



## **Impacto da alteração do uso do solo usando dados orbitais no baixo São Francisco**

### **Impact of land use change using orbital data in the low São Francisco**

Douglas Alberto de Oliveira SILVA<sup>1</sup>; Jhon Lennon Bezerra da SILVA<sup>1</sup>; Telliane Santos Salgueiro SILVA<sup>2</sup>; Patrício Rinaldo dos SANTOS<sup>3</sup>; Iug Lopes<sup>4</sup>; Cícero Gomes dos SANTOS<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco, Mestre em Engenharia Agrícola. E-mail: douglasalbertosilva@hotmail.com; jhonlennoigt@hotmail.com;

<sup>2</sup>Universidade Federal de Alagoas, Mestrado em Energia da Biomassa. E-mail: tellianesantos@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente.  
E-mail: patriciobimirim@hotmail.com

<sup>4</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Agrícola. E-mail: iuglopes@hotmail.com

<sup>5</sup>Universidade Federal de Alagoas, Doutorado em Ciência do Solo. E-mail: cgomes@arapiraca.ufal.br

\*Autor correspondente: douglasalbertosilva@hotmail.com

**Resumo** - A quantificação e espacialização da degradação na superfície é um elemento essencial e valioso no planejamento de atividades agrícolas e no gerenciamento dos recursos hídricos e naturais de uma bacia hidrográfica. Alterações da superfície do solo, em diversos biomas trazem grandes implicações ao conforto humano e animal. Neste sentido, o monitoramento das mudanças da superfície através de imagens orbitais possibilita identificar a antropização de grandes áreas e seus impactos ambientais. o objetivo desse estudo foi avaliar os impactos da alteração do uso do solo ocorridos em área de vegetação de caatinga e área antropizada por sensoriamento remoto orbital em região semiárida de Pernambuco. O município de Petrolina foi selecionado para este estudo, localizado no estado de Pernambuco, região semiárida do Nordeste do Brasil. Para desenvolvimento do estudo foram utilizadas duas imagens Landsat-8 (05/10/2013 e 27/10/2015), processadas através do algoritmo SEBAL, responsável pela determinação dos parâmetros biofísicos à superfície terrestre. Foram gerados mapas temáticos, expressando a variabilidade dos parâmetros como, albedo e temperatura da superfície, e também os índices NDVI e SAVI. Os resultados mostraram aumento no albedo da superfície e diminuição nos índices de vegetação NDVI e SAVI. Também houve aumento na temperatura da superfície, evidenciando possível avanço na degradação dos recursos naturais. O monitoramento ambiental prévio no espaço e no tempo do semiárido é uma alternativa importante para mitigar tanto as mudanças ambientais causadas por ações antrópicas, como também nos cenários de seca, evitando principalmente um colapso dos recursos hídricos nestas regiões.

**Palavras-chave:** Caatinga; Índices de vegetação; Degradação; Escassez de água; Semiárido.



**Abstract** - The quantification and spatialization of surface degradation is an essential and valuable element in planning agricultural activities and managing the water and natural resources of a river basin. Changes in the soil surface in several biomes have great implications for human and animal comfort. In this sense, the monitoring of surface changes through orbital images makes it possible to identify the anthropization of large areas and their environmental impacts. The objective of this study was to evaluate the impacts of the alteration of the soil use occurring in caatinga vegetation area and anthropogenic area by remote orbital sensing in the semi-arid region of Pernambuco. The municipality of Petrolina was selected for this study, located in the state of Pernambuco, semi-arid region of Northeast Brazil. For the development of the study, two images Landsat-8 (10/05/2013 and 10/27/2015), processed through the SEBAL algorithm, responsible for determining the biophysical parameters to the terrestrial surface. Thematic maps were generated, expressing the variability of parameters such as albedo and surface temperature, as well as NDVI and SAVI vegetation indices. The results showed increase in the surface albedo and decrease in NDVI and SAVI indexes. There was also an increase in surface temperature, evidencing a possible progress in the degradation of natural resources. Previous environmental monitoring in the space and time of the semiarid is an important alternative to mitigate both the environmental changes caused by anthropic actions and also in the drought scenarios, avoiding mainly a collapse of the water resources in these regions.

