

Mapeamento do índice de vegetação e temperatura de superfície da cidade de Pau dos Ferros-RN

RESUMO

Adriano de Araújo Aires
Adrianoaraujo2010@live.com
Graduado em Engenharia
Ambiental e Sanitária pela
Universidade Federal Rural do
Semi-Árido – UFERSA,
Campus Pau dos Ferros/ RN

Joel Medeiros Bezerra
joel.medeiros@ufersa.edu.br
Professor Adjunto do
Departamento de Engenharias
e Tecnologia da Universidade
Federal Rural do Semi-Árido -
UFERSA/ Centro
Multidisciplinar de Pau dos
Ferros

O trabalho se propôs a mapear o Índice de vegetação da diferença normalizada – NDVI e a Temperatura de Superfície Terrestre – TST na cidade de Pau dos Ferros/RN, visando identificar a ocorrência de ilhas de calor. Para a realização do trabalho foram selecionados os anos de 2015 e 2019, e realizado o download de imagens do Satélite Landsat-8, para serem empregados alguns algoritmos e ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), tendo como resultando mapas temáticos para a avaliação dos parâmetros estudados. Resultando um NDVI com valor máximos de 0,35 e mínimo de 0,116. Enquanto, a TST apresentou valor máximo de 47°C que teve ocorrência em zonas de solo exposto, e valor mínimo de 28°C em regiões de maior NDVI. Os bairros mais distantes do Centro apresentaram maior TST, por terem demonstrados menor vigor vegetativo. Estes resultados contribuíram para a compreensão da ocorrência destes fenômenos, e para futuras ações visando melhorar o conforto térmico na cidade.

PALAVRAS-CHAVE: Geotecnologias. Ilhas de calor. Uso do solo.

INTRODUÇÃO

Segundo Bichueti (2016) a origem da cidade como construto físico repousa nos pilares dos negócios, na economia da troca de mercadorias, e a troca de ideias e bens permanece como uma das forças fundamentais do crescimento das cidades.

Nesse contexto, as cidades brasileiras passaram nas últimas décadas pelo crescimento urbano e populacional, devido aos processos de industrialização aliado ao êxodo rural, os quais trouxeram grandes problemas e desafios para os municípios de todo o país. Desafios estes que são os mais diversos, como saneamento básico e o bem-estar da população.

De acordo com Bichueti (2016), a descentralização dos grandes centros urbanos e a pós-industrialização foram fatores preponderante para o surgimento de políticas urbanas o que vem levando as cidades a buscarem melhor qualidade dos serviços para as empresas, bem como a importância dos investimentos no cenário de vida: espaços verdes, espaços públicos e vida cultural ativa. Fatores estes que contribuem para a melhoria da temperatura da superfície terrestre, assim como, para a melhoria do bem-estar social e o conforto térmico.

Estudos relacionados ao clima urbano e ocorrência de ilhas de calor através do sensoriamento remoto como ferramenta para o planejamento urbano tem ganhado destaque nos últimos anos. O sensoriamento remoto é uma das ciências que permite a aquisição de informações da superfície terrestre sem a necessidade de contato físico com os objetos e materiais que a compõe, proporcionando o monitoramento, a medição e a análise de importantes características biofísicas e atividades humanas na terra. Esta ciência é aplicada juntamente com ferramentas de processamento digital de imagens e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permitindo, além das visões em diferentes escalas, realizar estimativa através dos dados do canal infravermelho termal de temperatura aparente da superfície (*Land Surface Temperature – LST*), tendo como resultado final a temperatura da superfície terrestre, ou seja, o desenho da temperatura local (MOREIRA, GALVÍNICO, 2009; FORMIGONI, 2018).

Diante da ocorrência do adensamento urbano de forma desordenada, atrelado com os processos de impermeabilização do solo, tal como a verticalização do centro urbano, surge o fenômeno da ilha de calor, o qual pode ser definido como uma anomalia térmica onde a temperatura da superfície do ar urbano é mais elevada do que as áreas circunvizinhas. As ilhas de calor apresentam duas formas de ocorrência, em localizações dentro da própria cidade, escala local, quanto na diferença da temperatura entre a área urbana e rural, escala regional (MOREIRA; GALVÍNICO, 2009).

Segundo Alba (2016) as imagens de satélite Landsat tem sido usada como ferramenta para o estudo das cidades, sendo considerado satisfatório para a identificação e análise do uso e ocupação da terra, da distribuição das construções, da biodiversidade, da morfologia, da poluição. Visto isto, a obtenção da temperatura de superfície terrestre por geotecnologias tem expandido suas aplicações, destinando-se a avaliação da superfície terrestre, como o estudo de ilhas de calor em centros urbanos (BOURSCHEIDT, 2015).

A intensidade das ilhas de calor está intimamente relacionada com a quantidade de área verde, visto isto, todas as ilhas de calor urbano são caracterizadas pelo excesso de material de construção civil e pouca ou nenhuma área verde (ROMERO et al., 2020). Fato importante para se destacar no estudo da temperatura estimada pelo modelo com base no NDVI é a ocorrência de uma correlação negativa, com uma evidente tendência de aumento da temperatura para a diminuição nos valores de NDVI, que estão associados com uma menor quantidade de vegetação sobre a superfície (BOURSCHEIDT, 2015).

Outro produto muito comum obtido por meio do sensoriamento remoto é o *Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI*. Este índice indica a quantidade ou vigor de vegetação, um índice de vegetação com alto valor de brilho indica pixel coberto por uma alta proporção de vegetação viva, ou seja, saudável. Compreende-se, portanto, que a análise da densidade e da espacialidade da cobertura vegetal torna-se um importante mecanismo nos estudos voltados para análises da degradação ambiental, gestão e planejamento dos recursos naturais (FORMIGONI, 2018). Os processos de urbanização da cidade de Pau dos Ferros, assim como em outras cidades, contribuem para o desenvolvimento e progresso, contudo, também tem mostrado grandes problemas decorrentes do adensamento urbano desordenado, podendo-se observar problemas visíveis de degradação do meio ambiente urbano e da sua qualidade de vida (SOUZA, 2011). Ainda segundo o autor, em decorrência das alterações climáticas devido a ocupação desordenada, a substituição das áreas verdes por prédios, ruas e avenidas, assim como, a remoção da cobertura vegetal para novos bairros, contribuem para o aumento na irradiação de calor para a atmosfera e a ocorrência do fenômeno de ilhas de calor.

