

Geotecnologia para Caracterização do Albedo e Temperatura da Superfície no Sertão de Pernambuco, Brasil

Geotechnology to Characterize Albedo and Surface Temperature in the Pernambuco Hinterland, Brazil

Jessica Fernanda Lima¹ , Leidjane Maria Maciel de Oliveira² ,
Álvaro Augusto das Montanhas Farias¹ , Bernardo Barbosa da Silva³ ,
Diogo Francisco Borba Rodrigues⁴  & Suzana Maria Gico Lima Montenegro² 

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Cartográfica e Agrimensura, Centro de Tecnologia e Geociências. Recife, PE, Brasil

² Universidade Federal Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Geociências. Recife, PE, Brasil

³ Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB, Brasil

⁴ Centro Universitário Maurício de Nassau (UNINASSAU), Departamento de Exatas, Recife, PE, Brasil

E-mails: fernanda.agrim@gmail.com; leidjane.oliveira@ufpe.br; alvaroamfarias@gmail.com; bernardo.silva@ufcg.edu.br; diogo.borbar@gmail.com; suzanam@ufpe.br

Resumo

O Sensoriamento Remoto é a ferramenta que viabiliza o monitoramento das feições terrestre por meio de sensores a bordo de satélites, possibilitando uma análise holística e de baixo custo de grandes áreas da superfície terrestre. O presente trabalho analisou o comportamento espaço temporal no período de 1999 a 2019, de corpos hídricos, áreas irrigadas, vegetações e área urbana do município de Petrolina – Pernambuco, a partir do albedo e temperatura da superfície obtidos com dados orbitais dos satélites Landsat 5 e 8. Na análise comparativa dos dados, o albedo e a temperatura da superfície foram confrontados com a ocorrência dos dados pluviométricos e a classificação SCP (*Semi-automatic Classifier Plugin*) se mostrou uma ferramenta eficaz para a observação do desenvolvimento antrópico correspondente a urbanização. Os resultados evidenciaram que a temperatura da superfície apresentou em 2017, ano mais seco, valor máximo de 37°C, e a ocorrência de pixels com temperaturas superiores a 30°C foi observada em quase toda a área estudada; nos outros anos, foi factível observar o avanço das altas temperaturas da superfície de maneira menos abrangente. Em 2019, as maiores temperaturas da superfície concentraram-se nas áreas antropizadas que circundavam a malha urbana de Petrolina.

Palavras-chave: Antropização; Geoprocessamento; Precipitação

Abstract

Remote Sensing is the tool that makes it possible to monitor terrestrial features using sensors on board satellites, enabling a holistic and low-cost analysis of large areas of the Earth's surface. The present work analyzed the temporal space behavior in the period from 1999 to 2019 of water bodies, irrigated areas, vegetation and urban area in the municipality of Petrolina - Pernambuco, from albedo and land surface temperature modeled using orbitals data of the Landsat 5 and 8 satellites. In the comparative analysis of the data, albedo and the land surface temperature were associated with the occurrence of rainfall data; the SCP (*Semi-automatic Classifier Plugin*) classification was an effective tool for the observation of anthropic development corresponding to urbanization. The results showed that the land surface temperature presented in 2017, the driest year, a maximum value of 37°C, and the pixel distribution with temperatures above 30°C was observed in almost the entire studied area; in other years, it was possible to observe the advance of high land surface temperatures in a less comprehensive way. In 2019, the highest land surface temperatures were concentrated in the anthropized areas that surrounded the urban area of Petrolina.

Keywords: Anthropization; Geoprocessing; Precipitation

1 Introdução

O Sensoriamento Remoto (SR), de acordo com Antunes & Ross (2018), é um elemento importante na perspectiva de gerar possibilidades de uma interpretação mais acurada entre os elementos do cenário terrestre. A aplicação das técnicas de SR tem sido largamente utilizada para monitoramento e mapeamento dos recursos naturais, permitindo assim, uma visão holística da área de interesse, e sendo um instrumento eficaz de análise na alteração dinâmica da paisagem em escala temporal (Jensen 2009). Por sua vez, o conhecimento e o monitoramento das formas de uso da terra são primordiais para a compreensão dos padrões de organização do espaço, uma vez que estas podem ser analisadas do ponto de vista têmporo-espacial (Ribeiro & Albuquerque 2017).

Os procedimentos de análise da espacialização terrestre com SR são diversos; no entanto, um dos parâmetros biofísicos mais utilizados neste tipo de estudo é a temperatura da superfície terrestre, que é um elemento-chave na física dos processos de superfície do planeta, combinando interações superfície-atmosfera e os fluxos de energia entre a atmosfera e o solo (Gorgani, Panahu & Rezaie 2013). De acordo com Deng et al. (2018), este é um fator importante que reflete em mudanças ambientais da superfície e influi nos processos físicos e químicos em áreas urbanas.

Listado pelo Sistema Global de Observação Climática (*Global Climate Observation System-GCOS*), o albedo é uma das principais variáveis climáticas, considerada chave e que controla o balanço energético radiativo planetário e a porção de energia entre a atmosfera e a superfície da Terra (Lukes et al. 2014). Alves et al. (2018) utilizaram o albedo e índices de vegetação em estudo na bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba e observaram que o albedo tem seus valores influenciados pela sazonalidade climática da região.

Fica evidente a importância do processamento da temperatura e do albedo da superfície, pois estes são indicadores de desequilíbrio ambiental. Leite et al. (2020) e Gomes et al. (2017) fizeram o uso destes parâmetros para avaliar as transformações ocorridas no meio devido as modificações no uso e ocupação do solo e obtiveram como resultados valores da temperatura e do albedo da superfície crescentes, comprovando que alterações na cobertura da terra interferem diretamente no ambiente térmico.

O município de Petrolina encontra-se no interior do Sertão pernambucano, na Região Administrativa Integrada de Desenvolvimento do Polo Petrolina/PE e Juazeiro/BA. No município coexistem na paisagem a vasta Caatinga hiperxerófila com cultivos irrigados que dão um aspecto singular a área. Essa paisagem não somente confere ao município de Petrolina um cenário de contrastes, como

também interfere no mercado local com a produção agrícola que evolui claramente para altos patamares da economia, consequência da exportação cada vez maior de frutas frescas (Jatobá, Silva & Galvêncio 2017).