**Keywords:** Caatinga; Índices de vegetação; Degradação; Escassez de água; Semiárido.

## Introdução

As mudanças ambientais na Região Nordeste do Brasil estão conectadas a vários fatores, principalmente as atividades antrópicas praticadas de forma acentuada nessas regiões. Impactos ambientais como, desmatamento, queimadas, manejo inadequado da agricultura irrigada, prática agropecuária intensiva, etc. A seca excepcionalmente, por exemplo, é a principal condição agravante das regiões semiáridas no Nordeste do Brasil. A demanda evaporativa no semiárido costuma apresentar-se maior do que a precipitação pluviométrica, beneficiando um déficit hídrico acentuado, na qual pode-se observar nesse sentido altas taxas de evapotranspiração potencial, evidenciando regiões propícias à degradação ambiental, especialmente nas épocas secas (PALÁCIO et al., 2013, p. 04; GUTIÉRREZ et al., 2014, p. 100; MARIANO et al., 2018, p. 130).

A obtenção de dados da degradação da superfície possui papel de grande importância para a agricultura, pois se trata de uma variável básica nos estudos ligados a detecção de mudanças em grandes áreas.

O monitoramento da superfície em escala regional pode ser realizado por meio de técnicas de sensoriamento remoto, as quais possibilitam analisar a relação entre padrões espaciais da vegetação e as mudanças no balanço de radiação e dos fluxos de energia da superfície (FAUSTO et al., 2014, p. 06). Com a aplicação de algoritmos como o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*)



(BASTIAANSSEN, 2000, p. 90) é possível estimar as mudanças do solo e da superfície a partir de índices biofísicos da superfície, como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), albedo, temperatura e saldo de radiação da superfície ( $R_n$ ) (ALLEN et al., 2002, p. 97; BASTIAANSSEN, 2000, p. 91).

A detecção de mudanças no uso da terra é crucial para uma melhor compreensão da dinâmica das mudanças na cobertura do solo (TURNER & RUSCHER 1988, p. 245). Atualmente os dados de satélites sobre os recursos da terra são aplicáveis para estudos de detecção de mudanças no uso da terra (YUAN et al., 2005, p. 320). Aplicação de dados de sensoriamento remoto tornou possível estudar as mudanças na cobertura da terra em escala espacial e temporal, a baixo custo e com melhor precisão (KACHHWALA, 1985, p. 80).

Neste contexto, o SEBAL possui diversas funcionalidades, como no monitoramento e detecção de mudanças no uso e cobertura da terra, assim como possíveis impactos ambientais em escala regional e global.

Deste modo, visando principalmente a carência de estudo neste sentido no semiárido, este trabalho objetivou-se avaliar e monitorar os impactos da alteração do uso do solo por meio de técnicas de sensoriamento remoto na região do baixo São Francisco, Petrolina, Pernambuco.