Na perspectiva de mapear e identificar a ocorrência do fenômeno de ilhas de calor em áreas urbanas, tem-se a possibilidade de averiguar pontos de ocorrência de tal fenômeno para propor ações de correções por meio de políticas públicas, para a melhoria dos espaços urbanos, tendo o importante papel de regular o desenvolvimento ambiental da cidade, garantindo a qualidade de vida e a saúde dos ambientes (NÓBREGA; SANTOS; MOREIRA, 2016). Tal estudo, corrobora com a Lei Municipal nº 1.704 de 2019, que dispõe sobre a campanha permanente de incentivo à arborização e ruas, avenidas, praças e jardins no município de Pau dos Ferros – RN (PAU DOS FERROS, 2019).

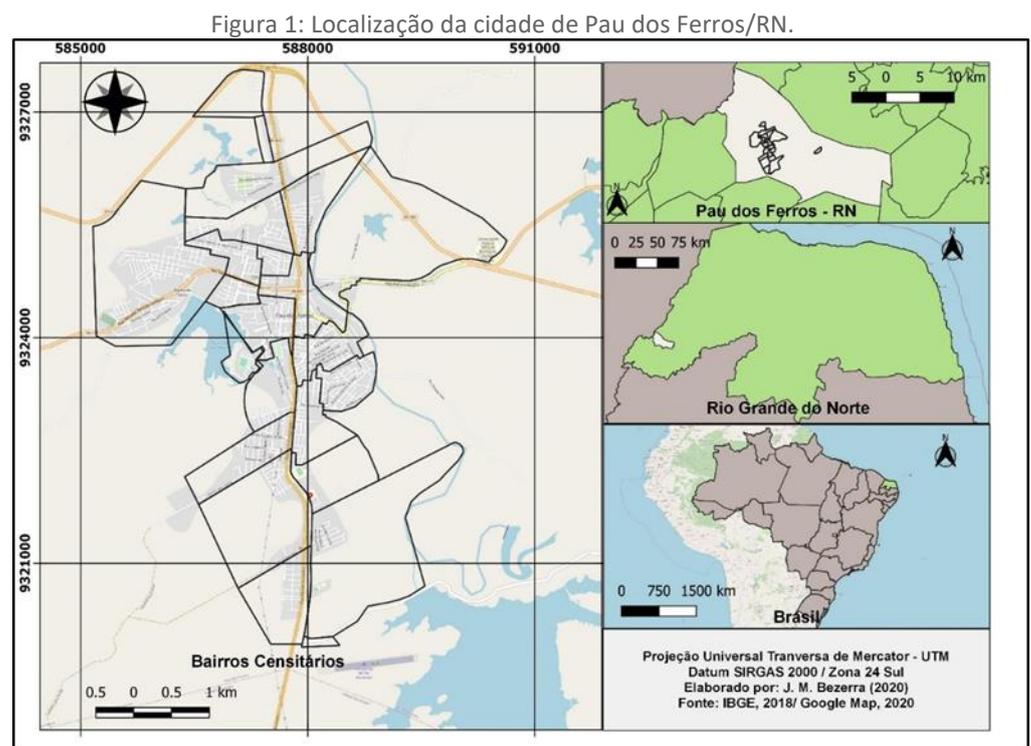
O objetivo do presente trabalho foi mapear o Índice de vegetação da diferença normalizada – NDVI e a Temperatura de Superfície Terrestre – TST para a cidade de Pau dos Ferros/RN, nos anos de 2015 e 2019, objetivando-se

mensurar por meio de análise multitemporal o NDVI e da temperatura de superfície da zona urbana da cidade, visando identificar a ocorrência do fenômeno de ilhas de calor.

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

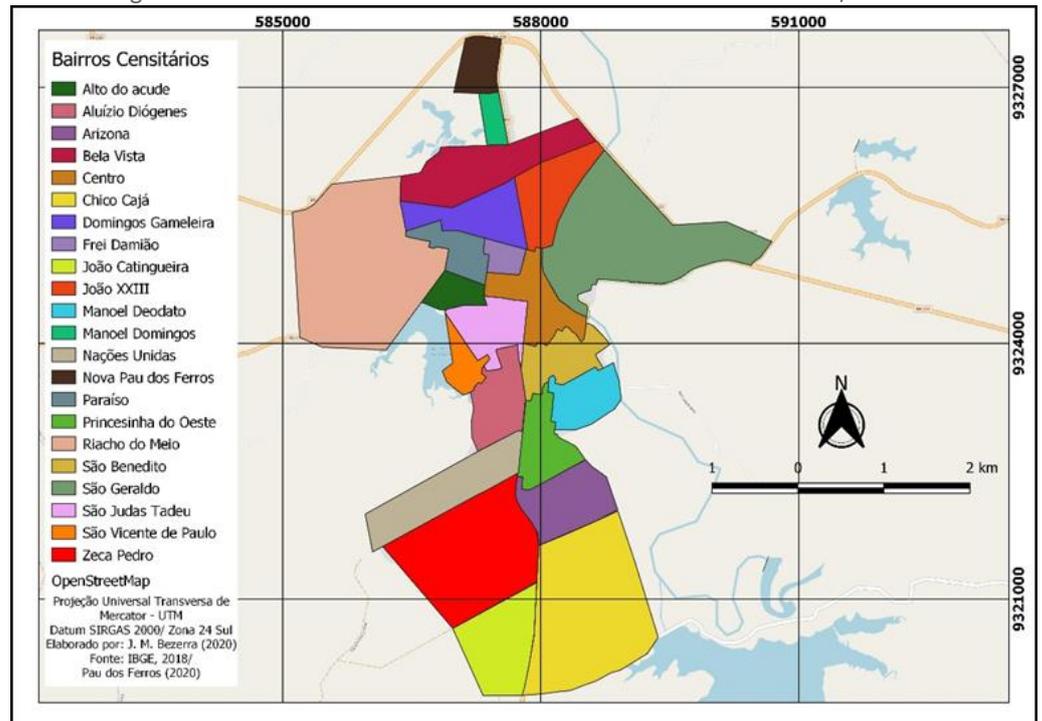
O município de Pau dos Ferros – RN (Figura 1) está localizado na região do semiárido Rio-grandense, inserido na mesorregião Oeste Potiguar e na microrregião de Pau dos Ferros. Segundo o IBGE (2019), atualmente a cidade conta com uma população de 30.394 habitantes, para o ano de 2019. O bioma em que a área de estudo está situada é a Caatinga, com vegetação xerófila caducifólia brasileira, com fisionomia de caatinga hiperxerófila caducifólia, sendo um ecossistema com espécies típicas do semiárido nordestino (BEZERRA et al., 2014).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

A cidade de Pau dos Ferros é um ponto comercial no Alto Oeste de referência, concentrando grande demanda de bens e serviços e fluxo de pessoas durante o ano inteiro, apresentando uma grande variabilidade na dimensão dos bairros e em sua urbanização, podendo ser identificado conforme disposto na Figura 2.

