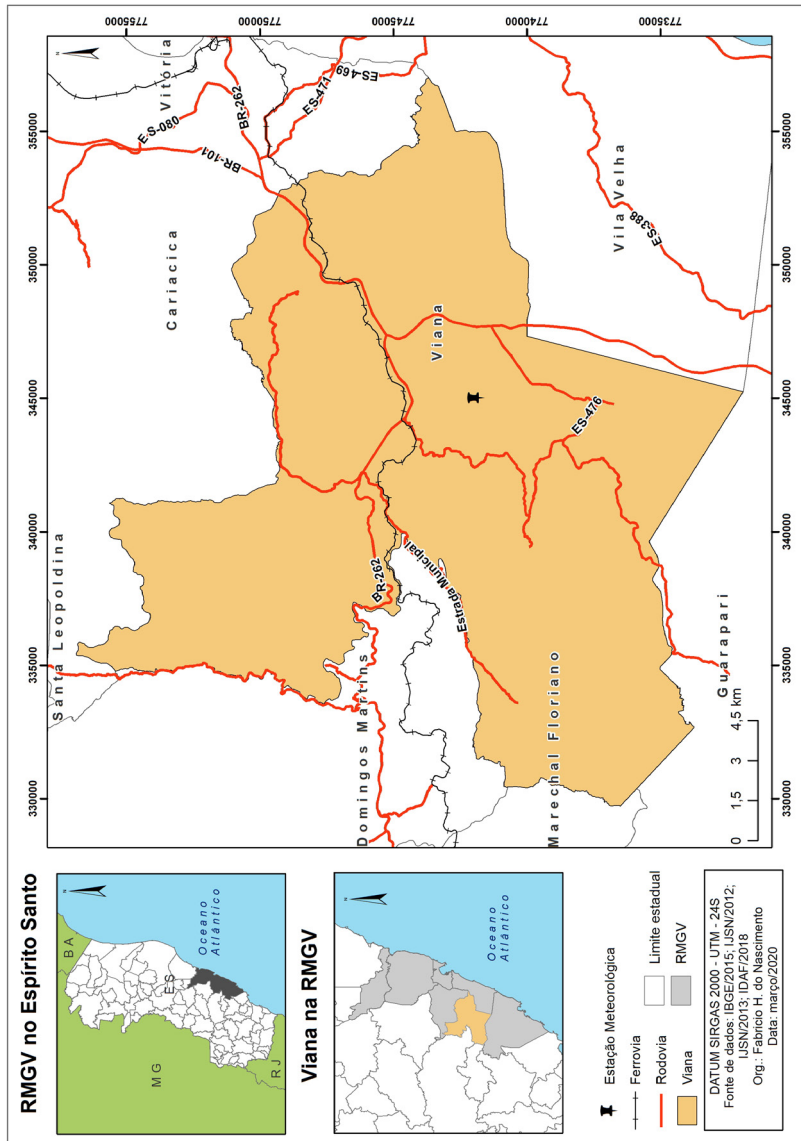
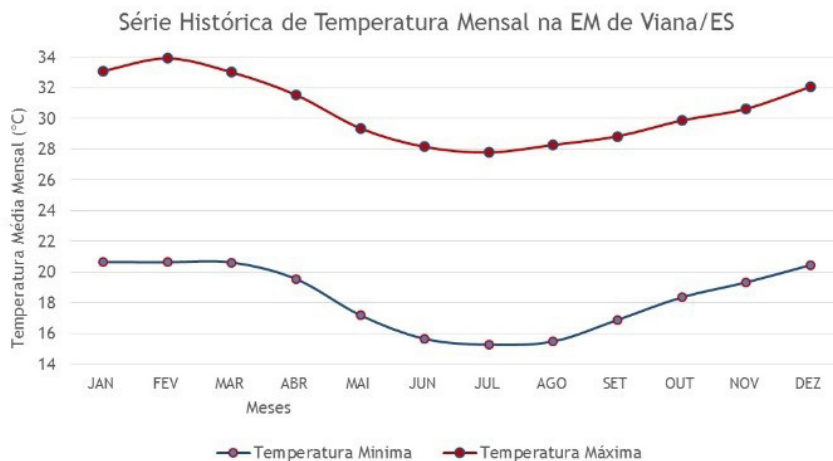


Figura 2
TEMPERATURA MÉDIA MENSAL EM VIANA (1984-2014)



Fonte: INCAPER/2019.

O município de Viana possui área territorial de 312,279 km², o terceiro maior em extensão territorial do estado. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), estimativa para 2019, o município possui uma população de 78.239 habitantes, distribuída em uma densidade demográfica de 207,84 habitantes/km².

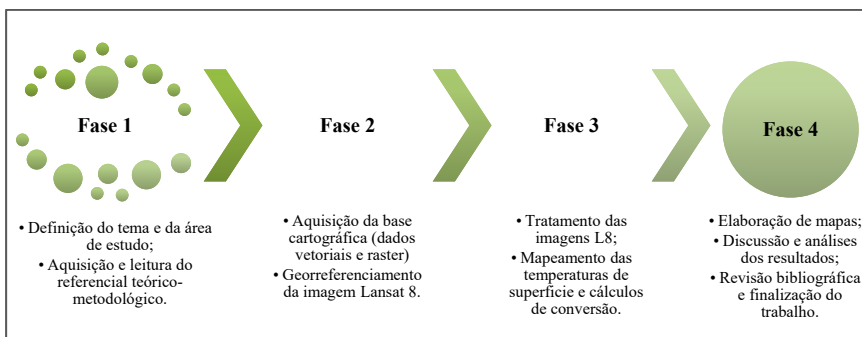
A área de estudo encontra-se próxima à capital do Espírito Santo, Vitória, e é cortada por duas rodovias federais, a BR-262 e a BR-101, além da ferrovia Centro-Atlântica (SANTOS; NASCIMENTO; LEMES, 2019). A economia do município é predominantemente agrária. Contudo, a partir dos anos de 1970, com a implantação dos Grandes Projetos Industriais no Espírito Santo, Viana recebeu diversas indústrias, dos setores comerciais e alimentícios, com destaque para a UNICAFÉ (CAMPOS JR, 2002).

