

**Sensoriamento Remoto aplicado à análise do fenômeno de Ilhas de Calor Urbano na
Cidade de Vitória, Espírito Santo**

**Remote Sensing applied to the analysis of the phenomenon of Urban Heat Islands in the
City of Vitória, Espírito Santo**

**Teledetección aplicada al análisis del fenómeno de las Islas del Calor Urbano en la
Ciudad de Vitória, Espírito Santo**

Recebido: 14/04/2020 | Revisado: 21/04/2020 | Aceito: 22/04/2020 | Publicado: 23/04/2020

Eliezio Nascimento Barboza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8100-9389>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: eliezio1999@outlook.com

Francisco das Chagas Bezerra Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9622-206X>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: chagasneto237@gmail.com

Clarice Ribeiro Alves Caiana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5374-1617>

Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

E-mail: clariceribeirocaiana@gmail.com

Resumo

O crescente desenvolvimento das cidades sem o devido planejamento ambiental e urbano resultou no aumento da temperatura nas grandes cidades. Um dos principais fenômenos causados por esse aquecimento são as chamadas ilhas de calor urbano, que interferem no clima local e no conforto térmico. Além de outros fatores, a má distribuição de áreas verdes na cidade contribui para o aumento desse fenômeno. Portanto, o objetivo desse artigo é analisar a Temperatura de Superfície Terrestre (TST) e relacionar com cobertura vegetal por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na cidade de Vitória, ES. Inicialmente foram obtidas as imagens orbitais, sensores OLI, (*Operational Land Imager*) e TIRS10 (*Thermal Infrared Sensor*) do Landsat 8 em *United States Geological Survey* (USGS) – órbita 215 e ponto 74. As imagens escolhidas para esse estudo é de 16/05/2013. Verificou-se a relação direta do vigor da biomassa (NDVI) e da urbanização com valores de temperatura de superfície

e as ilhas de calor urbano na cidade de Vitória. Os ambientes que apresentaram menores valores de NDVI, com exceção o oceano, apresentaram maiores valores de temperatura, expondo a importância da vegetação para o clima urbano.

Palavras-chave: Geotecnologias; Satélite Landsat-8; Temperatura de superfície; Climatologia urbana.

Abstract

The increasing development of cities without proper environmental and urban planning has resulted in the increase in temperature in large cities. One of the main phenomena caused by this warming are the so-called urban heat islands, which interfere with the local climate and thermal comfort. In addition to other factors, the poor distribution of green areas in the city contributes to the increase of this phenomenon. Therefore, the objective of this article is to analyze the Earth's Surface Temperature (TST) and relate with vegetation cover through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the city of Vitória, ES. Initially, orbital images, OLI (Operational Land Imager) and TIRS10 (Thermal Infrared Sensor) of Landsat 8 were obited in the United States Geological Survey (USGS) – orbit 215 and point 74. The images chosen for this study are from 16/05/2013. It was verified the direct relationship of biomass vigor (NDVI) and urbanization with surface temperature values and urban heat islands in the city of Vitória. The environments with the lowest NDVI values, except for the ocean, presented higher temperature values, exposing the importance of vegetation for the urban climate.

Keywords: Geotechnologies; Landsat-8 Satellite; Surface temperature; Urban climatology.

Resumen

El creciente desarrollo de las ciudades sin una planificación ambiental y urbana adecuada ha dado lugar al aumento de la temperatura en las grandes ciudades. Uno de los principales fenómenos causados por este calentamiento son las llamadas islas de calor urbanas, que interfieren con el clima local y el confort térmico. Además de otros factores, la mala distribución de las zonas verdes de la ciudad contribuye al aumento de este fenómeno. Por lo tanto, el objetivo de este artículo es analizar la Temperatura superficial de la Tierra (TST) y relacionarse con la cobertura vegetal a través del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en la ciudad de Vitória, ES. Inicialmente, las imágenes orbitales, OLI (Operational Land Imager) y TIRS10 (Thermal Infrared Sensor) de Landsat 8 fueron obituadas en el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) – órbita 215 y punto 74. Las imágenes elegidas para

este estudio son del 16/05/2013. Se verificó la relación directa de vigor de biomasa (NDVI) y urbanización con valores de temperatura superficial e islas de calor urbano en la ciudad de Vitória. Los ambientes con los valores más bajos de NDVI, a excepción del océano, presentaron valores de temperatura más altos, exponiendo la importancia de la vegetación para el clima urbano.

Palabras clave: Geotecnologías; Satélite Landsat-8; Temperatura superficial; Climatología urbana.

1. Introdução

O homem e a natureza viveram de forma sustentável durante muitos séculos, porém com o advento da Revolução Industrial e o crescimento desordenado das cidades no século XIX, essa relação passou a ser desarmoniosa, impondo um novo modelo social baseado na urbanização (Alves, 2010). Esse crescimento acelerado e desorganizado das cidades gerou mudanças significativas no meio urbano, especialmente no clima e conforto térmico pela substituição do solo natural por áreas asfaltadas, aumento de edificações e retirada da cobertura vegetal (Costa, Silva & Peres, 2010).

O clima urbano é fundamentado em que a cidade é um ambiente modificador do clima e que as atividades humanas provocam alterações na atmosfera (Bezerra, 2009), em especialmente as modificações ocorridas no uso e ocupação do solo (Lombardo, 1985). Nas áreas urbanizadas é modificado as propriedades térmicas, hidrológicas e os parâmetros aerodinâmicos (Ayoade, 2003).

As alterações do espaço geográficos são notados com os efeitos ligado ao conforto térmico nas cidades urbanizadas, caracterizado por apresentar grandes áreas edificadas e temperaturas mais elevadas quando comparadas a suas bordas, esse fenômeno é conhecido como Ilhas de Calor Urbano (Leal, 2012).

Esse fenômeno é formado pelo crescimento urbano e a diminuição das áreas verdes das cidades, onde o balanço de energia é modificado, aumentando a emissão de ondas longas pelas superfícies urbanas (Pereira, Camargo, Oliveira & Guerra, 2006), resultando na elevação das temperaturas nos centros da mancha urbana em comparação com as áreas circunvizinhas (Teza & Baptista, 2005), gerando um clima característico que é resultado de diversos fatores que processam sobre a camada de limite urbano (Amorim, 2010).

As ilhas de calor são formadas em áreas urbanas porque os materiais de construção absorvem e retém a radiação solar por mais tempo, além dos materiais escuros possuem

capacidade de absorver e armazenar o calor (Gartland, 2011). A autora afirma que conforme que as cidades vão expandido, as ilhas de calor são intensificadas, isso acontece devido a artificialidade dos materiais de construção, a formação de cânions urbanos que tendem a refletir o calor, os edifícios tendem a diminuir a velocidade dos ventos, atrasando a transferência de calor da superfície para o ar, além da poluição do ar.