## Material e Métodos

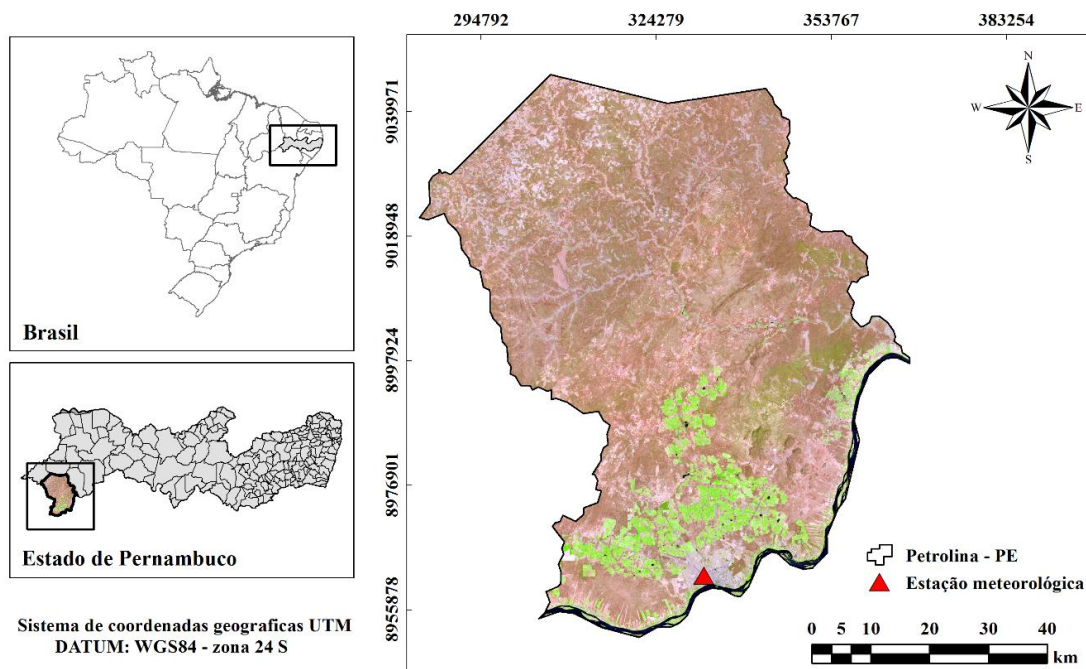
### Área de Estudo

A região de Petrolina é a área do presente estudo, o município pertence a Mesorregião do São Francisco pernambucano, Região Nordeste do Brasil, semiárido brasileiro, localizado especificamente nas seguintes coordenadas geográficas, 9° 23' 00'' S e 40° 30' 28'' W, altitude de 365,5 m. Conforme a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013, p. 715), Petrolina está em uma região que apresenta o clima do tipo BSw'h' (semiárido quente e seco), com a ocorrência de duas estações bem definidas durante o ano, sendo uma com estação seca entre os meses de maio a outubro e estação chuvosa entre os meses de novembro a abril. Esta região semiárida apresenta uma precipitação pluviométrica média de 431,8 mm/ano, concentradas em um único período do ano e com uma distribuição espacial irregular. A temperatura média anual é de 26,3 ° C. A temperatura média anual é em torno de 26,4 ° C e possui também umidade relativa do ar em torno de 58% (SILVA et al., 2005, p. 245).

A Figura 1 apresenta a área de estudo através de imagem do satélite Landsat-8, sensor OLI, destacando a vegetação de Caatinga e áreas irrigadas da região, também observa-se a estação meteorológica.



Figura 1. Mapa espacial de localização da área de estudo, município de Petrolina, Pernambuco, Brasil.



### Dados meteorológicos da superfície terrestre

Através de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada na própria área de estudo foi possível utilizar junto as imagens orbitais dados complementares de superfície, essenciais na calibração e correção das imagens deste estudo. Os dados coletados foram a temperatura ( $T_{ar}$ , °C), umidade relativa (UR, %) e pressão atmosférica do ar ( $P_o$ , kPa).

**Tabela 1.** Dados meteorológicos de superfície registrados pela estação meteorológica no momento das passagens dos satélites.

Data	$T_{ar}$ (°C)	UR (%)	$P_o$ (kPa)
05/10/2013	30,34	39,25	97,20
27/10/2015	29,34	47,00	97,41



## Dados de satélite (Landsat-8 OLI/TIRS)

O estudo foi realizado através de duas imagens do satélite Landsat-8, sensores OLI/TIRS (*Operational Land Images/Thermal Infrared Sensor*), nos dias 05/10/2013 e 27/10/2015, fornecidas pela agência espacial americana NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), baixadas no site da USGS (*United States Geological Survey*). Foram utilizadas as bandas de 2 a 7, com resolução espacial de 30 m, e também a banda termal 10, com resolução de 100 m.

## Processamento das imagens orbitais (SEBAL)

As imagens foram processadas pelo Software ERDAS IMAGINE® 9.1 com auxílio do algoritmo SEBAL. Foram realizadas etapas como, georreferenciamento das bandas multiespectrais, processo de correção atmosférica por meio do modelo FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) (FELDE et al., 2003, p. 91).

O SEBAL foi condicionado a rotinas de processamento dos componentes do balanço de energia da superfície terrestre, determinando parâmetros biofísicos como, albedo da superfície, índices de vegetação (NDVI e SAVI) e temperatura da superfície, conforme Bastiaanssen (2000), p.90, e Allen et al. (2002), p. 97.

A Equação 1 apresenta a radiância espectral (converteu-se os níveis de cinza das imagens em radiância espectral), determinada a partir do Landsat-8 de sensor OLI. A radiância ( $L_b$ ,  $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ) foi determinada mediante os termos aditivo e multiplicativo (SILVA et al., 2016), p. 05. Os termos são coeficientes radiométricos que foram utilizados e necessários para o processo de conversão, disponibilizados pela NASA (USGS, 2018).

$$L_b = Add_{rad\ b} + Mult_{rad\ b} \cdot ND_b \quad (1)$$

Em que,

$Add_{rad\ b}$  é o termo aditivo;  $Mult_{rad\ b}$  o termo multiplicativo (referentes à radiância, espectral);  $ND_b$  é a intensidade de cada pixel e banda (onde para o satélite Landsat, são valores entre 0 e 65365).