O desdobramento desse processo levou ao melhoramento das citadas rodovias que cortam Viana e a um conseqüente e intenso uso e ocupação da terra, trazendo consigo diversos problemas de naturezas social e ambiental, como ocupações em locais inadequados, a supressão de áreas verdes e o desmatamento de matas ciliares às margens do Rio Formate, o principal rio do local (SANTOS; NASCIMENTO; LEMES, 2019).

2.2 Procedimentos técnico-operacionais

Para que os objetivos desse trabalho fossem alcançados, foi necessário dividi-lo em quatro fases conforme a figura 3.

Figura 3
FLUXOGRAMA METODOLÓGICO



Elaborado pelos autores/2020.

A primeira fase refere-se à definição dos temas e da área de estudo, à aquisição de referencial teórico-metodológico, entre livros, teses, dissertações e artigos científicos que abordassem os principais conceitos aqui empregados, como Clima e Tempo, Clima Urbano, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto (SR), Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto do Infravermelho Termal, entre outros.

A segunda fase foi dedicada à aquisição da base cartográfica, entre dados de natureza vetorial e raster ou matricial. As bases vetoriais, como limites de municípios, trechos de rodovias, uso e cobertura da terra, sedes municipais e divisão estadual, foram adquiridas nos sites do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), respectivamente.

As imagens de satélite do Landsat-8 (L8) foram adquiridas no *site* da *United States Geological Survey (USGS), Earth Explorer*. O quadro 1 sintetiza as principais características das bases vetoriais utilizadas neste trabalho.

O Landsat-8 (L8) faz parte de uma série de satélites Landsat que foi lançado na década de 1970, pela *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, nos Estados Unidos (EUA). O primeiro satélite

da série foi o Landsat-1 ou ERTS-1, lançado em 1972. A partir dessa data, outros satélites da série foram lançados, até o L-8, com o objetivo principal de auxiliar no monitoramento dos recursos naturais.

Quadro 1
PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS BASES CARTOGRÁFICAS UTILIZADAS

Dado	Tema	Fonte	Ano	Escala / Resolução
Divisão Estadual	Unidades da Federação	IBGE	2015	1:100.000
Limite Municipal	Município	IJSN/CGEO	2018	1:15.000
Limite de Bairro	Bairros	IJSN/CGEO	2014	1:15.000
Trecho Rodoviário	Rodovia	IJSN/CGEO	2014	1:15.000
Uso e cobertura da terra	Uso e cobertura da terra	IJSN	2012/2015	1:5.000

Elaborado pelos autores/2020.

Os satélites Landsat-5, 7 e 8, além de possuírem todas as bandas multiespectrais, possuem também o canal do infravermelho termal, capaz de identificar a temperatura emitida pelos materiais que compõem a paisagem: o L5 com o sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM) e os L7 e L8 com o sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) (INPE, 2020).

O Landsat-8 foi lançado em 2013, no dia 11 de fevereiro, e em março começou a transferir imagens. Porém, somente em abril é que o satélite atingiu sua órbita final, a 705 km de altitude. Sua órbita é do tipo heliossíncrona, ou seja, acompanha o movimento do Sol, sendo que as resoluções temporal e radiométrica desse satélite são de 16 dias e 12 bits, respectivamente (SANTOS, 2014). A tabela 1 apresenta as características essenciais das imagens do satélite L8.

Na terceira fase desenvolveu-se o tratamento dos dados cartográficos. As imagens do L8 foram tratadas e corrigidas, bem como georreferenciadas para o Sistema de Referência Datum SIRGAS 2000, zona 24 Sul, haja vista que, para o quadrante de Vitória, o mesmo de Viana, as imagens vêm com o Datum WGS1984 Zona 24 N. A projeção utilizada é a *Universal Transversa de Mercator* (UTM). Além disso, todos os dados vetoriais foram configurados

nos mesmos parâmetros, com o propósito de manter uma padronização cartográfica, conforme recomendado por Fitz (2008).

A quarta fase referiu-se ao mapeamento do uso e da cobertura da terra e da elaboração dos mapas de temperatura de superfície. O *software* utilizado para o mapeamento, tanto da temperatura de superfície quanto para os outros mapas temáticos foi o ArcGIS 10.5®, extensão ArcMap, comumente a mais utilizada em trabalhos cartográficos. Após o mapeamento, foram realizadas as discussões e análises dos resultados, bem como a redação final do trabalho.

Tabela 1
CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS DO LANDSAT-8

Bandas Espectrais	Nome das Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Resolução Espacial (m)
OLI1	Costeira/Aerossol	0,43 – 0,45	30
OLI2	Azul	0,45 – 0,51	30
OLI3	Verde	0,53 – 0,59	30
OLI4	Vermelho	0,64 – 0,67	30
OLI5	Infravermelho próximo	0,85 – 0,88	30
OLI6	Infravermelho de ondas curtas	1,57 – 1,65	30
OLI7	Infravermelho de ondas curtas	2,11 – 2,29	30
OLI8	Pancromática	0,50 – 0,68	15
OLI9	Cirrus	1,36 – 1,38	30
*TIRS10	Infravermelho termal	10,60 – 11,19	100
*TIRS11	Infravermelho termal	11,50 – 12,51	100

Fonte: Adaptado da USGS (2013). Elaborada pelos autores/2020.

*Tratada e disponibilizada com 30 metros.

Para o mapeamento das temperaturas de superfície foi utilizada a banda 10 das imagens L8, equivalente aos dois períodos analisados (seco e chuvoso), considerando a classificação climática da Região Sudeste do Brasil. As datas de passagens do satélite foram 11/07/2019 e 18/12/2019, às 11h e 45min da manhã e 12h e 45min da tarde, respectivamente.