A partir deste cenário, objetivou-se analisar o comportamento da temperatura e do albedo da superfície em perspectiva de geoespacializar os corpos hídricos, áreas irrigadas, vegetações e área urbana do município de Petrolina – PE no decorrer de 20 anos, especificamente com o registro de imagens sem cobertura de nuvens obtidas no período de 1999 e a 2019, tendo os dados de precipitação como auxílio para observação dos mapas resultantes das imagens de satélites Landsat 5 e 8.

2 Metodologia e Dados

2.1 Área de Estudo

Petrolina localiza-se na região Nordeste do Brasil, na mesorregião do São Francisco, e está inserida na bacia do rio São Francisco em Pernambuco (Figura 1), encontrando-se a aproximadamente 700 km de Recife (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2018). Em 1970 Petrolina tinha cerca de 60.000 habitantes; entretanto, em 49 anos a sua população foi multiplicada por quase seis, quando alcançou em 2019 a estimativa de 349.145 habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2019).

2.2 Sensores

Foram obtidas imagens da região que compreende o município de Petrolina por meio do catálogo de imagens disponibilizadas no portal do United States Geological Survey (USGS), onde foram escolhidas as imagens do satélite Landsat dos sensores TM, OLI e TIRS. Os dados vetoriais foram oriundos do portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As cenas escolhidas no banco de dados do (United States Geological Survey 2019) foram as que apresentaram menor cobertura de nuvens e que pertenciam a um mesmo período mensal (Tabela 1). Esse filtro se fez necessário para manter a análise que correspondesse aos mesmos aspectos e influências temporais.

2.3 Dados Pluviométricos

Os dados de precipitação utilizados na pesquisa foram consultados junto ao portal da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), por meio do banco de séries históricas, sendo observados os valores acumulados mensais de cada ano estudado referente ao semestre de janeiro a junho.

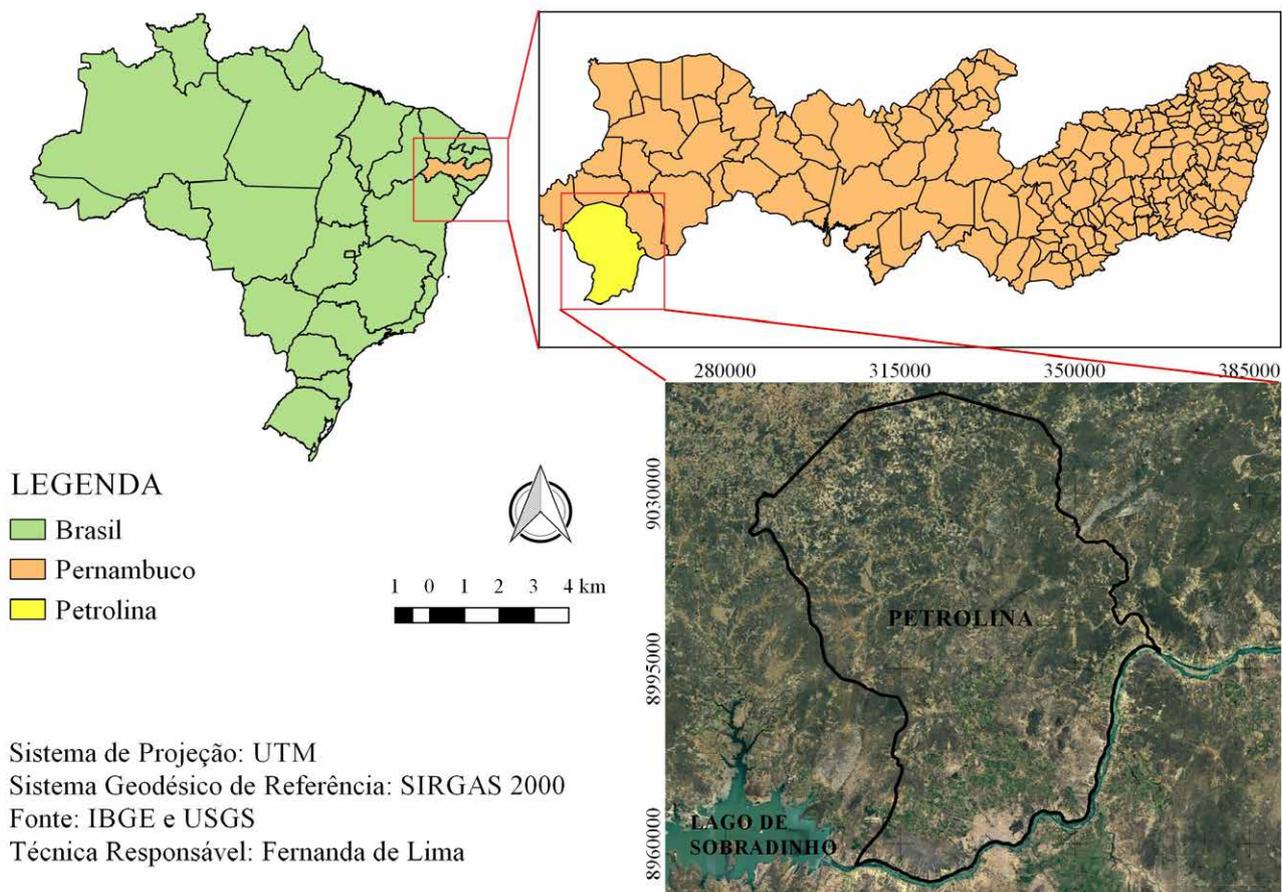


Figura 1 Localização da área de estudo: Petrolina - Pernambuco – Brasil.

Tabela 1 Identificação das cenas

Datas das Imagens	25/06/1999	10/06/2011	02/06/2014	10/06/2017	16/06/2019
Órbita	217	217	217	217	217
Ponto	66 e 67	67 e 67	66	66	66
Sensor	TM	TM	OLI	OLI	OLI
Quant. de cenas	2	2	1	1	1

O comportamento dos dados pluviométricos nos meses que antecederam as datas das imagens está representado na Figura 2, onde foi possível visualizar as variações de cada ano. Como o período das imagens foi fixado no mês de junho, pode-se verificar que este representa um mês de estiagem, possibilitando assim, a menor incidência de nuvens do semestre e melhor visualização da interferência das precipitações sobre os diferentes tipos de uso e ocupação do mosaico terrestre.