Figura 2: Divisão censitária dos bairros da cidade de Pau dos Ferros/RN.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Metodologia

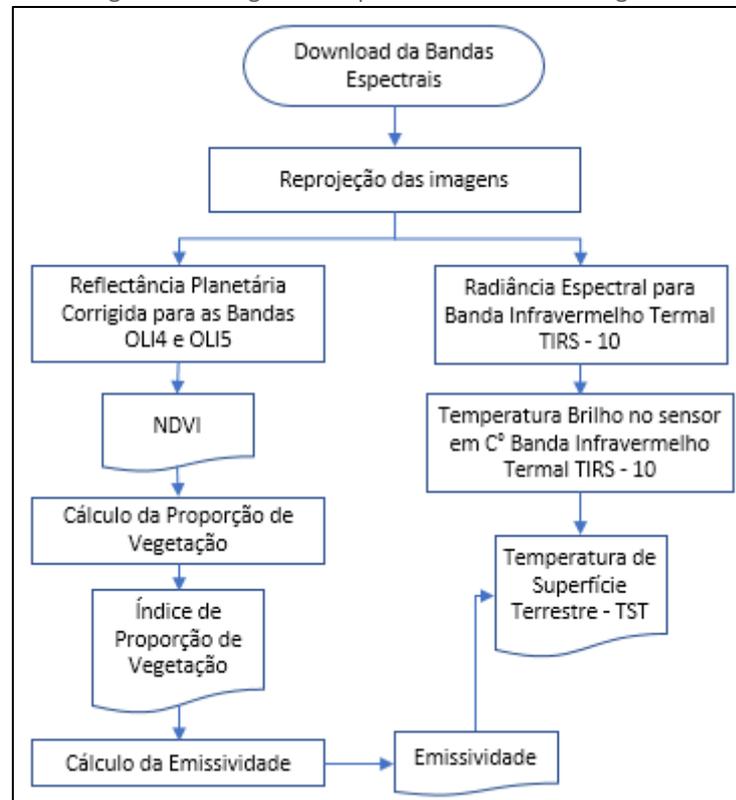
As análises das imagens espaciais foram realizadas por meio do *software* Qgis®, que é livre de código aberto, multiplataforma de Sistema de Informações Geográficas (SIG), que possibilita o processamento, visualização, edição e análise de dados georreferenciados. Para elaboração deste trabalho foi utilizado a versão do *software* Qgis® 3.10 Ltr Bin.

Para a análise da Temperatura de Superfície Terrestre da cidade de Pau dos Ferros – RN, foram realizados os *downloads* das imagens orbitais do Satélite Landsat – 8, para as datas de 05 de novembro de 2015 e 31 de outubro de 2019. As imagens possuem resolução espacial de pixel de 30 m, projeção UTM e elipsoide de referência datum horizontal World Geodetic System (WGS84), zona 24 Sul, referente a zona orbita 216 – 064, correspondentes as bandas espectrais *Operational Land Imager OLI – B4 e OLI – B5*, ambas com resolução espacial de 30 metros, e a Termal Infrared Sensor TIRS – B 10, com resolução espacial de 100 metros.

Para o processamento foram empregados alguns procedimentos matemáticos sobre as bandas *OLI* e *TIRS* com utilização da ferramenta *Calculadora Raster*, disponível no *Menu Raster* no Qgis. A partir das bandas *OLI 4* e *OLI 5* foi realizado o procedimento para a obtenção do *Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI*, *Índice de Proporção de Vegetação* e a *Emissividade*. Enquanto para a banda *TIRS 10* foi realizado o procedimento para a

obtenção da *Temperatura de Superfície Terrestre*. O procedimento realizado no processamento das imagens é exemplificado na Figura 3.

Figura 3: Fluxograma do processamento das imagens.



Fonte: Elabora pelos autores, 2020.

As equações aplicadas nos processos ilustrados na Figura 3 estão discriminadas a seguir. Sendo as constantes usadas nos procedimentos para o processamento digital das imagens estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1: Valores das constantes aplicadas no processamento, disponível no arquivo metadata das imagens do Landsat – 8.

RADIANCE_MULT_BAND	VALOR
RADIANCE_MULT_BAND_4	0.0099798
RADIANCE_MULT_BAND_5	0.0060558
RADIANCE_ADD_BAND	VALOR
RADIANCE_ADD_BAND_4	-49.89890
RADIANCE_ADD_BAND_5	-30.27921
REFLECTANCE_MULT_BAND	VALOR
REFLECTANCE_MULT_BAND_4	0.00002
REFLECTANCE_MULT_BAND_5	0.00002
REFLECTANCE_ADD_BAND	VALOR
REFLECTANCE_ADD_BAND_4	-0.1
REFLECTANCE_ADD_BAND_5	-0.1
ATRIBUTOS DA IMAGEM	VALOR
SUN_ELEVATION	65.38009

K1_CONSTANT_BAND_10	774.89
K1_CONSTANT_BAND_11	480.89
K2_CONSTANT_BAND_10	1321.08
K2_CONSTANT_BAND_11	1201.14

Fonte: Arquivo Metada das Imagens Landsat – 8, 2020.

Reflectância planetária corrigida (OLI4 e OLI5)

Os Números Digitais extraídos de cada pixel da cena devem ser convertidos para fatores de reflectância de superfície. Esta operação exige duas etapas: a conversão da radiância aparente em fator de reflectância aparente e a posterior conversão do fator de reflectância aparente em fator de reflectância de superfície (SANTOS et al., 2014). Ainda segundo os autores, a Reflectância Planetária Corrigida pode ser obtida pela seguinte Expressão 1.

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho}}{\sin(\theta_{SE})}, \quad (1)$$

sendo: ρ_{λ} : Reflectância Exoatmosférica ou do Topo da Atmosfera; M_{ρ} : Fator multiplicativo reescalonado da reflectância para a banda específica (REFLECTANCE_MULT_BAND_x), onde x é o número da banda. Os valores de M_{ρ} estão dispostos na Tabela 1; Q_{cal} : Número Digital (ND) do pixel; A_{ρ} : Fator Aditivo reescalonado da reflectância para a banda específica (REFLECTANCE_ADD_BAND_x), onde x é o número da banda. Os valores de A_{ρ} estão dispostos na Tabela 1; e θ_{SE} : Ângulo de elevação solar local equivalente ao valor SUN_ELEVATIONS, disposto na Tabela 1.