Ainda nessa etapa, as imagens foram recortadas e inseridas na área de estudo, com base no limite vetorial de Viana, por meio da ferramenta de *extract by mask*, do ArcGIS. Após esse procedimento, as imagens foram georreferenciadas para um sistema de projeção local, o Datum SIRGAS

2000 zona 24 S, que são os parâmetros mais adequados para o Brasil, de acordo com o IBGE (2005).

A segunda etapa refere-se ao processamento digital da imagem. Nessa etapa foram realizados os procedimentos de conversão da radiância do topo da atmosfera (L_λ) para temperatura de brilho em Kelvin (K) e Celsius ($^{\circ}\text{C}$), conforme metodologia disponibilizada pela USGS através da ferramenta *Spatial Analyst Tools – Map Algebra – Raster Calculator*, dentro do *software* de SIG já mencionado anteriormente (equação 1).

$$T_{\text{rad}} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (\text{eq.1})$$

Na qual,

- T_{rad} : temperatura de brilho no sensor ou temperatura radiante (K);
- K_2 : constante termal da banda específica (K2_CONSTANT_BAND_x), onde x é o número da banda, ou seja, das bandas 10 ou 11 (Quadro 2);
- K_1 : constante termal da banda específica (K1_CONSTANT_BAND_x), onde x é o número da banda, ou seja, das bandas 10 ou 11; e
- L_λ : radiância espectral no topo da atmosfera ($\text{W}/\text{m}^2\text{srad } \mu\text{m}$).

Quadro 2
VALORES DAS CONSTANTES TERMAIS

Constante	Banda Termal	Valor
K1	B10	774,89
K1	B11	480,89
K2	B10	1321,08
K2	B11	1201,14

Fonte: USGS/2019.

Para converter os números digitais (ND) para radiância no topo da atmosfera (L_λ) das bandas 10 e 11 do satélite L8, ou seja, as bandas que possuem sensibilidade termal, deve-se seguir o processamento dado pela equação 2.

$$L_\lambda = M_L Q_{\text{cal}} = A_L \quad (\text{eq. 2})$$

Na qual,

L_λ : radiância espectral no topo da atmosfera ($W/m^2srad \mu m$);

M_L : fator multiplicativo reescalonado da radiância para a banda específica ($RADIANCE_MULT_BAND_x$), onde x é o número da banda;

Q_{cal} : Número Digital (ND) do pixel; e

A_L : fator aditivo reescalonado da radiância para a banda específica ($RADIANCE_ADD_BAND_x$), onde x é o número da banda. Na tabela 2 estão descritos os valores ML e AL.

Após esses procedimentos, deu-se início à extração da temperatura de brilho do sensor ou temperatura radiante em °C, conforme equação 3.

$$T_{rad}(^{\circ}C) = T_{rad}Q_{cal} - 2 \quad (eq. 3)$$

Na qual,

T_{rad} (°C): temperatura de brilho no sensor ou temperatura radiante (°C).

Tabela 2

VALORES DO FATOR ADITIVO REESCALONADO PARA A BANDA ESPECÍFICA (ML E AL) DISPONÍVEIS NAS IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT 8

BANDAS (L8)	ML	AL
Banda 10	0.00033420	0.10000
Banda 11	0.00033420	0.10000

Fonte: USGS/2019.

De acordo com Santos (2014), os sensores disponíveis nos satélites medem a intensidade do fluxo radiante da superfície imageada, o que se denomina de radiância ou radiância aparente, por sua composição possuir interferência da atmosfera e de elementos vizinhos. Essa radiância é convertida em números digitais escalonados que são as constantes de calibração de cada banda. Nesse caso, da banda 10 e da banda 11 do L-8. Assim como em alguns estudos que objetivam identificar a refletância aparente da superfície, os números digitais devem ser convertidos em fatores de refletância da superfície, caso possível por meio da aplicação das equações apresentadas.

3. Resultados e análises

3.1 *Dados institucionais das condições de tempo*

A área de estudo refere-se a Viana, localizada no Espírito Santo. Os dois períodos avaliados foram o período chuvoso, com data de 18/12/2019, às 12h e 45min, e o período seco, com data de 11/07/2019, às 11h e 45min da manhã, horário local. De acordo com o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), com base nos dados da estação experimental de Jucuruaba (20 metros de altitude), localizada nas coordenadas geográficas latitude 20° 24'54" Sul e longitude 40° 29'07" Oeste e a cerca de 20 km de distância do centro do município, a temperatura média para o mês de dezembro de 2019 foi de 25,9 °C, e, no dia 18/12, a temperatura média foi de 27,73°C. Já para o mês de julho, a temperatura média foi de 21,23°C, enquanto que para o dia 19/07 foi de 18,73°C.

Segundo o INCAPER (2019), o mês de dezembro começou com a chegada de uma frente fria sobre o Espírito Santo, fato que reforçou um episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), o que ocasionou chuvas em boa parte do estado nos primeiros dias do mês. No entanto, mesmo com a distribuição “regular” das chuvas, as temperaturas, máxima e mínima, estiveram dentro da normalidade, segundo a média histórica do INCAPER de 1984-2014.

No mês de julho, representando o inverno na América do Sul (AS) e o período seco para o Sudeste do Brasil, não foram observadas quantidades significativas de chuvas e, em alguns municípios do Espírito Santo, em especial os da porção Norte do estado, praticamente não choveu (INCAPER, 2019). No que se refere à temperatura do ar, devido à ausência de nuvens, as temperaturas tiveram um aumento de, pelo menos, 2 °C acima da média histórica, de 1976-2014. Porém, foi possível perceber a entrada de massas de ar polar e frentes frias no estado que baixaram as temperaturas mínimas no Espírito Santo (INCAPER, 2019).