Existem estratégias para diminuir os efeitos altamente prejudiciais das ilhas de calor, as medidas mais competentes que requerem mudanças no clima das cidades é o aumento das áreas verdes, como: ruas arborizadas, parques, bosques, jardins públicos (Soleckia et al., 2005). Isso acontece devido as características das árvores, que pelo processo de evapotranspiração elas agem nos efeitos do clima local, amenizando o desconforto térmico (Dimoudi & Nikolopoulou, 2003). A incidência solar é interceptada através das árvores e o vento natural, onde é refrescado ao entrar em contato com as folhas das árvores e realizar trocas por convecção (Silva et al., 2016).

Com finalidade de amenizar os problemas da intensificação das ilhas de calor nos grandes centros urbanos, a comunidade científica vem desenvolvendo técnicas de análise, o sensoriamento remoto se tornou essencial para as análises ambientais (Porangaba & Amorim, 2019). As informações da superfície terrestre, como a temperatura de superfície podem ser obtidas por meio de coleta de dados com equipamentos específicos ou podem ser obtidas de forma indireta por meio de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Sensoriamento Remoto é um conjunto de técnicas com finalidade de obtenção de informações a partir da detecção e mensuração das mudanças no espaço geográfico (Elachi & Van Zyl, 1987), os sensores operam com ondas sonoras que permitem a aquisição de informações de objetos sem o contato direto, através da simples detecção e mensuração das alterações que provocam no campo acústico (Novo, 2010).

As informações obtidas por Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento podem contribuir com planejamento regional e urbano de diversas formas, contribuindo com a diminuição de incertezas sobre o ambiente e na tomada de decisões (Pereira & Silva, 2001). Os diferentes objetos da superfície terrestre refletem e emitem quantidade de energias em comprimento de onda (λ) distintos, essas reações físicas são registradas por sensores na forma de valores radiométricos associados aos pixels das imagens, traduzindo em valores de cinza (Nascimento, 2011).

Nascimento (2011) afirma que a temperatura de superfície é um parâmetro físico do fluxo de calor baseado no balanço de radiação que entra e sai de um corpo. Mashiki (2012)

complementa afirmando que a análise de Temperatura de Superfície Terrestre (TST) pode ser obtida a partir da captação da energia eletromagnética emitida pelos diferentes componentes do meio geográfico, como: solo exposto, asfalto, edificações, cobertura vegetal e arborização. A autora afirma que o processamento digital de imagens permite a transformação das bandas termais dos satélites em temperatura de superfície. As transformações das bandas de satélite permitem a análise das ilhas de calor em uma cidade (Nichol, 1996).

A Temperatura de Superfície Terrestre (TST) pode ser aplicada em resolução de problemas geológicos, hidrológicos, climatológicos e meteorológicos de um município, além de acompanhar o vigor da vegetação e os efeitos da urbanização (Li & Becker, 1993). Portanto, o objetivo desse artigo é analisar a temperatura de superfície terrestre e relacionar com cobertura vegetal por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na cidade de Vitória, ES a partir de imagens termais (TIRS10) do Landsat-8, imagens essas disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* (USGS).

2. Metodologia

2.1 Tipo de pesquisa

Conforme caracterizam Pereira, Shitsuka, Parreira e Shitsuka (2018) do ponto de vista da natureza, esse trabalho trata de uma pesquisa básica. Pela perspectiva de abordagem, é uma pesquisa quantitativa. Analisando os objetivos essa pesquisa é exploratória. Em relação aos procedimentos técnicos é do tipo estudo de caso.

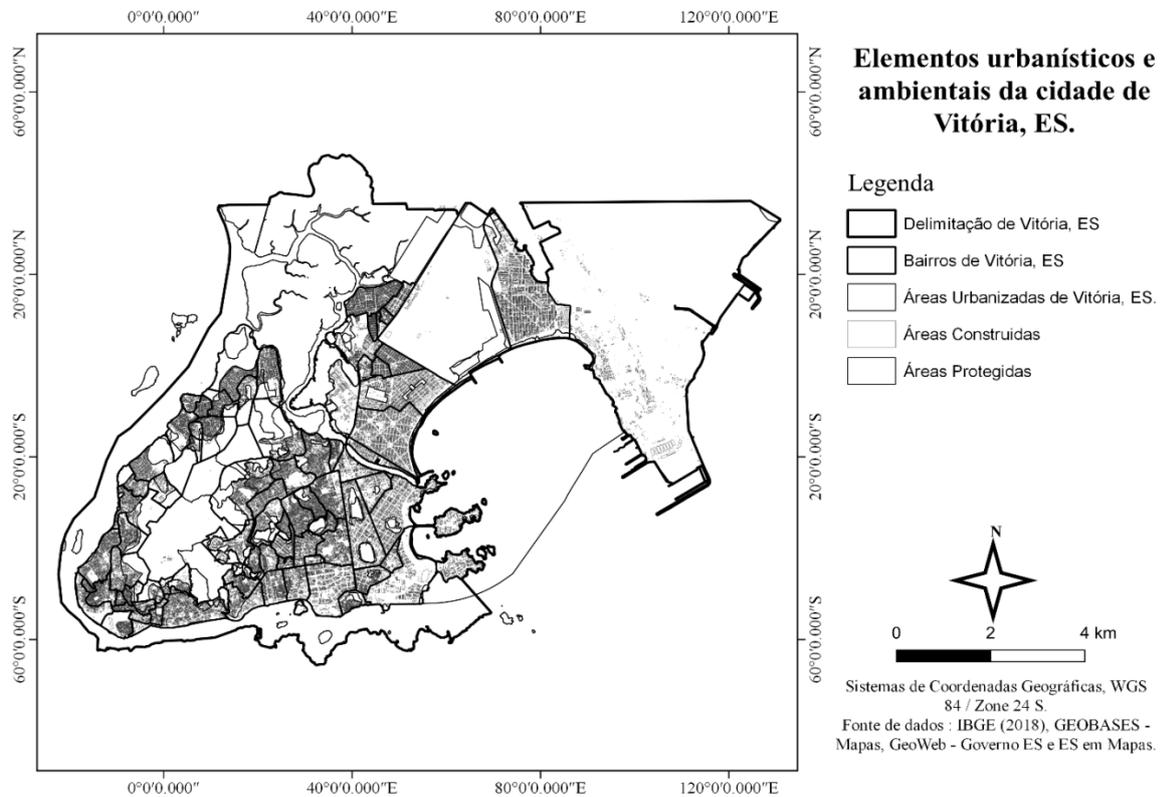
2.2 Descrição da área de estudo

A área de estudo está situada na região Sudeste do Brasil, localizado aos 20°19'09" de latitude Sul e aos 40°20'50" de longitude Oeste de Greenwich, e altitude média 309 metros (Correa, 2011). A densidade demográfica de Vitória é de aproximadamente 3.527 hab/km², possui 78 bairros e 330 mil habitantes de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE (2011).

A cidade de Vitória possui uma parte continental e outra formada por ilhas, a ilha principal possui uma área aproximada de 29.31 km² e a parte continental está localizada ao Norte, com extensão aproximada de 39.66 km², além de abrigar o maior manguezal em área

urbana do mundo (Silva, Oliveira Rosa, Silva & Souza, 2017). A cidade de Vitória possui uma porção insular e outra continental, apresentado na Figura 1.