A Equação 2 apresenta a determinação da refletância monocromática ( $r_b$ ,  $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ) no satélite Landsat-8 OLI, destacando também a utilização de valores de calibração aditivos e multiplicativos (SILVA et al., 2016, p. 06; USGS, 2018).

$$r_b = \frac{(Add_{ref\ b} + Mult_{ref\ b} \cdot ND_b)}{\cos \theta \cdot d_r} \quad (2)$$

Em que,



$Add_{ref\ b}$  é o termo aditivo;  $Mult_{ref\ b}$  é o termo multiplicativo (referentes à refletância monocromática).

A Equação 5 destaca o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol ( $d_r$ ), determinado de acordo com Iqbal (1983), p. 300.

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{DSA \cdot 2 \cdot \pi}{365}\right) \quad (3)$$

Em que,

DSA é o dia sequencial do ano, argumento da função cos em radianos.

A Equação 4 apresenta o cosseno do ângulo zenital solar ( $\theta$ ), determinado a partir do ângulo de elevação do Sol (E) em graus.

$$\cos \theta = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) = \text{sen}(E) \quad (4)$$

Para determinação do albedo da superfície ( $\alpha_{sup}$ ) (com correção atmosférica) pelo Landsat-8 de sensor OLI, primeiramente determinou-se o albedo planetário ( $\alpha_{toa}$ ) (sem correção atmosférica) utilizando valores de coeficientes de pesos conforme Silva et al. (2016), P. 06 e USGS (2018), Equação 5.

$$\alpha_{toa} = 0,300 \cdot r_2 + 0,277 \cdot r_3 + 0,233 \cdot r_4 + 0,143 \cdot r_5 + 0,036 \cdot r_6 + 0,012 \cdot r_7 \quad (5)$$

Em que,

Os valores: 0,300; 0,277; 0,233; 0,143; 0,036 e 0,012 são os pesos referentes a cada banda do Landsat-8 OLI;  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_4$ ,  $r_5$ ,  $r_6$  e  $r_7$  são as refletâncias de cada uma das bandas do OLI.

A Equação 6 destaca o albedo da superfície, estimado de acordo com diversas pesquisas desenvolvidas especialmente no Nordeste do Brasil, região semiárida (SILVA et al., 2005, p. 247; BEZERRA et al., 2014, p. 77; SILVA et al., 2016, p. 07).

$$\alpha_{sup} = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{atm}}{\tau_{sw}^2} \quad (6)$$

Em que,

$\alpha_{atm}$  é a refletância da atmosfera (ALLEN et al., 2002, p. 98);  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica destacada na Equação 7 (BEZERRA et al., 2014, p. 78; SILVA et al., 2016, p. 09).



$$\tau_{sw} = 0,35 + 0,627 \cdot \exp \left[ \frac{-0,00146 \cdot P_o}{K_t \cdot \cos \theta} - 0,075 \left( \frac{W}{\cos \theta} \right)^{0,4} \right] \quad (7)$$

Em que,

$P_o$  é a pressão atmosférica (kPa), medida em estação meteorológica;  $K_t$  é o coeficiente de turbidez da atmosfera (valor de 1,0) para condição de céu claro e limpo (ALLEN et al., 2007, p. 400);  $W$  é a água precipitável (mm), foi determinada em função da umidade relativa do ar, de acordo com a Equação 8.

$$W = 0,14 \cdot e_a \cdot P_o + 2,1 \quad (8)$$

Em que,

$e_a$  é a pressão real de vapor d'água (kPa), que foi determinada através da Equação 9.

$$e_a = \frac{UR \cdot e_s}{100} \quad (9)$$

Em que,

$e_s$  é a pressão de saturação do vapor d'água (kPa), determinada de acordo com a Equação 10.

$$e_s = 0,6108 \cdot \exp \left( \frac{17,27 \cdot T_{ar}}{237,3 + T_{ar}} \right) \quad (10)$$

Em que,

$T_{ar}$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

A Equação 11 destaca também o índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). O NDVI foi determinado por meio das bandas refletivas do Landsat e é um parâmetro que se atribui a condição verde da vegetação na área de estudo (ACCIOLY et al., 2002, p. 495; ALLEN et al., 2002, p. 97; BEZERRA et al., 2014, p. 77).

$$NDVI = \frac{r_{b\ IV} - r_{b\ V}}{r_{b\ IV} + r_{b\ V}} \quad (11)$$

Em que,

$r_{b\ IV}$  e  $r_{b\ V}$  são às bandas refletivas 5 e 4 do satélite Landsat-8 de sensor OLI.