A avaliação das condições de tempo é importante para se compreender o comportamento das temperaturas de superfície, pois alguns materiais artificiais (concreto e asfalto, por exemplo) retêm mais calor do que as superfícies naturais. Além disso, em dias claros, o efeito da ilha de calor

é mais intenso, enquanto que, em dias nublados, chuvosos e com ventos fortes, a ilha de calor tende a ser mais branda, haja vista que os ventos e a chuva, por exemplo, removem o calor absorvido pelos materiais artificiais que compõem a paisagem (GARTLAND, 2010; JARDIM, 2010).

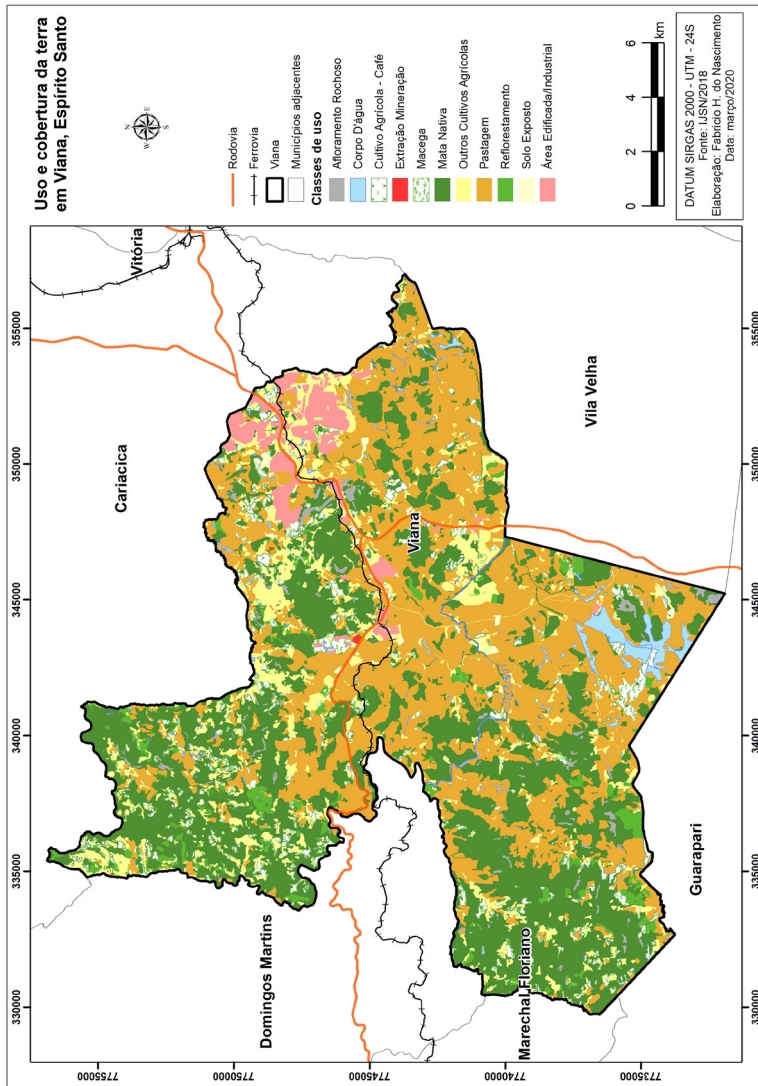
3.2 *Uso e cobertura da terra*

A figura 4 apresenta o uso e a cobertura da terra do município de Viana/ES, com base no mapeamento desenvolvido pelo Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) para o estado do Espírito Santo e atualizado em 2018. No entanto, as classes de uso e cobertura da terra foram adaptadas para a área de estudo, adotando-se as seguintes tipologias: afloramento rochoso, corpo d'água, cultivo agrícola – café, extração mineral, macega, mata nativa (Mata Atlântica), outros cultivos agrícolas (coco da Bahia e banana), pastagem, reflorestamento (eucalipto e seringueira), solo exposto e área edificada/industrial. Pela análise da figura 4 é possível observar que as áreas cobertas por mata nativa estão localizadas nas porções noroeste e sudoeste, próximas aos municípios de Domingos Martins e Marechal Floriano, localizados na Região Serrana do Espírito Santo, uma das mais elevadas do estado.

A classe pastagem, que ocupa a maior parte do território vianense, é observada nas porções central, leste e sul da área de estudo e uma pequena faixa na porção nordeste. As áreas ocupadas por edificações e indústrias estão concentradas na porção nordeste e em uma pequena faixa central do município de Viana, bem próximas à Rodovia BR-101 e no limite com o município de Cariacica.

A tabela 3 apresenta a estatística descritiva do uso e da cobertura da terra em Viana. Nesse contexto, é possível perceber que as áreas de mata nativa correspondem a 37,75% da área do município, seguidas de pastagem e outros cultivos, correspondendo a 37,24% e 10,82%, respectivamente. As áreas edificadas/industrial correspondem a 3,10%.

Figura 4
USO E COBERTURA DA TERRA DE VIANA EM 2018



Fonte: IJSN/2018. Elaborada pelos autores/2020.