Figura 1: Perímetro urbano da Cidade de Vitória, ES.



Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3.

A Figura 1 apresenta os elementos urbanísticos de Vitória, verifica-se alto grau de urbanização e adensamento de edificações. A mancha urbana atinge basicamente todo o município, com exceção do Maciço Central, que é a maior área arborizada do município e também os mangues do Lameirão e estuário do Rio Santa Maria. Grande parte da cidade é urbana, industrial, com fragmentos florestais, Mangue e Restingas (Souza, Silva, Santos, Gonçalves & Mendonça, 2019). Na figura 1, verifica-se a delimitação dos bairros, a marcação das áreas urbanizadas e construídas, como também as áreas protegidas.

No município de Vitória a classe predominante é área verde (53%), seguida da classe Indústria (18%), classe residencial (8%), equipamentos institucionais (7%) e 5% de assentamentos precários (Holz & Lorena, 2012). De acordo com a classificação de Koppe, o clima da cidade é caracterizado como Tropical Quente do tipo Aw, com transição para o Am, com chuvas no período de verão (Correa, 2014).

Correa (2011) afirma que entre o período de 1978 a 2007, a média da precipitação pluviométrica por ano é 1320 mm, com chuvas intensas nos meses de novembro, dezembro e janeiro, já os meses de seca é entre maio e setembro. Reboita, Gan, Rocha e Ambrizzi (2010) afirmam que os fenômenos meteorológicos que influenciam diretamente a variabilidade do tempo no município de Vitória, ES são: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Frentes Frias (FF) e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

A temperatura média anual é de 23 °C, a maior temperatura observada na cidade foi de 39,6 °C e a menor de 9 °C (Coelho, 2013). O município normalmente não apresenta temperaturas acima de 35 °C, pois a maritimidade age no microclima local, como também a presença de áreas verdes do município corrobora para amenização climática.

2.3 Procedimentos metodológicos

Inicialmente as imagens orbitais, sensores OLI, (*Operational Land Imager*) e TIRS10 (*Thermal Infrared Sensor*) do Landsat 8 foram obtidas em *United States Geological Survey* (USGS) – órbita 215 e ponto 74. As imagens escolhidas para esse estudo é de 16/05/2013, pouco tempo depois de sua data de lançamento, que foi dia 11/02/2013.

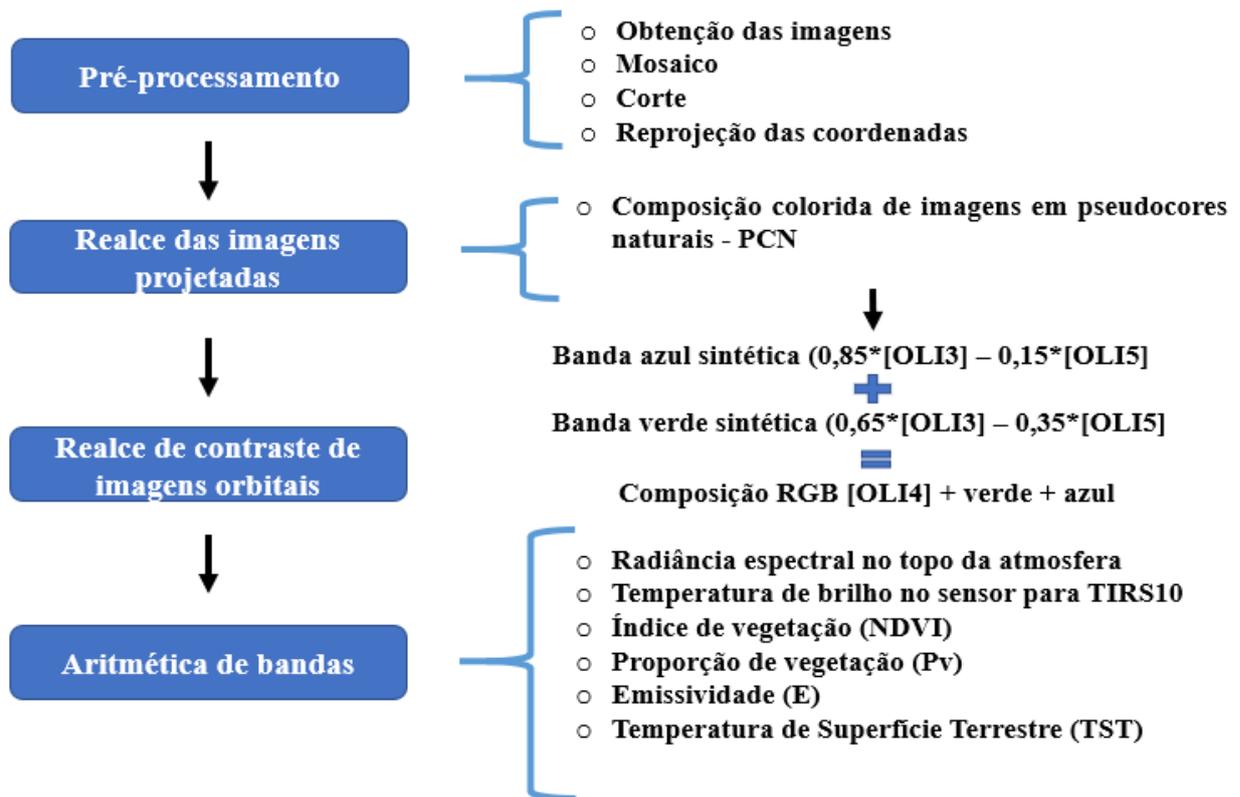
Para geração dos mapas de Temperatura Superficial Terrestre, Pseudo Cor Natural – PCN e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi utilizado imagem do satélite Landsat-8, sensor *Operational Land Imager* (OLI), com resolução espacial de 30 metros do mês. Todo o processo de processamento das imagens digitais foi realizado no *software* Qgis 3.4.

As 11 bandas do Landsat 8 foram reprojatadas de WGS 84/ Zone 24 N para WGS 84/ Zone 24 S, posteriormente foram feitos cortes e mosaicos das imagens, essa etapa é denominada como pré-processamento de imagens digitais (Etapa 1). A etapa seguinte é o realce das imagens reprojatadas, que engloba a composição em Pseudo Cores Naturais – PCN, no qual é separado em três etapas: a geração da banda azul sintética, banda verde sintética e a composição RGB (Etapa 2).

Na etapa 3 é realizado foi aplicado a técnica de contraste, no qual o objetivo é melhorar a qualidade visual da imagem, melhorando a interpretação e qualidade das informações através da modificação da escala de cinza. A etapa 4 é feito operações de aritmética de bandas, no qual são utilizadas equações matemáticas para gerar imagens de radiância espectral no topo da atmosfera, temperatura de brilho no sensor para a banda do infravermelho termal (TIRS10), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), imagem de proporção de vegetação

(Pv), emissividade (E) e a Temperatura de Superfície Terrestre (TST). O esquema metodológico é demonstrado na Figura 2.

Figura 2: Esquema metodológico para geração de imagens de Temperatura de Superfície Terrestre.



Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* PowerPoint.

A Figura 2 apresenta as principais etapas metodológicas para a realização do cálculo do índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Temperatura de Superfície Terrestre (TST). A conversão de números digitais para radiância espectral no topo da atmosfera ($L\lambda$) das bandas é processado na Equação 1, segundo Coelho e Correa (2013), onde $L\lambda$ é a radiância espectral ($W/m^2srad\mu m$), M_L é o fator multiplicativo reescalonado da radiância para a banda 10 (0.00033420), Q_{cal} é a própria banda 10 reprojeta e A_L é um fator aditivo reescalonado da radiância para a banda 10 (0.10000). O procedimento para conversão dos níveis de cinza para radiância foi dado por meio da fórmula 1.

$$L\lambda = M_L \cdot Q_{cal} \cdot A_L (1)$$

A temperatura de brilho no sensor (T_{rad}) é estimada pela Equação 2 (Coelho & Correa, 2013). Sendo T_{rad} ($^{\circ}C$) a temperatura de brilho no sensor, K_2 uma constante termal da banda 10 (1321.08), k_1 uma constante termal da banda 10 (774.89), $L\lambda$ a radiância espectral no topo da atmosfera medido em $W/m^2srad\mu m$, adquirido na etapa anterior.

$$T_{rad} (^{\circ}C) = (k_2 / \ln ((k_1 / [L\lambda]) + 1)) - 273 \quad (2)$$

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), proposto por Rouse, Haas, Schell e Deering (1973) utiliza banda do infravermelho próximo (IV = OLI5) e a banda do vermelho (VM = OLI4). O NDVI (Equação 3) pode obter o valor mínimo de -1 e o valor máximo de +1, quanto mais próximo de 1 maior o vigor vegetativo, o valor de 0 representa um valor para ausência de vegetação.

$$NDVI = (IV - VM) / (IV + VM) \quad (3)$$

A proporção de vegetação (P_v) é determinado pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e seu valor máximo (NDVImax) e mínimo (NDVImin). O P_v calculado pela Equação 4, onde o NDVImin= -0.996128 e NDVImax=0.847581.

$$P_v = ((NDVI - NDVImin) / (NDVImax - NDVImin))^2 \quad (4)$$

Para o cálculo da emissividade (E), é utilizado a proporção de vegetação calculado na etapa anterior, representado pela Equação 5.

$$E = 0.004 \cdot P_v + 0.986 \quad (5)$$

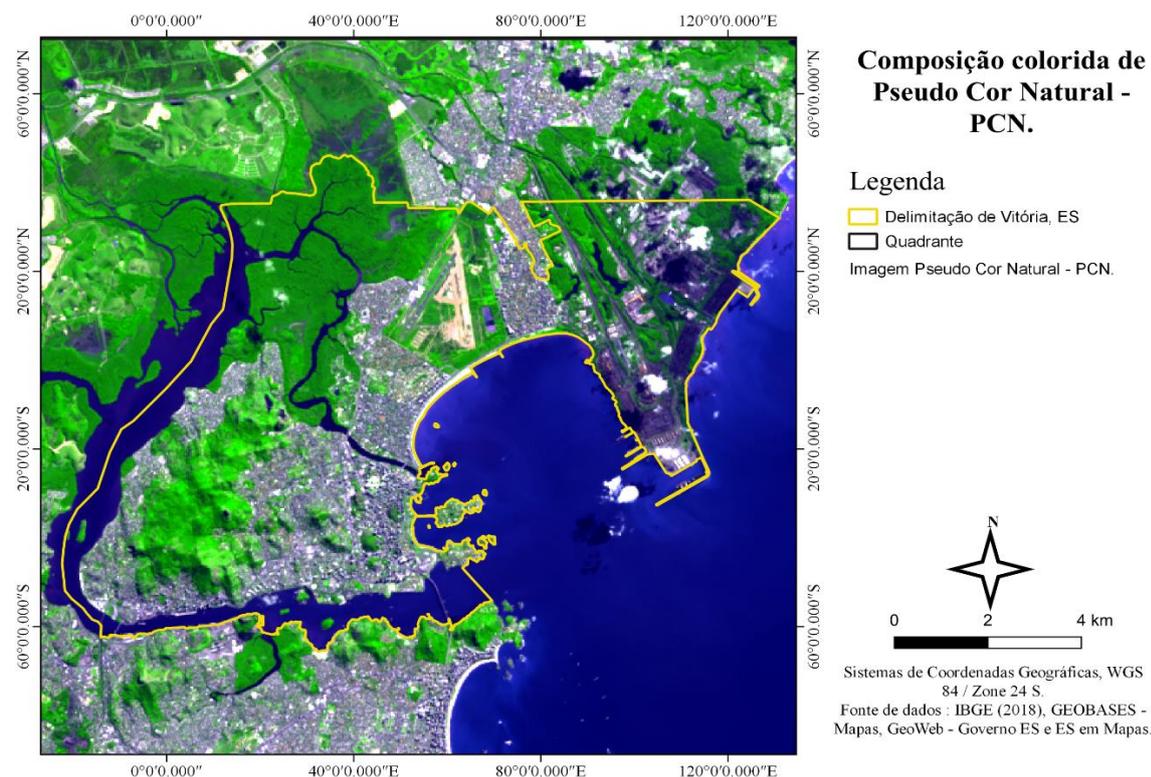
A temperatura de Superfície Terrestre (TST) é dada pela Equação 6, onde BT é a temperatura de brilho no sensor ($^{\circ}C$) calculado em etapas anteriores, λ é o comprimento de onda da TIRS10 (10.8 μm), ρ é a constante equivalente ao valor de $1.438 \cdot 10^{-2} \text{ mk}$ e E a emissividade calculado em etapas posteriores.

$$TST (^{\circ}C) = (BT / (1 + (\lambda \cdot BT / \rho) * \ln (E))) \quad (6)$$

3. Resultados e Discussões

A Figura 3 representa a cidade de Vitória em composição colorida de Pseudo Cor Natural, onde as características da água e da vegetação são realçadas com aparência natural.

Figura 3: Representação da cidade de Vitória, ES por meio da composição de imagens Pseudo Cor Natural – PCN.