Quando se compararam os valores acumulados no semestre janeiro-junho, constatou-se que o ano de 1999 foi

o ano mais chuvoso (295,6 mm), seguido de 2019 (259,8 mm), 2011 (248,5 mm), 2014 (230,0 mm) e o ano com menor precipitação foi 2017 (128,0 mm).

2.4 Classificação SCP

Para a classificação das imagens utilizou-se o plugin SCP do software de livre acesso QGIS versão 2.14.18. Também se utilizou, do mesmo software, a ferramenta Compositor de Mapas para o mapeamento da superfície terrestre processada. Para o Landsat 5 foi empregada a

composição 4R5G7B, e para o Landsat 8 a 5R6G7B. A etapa do pré-processamento foi composta pela construção do raster virtual na ferramenta Miscelânea. Por conseguinte, dando início a classificação, foi selecionado o raster criado e elaborado o treinamento (ROI – Region Of Interest), no qual foram definidas todas as amostras que se queria retratar. O algoritmo escolhido foi a Distância Mínima, que é uma classificação supervisionada pixel a pixel. Desta maneira, obteve-se como resultado a imagem classificada e a vetorização das feições.

O pós-processamento também foi executado no SCP, onde realizou-se uma nova amostragem aleatória das feições da área estudada para revalidação dos dados, com o que, se gerou a matriz de erro para cada classificação e calcularam-se a Exatidão Global e o índice Kappa para aferir o desempenho do classificador.

O Índice Kappa (que varia no intervalo de 0 a 1) é uma medida de concordância que propicia uma percepção do quanto as observações se distanciam daquelas esperadas, mostrando assim a quão legítima são as interpretações, sendo utilizado como medida de concordância entre o mapa e a referência adotada para a estimativa da exatidão. O Índice Kappa é dado por (Cohen 1960):

$$K = (K_1 - K_2) / (1 - K_2) \tag{1}$$

em que K_1 = proporção observada de concordâncias (soma das respostas concordantes dividida pelo total); K_2 = proporção esperada de concordâncias (soma dos valores esperados das respostas concordantes dividida pelo total).

A partir dos resultados, Landis & Koch (1977) associam valores do Índice Kappa à precisão da classificação de acordo com a Tabela 2.

2.5 Radiância e Reflectância nos Sensores TM Landsat 5 e no OLI/TIRS Landsat 8

Para realizar o cômputo da temperatura da superfície e do albedo devem ser obtidos os valores das radiâncias (L_{λ_i}), que são determinadas a partir da conversão dos números digitais de cada pixel nas respectivas radiâncias para cada banda. Essa grandeza representa a energia solar refletida por cada pixel (caso das bandas no domínio da radiação solar e, radiação emitida, no caso das termais) por unidade de área, tempo, ângulo sólido e comprimento de onda (Gomes et al. 2017), medida pelo sensor TM - Landsat 5, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, que de acordo com Markham & Baker (1987) é obtida por:

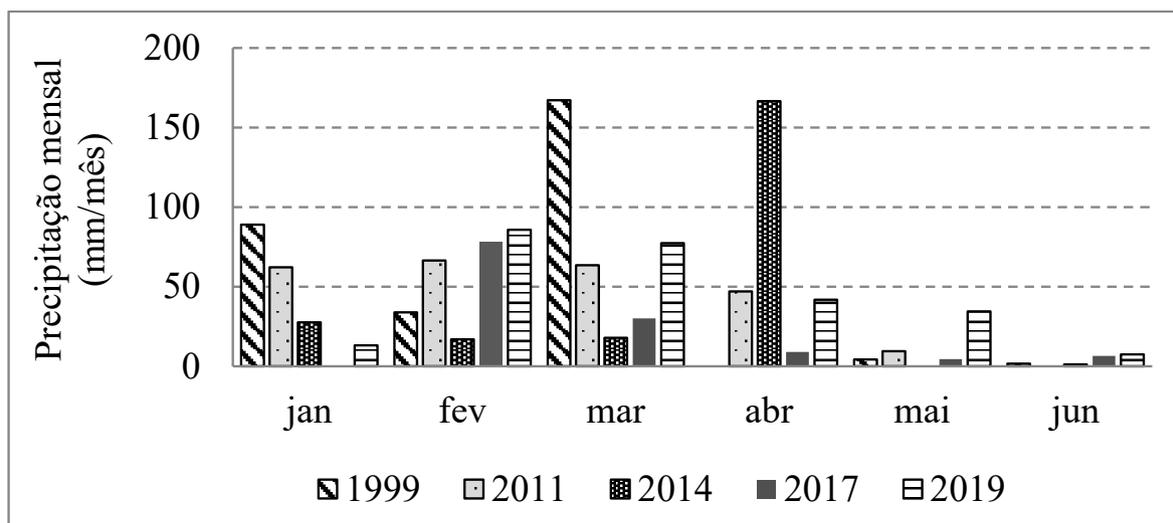


Figura 2 Dados mensais pluviométricos do município de Petrolina - PE – Brasil.

Fonte: (Agência Pernambucana de Águas e Clima 2019).

Tabela 2 Intervalos de Interpretação do Índice Kappa.

Precisão	Péssima	Ruim	Razoável	Boa	Muito boa	Excelente
Índice Kappa	0,00	0,01 a 0,02	0,21 a 0,40	0,41 a 0,60	0,61 a 0,80	0,81 a 1,00

$$L_{\lambda_i} = a_i + \left(\frac{b_i - a_i}{255} \right) ND \quad (2)$$

em que ND = número digital, a = radiância mínima ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), b = radiância máxima ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) e i = número da banda do sensor TM - Landsat 5.