A Equação 12 apresenta outro índice de vegetação, o SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) diferentemente do índice anterior, possui um fator de ajuste para as condições do solo, ou seja, é um



parâmetro no qual minimiza os efeitos do solo e permite observar condições próximas a realidade vigente da vegetação sobre a área de estudo.

$$SAVI = \frac{(1 + L) \cdot (r_{bIV} - r_{bV})}{(L + r_{bIV} + r_{bV})} \quad (12)$$

Em que,

L é a constante de ajuste ao solo (valor de 0,5) conforme sugerido por Allen et al. (2007), p. 401.

O índice de vegetação SAVI permitiu obter o Índice de Área Foliar (IAF, Equação 13) medido em  $m^2 m^{-2}$ , importante para a determinação da emissividade no domínio espectral da banda termal (Equação 14), essencial para estimativa da temperatura da superfície (ALLEN et al., 2007, p. 401).

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (13)$$

A emissividade foi estimada conforme Allen et al. (2002), p. 98.

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 \cdot IAF \quad (14)$$

A temperatura da superfície ( $T_s$ ), determinada em Kelvin, porém transformada em graus Celsius foi determinada de acordo com a Equação 15 (ALLEN et al., 2002, p. 98).

$$T_s = \frac{K_2}{\left(\frac{\varepsilon_{NB} \cdot K_1}{L_b} + 1\right)} \quad (15)$$

Em que,

$K_1$  e  $K_2$  são constantes de calibração da banda termal 10 do Landsat-8, sensor TIRS ( $K_1 = 774,89$  e  $K_2 = 1321,08 W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ) sugeridos pela NASA (USGS, 2018).

Deste modo, as alterações ambientais da região de Petrolina-PE, sejam por ações antrópicas e/ou mudanças climáticas locais foram analisadas e monitoradas por meio da determinação de mapas temáticos da superfície terrestre, observados e avaliados no espaço e no tempo, processados pelo Software ArcGIS® 10.2.2.

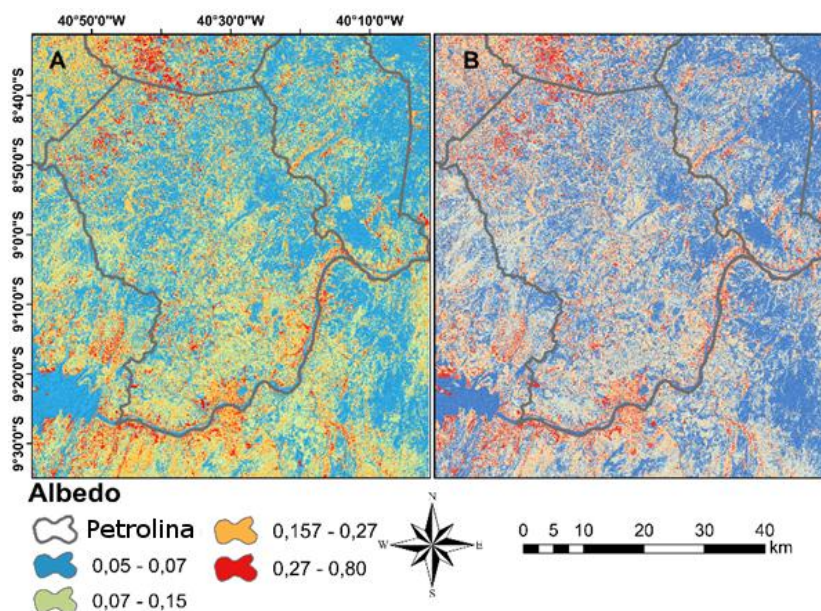




## Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta a espacialização do albedo da superfície na área de estudo, através de mapas temáticos do município de Petrolina-PE, região semiárida do Brasil. Através do monitoramento espacial deste parâmetro biofísico, observaram-se os maiores valores de albedo sobre a região sul das imagens orbitais (Figuras 2A e 2B, tonalidade de pixels em vermelho), as margens do rio São Francisco, bem como, na área urbana do município de Petrolina, como esperado. Todavia, cabe ressaltar que as margens do rio, devido aos altos valores, podem está em processo de degradação ou já com áreas degradadas, visto que, este parâmetro é um importante indicador de áreas neste sentido, identificando a existência de alterações ambientais (SILVA et al., 2005, p. 244; SILVA et al., 2016).