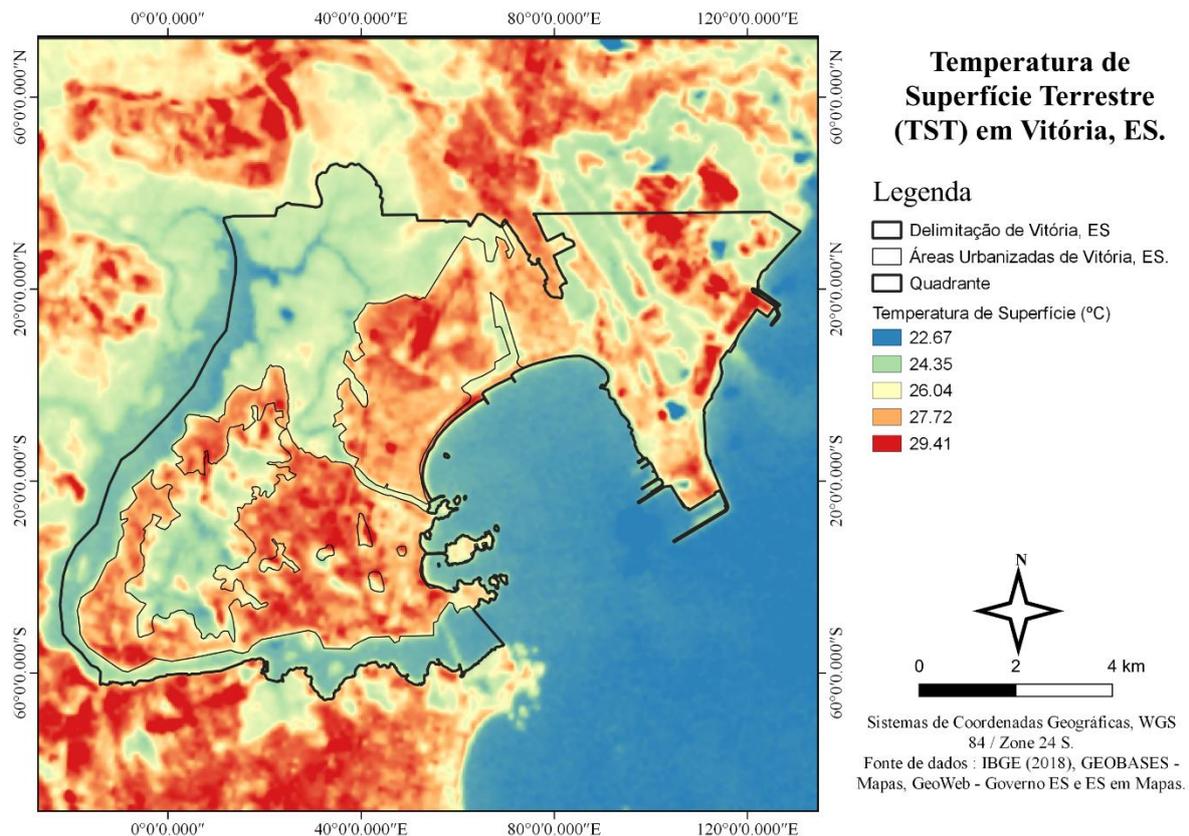


Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3.

Verifica-se na Figura 3 as áreas vegetadas como o Maciço central, com a altitude de 308.8 metros aproximadamente, com as coordenadas geográficas 20°17'47" S de latitude e 40°19'54" N de longitude. Nota-se a área de manguezal, que é o maior manguezal urbano do mundo com aproximadamente 11 km², indo de do Bairro Santo Antônio até o bairro Jabour. A mancha urbana está realçada na imagem de resolução de 30 metros, constituídas pela composição da banda do verde, vermelho e infravermelho próximo.

A Figura 4 apresenta os valores de temperaturas de superfície terrestre do Landsat-8 para a cidade de Vitória, ES no ano de 2013 por meio da transformação dos níveis de cinza das imagens termais na data 16/05/2013 no horário 12:40 horas.

Figura 4: Mapa de temperatura de superfície de Vitória, ES para o dia 16/05/2013.



Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3.

Na análise da Figura 4, verifica-se que nos locais que apresentam cobertura vegetal obtiveram menores valores de temperatura, destaca-se o Maciço Central, onde está destacado na imagem como área não urbanizada com valores inferiores a 25 °C. Toda a parte do manguezal obteve valores baixos de temperatura, inferiores a 25 °C.

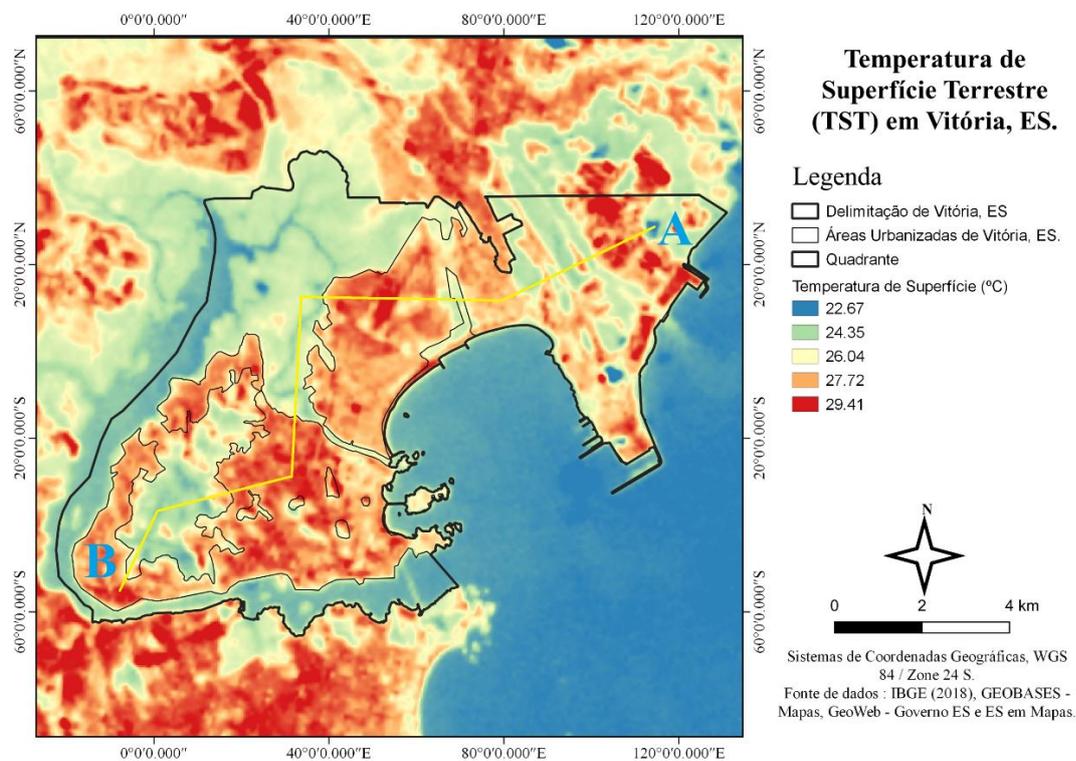
Verifica-se que a temperatura de superfície mínima nesse dia foi 20.365 °C (corpo aquático) e 29.41 °C (áreas construídas) de temperatura máxima e amplitude térmica de 9.04 °C. Ugeda Júnior (2011) afirma que as maiores temperaturas em uma cidade tendem a ocorrer nos locais com maior adensamento de edificações, impermeabilização do solo, solos expostos sem a cobertura vegetal, que acarreta na potencialidade do aquecimento das superfícies urbanas, formando as ilhas de calor urbano.

A heterogeneidade da paisagem das cidades apresenta diferentes comportamentos termais, resultantes das propriedades físicas dos materiais utilizados, como consequência há modificações no balanço de energia do sistema terra-atmosfera (Sousa & Júnior, 2012). Os materiais que constituem a superfície urbana possuem capacidade térmica mais alta do que as coberturas naturais e são bons condutores de calor (Romero, 2011).