A reflectância monocromática de cada banda (ρ_{λ_i}) do TM - Landsat 5 corresponde à razão entre o fluxo de radiação solar refletida por cada banda e o fluxo de radiação solar incidente. Para uma superfície que apresenta reflectância hemisférica, a radiação espectral deve ser integrada hemisféricamente, o que corresponde multiplicar a radiância espectral (L_{λ_i}) por π (sr) e, portanto, o cálculo da reflectância monocromática é dado por (Allen, Tasumi & Trezza 2007):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (3)$$

em que ρ_{λ_i} = reflectância monocromática de cada banda, L_{λ_i} = radiância espectral de cada banda ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), k_{λ_i} = irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$), d_r = quadrado da distância relativa Terra-Sol e Z = ângulo zenital solar. A determinação do valor de d_r foi obtido através da expressão (Duffie & Beckman 1980):

$$d_r = 1 + 0,33 \cos \left(\frac{DSA \cdot 2\pi}{365} \right) \quad (4)$$

em que DSA = dia sequencial do ano. O ângulo zenital solar - Z foi obtido com base no ângulo de elevação solar - E, disponível no metadados das imagens, dado que $Z + E = 90^\circ$.

No OLI Landsat 8, todas as cenas devem ser submetidas ao processo que envolve o cálculo da reflectância monocromática, em que são convertidas em reflectância planetária com base no coeficiente de remodelação da reflectância, disponível nos metadados das imagens com base na Equação 5 (Silva et al. 2016).

$$\rho_{\lambda_i} = (M_{pi} \cdot Q_{cal} + A_p) \quad (5)$$

em que ρ_{λ_i} = reflectância planetária sem a correção do ângulo zenital do Sol, M_{pi} = fator multiplicativo de cada banda, A_p = fator aditivo de escala específico por banda e Q_{cal} = produto padrão quantificado e calibrado para valores de pixel (ND). Referenciando (Silva et al. 2016), é necessário corrigir a reflectância de acordo com o cosseno do ângulo zenital do sol - $\cos Z$ e a correção da excentricidade da órbita terrestre - d_r (obtido com base na distância Terra-Sol - d_{TS} , disponível no arquivo metadados da imagem, em unidade astronômica), conforme as seguintes equações:

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{(M_{pi} \times Q_{cal} + A_p)}{\cos Z \times d_r} \quad (6)$$

$$d_r = \left(\frac{1}{d_{TS}} \right)^2 \quad (7)$$

2.6 Temperatura da Superfície

A equação para a obtenção da temperatura da superfície (T_{sup}) foi a de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ϵ_{nb} , conforme Allen, Tasumi & Trezza (2007), para $IAF < 3,0$:

$$\epsilon_{nb} = 0,97 + 0,0033 \times IAF \quad (8)$$

em que ϵ_{nb} = emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal e IAF = Índice de Área Foliar (Allen, Tasumi & Trezza 2007). Contudo, para pixels com $IAF \geq 3,0$, $\epsilon_{nb} = 0,98$. Para corpos de água, utilizou-se o valor de $\epsilon_{nb} = 0,99$, conforme (Allen, Tasumi & Trezza 2007).

A temperatura de superfície foi calculada a partir da radiância espectral da banda termal L_{λ_6} (Landsat 5) e $L_{\lambda_{10}}$ (Landsat 8), e da emissividade ϵ_{nb} . Dessa forma, obteve-se a temperatura da superfície em Kelvin (K), que posteriormente foi convertida para graus Celsius ($^\circ C$), com a subtração do valor da temperatura do ponto de congelamento da água ao nível do mar, que equivale a 273,15 K.

$$T_{sup} = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{\epsilon_{nb} \cdot K_1}{L_{\lambda_6}} + 1 \right)} \quad (9)$$

em que $K_1 = 607,76 Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ e $K_2 = 1260,56 K$ são as constantes de radiação da banda termal do TM - Landsat 5 (Allen, Tasumi & Trezza 2007; Silva, Lopes & Azevedo 2005); $K_1 = 774,8853 Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ e $K_2 = 1321,0789 K$ são constantes de radiação da banda termal do TIRS Landsat 8.

2.7 Albedo da Superfície

O cálculo do albedo planetário (α_{toa}) para TM - Landsat 5 (Equação 10) por Allen, Tasumi & Trezza (2007) e OLI - Landsat 8 (Equação 11) por Silva et al. (2016), foram processados pela equação linear entre as reflectâncias e os coeficientes de calibração:

$$\alpha_{TM5_{toa}} = 0,298\rho_1 + 0,270\rho_2 + 0,231\rho_3 + 0,155\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,013\rho_7 \quad (10)$$

$$\alpha_{OLI8_{toa}} = 0,300\rho_2 + 0,277\rho_3 + 0,233\rho_4 + 0,143\rho_5 + 0,036\rho_6 + 0,012\rho_7 \quad (11)$$

em que ρ_i = reflectância planetária de cada banda dos sensores TM e OLI.

O albedo da superfície (α) ou albedo corrigido aos efeitos atmosféricos foi processado conforme a Equação 12 (Zhong & Li 1988):

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \tag{12}$$

em que α_{toa} = albedo planetário, α_p = reflectância da própria atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas que em várias aplicações tem sido recomendado o valor de 0,03, com base em Iqbal (1983) e Bastiaanssen (2000); τ_{sw} = transmissividade atmosférica no domínio da radiação solar que pode ser obtida pela equação Allen, Tasumi & Trezza (2007):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5} \times Z \tag{13}$$

em que z = altitude de cada pixel (m), representado pelo Modelo Digital de Elevação (MDE).

3 Resultados

Na Figura 3 verificou-se a representação georreferenciada da Classificação SCP para área urbana, vegetação secundária, água, Caatinga, solo e irrigação. Observou-se que com o passar dos anos a Caatinga foi parcialmente substituída pela expansão urbana e áreas irrigadas.

A Tabela 3 detalha o somatório das áreas estudadas, retratando de forma mais objetiva as transformações ocorridas na área de estudo, no período de 1999 a 2017.

Observou-se que a Caatinga em 2014 apresentou um valor abaixo do seu sucessor, e isso se deu em decorrência deste ano apresentar menores índices pluviométricos (maio = 0,0 mm e junho = 1,1 mm – Figura 2), ocasionando desta maneira resposta menos expressiva. Também, quando se comparou o mosaico terrestre pela Classificação SCP de Petrolina – PE (Figura 3) com as áreas das classes por ano (Tabela 3), verificou-se que a classe Urbana aumentou 30,53% no período, ao mesmo tempo em que a Caatinga teve uma redução de 24,61%.