Temperatura de brilho do sensor

As bandas do sensor *Thermal InfraRed Sensor* (TIRS) podem ser convertidas de radiância espectral no topo da atmosfera para temperatura de brilho no sensor. A temperatura de brilho no sensor ou temperatura radiante (T_{rad}) assume que a terra é um corpo negro, isto é, com emissividade igual a 1, e inclui efeitos atmosféricas como absorção e outras emissões ao longo do caminho superfície-sensor (SANTOS et al., 2014), podendo ser determinada pela Equação 2.

$$T_{rad}(C^{\circ}) = \left(\frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \right) - 273, \quad (2)$$

em que: $T_{rad}(C^{\circ})$: Temperatura de brilho o 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. Os valores de K_2 , estão disponíveis na Tabela 1; K_1 : Constante termal da banda espectral (K1_CONSTANT_BAND_x), onde x é o número da banda, ou seja, das bandas 10 ou 11. Os valores de K_1 , estão disponíveis na Tabela 1; e, L_{λ} : Radiância espectral no topo da atmosfera (W/m².srad.μm).

Índice de vegetação da diferença normalizada – NDVI

Este parâmetro é baseado na razão o qual corresponde à diferença entre as reflectâncias das bandas no Infravermelho Próximo e do vermelho, normalizada pela soma das duas bandas, ver Equação 3.

$$NDVI = \frac{(IV - VM)}{(IV + VM)}, \quad (3)$$

onde: **NDVI**: Índice De Vegetação por Diferença Normalizada; **IV**: Banda do Infravermelho Próximo, e **VM**: Banda do Vermelho.

Sendo amplamente usado, é o índice conhecido como *Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI)*. Apresentando elevada capacidade de monitorar mudanças sazonais e interanuais da vegetação e de reduzir ruídos multiplicativos provocados pelas diferenças nas condições de iluminação solar, presença de nuvens, atenuações atmosféricas e variações topográficas (BORGES, 2015).

Índices de vegetação são medidas quantitativas, baseadas nos valores digitais, que tentam medir a biomassa ou vigor vegetativo. Quando este índice apresenta valores negativos é indicativo de corpos hídricos, ou ainda, quando apresentam valores muito baixo, entre 0,1 a 0,15, é demonstrativo de áreas de solo exposto, rochas, zona urbana, ou, asfalto. Valores moderados entre 0,2 a 0,3, é indicativo de vegetação de pequeno porte, raquíticas, característica de regiões de caatinga, a cobertura vegetal da Caatinga mais densa no período da estiagem apresenta estes valores, devido a perda da parte aérea do dorsal foliar. Enquanto valores altos indicam florestas ou vegetação mais densa 0,6 a 0,8 (BEZERRA et al., 2018; BEZERRA et al., 2014).

Índice de proporção de vegetação

Com o cálculo do NDVI pode-se obter a Proporção de Vegetação. De acordo com Alba et al. (2016) a proporção de vegetação foi estimada com o método de limiar NDVI (Equação 4). Segundo os autores, os valores de NDVI < 0,17 são associados a solo nu com emissividade de 0,97, NDVI > 0,58 são considerados vegetação, assumindo 0,99 de emissividade.

$$PV = \left(\frac{NDVI - NDVI_{Min}}{NDVI_{Máx} - NDVI_{Min}} \right)^2, \quad (4)$$

onde: **NDVI**: Índice de vegetação da diferença normalizada calculado para a área de estudo; **NDVI_{Min}**: Índice de vegetação da diferença normalizada mínimo calculado para a área de estudo; e **NDVI_{Máx}**: Índice de vegetação da diferença normalizada máximo calculado para a área de estudo.

Emissividade

A emissividade é a característica dos materiais reais de emitirem energia como um corpo negro, em vários comprimentos de onda, apresentando valores compreendidos entre 0 e 1 (GUSSO; FONTANA; GONÇALVES, 2007). Segundo os mesmos autores, a emissividade está relacionada com a capacidade, inerente à superfície, em converter energia armazenada em energia radiante, emitindo-a para o espaço, os valores de emissividade da superfície terrestre geralmente variam de 0,9 até próximo de 1,0 e dependem da rugosidade, do tipo de solo e da cobertura presente, e sua distribuição.

A emissividade (Equação 5) pode ser estimada utilizando-se a proporção de vegetação (PV) calculada, a qual associa valores de NDVI com a emissividade, para este método faz-se necessário definir valores típicos de emissividade da vegetação e do solo (OLIVEIRA, 2015; ALBA et al., 2016).

$$\varepsilon = \varepsilon_{V\lambda} \cdot PV + \varepsilon_{S\lambda}(1 - PV) + C_{\lambda} \quad (5)$$

onde: ε : Emissividade; C_{λ} : Geometria da Superfície (dada pela rugosidade da superfície, para o nosso caso de superfície plana $C_{\lambda} = 0$); ε_V : Emissividade da vegetação (0,973); e ε_S : Emissividade do solo (0,966).

Temperatura da superfície terrestre – TST

Realizado o cálculo da temperatura de brilho no sensor em graus Celsius, pode-se obter a Temperatura da Superfície Terrestre (Ver Equação 6), pela razão entre a temperatura de brilho no sensor e o produto entre os parâmetros comprimento de onda central da banda utilizada, constante equivalente ao valor de $1,438 \cdot 10^2$ mK e a emissividade.

$$TS = \frac{TB}{1 + \left(\left[\frac{(\lambda \cdot TB)}{\rho} \right] \cdot \ln(\varepsilon) \right)} \quad (6)$$