A delimitação das áreas urbanizadas de Vitória está coincidindo com os locais com valores elevados de temperatura. As áreas de maiores valores de temperatura coincidem com os locais de alta densidade construtiva e solos exposto, sem vegetação. Já as áreas com os menores valores de temperatura referem-se as áreas vegetadas, com alto índice de vegetação e corpos aquáticos. Oke e Maxwell (1975) corroboram com o resultado adquirido nesse trabalho, afirmando que a impermeabilização do solo por materiais asfálticos e a retirada de vegetação alteram as propriedades térmicas e radiativas.

Foi realizado um perfil de campo térmico de superfície de Vitória, visualizado pela linha amarela da Figura 5.

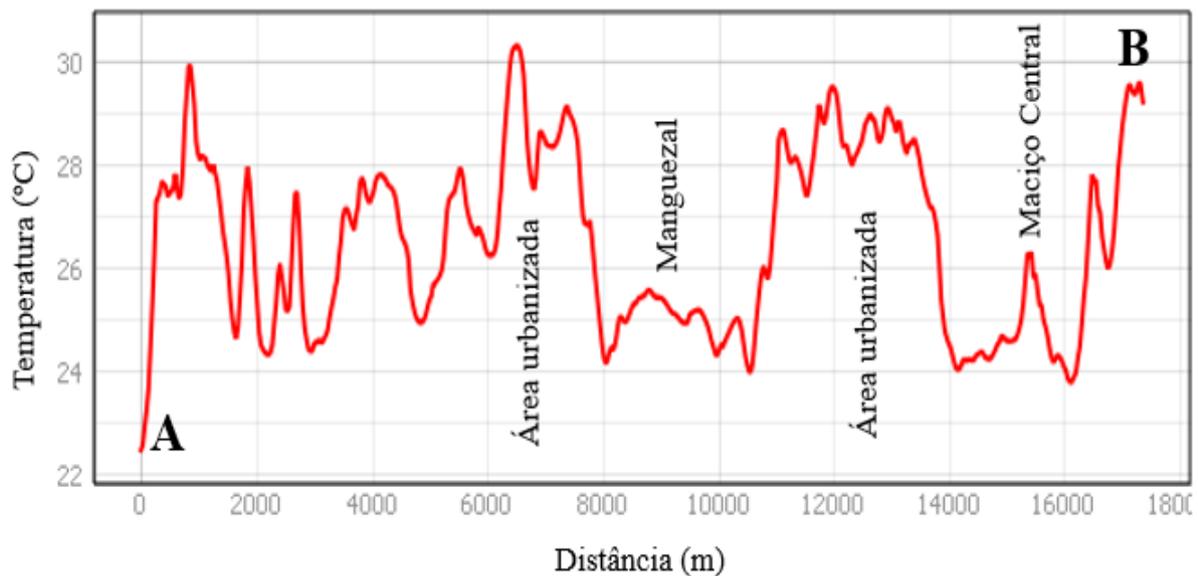
Figura 5: Perfil (A-B) de campo térmico de superfície de Vitória, ES.



Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3 através do complemento *Profile Tool*.

O transecto realizado na Figura 5 tem como finalidade traçar o perfil da temperatura de superfície para as áreas mais representativas do município. O perfil percorre do ponto A até o B, onde foi traçado um gráfico de temperatura desse perfil de temperatura (Figura 6) com um complemento do Qgis 3.4 denominado *Profile Tool*, onde a coordenada x representa a distância do ponto até o local da temperatura e o eixo y representa a temperatura de superfície em graus Celsius.

Figura 6: Gráfico do perfil (A-B) do campo térmico de superfície (°C).



Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3 através do complemento *Profile Tool* e editado no *software* PowerPoint.

Coelho e Correa (2013), em um estudo na cidade de Vitória/ES, utilizaram as imagens do Landsat-8 e as bandas termiais, na análise da temperatura de superfície, observaram a relação da temperatura superficial com a existência edificações, solo exposto, pavimentos e áreas asfaltadas telhados, resultando em temperaturas da superfície terrestre superiores quando comparado com a borda das cidades, com amplitudes térmicas superiores a 12°C, identificando a presença de Ilhas de Calor Urbano.

O pico do Gráfico 6 que está na coordenada (6500 m, 31 °C) inclui os Bairros Rosário de Fátima, Diamantina, André Carloni, Jardim Crapina, Central Carapina, São Diogo I e II. Esses Bairros apresentaram-se como os locais mais quentes da cidade. O ponto A é o que obteve menores temperaturas tendo em vista que é um corpo aquático. Os outros dois pontos com menores temperaturas representam o Maciço Central. Os maiores valores de temperatura no município foram obtidos nas áreas mais urbanizadas. O ponto B representa os Bairros: Santo Antônio, Santa Tereza, do Cabral, do Quadro, Alagoano, Arivaldo Falavessa, Mário Cypreste, Vila Rubim e Ilha do Príncipe.

Rizwan, Dennis e Chunho (2008) verificaram em diversos estudos que a implementação de áreas vegetadas em consonância com utilização de telhados frios e pavimentos claros podem corroborar para mitigação dos efeitos ligado as ilhas de calor, as melhoras das temperaturas variam entre 1 a 3 °C. Percebe-se nesse estudo, que os corpos aquáticos agem na amenização climática, com a área com menores valores de temperatura em Vitória, ES.

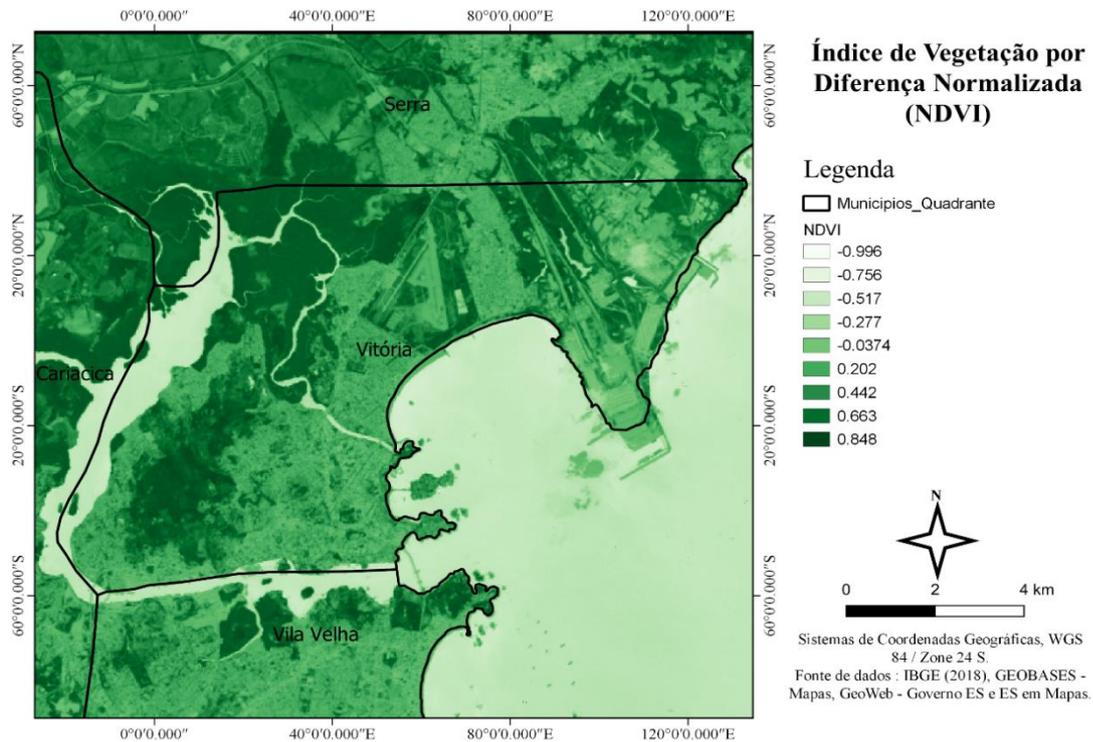
Decanal e Labaki (2011) afirmam que as árvores, independentemente de sua concentração tem uma grande influência sobre o conforto térmico. Através dos processos ecossistêmicos há o resfriamento das folhas, diminuindo a temperatura localizada próxima. A vegetação de uma cidade também assume o papel de diminuir a incidência de radiação solar sobre o solo, além de proporcionar um resfriamento passivo em edificações. Sua sombra consegue reduzir a radiação incidente, e conseqüentemente reduz a temperatura sobre o solo.