A confirmação do crescimento da classe de área urbana (Figura 3) ficou muito clara quando comparada com os resultados dos dados censitários do (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2019), onde este órgão registrou crescimento populacional em Petrolina nos seguintes censos: ano de 2000 (218.538 habitantes), em 2010 (293.962 habitantes) e com estimativa para 2019 (349.145 habitantes). Estes números resultaram em crescimento de 130.607 habitantes em quase 20 anos.

Os índices Kappa (Tabela 4) de todos os anos classificados obtiveram valores maiores que 0,61, mostrando que a acurácia observada foi de *muito boa a excelente* (Landis & Koch 1977) Tabela 2.

Este estudo apresentado condiz com Pereira & Guimarães (2018), ocasião em que aplicaram o mapeamento multicategórico do uso/cobertura da terra em escalas detalhadas usando o Classificador SCP. Foi averiguado que o índice Kappa, calculado com base numa classificação com o algoritmo Distância Mínima, alcançou o valor de 0,724; sendo este próximo aos valores encontrados nos anos de 2014 (0,78); 2017 (0,75) e 2019 (0,78), evidenciados na Tabela 4.

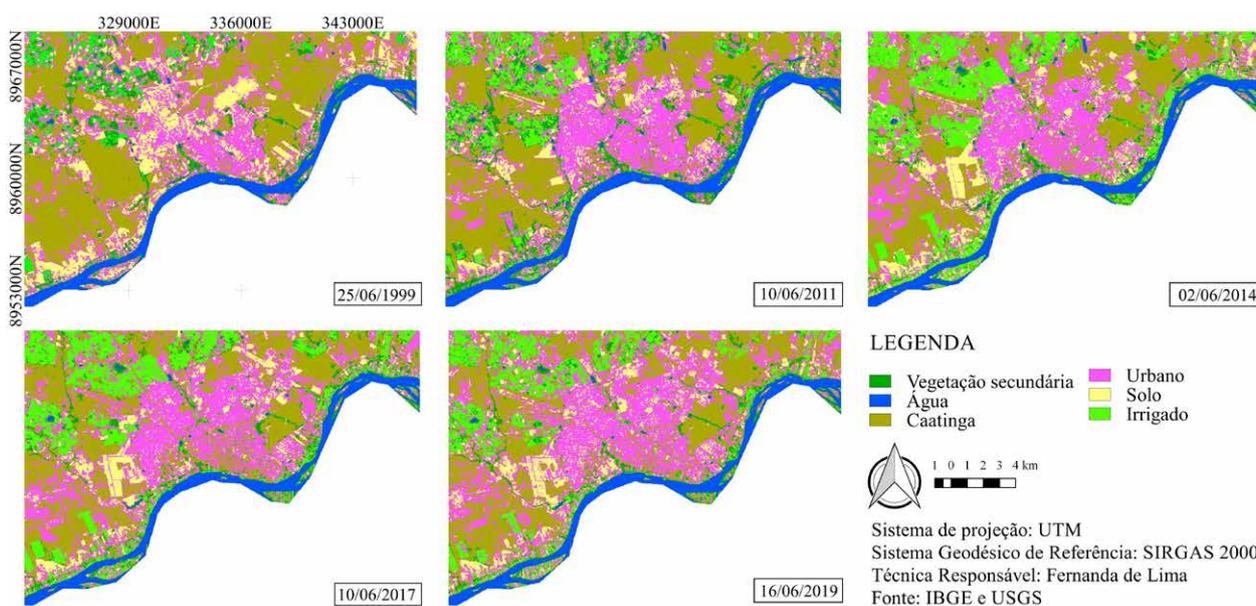


Figura 3 Classificação SCP de Petrolina – PE.

Tabela 3 Áreas das Classes por ano.

Classes	Somatório das Áreas (km ²) por ano				
	1999	2011	2014	2017	2019
Caatinga	120,86	101,65	87,48	91,24	91,11
Urbano	77,07	83,18	85,05	89,96	100,60
Solo	42,33	22,07	27,04	22,48	27,06
Água	21,09	21,20	20,14	18,94	18,55
Irrigação	18,24	36,82	64,47	56,73	45,33
Vegetação secundária	19,21	33,91	14,62	19,48	16,17

Tabela 4 Dados do pós-processamento do Índice Kappa.

Anos	1999	2011	2014	2017	2019
Overall Accuracy (%)	94,32	87,96	87,09	85,32	86,80
Kappa Hat Classification (Global)	0,89	0,80	0,78	0,75	0,78

As imagens da Figura 4 representam os mapas temáticos da temperatura da superfície (Tsup) em Petrolina - PE. Embora a precipitação acumulada no semestre janeiro-junho de 1999 tenha sido ligeiramente superior ao registrado em 2019, as precipitações dos meses de fevereiro a maio de 2019 foram virtualmente maiores que as do mesmo período de 1999, o que justificaria a ocorrência de Tsup menores registrado em 2019. Observou-se que 2017 (Figura 4) representou o ano em que foram contabilizados os maiores valores da Tsup, resultando em predominância das áreas com temperaturas maiores que 30°C (Tabela 5), podendo até afirmar que toda a cidade estava nesta classe, possivelmente decorrente da quase ausência de chuvas, já que 2017 foi o ano mais seco dentre os estudados.

O ano de 2014 também registrou uma distribuição de pixels com temperaturas elevadas, sendo que o bimestre que antecedeu a passagem do sensor foi mais seco em 2014 do que nos demais, com isso notou-se mais uma vez a influência da precipitação sobre essa importante variável ambiental.

Em 2019 observou-se uma redução da espacialização de pixels com temperaturas superiores a 30°C, devido ao índice pluviométrico registrado nos meses de maio e junho serem superior aos de 2017; porém, observou-se que as mesmas se concentraram nas áreas de Caatinga, sendo esta um tipo de vegetação muito peculiar por sua formação e comportamento, mostrando a sua complexidade e a possível antropização destas áreas próximas a região urbanizada.