Tabela 3
 ESTATÍSTICA DE USO DE VIANA

Classe	Área (km ²)	Percentual (%)
Mata Nativa	117,86	37,75
Macega	11,45	3,67
Outros Cultivos Agrícolas	33,78	10,82
Massa D'Água	1,47	0,47
Solo Exposto	1,55	0,50
Área Edificada/Industrial	9,67	3,10
Brejo	4,36	1,40
Afloramento Rochoso	3,32	1,06
Pastagem	116,28	37,24
Cultivo Agrícola - Café	3,70	1,19
Reflorestamento	8,70	2,79
Extração Mineração	0,08	0,03
Total	312,22	100

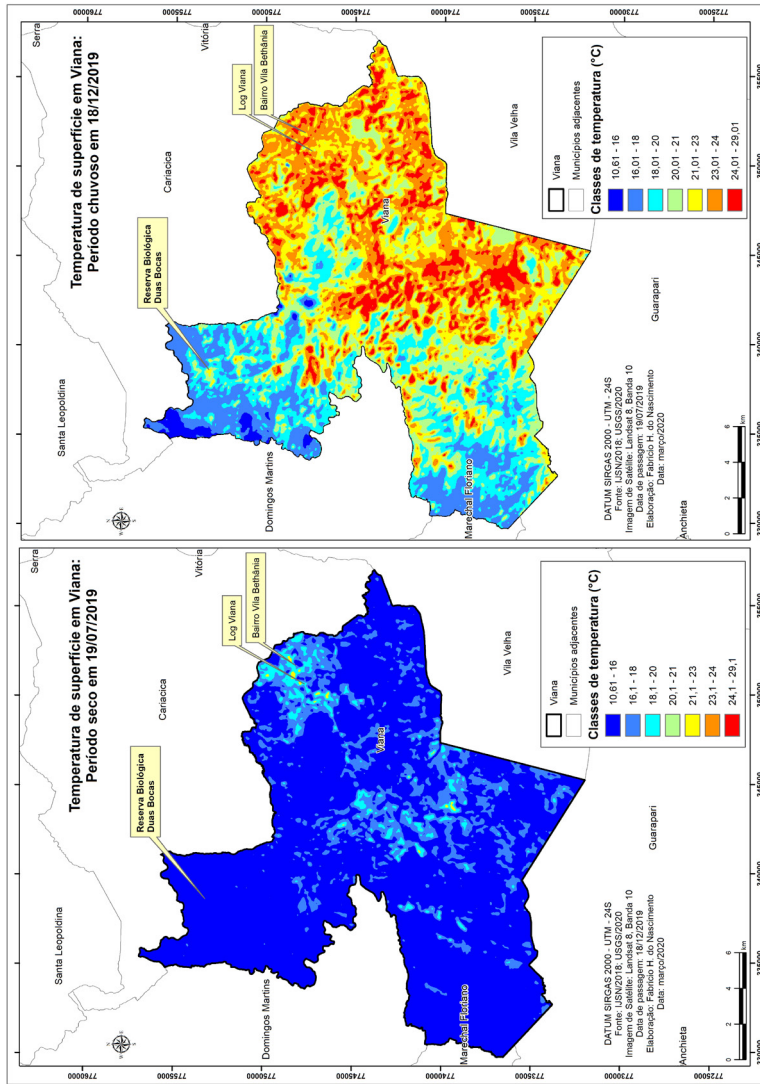
Elaborada pelos autores/2020.

3.3 *Variação da temperatura de superfície*

Embora as áreas edificadas tenham uma representatividade relativamente pequena no contexto geral da área de estudo, é possível notar, por meio da figura 5, que é justamente nessas áreas que as temperaturas mais elevadas se concentram, caracterizando-as como ilhas de calor, seguidas da classe pastagem, com intervalos entre 21,01 a 29,01 °C, com amplitude térmica de 8 °C, no período chuvoso, e 16,01 a 21,5 °C, com amplitude térmica de 5,5 °C, no período seco, evidenciando uma forte relação entre as faixas de temperaturas mais elevadas com as superfícies edificadas e sem cobertura vegetal.

Em contrapartida, as áreas onde as temperaturas são mais baixas (ilhas de frescor) são caracterizadas por mata nativa e corpos hídricos e se localizam nas porções mais elevadas (porções sudoeste e noroeste de Viana), o que permite concluir que há uma importante contribuição da vegetação e dos corpos d'água na atenuação do calor nessas porções do município.

Figura 5
TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM VIANA. À ESQUERDA O PERÍODO SECO; À DIREITA O PERÍODO CHUVOSO



Fonte: USGS/2019; IJSN/2018. Elaborada pelos autores/2020.

As figuras 6 e 7 apresentam um detalhe da porção nordeste da área de estudo e indicam a relação das faixas de temperatura de superfície com o uso e a cobertura da terra nos dois episódios avaliados. Verifica-se que as temperaturas mais elevadas estão nos espaços ocupados por áreas edificadas/indústrias, com pastagens, afloramento rochoso e solo exposto.

Vale ressaltar que, em algumas áreas onde ocorrem classes de vegetação, a exemplo dos quadrantes sudeste e sul de Viana, nota-se valores de temperaturas acima dos 21 °C no período chuvoso e acima dos 18 °C no período seco. Nesse contexto, a vegetação que é encontrada nesse quadrante não é suficiente para atenuar o calor, haja vista que ela é de pequeno porte e ocorre de forma pontual na paisagem, não oferecendo resistência à movimentação do ar e permitindo que a radiação recebida do Sol chegue à superfície com maior facilidade, além de não ser suficiente para dissipar o calor de forma eficiente. Nesse sentido, Jardim (2010) aponta algumas situações nas quais a vegetação pode não exercer um papel de atenuação de temperaturas mais elevadas, como, por exemplo, o fato de se analisar as temperaturas de forma pontual, em apenas um dia ou um horário específico. Além disso, se a vegetação for esparsa e pontual, ela não desempenhará seu papel na atenuação das temperaturas, e sim de variação, caso esse verificado em Viana.

No caso das altas temperaturas verificadas em áreas edificadas/indústrias, pastagem, afloramento rochoso e solo exposto, essas faixas de temperatura podem ser explicadas pelas características da superfície, nas quais predominam ausência de vegetação, presença de asfalto, concreto e residências muito próximas umas das outras, o que pode servir de barreira à circulação dos ventos; ressalte-se também a composição dos materiais construtivos (concreto, amianto de telhados, zinco) e as altitudes relativamente baixas.