As árvores atuam de forma seletiva quando se trata de radiação solar, 90% da radiação visível é absorvida simultâneo à 60% da infravermelha. A vegetação utiliza desse total absorvido para realizar suas funções vitais, uma parte passa pelas folhas e a outra é refletida de volta ao meio. Esse absorvimento de onda curta reduz as reverberações e ofuscamentos causados pelo contraste entre sombra e sol. Quando se trata de ondas longas, esta tem sua incidência reduzida sobre o solo. A evapotranspiração transforma a energia solar absorvida em calor latente, resfriando a planta e o espaço que a rodeia (Decanal & Labaki, 2011)

Uma pesquisa realizada por Bezerra, Santos e Aguiar (2013) mediu a temperatura do ambiente e umidade relativa do ar a fim de verificar a influência que as árvores têm sobre as duas variáveis climatológicas. Foram escolhidos dois pontos sendo um localizado às margens da BR230, próximo à estação do INMET, que apresenta um ambiente urbanizado e outro ponto a ser escolhido foi em uma dentro da Mata do buraquinho, ambos localizados em João Pessoa, PB. Os autores concluíram que a cobertura vegetal exerceu um papel relevante sobre o microclima, com amplitude térmica entre os dois ambientes de 1° a 3,3°C.

A Figura 7 representa o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da cidade de Vitória, ES. Os valores de NDVI quanto mais próximos de 1 significa uma maior densidade de biomassa, quanto valores próximos a -1 significa escassez de vegetação. Em Vitória, ES o menor valor foi de -0.65, no qual representa solo exposto sem cobertura vegetal, quanto mais próximo de -1, menor o vigor vegetativo. O maior valor encontrado de NDVI foi de 0.848 no Maciço Central de Vitória.

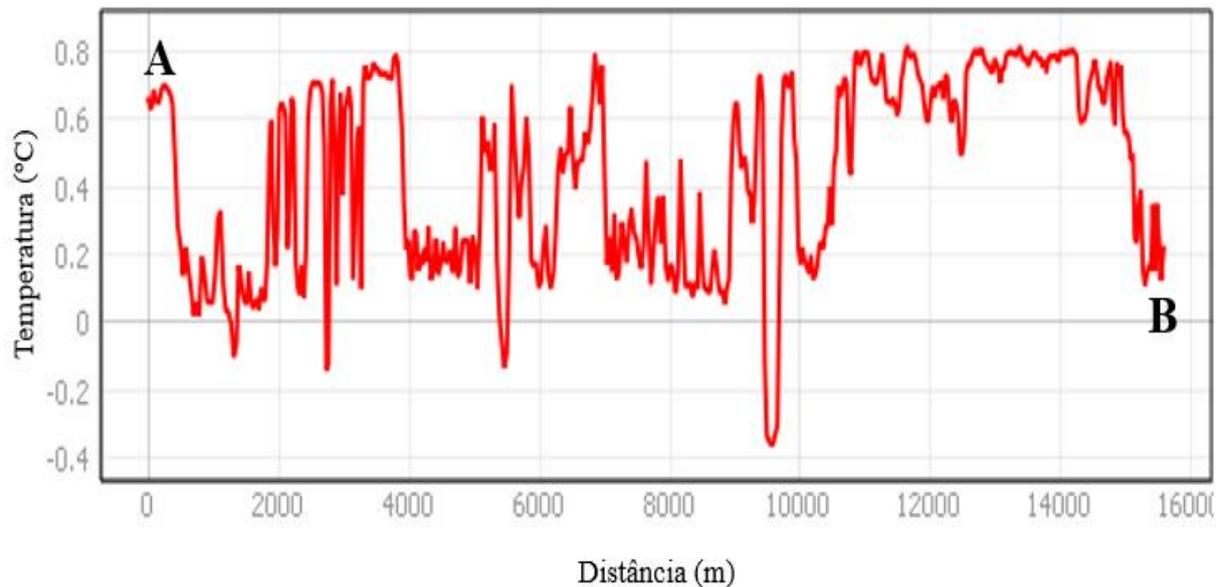
Figura 7: Carta de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).



Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3.

Verifica-se a relação direta da vegetação com a temperatura da cidade. Quanto maior o vigor vegetativo de um local, menor a temperatura. Os grandes centros urbanos possuem pouca arborização, o que intensifica as Ilhas de Calor Urbano. Na área urbanizada da cidade o valor de NDVI está associado a presença de grandes áreas impermeabilizadas. Verifica-se que na Figura 7, há locais com NDVI de -0.966, esse baixo índice é do oceano. Os ambientes que apresentaram alto NDVI obtiveram baixos valores de temperatura. O mesmo perfil (A-B) foi traçado para o NDVI (Figura 8).

Figura 8: Gráfico do perfil (A-B) de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).



Fonte: Autores, 2020. Elaborado no *software* Qgis 4.3 através do complemento *Profile Tool* e editado no *software* PowerPoint.

A Figura 8 representa o gráfico da distribuição do índice de vegetação na cidade, representando os ambientes que apresentam áreas vegetadas ($NDVI > 0$) e os ambientes de solo exposto ou áreas asfaltadas ($NDVI = 0$ ou $NDVI < 0$). Os picos dos gráficos são do Maciço Central, Manguezal, Restinga e pequenas áreas de proteção ambiental, já os valores menores do que 0 são dos locais que compõem a mancha urbana da cidade.