Na classificação SCP (Figura 3), foi possível observar o avanço da urbanização sobre a área vegetada. Com isso, é factível que o processo do aumento da temperatura superficial ocorra já que ela é inversamente proporcional a vegetação e concernente ao processo de antropização.

As classes de solo, Caatinga e área urbana possuem padrões de temperatura com algumas similaridades, dificultando a diferenciação entre essas classes, diferentemente do que se observa com o albedo. Também se observou que áreas classificadas como solo (Figura 3) apresentaram pixel com valores similares da Tsup das áreas urbanas (Figura 4), provavelmente, decorrente da proximidade geográfica entre as áreas e características termais entre as classes, não proporcionando uma caracterização de realce do mosaico terrestre. As áreas aqui classificadas como Caatinga e solo apresentaram grande exposição do solo, no entanto, as de solo basicamente não apresentaram presença de vestígios de vegetação.

Silva, Silva & Silva (2015), quando pesquisaram a Tsup em áreas irrigadas utilizando imagens do satélite Landsat, obtiveram uma diferença considerável entre os valores de dois anos estudados, justificando que o evento chuvoso influenciou nos registros de valores menores da temperatura da superfície na Bacia experimental do Cariri - PB. Este resultado foi semelhante ao ocorrido nesta pesquisa, onde as temperaturas nas regiões irrigadas foram menores nos anos que tinham um alto índice pluviométrico e, muito altas no período de baixa precipitação.

Feitosa et al. (2011) observaram a diminuição das áreas vegetadas no estado do Piauí e, em contrapartida, a população cresceu e as cidades se expandiram, verificando-se temperaturas da superfície mais elevadas nas regiões de maior concentração de áreas antropizadas. Esta situação é semelhante ao que foi explanado sobre a redução nas áreas de Caatinga como consequência da expansão urbana e, também, consequente aumento da temperatura da superfície em Petrolina.

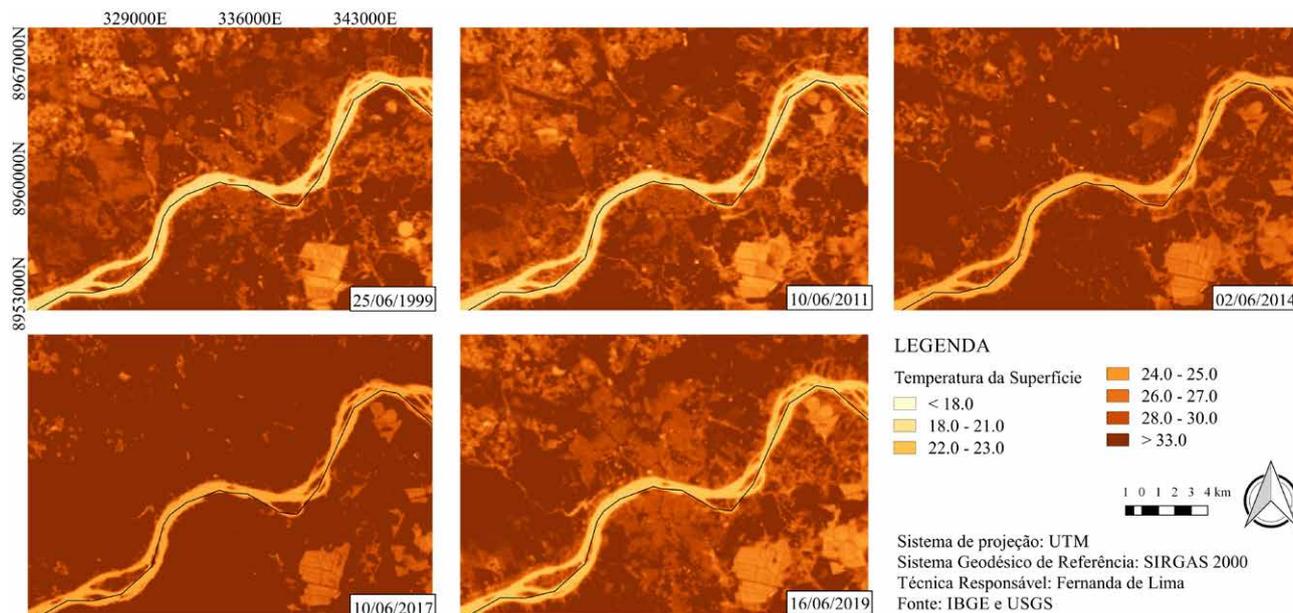


Figura 4 Temperatura da superfície (°C) de Petrolina – PE.

Tabela 5 Valores estatísticos da Temperatura da superfície.

Valores Estatísticos	Temperatura da superfície (°C)				
	25/06/1999	10/06/2011	02/06/2014	10/06/2017	16/06/2019
Máximo	34,0	34,0	34,9	37,3	33,4
Mínimo	20,6	16,9	21,0	22,9	20,5
Média	28,4	28,2	29,4	31,1	28,5
Desvio Padrão	2,5	2,5	4,7	2,6	2,2

Na Figura 5 tem-se a representação georreferenciada da dinâmica temporal do albedo da superfície. Pode-se evidenciar uma melhor visualização dos albedos processados com dados orbitais do OLI – Landsat 8 (2014, 2017 e 2019) quando comparada com os albedos do TM – Landsat 5 (1999 e 2011), e tal fato decorre da melhor resolução radiométrica do sensor OLI – Landsat 8.

Ainda na mesma Figura 5 notou-se a expansão das áreas com albedo de superfície elevado com o passar dos anos. Em 1999, a presença de pixels com valores superiores a 0,35 foi mínima, e em 2011 o comportamento espectral não é muito diferente. Os valores predominantes nos dois referidos anos são pixels compreendidos no intervalo de 0,15 a 0,20.

A diferença é destoante quando se vislumbra o albedo de 2014. Em três anos (2011-2014) o cenário mudou visivelmente, e a maior porcentagem de pixels nesta imagem está no intervalo de 0,20 a 0,30; verificou-se,

também, uma notável presença de pixels com valores no intervalo de 0,30 a 0,35 e superiores a 0,35, possivelmente associado ao adensamento das construções e aumento das ruas pavimentadas.