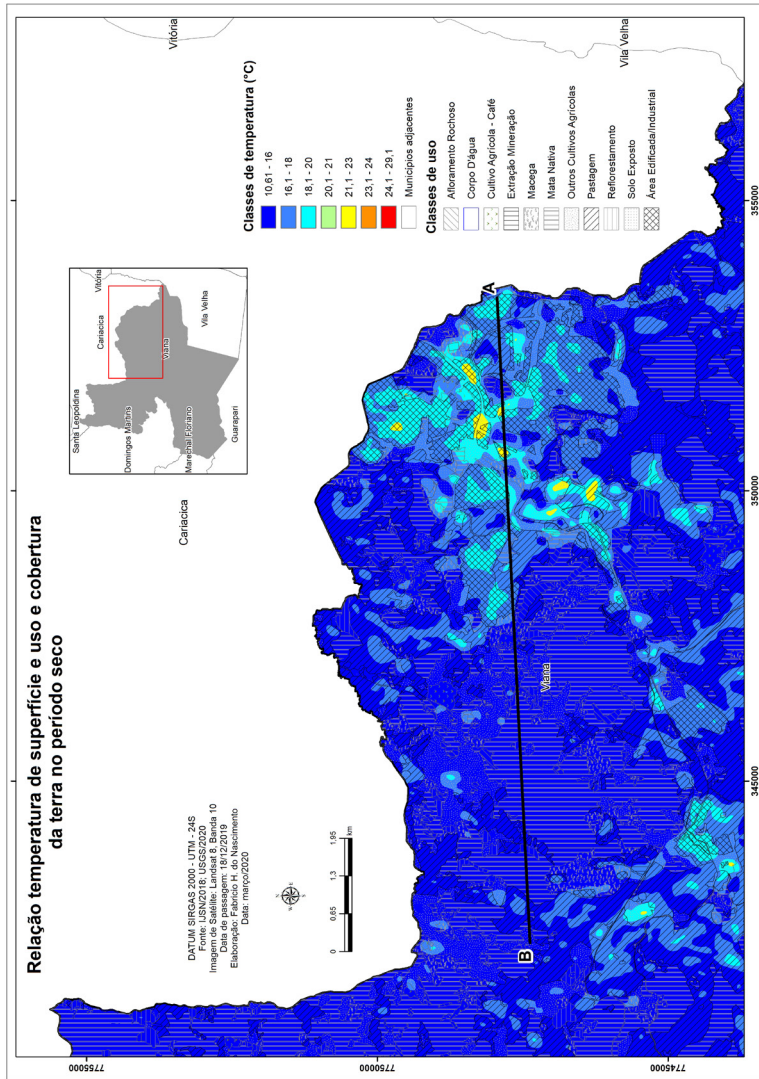
Correa, Coelho e Vale (2015) afirmam que alguns usos da terra, em especial os artificializados, possuem baixo calor específico e pouca eficiência em dissipar calor, fato que corrobora para que as temperaturas de superfície sejam mais elevadas nesses ambientes. Outro fator que contribui para que altas temperaturas de superfície possam se concentrar em áreas urbanizadas é o albedo dos materiais, aqui entendido como a capacidade

de um objeto de refletir a insolação. Assim, materiais como asfalto, concreto e telhados escuros tendem a armazenar mais calor ao longo do dia, porém dissipam calor com mais rapidez, enquanto que as áreas verdes, como florestas, gramíneas e corpos d'água naturais tendem a armazenar menos calor ao longo do dia, porém dissipam o calor de forma mais lenta (CHRISTOPHERSON, 2013).

Por outro lado, as áreas cobertas por mata nativa, corpos d'água e de altitudes mais elevadas foram caracterizadas por temperaturas mais baixas (porções noroeste e sudoeste). Esses resultados estão de acordo com os estudos de Jensen (2009), que usou dados do infravermelho termal para identificar as temperaturas de superfície de várias cidades e observou que, ao longo do dia, em áreas mais urbanizadas, comerciais e/ou industriais, as faixas de temperaturas eram mais elevadas, conquanto que os valores mais baixos foram encontrados em áreas com vegetação preservada, corpos d'água e áreas agrícolas.

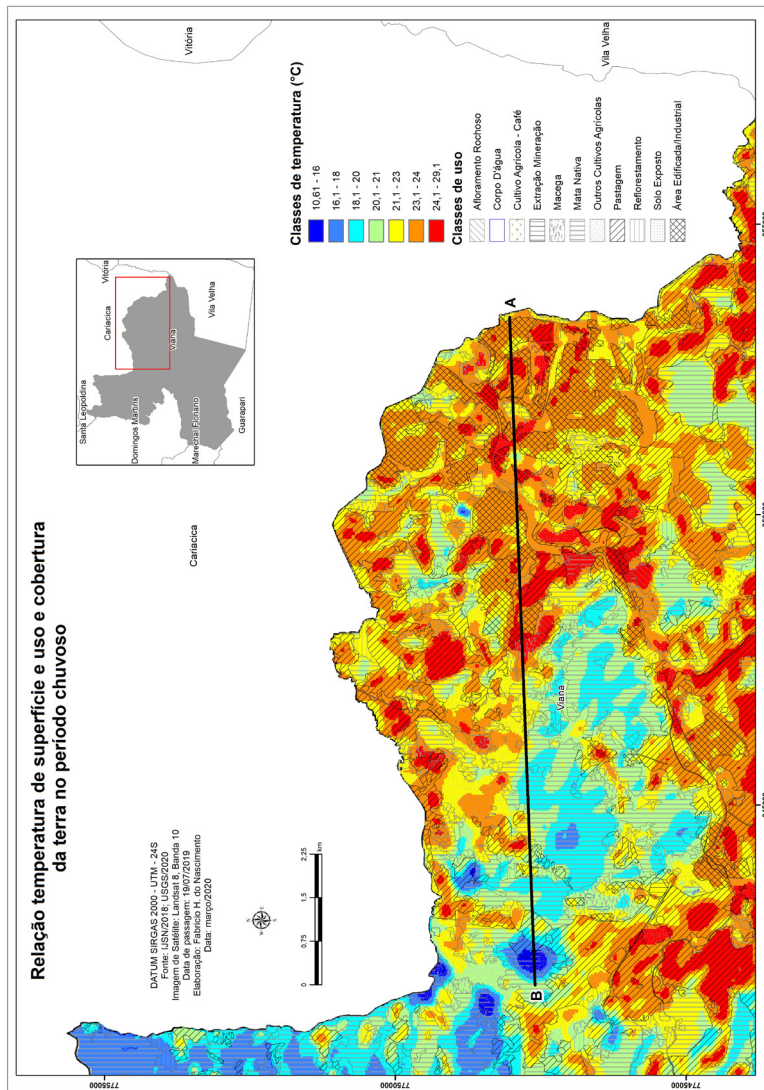
Correa, Coelho e Vale (2015), estudando a temperatura de superfície em Vitória, encontraram resultados semelhantes. Nesse estudo, os autores identificaram temperaturas acima dos 30°C, no dia 27 de maio de 2011, às 09h e 30min da manhã, nas áreas mais densamente ocupadas do município estudado. Os autores associaram as elevadas temperaturas de superfície às características dos materiais construtivos, como baixo calor específico e a pouca capacidade de dissipação de calor, caso este também verificado em Viana.