**Figura 2.** Espacialização do albedo da superfície na região semiárida nos dias 05/10/2013 (A) e 27/10/2015 (B).



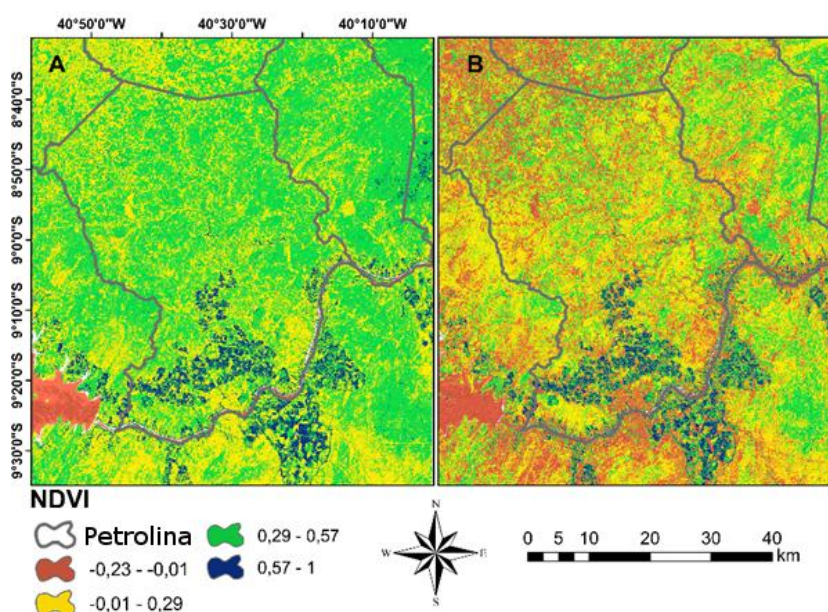
Os menores valores são representados na tonalidade azul representando o rio São Francisco e a umidade na superfície da vegetação. Em geral, foram observadas que as áreas com cobertura vegetal de caatinga apresentaram albedo no intervalo de 0,05 a 0,15, enquanto nas áreas degradadas e de solo exposto ocorreram valores no intervalo de 0,15 a 0,80 (Figura 2).

Bezerra et al. (2014) ao avaliar a dinâmica espaço-temporal de parâmetros biofísicos como, albedo, NDVI, SAVI e temperatura da superfície, também em área de caatinga no próprio município de Petrolina e suas adjacências, por meio do sensoriamento remoto, destacaram por exemplo, que o albedo está diretamente associado ao uso e ocupação do solo e também a cobertura vegetal da caatinga, onde os maiores valores de albedo foram observados no período seco e sobre áreas de solo exposto.



A Figura 3 apresenta a espacialização do índice de vegetação NDVI. Os maiores valores no geral, foram diante dos pixels nas tonalidades em azul escuro, seguindo dos tons mais esverdeados, que expressam áreas com uma vegetação mais intensa e áreas cultivadas, situadas nas proximidades dos rios e reservatórios. O que também observou para alguns trechos a preservação da mata nas margens dos rios.