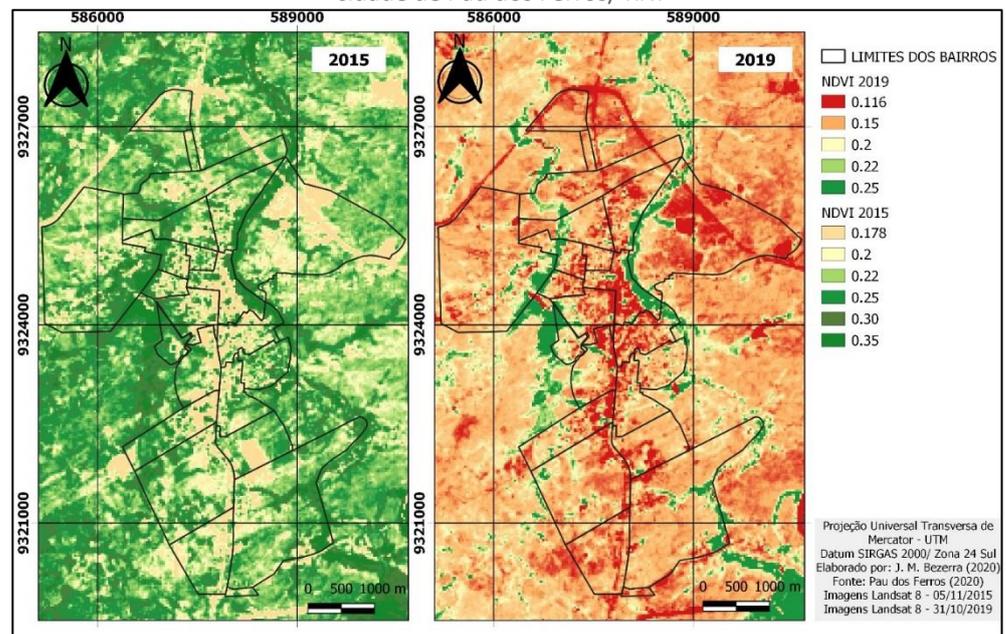
onde: TS : Temperatura da superfície (°C); TB : Temperatura de brilho no sensor (°C); λ : Comprimento de onda central da banda utilizada (no caso, a banda 10, corresponde à 10,8 μm); e ρ : Constante equivalente ao valor de $1,438 \cdot 10^2$ mK. O valor é dado pela seguinte expressão: $\frac{(h \cdot c)}{\sigma}$, em que, h é determinado pela constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34} \text{Js}$), c corresponde a velocidade da Luz ($2,998 \cdot \frac{10^8 \text{m}}{\text{s}}$), e σ é a constante de Boltzmann $1,38 \cdot \frac{10^{-23} \text{J}}{\text{K}}$, ε : Emissividade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise do índice de vegetação da diferença normalizada

Para a área de estudo analisada o valor mínimo de NDVI para o ano de 2015 foi de 0,0178, enquanto para o ano de 2019 foi de 0,116, conforme Figura 4. Já os valores máximos identificados para o NDVI no ano de 2015 foi de 0,35, enquanto para o ano de 2019 verificou-se o valor de 0,25.

Figura 4: Comparativo para o índice de vegetação da diferença normalizada – NDVI na cidade de Pau dos Ferros/ RN.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

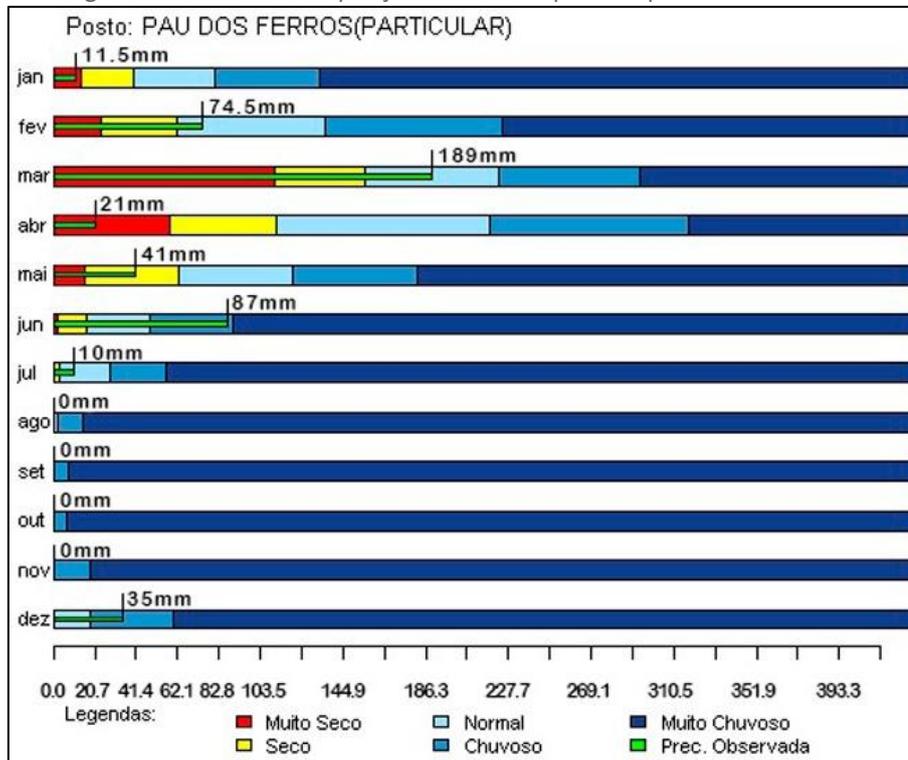
O NDVI para o ano de 2015 apresentou um valor levemente superior se comparado com o ano de 2019 (Figura 4). Ficando evidenciado haver diferenças entre os produtos para o ano 2015 e 2019. Sendo que os menores índices para as imagens se concentram principalmente no centro urbano e área comercial da cidade, as quais são totalmente impermeabilizadas e urbanizadas, além das vias de fluxo com as BR 226 e BR 405, as quais são asfaltadas.

Os bairros que apresentaram os menores valores de NDVI foram o Centro, São Benedito e São Geraldo (Figura 2 e 4). Enquanto os bairros que apresentaram os maiores valores de NDVI foram o São Vicente de Paulo e o Manoel Deodato, fato este, que se justifica pela proximidade dos bairros com zonas de corpos hídricos, interceptarem parte da rede de drenagem de águas pluviais, presença de vegetação resiliente de mata ciliar e não apresentarem suas vias asfaltadas (Figura 2 e 4).

Dado o fato da região estudada apresentar características climáticas e edáficas de caatinga, fatores estes que corroboram para um baixo NDVI mesmo em áreas rurais. Visto isto, o período estudado caracteriza-se pela ocorrência dos menores registros de precipitações pluviométricas (Figuras 5 e 6), e também devido à própria vegetação da área, formada por caatinga caducifolia arbustiva,