Figura 6
RELAÇÃO TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE E USO E COBERTURA DA TERRA NO PERÍODO SECO



Elaborada pelos autores/2020.

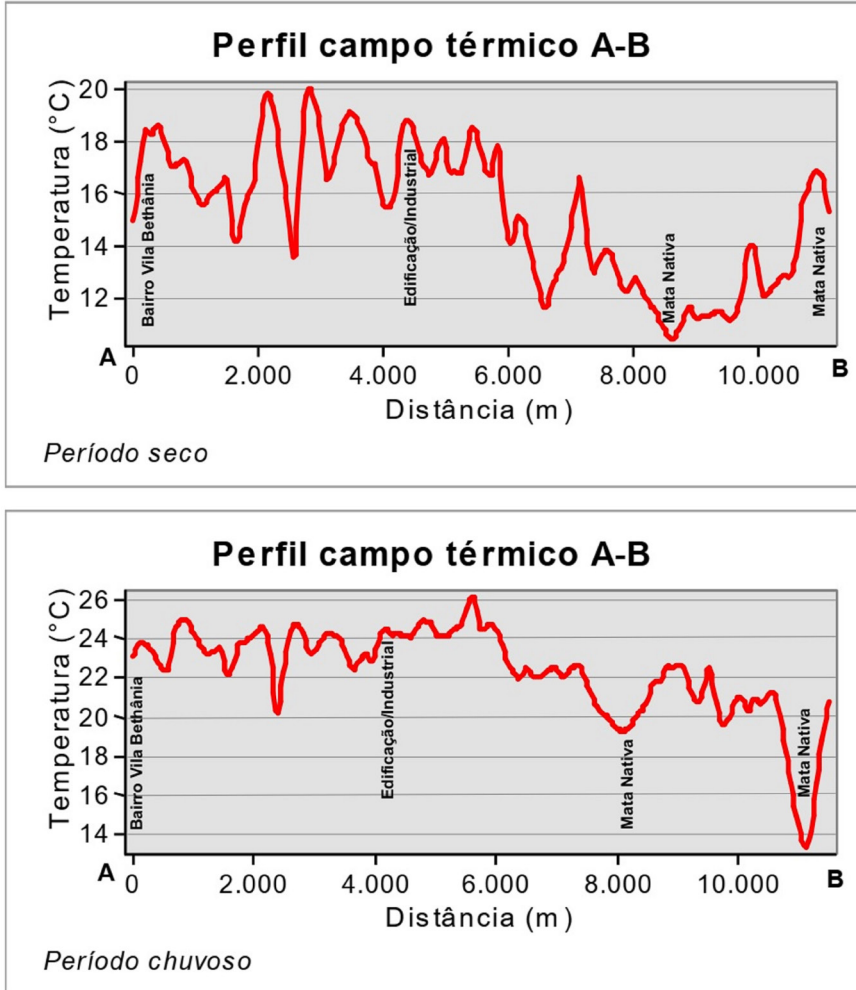
Figura 7
RELAÇÃO TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE USO E COBERTURA DA TERRA NO PERÍODO CHUVOSO



Elaborada pelos autores/2020.

A figura 8 representa os perfis campo-térmico A-B, assinalados nas figuras 6 e 7, nos dois episódios avaliados, seco e chuvoso, respectivamente.

Figura 8
PERFIS CAMPO-TÉRMICO A-B DOS PERÍODOS SECO E CHUVOSO



Elaborada pelos autores/2020.

4. Conclusão

A metodologia empregada nesse trabalho foi satisfatória, em certa medida, pois possibilitou extrair uma série de conclusões acerca da relação do uso e da cobertura da terra do município de Viana/ES com a faixa do infravermelho termal, considerando as especificidades do dia/hora da passagem do satélite. Dessa maneira, os resultados encontrados dialogam com as principais teorias que dissertam acerca das ações humanas sobre o ambiente.

Os resultados extraídos neste trabalho evidenciaram áreas de “ilhas de calor” e “ilhas de frescor”, a exemplo das áreas edificadas e outras paisagens peculiares às áreas urbanas que, nos dois episódios avaliados, apresentaram altas temperaturas, bem como os espaços caracterizados por pastagens e agricultura, que também apresentaram comportamento termal elevado, o que permite afirmar que a vegetação de baixo porte oferece pouca resistência à movimentação do ar (não impede a advecção de calor entre as diferentes localidades) e menor recobrimento foliar, permitindo que a radiação solar atinja o solo com maior facilidade.

Ressalta-se que pesquisas que se utilizam de dados providos de satélites, em especial do canal do infravermelho termal, são importantes, pois possibilitam o monitoramento das temperaturas de superfície de modo contínuo, haja vista que as imagens de satélites, pelo menos boa parte delas, possuem resolução temporal relativamente curta, a exemplo do Landsat-8, com revisão a cada 16 dias e sendo disponibilizadas de modo gratuito.