**Figura 3.** Espacialização do índice de vegetação NDVI na região semiárida nos dias 05/10/2013 (A) e 27/10/2015 (B).

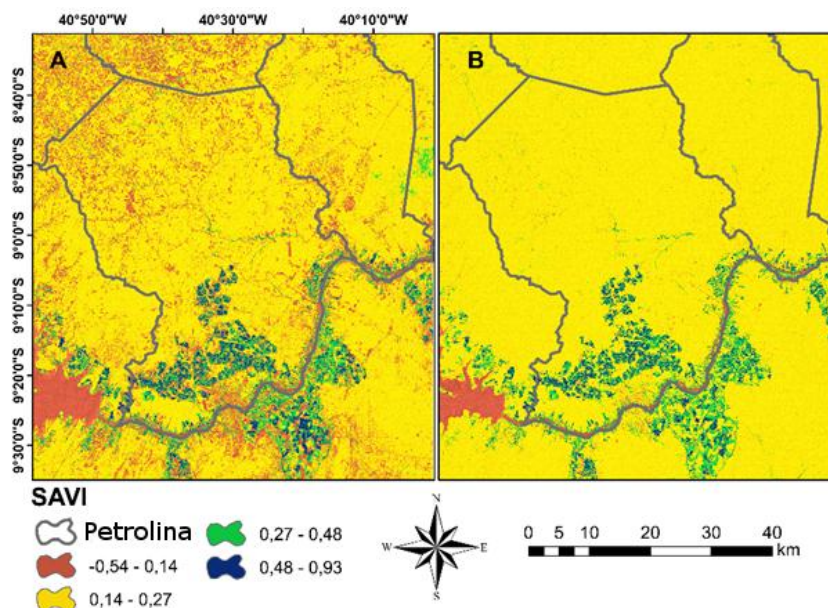


Os menores valores são dos tons mais escuros, de cores marrom, expressando valores negativos, que compreendem áreas de corpos hídricos da região. Imagem do dia 05/10/2013 (Figura 3A) apresentou condições maiores de umidade em meio a vegetação. Rodrigues et al. (2009) salientaram que os altos valores do NDVI, principalmente nas épocas de chuvas no semiárido, o NDVI é diretamente influenciado, e a vegetação é condicionada à rápida resposta de recuperação do dossel foliar. Bezerra et al. (2014) também confirmou tal situação, e ainda, encontraram resultados semelhantes à presente pesquisa, destacando a importância do uso da técnica de sensoriamento remoto de forma rápida e eficiente para tomadas de decisão e medidas de reversão para o meio ambiente natural.

A Figura 4 apresenta também a espacialização do índice de vegetação SAVI. Este índice teve boa representação do dossel vegetativo, visto que, assemelham-se aos observados no NDVI, porém de forma mais clara devido ao fator de correção do solo. Portanto, retratou-se de mapas temáticas mais homogêneas em relação aos demais índices, coerentes ao que basicamente representa a principal condição da vegetação na região semiárida.



**Figura 4.** Espacialização do índice de vegetação SAVI na região semiárida nos dias 05/10/2013 (A) e 27/10/2015 (B).



O dia 05/10/2013 (Figura 4A) apresentou menores valores, diante da tonalidade marrom. Este resultado está de acordo com o encontrado por Souza (2014) que ao analisar a cobertura vegetal observou menores médias sobre a classe dos corpos hídricos e as maiores médias do índice SAVI sobre vegetação arbórea/arbustiva.

Vários estudos no semiárido brasileiro destacam as principais características do bioma Caatinga no semiárido, devido à alta capacidade de recuperação quando observados eventos de chuva, ou seja, poder de resiliência, formação da biomassa vegetal (RODRIGUES et al., 2009; ARRAES et al., 2012; BEZERRA et al., 2014).

A Figura 5 apresenta a espacialização da temperatura da superfície. Os menores valores para este parâmetro foram encontrados sobre os corpos hídricos, como esperado, representados pelas tonalidades mais claras na faixa do azul. O dia 27/10/2015 (Figura 5B) apresentou tonalidades de pixels em vermelho escuro, dentre os demais mostrando-se de modo geral concentrar as maiores temperaturas, fato esse, explicado pela falta de precipitações antecedentes ao imageamento.

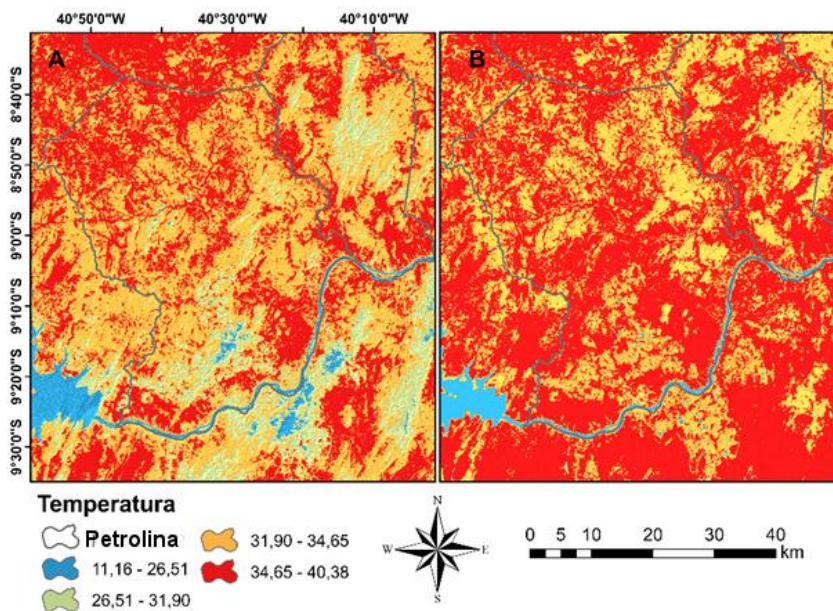
Em termos gerais, verificou-se um aumento das áreas com temperatura, para o dia 27/10/2015 (Figura 5B). Especialmente as áreas próximas das margens do rio São Francisco por conta dos altos índices de queimadas, registrados no mesmo ano de 2015. Ações e fatores agravantes neste sentido, desmatamento, queimadas, a própria seca da região semiárida, possivelmente vem provocando a degradação do ambiental do solo e principalmente alterando o microclima local da região.