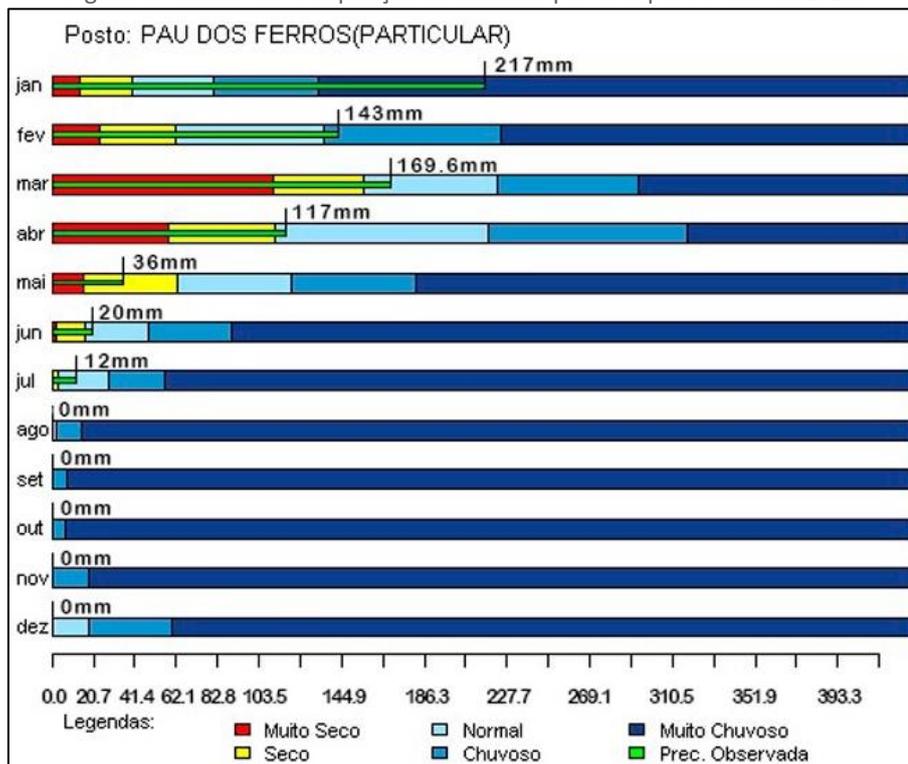
que se caracteriza pela queda das folhas no período de estiagem de agosto a dezembro (RODRIGUES et al., 2009).

Figura 5: Análise da Precipitação Acumulada por mês para o ano de 2015.



Fonte: Adaptado de EMPARN, 2020.

Figura 6: Análise da Precipitação Acumulada por mês para o ano de 2019.



Fonte: Adaptado de EMPARN, 2020.

Vale salientar a ocorrência do NDVI para a imagem de 2015 ser um pouco maior se comparado ao ano de 2019, este fato corrobora com os índices pluviométricos das respectivas imagens (Figura 5 e 6). O ano de 2019 apresentou um volume pluviométrico maior se comparado com o ano de 2015, entretanto, o volume das precipitações se concentraram no primeiro trimestre, havendo uma redução acentuada para os meses seguintes (Abril, Maio, Junho e Julho). Contudo, as precipitações para o ano de 2015, apresentaram uma maior duração para os meses de Maio, Junho e Julho (Figura 5). Período este, que se encontra mais próximo das datas de obtenção das imagens do satélite Landsat – 8. Por esta razão, o NDVI para o ano de 2015 apresentou valores superiores quando comparado ao ano de 2019.

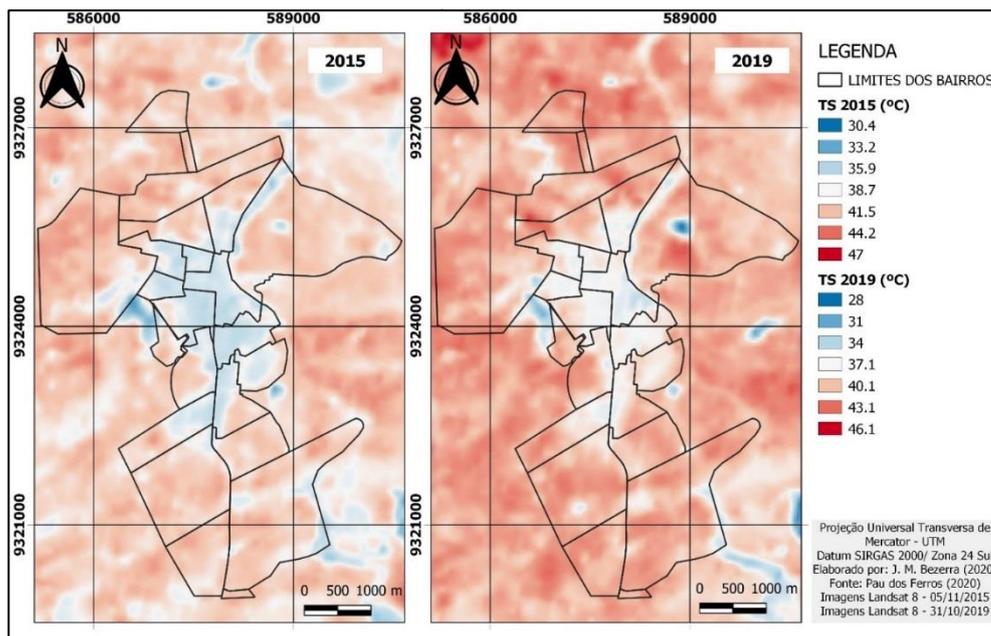
Apesar do volume precipitado acumulado anual ser superior, o que exerceu influência foi o período de ocorrência das últimas chuvas em relação ao período de obtenção das imagens. Vale salientar que a vegetação de caatinga tem rápida resposta fisiológica a condições de estresse hídrico, sendo que a caatinga caducifólia exerce resposta espectral distinta em função das modificações de seu dossel foliar.

Temperatura da superfície terrestre – TST

As análises das imagens para a temperatura da superfície terrestre – TST, para o período estudado apresentaram um valor mínimo de 30,4°C para o ano de 2015, enquanto que para o ano de 2019 apresentaram um valor de 28°C, conforme ilustrado na Figura 7.

O centro urbano da cidade apresentou temperaturas mais moderadas, com valores de 38,7°C para o ano de 2015, e 37,1°C para o ano de 2019 (Figura 7). As áreas que apresentam os maiores picos de temperatura para a superfície terrestre foram as mais afastadas do centro urbano da cidade. Estas áreas apresentaram valores variando de 41,5°C a 47°C para o ano de 2015. Enquanto para o ano de 2019 apresentaram valores variando 40,1°C a 46,1°C, valores estes ligeiramente menores para a temperatura máxima quando comparado ao valor para o ano de 2015 (Figura 7).

Figura 7: Comparativo da Temperatura da Superfície Terrestre – TST em Pau dos Ferros



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Uma justificativa para o centro urbano da cidade apresentar valores mais moderados para a temperatura seria pelo fato de sua localização estar entre pontos de maior NDVI e próximo a corpos hídricos, fatores estes que contribuem para a redução da temperatura (Figura 7). Os bairros que apresentaram as menores temperatura foram: Centro, São Judas Tadeu, Frei Damião, Paraíso e São Benedito (Figura 2 e 7). Os bairros mais distantes do centro urbano que apresentaram temperaturas mais elevadas são áreas desmatadas com solo exposto em processo de recuperação natural, e com elevação topográfica com relação ao centro da cidade. Os principais bairros que se destacaram pelas maiores temperaturas foram: Chico Cajá, Zeca Pedro, Nações Unidas e Bela Vista (Figura 2 e 5), os quais remetem a bairros em franca expansão imobiliária.