A imagem de 2017 tem a maior representação de pixels com valores no intervalo de 0,30 a 0,35 e superiores a 0,35. Em 2019 os valores mais expressivos estão no intervalo de 0,30 a 0,35; no entanto, os valores superiores a 0,35 não têm o mesmo desempenho de 2017, conforme dados estatísticos representados na Tabela 6.

O albedo da superfície teve seus valores aumentados devido ao crescimento urbano e isso é coerente com valores obtidos na Classificação SCP (Figura 3), onde verificou-se o aumento da malha urbana numa análise espaço-temporal da região em questão e o crescimento da população pelos dados censitários do (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2019).

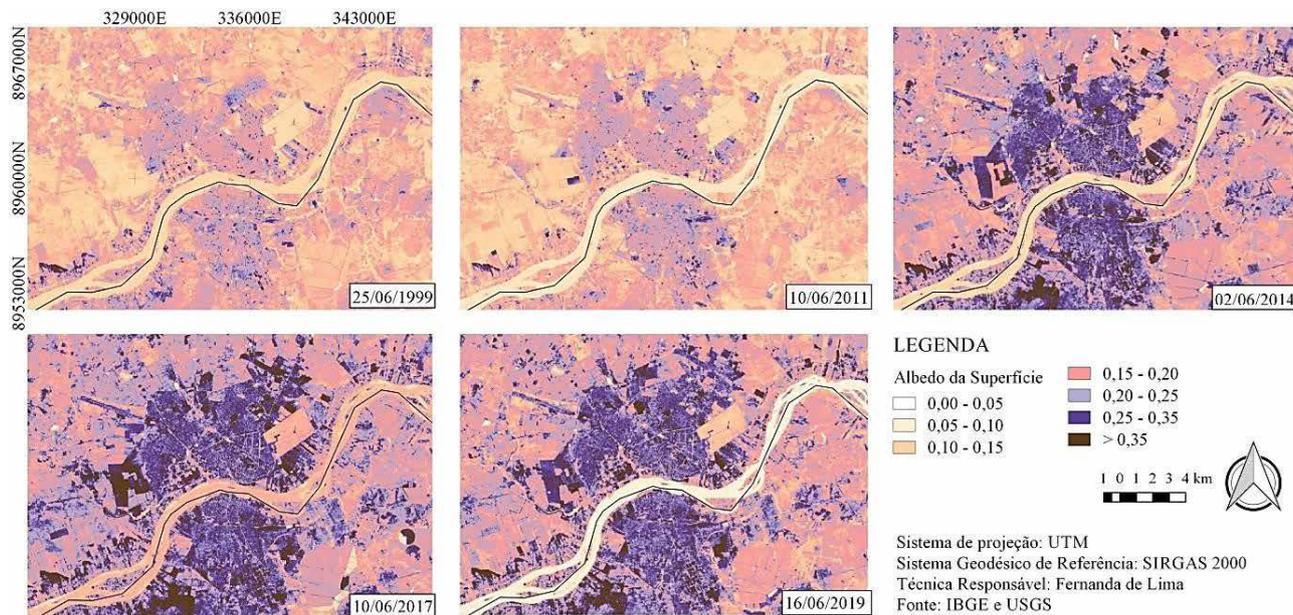


Figura 5 Albedo da Superfície (%) de Petrolina – PE.

Tabela 6 Valores estatísticos do Albedo da Superfície.

Valores Estatísticos	Albedo da superfície (%)				
	25/06/1999	10/06/2011	02/06/2014	10/06/2017	16/06/2019
Máximo	0,48	0,50	0,77	0,88	0,83
Mínimo	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02
Média	0,15	0,14	0,20	0,22	0,20
Desvio Padrão	0,04	0,04	0,06	0,06	0,07

Ferreira Jr. & Dantas (2018) analisaram o albedo da superfície e os índices de vegetação na bacia hidrográfica do rio Pacoti/CE e observaram que os valores de albedo da superfície, no ano de 2006, foram de 0,21 para áreas com pouca vegetação e de 0,36 para áreas que indicaram a presença de solos expostos, sendo estes condizentes com os valores do albedo da superfície presente na Figura 5.

Alves et al. (2018) averiguaram na bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba que quando a vegetação está mais verde e densa, reflete menos, ou seja, apresentam menor albedo. À medida que a vegetação diminui ou perde sua folhagem (senescência), em decorrência do estresse hídrico da estação seca, a refletividade aumenta, pois o solo fica mais descoberto e as áreas mais claras. Por outro lado, quando a vegetação se desenvolve, no período da estação chuvosa, o albedo diminui consideravelmente. Este mesmo comportamento foi identificado nesta pesquisa, no qual a vegetação nativa é a Caatinga Hiperxerófila caducifólia, que tem diminuído a sua área de ocupação no decorrer dos anos.

4 Conclusões

O uso de geotecnologia, utilizando dados orbitais dos satélites Landsat 5 e 8, permitiu a classificação SCP, a caracterização do albedo e da temperatura da superfície. A análise dos mapas temáticos do albedo e Tsup, obtidos no período de 1999 a 2019 e resultantes da classificação realizada, possibilitou o registro das alterações ocorridas no uso e ocupação do solo no município de Petrolina – PE – Brasil. Foi possível detectar a influência das precipitações de forma mais clara no campo da Tsup. As mudanças nos padrões do albedo, além de estarem associados também aos valores de precipitação, podem ter sido afetados pela melhor resolução radiométrica do sensor OLI – Landsat 8, em comparação com aquela conferida pelo TM – Landsat 5.

Nos resultados obtidos revelou-se claramente o crescimento da malha urbana de Petrolina – PE ao longo dos anos, corroborado com o aumento populacional registrado pelos dados censitários, evidenciando também a diminuição da área vegetação nativa do tipo Caatinga e aumento da Tsup.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro a esta pesquisa (Processo nº 433914/2018-1) da segunda autora, à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e ao United States Geological Survey (USGS) por cederem o banco de dados utilizados na pesquisa.