4. Considerações Finais

A partir da análise dos resultados, verificou-se a relação direta do vigor da biomassa (NDVI) e da urbanização com valores de temperatura de superfície e as ilhas de calor urbano na cidade de Vitória. Os ambientes que apresentaram menores valores de NDVI, com exceção o oceano, apresentaram maiores valores de temperatura, expondo a importância da vegetação para o clima urbano.

No dia analisado, a maior temperatura foi de temperatura de 29.41 °C em uma área com adensamento urbano e a menor temperatura foi 20.365 °C, localizado em um corpo aquático. Além disso, as áreas vegetadas, como no Maciço Central e as áreas de Manguezal apresentaram valores inferiores a 25 °C. O resultado desse trabalho poderá contribuir com um melhor planejamento urbano do município, pois sabe-se as áreas mais desconfortáveis termicamente.

Sugere-se que sejam implementados programas de arborização nos ambientes mais críticos, para contribuir com a saúde da população.

Sugere-se para futuros trabalhos uma análise das ilhas de calor urbano no turno da noite por sensoriamento remoto para verificar se o comportamento da ilha de calor é semelhante do período matutino e vespertino nessa região.

Referências

Alves, E. D. L. (2010). Ilha de Calor ou Ilha Térmica: um conceito aberto à discussão. *Revista Espaço Acadêmico*, 10(110), 124-129.

Amorim, M. C. D. C. T. (2010). Climatologia e gestão do espaço urbano. *Mercator-Revista de Geografia da UFC*, 9(1), 71-90.

Ayoade, J. O. (2003). *Climate change: a synopsis of its nature, causes, effects and management*. Vantage Publishers.

Bezerra, I., Santos, J., & Aguiar, A. (2013). Ilhas de Calor: Importância da vegetação na amenização climática em João Pessoa-PB. *Revista Brasileira de Geografia Física, Recife*, 6(5), 1499-1516.

Bezerra, P. T. D. C. (2009). A influência da urbanização no clima das cidades de Petrolina/PE e Juazeiro/BA.

Coelho, A. L. N. (2013). Distribuição das Classes de Temperatura de Superfície a Partir da Faixa do Infravermelho Termal do Sensor TM/Landsat-5 no Município de Vitória (ES). *Anais eletrônicos do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, 0826-0833.

Coelho, A. L. N., & Correa, W. D. S. C. (2013). Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. *Revista Geográfica Acadêmica*, 7(1), 31-45.

Correa, W. D. S. C. (2011). Comportamento dos elementos climáticos, temperatura e precipitação, no Município de Vitória (ES) no período de 1978 a 2007. *Monografia (Bacharelado em Geografia)*. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

Correa, W. D. S. C. (2014). Campo térmico e higrométrico da Regional Praia do Canto no município de Vitória (ES). *Wesley de Souza Campos Correa.–2014.165 f.: il.*

Costa, D. F. D., Silva, H. R., & Peres, L. D. F. (2010). Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira-SP através da utilização de geotecnologias. *Engenharia Agrícola, 30(5)*, 974-985.

Dacanal, C., & Labaki, L. C. (2011). O clima local em sítios urbanos situados próximos de fragmentos florestais. *XI Encontro Nacional e VII Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído.*

Dimoudi, A., & Nikolopoulou, M. (2003). Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and buildings, 35(1)*, 69-76.

Elachi, C., & Van Zyl, J. J. (2006). *Introduction to the physics and techniques of remote sensing* (Vol. 28). John Wiley & Sons.

Gartland, L. (2011). *Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*. Oficina de Textos.

Holz, S., & Lorena, R. B. (2012). O uso de sensoriamento remoto para análise do campo térmico da superfície urbana completa do município de Vitória (ES). *Revista GeoNorte, 3(5)*, 1674-1682.

Leal, L. *A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba–PR. 2012* (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Curitiba: Universidade Federal do Paraná).

Li, Z. L., & Becker, F. (1993). Feasibility of land surface temperature and emissivity determination from AVHRR data. *Remote sensing of Environment, 43(1)*, 67-85.

Lombardo, M. A. (1985). *Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. Editora Hucitec com apoio de Lalekla SA Comércio e Indústria.

Mashiki, M. (2012). *Geoprocessamento na identificação de ilhas de calor e influência do uso e ocupação do solo na temperatura aparente da superfície no município de Botucatu/SP. 2012. 80f* (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu).

Mendonça, F., & Monteiro, C. A. D. F. (2003). Clima urbano.

Nascimento, D. T. F. (2010). 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).

Nichol, J. E. (1996). High-resolution surface temperature patterns related to urban morphology in a tropical city: A satellite-based study. *Journal of applied meteorology*, 35(1), 135-146.

Novo, E. M. L. M. (2010). Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. 2ª edição. *São Paulo: Edgard Bliicher, 308*.

Oke, T. R., & Maxwell, G. B. (1975). Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atmospheric Environment* (1967), 9(2), 191-200.

Pereira, G. C., & Silva, B. C. N. (2001). Geoprocessamento e urbanismo.

Pereira, G., Camargo, F. F., Oliveira, L. G., & Guerra, J. (2006). Identificação do fenômeno de Ilhas de Calor para a região metropolitana de São Paulo através de dados provenientes do Satélite Landsat 7 ETM+. *III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Aracaju. Anais*.

Pereira, A.S., Shitsuka, D.M., Parreira, F.J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Acesso em 5 março, em https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_MetodologiaPesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Porangaba, G. F. O., & Amorim, M. C. D. C. T. (2019). Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Cidades do Interior do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(06), 2041-2050.

Rizwan, A. M., Dennis, L. Y., & Chunho, L. I. U. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120-128.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1. *Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station*, 93.

Romero, M. A. B. (2011). *Arquitetura do lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília*. Nova Técnica Editorial.

Silva, D. G., de Oliveira Rosa, L., da Silva, R. A., & de Sousa, W. B. (2017). Análise comparativa dos campos térmicos do município de Vitória nas estações de inverno e verão através de dados de sensoriamento remoto. *Anais eletrônicos do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR*, 978-85-17-00088-1.

Silva, G. D. J. O., Caione, C., Souza, V. L., Ramos, A. W. P., da Silva Neves, S. M. A., & dos Santos Galvanin, E. A. (2016). Ilhas de calor nas cidades contidas na Bacia do Alto Paraguai, Brasil. *Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, 6, 433-441.

Solecki, W. D., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J., & Wiencke, M. (2005). Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 6(1), 39-49.

Sousa, S. B., & Júnior, L. G. F. (2012). Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, 26.

Souza, S. M., da Silva, A. G., dos Santos, A. R., Gonçalves, W., & de Mendonça, A. R. (2019). Análise dos fragmentos florestais urbanos da cidade de Vitória–ES. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 8(1), 112-124.

Teza, C. T. V., & Baptista, G. D. M. (2005). Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08–Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (Vol. 12, pp. 3911-3918). Goiânia: INPE.

Ugeda Junior, J. C. *Clima urbano e planejamento na cidade de Jales/SP. 2012. 383 f* (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente).

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Eliezio Nascimento Barboza – 80%
Francisco das Chagas Bezerra Neto – 10%
Clarice Ribeiro Alves Caiana – 10%