Destaca-se também que, diante da relativa facilidade de acesso aos *softwares* de SIG, sejam de uso comercial ou livre, e dados vetoriais e/ou raster, estudos dessa natureza tornam-se cada vez mais importantes de serem realizados. Essas ferramentas exigem cuidados e conhecimentos por parte dos usuários envolvidos, pois o uso consciente desse aparato tecnológico gera produtos promissores. No entanto, seu uso indiscriminado pode gerar produtos desastrosos (FITZ, 2008).

Referências

- BRANDÃO, A. M. P. M. O **Clima Urbano** da Cidade do Rio de Janeiro. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano**. 2. Ed. São Paulo: Contexto, 2011. p. 121-154.
- BRASIL. **Mapa geológico do estado do Espírito Santo**. Escala: 1:400.000. CPRM - Serviço Geológico, 2013.
- CAMPOS JR., C. T. de. **A construção da cidade**. Vitória: Florecultura, 2002.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, n. 113, p. 893-903, 2009.
- CHRISTOPHERSON, R. **Geossistemas: Uma Introdução à Geografia Física**. 7. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- COELHO, A. L. N. **O histórico da ocupação e impactos socioambientais no eixo norte da RMBH (Região Metropolitana de Belo Horizonte) em áreas do município de Ribeirão das Neves – MG**. 2003 126f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
- 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, p. 31-45, 2013.
- CORREA, W. S. C.; COELHO, A. L. N; VALE, C. C do. Influencia de distintos sistemas atmosféricos na temperatura de superfície do município de Vitória (ES). **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 16, n. 53, p. 37-54, mar. 2015.
- FITZ, P. R. Geografia Tecnológica. In: **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2008. p. 19-29.
- GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2010.
- HOWARD, L. **The Climate of London Deduced from Meteorological Observations Made in the Metropolis and at Various Places around It**. 2d ed. 3 vols. London: J. & A. Arch, Cornhill; Longman & Co. (1833).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistemas de Referência**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/sirgas/16691-projeto-mudanca-do-referencial-geodesico-pmrg.html?=&t=o-que-e>, estabelecido a partir de 2005. Acesso em 4 de abril de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Dados censitários por cidades - Viana**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/panorama>, estimativa de 2019. Acesso em 18 de março de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base de dados vetoriais (Unidades da Federação)**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em 20 de março de 2020.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (INCAPER). **Informativo climático mensal do Espírito Santo** - Julho e Dezembro/2019. Disponível em: <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/informativo-climatico>. Acesso em 25 de março de 2020.

_____. **Dados da série histórica de Viana (1984-2014)**. Disponível em: <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/graficos-da-serie-historica-viana>. Acesso em 23 de maio de 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Dados e informações das imagens do satélite Landsat**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/dgi/documentacao/satelites/landsat/capa-landsat>>. Acesso em 20 de dezembro de 2020.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IEMA). **Reserva Biológica Duas Bocas**. Disponível em: https://iema.es.gov.br/REBIO_Duas_Bocas. Acesso em 11 de setembro de 2020.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES (IJSN). **Base de dados cartográficos do Espírito Santo**: limite estadual/2018, trecho rodoviário/2012, ferrovia/2012 e uso e cobertura da terra/2016. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/mapas/>. Acesso em 10 de março de 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados das Estações Meteorológicas Automáticas**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em 20 de março de 2020.

JARDIM, C. H. Variações da temperatura do ar e o papel das áreas verdes nas pesquisas de climatologia urbana. **Revista de Ciências Humanas**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 9-25, jan./jun. 2010.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2009.

LANDSBERG, H. E. O Clima das Cidades. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 18, p. 95-111, 2006.

LOMBARDO, M. A. **Ilhas de Calor nas metrópoles**. São Paulo: Hucitec, 1985.

MENDONÇA, F. de A. **O clima e o planejamento urbano de cidade de porte médio e pequeno**: proposição metodológica para estudo e aplicação à cidade de Londrina, PR. 1995. 322f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MONTEIRO, C. A. de F. A cidade como processo derivador ambiental e a geração de um clima urbano - Estratégias na abordagem geográfica. **GEOSUL**, v. 5, n. 9, p. 80-114, 1º semestre de 1990.

NASCIMENTO, F. H. do; VALE, C. C; COELHO, A. L. N; JAQUES, J. L. Avaliação temporo-espacial das temperaturas de superfície do município de Vila Velha (ES), nos anos de 2006 e 2016 com o uso de geotecnologias. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 19, n. 66, p. 65-84, jun. 2018.

OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote sensing of environment**, New York, v. 86, n. 3, p. 371-384, 2003.

PORANGABA, G. F. O; AMORIN, M. C. C. T. Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Cidades do Interior do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n. 06, p. 2041-2050, 2019.

SANTOS, F. B. dos; NASCIMENTO, F. H. do; LEMES, V. Evolução têmporo-espacial da mancha urbana com o uso de geotecnologias: estudo de caso do município de Viana (ES). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA URBANA, 16., Vitória-ES, 2019. Anais do XVI Simpósio Nacional de Geografia Urbana, **Proceedings...** Vitória/ES: Universidade Federal do Espírito Santo, 2019, p. 3719-3737.

SANTOS, A. R. dos. **Sensoriamento Remoto no ArcGIS 10.2.2 passo a passo**: processamento de imagens orbitais [recurso eletrônico]. Alegre, ES: CAUFES, 2014.

WENG, Q. **Fractal analysis of satellite-detected urban heat island effect**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Bethesda, v. 69, n. 5, p. 555-566, may 2003.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Banco de imagens de satélites LANDSAT-8**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 10 de março de 2020.

Recebido em: 15/09/2020

Aceito em: 22/02/2021