6 Referências

- Antunes, R.L.S. & Ross, J.L.S. 2018, 'Interpretação das fisionomias da paisagem e sua fisiologia a partir do sensoriamento remoto no sul do Brasil', *Geoambiente On-line*. Edição Especial Procad USP/UFSM/UFV – Jataí, vol. 30, pp. 74-96.
- Allen, R.G., Tasumi, M. & Trezza, R. 2007, 'Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model', *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 133, pp. 380-94.
- Alves, T.L.B., Azevedo, P.V., Santos, C.A.C. & Santos, F.A.C. 2018, 'Evolução Espaço-Temporal do Albedo e da Cobertura Vegetal da Superfície na Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Paraíba', *Geosul*, vol. 33, no. 66, pp. 147-71.
- Agência Pernambucana de Águas e Clima 2019, *Monitoramento Pluviométrico*, acesso em 22 jun. 2019, <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>>.
- Bastiaanssen, W.G.M. 2000, 'SEBAL – Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin Turkey', *Journal of Hydrology*, vol. 229, pp. 87-100.
- Cohen, J.A. 1960, 'Coefficient of Agreement for Nominal Scales', *Educational and Psychological Measurement*, vol. 20, no. 1, pp. 37-46.
- Deng, Y., Wang, S., Bai, X., Tian, Y., Wu, L., Xiao, J. Chen, F. & Qian, Q. 2018, 'Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area', *Scientific Reports*, vol. 8 no. 641, pp. 1-12.
- Duffie, J.A. & Beckman, W.A. 1980, *Engenharia Solar de Processos Térmicos*, John Wiley and Sons, Nova Iorque.
- Feitosa, S.M.R., Gomes, J.M.A., Neto, J.M.M. & Andrade, C.S.P. 2011, 'Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina – Piauí', *REVSBAU*, vol. 6, no. 2, pp. 58-75.
- Ferreira Jr., J.J. & Dantas, M.J.F. 2018, 'Análise do albedo da superfície e de índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio Pacoti/CE', *Revista Tecnologia*, vol. 39, no. 2, pp. 18.
- Gomes, H.B., Cavalcante, L.B., Silva Jr., R.S. & Santos, M.N. 2017, 'Temperatura da Superfície e Albedo na Região de Ilha Solteira, São Paulo', *Mercator*, vol. 16, no. 16018, p. 16.
- Gorgani, S.A., Panahi, M. & Rezaie, F. 2013, 'The relationship between NDVI and LST in the urban area of Mashhad, Iran', *International Conference on Civil Engineering Architecture & Urban Sustainable Development*, Tabriz, Iran, p. 7.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2018, *Portal das cidades – Petrolina*, acesso 20 set. 2018, <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/petrolina/panorama>>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2019, *Censo Demográfico 2010*, acesso 15 nov. 2019, <<https://www.ibge.gov.br>>.
- Iqbal, M. 1983, *An introduction to solar radiation*, Academic Press, Canadá.
- Jatobá, L., Silva, A.F. & Galvêncio, J.D.A. 2017, 'Dinâmica climática do semiárido em Petrolina – PE', *Revista Brasileira de Geografia Física*, vol. 10, no. 1, pp. 136-49.
- Jensen, J.R. 2009, *Sensoriamento Remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres*. Tradução: José C. N. Epiphânio, Parêntese, São José dos Campos, SP.
- Landis, J.R. & Koch, G.G. 1977, 'The measurement of observer agreement for categorical data'. *Biometrics*, vol. 33, no. 1, pp. 159-74.
- Leite, M.E., Silva, L.A.P., Veloso, G.A. & Filho, R.M. 2020, 'Comportamento e Influência do Albedo e Temperatura de Superfície no Balanço de Radiação em Áreas De Cerrado', *Caminhos de Geografia*, vol. 21, no. 73, pp. 131-47.
- Lukes, P., Rautiainen, M., Manninen, T., Stenberg, P. & Mõttus, M. 2014, 'Geographical gradients in boreal forest albedo and structure in Finland'. *Remote Sensing of Environment*, vol. 152, pp. 526-35.
- Markham, B.L. & Barker, L.L. 1987. 'Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances', *International Journal of Remote Sensing*, vol. 8, no. 3, pp. 517-23.
- Pereira, L.F. & Guimarães, R.M.F. 2018, 'Mapeamento multicategórico do uso/cobertura da terra em escalas detalhadas usando Semi-automatic Classification Plugin'. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, vol. 3, no. 4, pp. 79-385.
- Ribeiro, K.V. & Albuquerque, E.L.S. 2017, 'Caracterização do uso da terra no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Poti (Ceará) através de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto'. *Revista Brasileira de Geografia Física*, vol. 10, no. 3, pp. 650-65.
- Silva, B.B., Lopes, G.M. & Azevedo, P.V. de. 2005, 'Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5 – TM', *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, vol. 13, no. 2, pp. 201-11.
- Silva, A.M., Silva, R.M. & Silva, B.B. 2015, 'Determinação de Temperatura da Superfície e estimativa do Saldo de Radiação e Evapotranspiração usando Imagens Landsat e

- dados observados'. *Revista Brasileira de Cartografia*, vol. 6, no. 67, pp. 1203-16.
- Silva, B.B., Braga, A.C., Braga, C.C. Oliveira, L.M.M., Montenegro, S.M.G.L. & Barbosa Jr., B. 2016, 'Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: application to the Brazilian semi-arid', *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 20, no. 1, pp. 3-8.
- United States Geological Survey 2019, Using the USGS Landsat Product, acesso 19 set. 2019, <https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php>.
- Zhong, Q & Li, Y.H. 1988, 'Satellite observation of surface albedo over the Qinghai-Xizang plateau region', *Advances in Atmospheric Science*, vol. 5, pp. 57-65.

Recebido em: 11/06/2020

Aprovado em: 22/04/2021

Como citar

Lima, J.F., Oliveira, L.M.M., Farias, A.A.M., Silva, B.B., Rodrigues, D.F.B. & Montenegro, S.M.G.L. 2021, 'Geotecnologia para Caracterização do Albedo e Temperatura da Superfície no Sertão de Pernambuco, Brasil', *Anuário do Instituto de Geociências*, vol. 44: 35481. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_35481