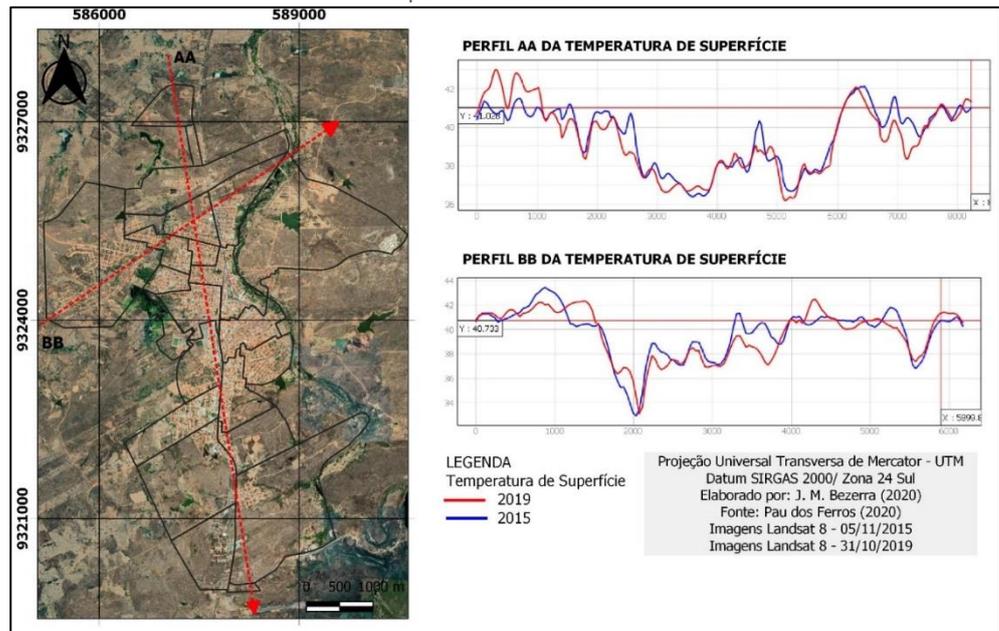
Outro fator importante para os valores mínimos é característico da ocorrência de corpos hídricos e a ocorrência de fragmentos de mata ciliar em suas circunvizinhanças que possuem um maior vigor vegetativo, consequentemente apresentando um NDVI mais elevado, conforme ilustrado na Figura 4, fazendo com que haja uma redução na temperatura e melhorando a sensação de conforto térmico.

Considerando que a água não reflete a energia recebida na faixa do infravermelho e apresenta baixa reflectância (no máximo 5% na faixa do azul) na região do visível. Além disso, os ventos que circulam nestas áreas hídricas resfriam e transmite para as áreas circunvizinhas (MOREIRA; GALVÍNIO, 2009).

As temperaturas de superfície para os períodos estudados mostraram pouca variação no geral quando comparadas. Com destaque para o perfil AA do ano de 2019 (Figura 8 Gráfico Vermelho), que apresentou um pico na temperatura para o início do perfil, mais precisamente localizado no bairro Nova Pau dos Ferros (Figura 2 e 8), este bairro apresenta baixo NDVI para o ano em questão (Figura 4),

devido a baixa densidade de vegetação em processo de recuperação. Enquanto para o perfil BB não apresentou grande pico para o mesmo ano, conforme pode ser observada na Figura 8. Entretanto, as variações para o perfil de temperatura BB, não apresentaram oscilações significativas, fato que pode ser justificado por este perfil cruzar a zona do centro urbano, que tem as temperaturas mais amenas.

Figura 8: Perfis de Temperatura da Superfície Terrestre – TST em Pau dos Ferros/RN para o período estudado.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020.

Segundo Alba et al. (2016) os fatores morfológicos como: a localização da cidade dentro da região; o tamanho das cidades; a densidade da área construída; a cobertura do solo; a altura dos edifícios, e a largura das ruas, contribuem diretamente para o clima urbano. Vale ressaltar que as temperatura de superfície variam com os padrões de temperatura do ar, ventos, umidade do ar e pluviosidade mudam de acordo com a posição geográfica da cidade e da distribuição dos seus elementos urbanísticos (NÓBREGA; SANTOS; MOREIRA, 2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia utilizada para o processamento das imagens do Landsat – 8, apresentou ser aplicável e útil para o estudo do *Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI)*, e da distribuição da Temperatura de Superfície Terrestre – TST. A aplicação da metodologia demonstrou os impactos das ações antrópica na área de estudo, evidenciando as alterações na camada vegetal da superfície terrestre, o que contribui para os baixos valores de NDVI, bem como para a elevação da temperatura da superfície terrestre.

Os bairros que apresentaram os maiores índices para o NDVI foi o Centro e circunvizinhanças devido a ocorrência de braço de rio que transcorre tal área,

fato que contribuiu para que ocorra temperaturas de superfície mais amenas nesses bairros. Entretanto, os bairros mais distantes do centro urbano apresentaram os menores valores de NDVI, com isso, ocorrendo um aumento na temperatura de superfície, quando comparado com área de maior vigor vegetativo.

Estes resultados podem contribuir para futuras ações de recuperação da vegetação, visando melhorar o conforto térmico na cidade de Pau dos Ferros/RN, corroborando com a promulgação da Lei Municipal nº 1.704 de 2019 de Incentivo a Arborização da cidade.

MAPPING OF THE VEGETATION INDEX AND SURFACE TEMPERATURE OF THE CITY OF PAU DOS FERROS-RN

ABSTRACT

The work proposed to map the Vegetation Index of the normalized difference - NDVI and the Terrestrial Surface Temperature - TST in the city of Pau dos Ferros / RN, aiming to identify the occurrence of heat islands. In order to carry out the work, the years 2015 and 2019 were selected, and the Landsat-8 Satellite images were downloaded to use some Geographic Information Systems (GIS) algorithms and tools, resulting in thematic maps for the evaluation. of the studied parameters. Resulting an NDVI with maximum values of 0.35 and minimum of 0.116. Meanwhile, the TST showed a maximum value of 47 ° C that occurred in areas of exposed soil, and a minimum value of 28 ° C in regions of greater NDVI. The most distant districts of the Center had a higher TST, as they showed less vegetative vigor. These results contributed to the understanding of the occurrence of these phenomena, and to future actions aimed at improving thermal comfort in the city.

KEYWORDS: Geotechnologies. Heat islands. Use of the soil.

REFERÊNCIAS

ALBA, E. et al. **Identificação de ilhas de calor e sua relação com a fisionomia da paisagem**. XVII Simposio Internacional SELPER 2016. Geotecnologías, herramientas para la construcción de una nueva visión del cambio global y su transformación para un futuro sostenible, p. 429–438, 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/34919567/MAPEAMENTO_DA_FRAGILIDADE_AMBIENTAL_POR_MEIO_DA_%C3%81LGEBRA_DE_MAPAS. Acesso em: 15 de abril de 2020.

BEZERRA, J. M. et al. **Biophysical parameters from remote sensing in semiarid region of Rio Grande do Norte state, Brazil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 1, p. 73–84, 2014. Disponível em: <https://go.gale.com/ps/anonymouse?id=GALE%7CA442116911&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=14154366&p=AONE&sw=w>. Acesso em: 20 de abril de 2020.

BEZERRA, U. A. et al. **Comparison of the normalized difference vegetation index (NDVI) between the sensors oli-landsat satellite-8 and msi-sentinel-2 satellite in semi-arid region**. Anuario do Instituto de Geociências, v. 41, n. 3, p. 167–177, 2018. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/viewFile/13051/12645>. Acesso em: 20 de abril de 2020.

BICHUETI, R. S. **Fatores Que Condicionam a Formação de Ambientes Urbanos Inovadores em Cidades Sustentáveis**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Sociais e Humanas, Pós-Graduação em Administração, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3146/BICHUETI%2C%20ROBERTO%20SCHOPRONI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

BORGES, K. L. C. **Dados Espectrorradiométricos de Campo e Índices de Vegetação para Estimar Porcentagem de Cobertura Vegetal Verde de Pastagens Cultivadas**. Brasília, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2015, 92p. Dissertação de Mestrado, 2015.

BOURSCHEIDT, Vandoir. **Análise da influência do uso do solo nas variações de temperatura utilizando imagens MODIS e LANDSAT 8**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), v. 17, p. 6750-6756, 2015. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2015/06.15.16.46.26/doc/p1480.pdf>. Acesso em: 15 de abril de 2020.

EMPARN, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. **Monitoramento Pluviométrico**. Disponível em:

<http://meteorologia.emparn.rn.gov.br:8181/monitoramento/monitoramento.php>. Acesso em: 20 de abril de 2020.

FERROS, P. DOS F. P. DOS. **Lei Municipal Nº 1.704/2019**. Pau dos Ferros - Rio Grande Norte, p. 4–5, 2019. Disponível em: <https://www.camarapaudosferros.rn.gov.br/leis.php>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

GUSSO, A.; FONTANA, D. C.; GONÇALVES, G. A. **Mapping land surface temperature using AVHRR/NOAA sensor**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, n. 2, p. 231–237, 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2007000200012&script=sci_arttext. Acesso em: 15 de abril de 2020.

IBGE. **Cidades: Brasil, Rio Grande do Norte, Pau dos Ferros**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/pau-dos-ferros/panorama>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

LUZ, L. F. R. DA et al. **Mapeamento da Temperatura da Superfície Continental do Perímetro Urbano de Palmas/TO a partir de Imagens Landsat-8**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, v. 43, n. December 2016, p. 42–56, 2019. Disponível em: <http://200.129.179.47/bitstream/11612/1983/1/Luan%20Felipe%20Rodrigues%20Oda%20Luz%20E2%80%93%20TCC%20Monografia%20E2%80%93%20Engenharia%20Civil.pdf>. Acesso em: 15 de abril de 2020.

MATERNITY, F. et al. **Análise Temporal da Vegetação Associada à Estimativa de Precipitação Pluvial por Sensoriamento Remoto na Bacia Hidrográfica do Rio Doce**. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, v. 66, n. 1, p. 1–15, 2018. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/TeseMileideGraficaAssinada.pdf>. Acesso em: 20 de abril de 2020.

MOREIRA, E. B. M.; GALVÍNIO, J. D. **Análise multitemporal da ilha de calor urbana na cidade do Recife, através de imagens do Landsat TM-5**. Anais do XIV Simpósio de Sensoriamento Remoto, p. 1441–1448, 2009. Disponível em: <http://martem.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.01.51.44/doc/1441-1448.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

NÓBREGA, R. S.; SANTOS, P. F. C. DOS; MOREIRA, E. B. M. **Morfologia Urbana e Ilhas de Calor na Cidade do Recife/Pe: Distribuição Espacial E Intensidade**. Revista de Geografia (Recife), v. 33, n. 4, p. 319–333, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229301>. Acesso em: 09 de abril de 2020.

OLIVEIRA, F. S. DE. **Mapeamento da vegetação urbana e distribuição espacial e temporal de ilhas de calor**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, v. 1, n. 4, p. 1–6, 2015. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/161368221.pdf>. Acesso em: 09 de abril de 2020.

RÊGO, S. C. A. et al. **Análise comparativa dos índices de vegetação ndvi e savi no município de são domingos do Cariri-PB**. Revista Geonorte, v. 2, n. 4, p. 1217–1229, 2012. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/f09c/6cc2c4bfa13556075bf36110f85ba47fcc30.pdf>. Acesso em: 12 de abril de 2020.

RODRIGUES, J. O. et al. **Biophysics variables seasonality on surface in semiarid regions by using remote sensing**. Engenharia Agrícola, v. 29, n. 3, p. 452–465, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162009000300012&script=sci_arttext. Acesso em: 15 de abril de 2020.

ROMERO, C. W. DA S. et al. **RELAÇÃO ENTRE AS ILHAS DE CALOR E USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM CENTROS URBANOS DE PEQUENO PORTE UTILIZANDO O SENSORIAMENTO REMOTO**. São Paulo, UNESP, Revista Geociências, v. 39, n. 1, p. 253 - 268, 2020, n. 2016, p. 253–268, 2020. Disponível em: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/14399/11619>. Acesso em: 20 de abril de 2020.

SANTOS, A. R. DOS et al. **Sensoriamento Remoto no ArcGIS 10.2.2 passo a passo: processamento de imagens orbitais**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br>. Acesso em: 15 de abril de 2020.

SOUZA, S. M. DE. **Mapeamento e Avaliação da Vegetação Urbana da Cidade de Vitória - ES, Utilizando Geotecnologias**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Pós-Graduação em Ciências Florestais, v. 11, n. 2, p. 140, 2011. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/4970>. Acesso em: 15 de abril de 2020.

Recebido: 27/05/2020

Aprovado: 14/05/2021

DOI: 10.3895/rts.v17n48.12459

Como citar: AIRES, A. A.; BEZERRA, J. M. Mapeamento do índice de vegetação e temperatura de superfície da cidade de Pau dos Ferros-RN. *Rev. Tecnol. Soc.*, Curitiba, v. 17, n. 48, p. 113-131, jul./set. 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/12459>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