Silva et al. (2005), p. 243, conseguiram estimar a temperatura da superfície em áreas com diferentes tipos de uso e ocupação do solo. As áreas que apresentaram as maiores temperaturas foram



áreas de solo exposto, que variou entre 29,2 e 35,2 °C. O aumento de parâmetros como a temperatura e albedo da superfície podem possivelmente configurar em áreas degradadas.

**Figura 5.** Espacialização da temperatura da superfície na região semiárida nos dias 05/10/2013 (A) e 27/10/2015 (B).



Ponderando os parâmetros biofísicos analisados em um aspecto geral, tais condições e resultados expressam similaridades aos estudos realizados no Nordeste do Brasil. Pois este padrão de comportamento espacial através do monitoramento ambiental destes, agregam no planejamento prévio e na gestão adequada perante tomadas de decisões sobre os recursos hídricos e naturais do semiárido brasileiro.

## Conclusões

As alterações sobre o uso do solo podem ser possivelmente identificadas pelo monitoramento espacial de parâmetros biofísicos, onde o aumento nos valores do albedo e temperatura da superfície, bem como também, a redução dos índices de vegetação configura-se em áreas degradadas.

O monitoramento ambiental espacial é de suma importância na organização prévia para tomada de decisões que visam promover a sustentabilidade dos recursos hídricos e naturais no semiárido.



## Conflito de Interesse

Os autores não declararam conflito de interesse para esse manuscrito.

## Referências

- ACCIOLY, L.; PACHÊCO, A.; THOMAZ, C.; COSTA, C.; LOPES, O. F.; OLIVEIRA, M. A. J. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 492-498, 2002.
- ALLEN, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL). **Advanced training and user's manual, Idaho Implementation**, v. 1.0, p. 97, 2002.
- ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; MORSE, A.; TREZZA, R.; WRIGHT, J. L.; BASTIAANSEN, W.; KRAMBER, W.; LORITE, I.; ROBISON, C. W., 2007. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC). **Applications. Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, 395-406.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.
- ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. **Caatinga**, v. 25, p. 119-127, 2012.
- BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL – Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin. **Journal of Hydrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.
- BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 73-84, 2014
- CARDOZO, F. S.; PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y. E.; MORAES, E. C. Análise das mudanças dos parâmetros físicos da superfície derivados das queimadas no estado de Rondônia. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, p. 830-854, 2014.



COOLEY, T., ANDERSON, G. P., FELDE, G. W., HOKE, M. L., RATKOWSKI, A. J., CHETWYND, J. H., ... & BERNSTEIN, L. S. FLAASH, a MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation. In: **Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS'02. 2002 IEEE International**, v. 3, p. 1414-1418, 2002.

DESCHAMPS, P. Y.; HERMAN, M.; TANRÉ, D. Influence de l'atmosphère en télédétection des ressources terrestres: modélisation et possibilités de correction. **Société Internationale de Photogrammétrie et de Télédétection**, v. 1, p. 543-558, 1981.

FAUSTO, M. A.; MACHADO, N. G.; NOGUEIRA, J. S.; BIUDES, M. S. Net radiation estimated by remote sensing in Cerrado areas in the Upper Paraguay River Basin. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 8, p. 1-17, 2014.

FELDE, G. W.; ANDERSON, G. P.; COOLEY, T. W.; MATTHEW, M. W.; ADLER, G. S. M.; BERK, A.; LEE, J. Analysis of Hyperion data with the FLAASH atmospheric correction algorithm. **IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**, v. 1, p. 90-92, 2003.

GAMARRA, N. L. R.; CORRÊA, M. P.; TARGINO, A. C. L. Utilização de sensoriamento remoto em análises de albedo e temperatura de superfície em Londrina – PR: Contribuições para estudos de ilha de calor urbana. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 537-550, 2014.

GUTIÉRREZ, A. P. A.; ENGLE, N. L.; DE NYS, E.; MOLEJÓN, C.; & MARTINS, E. S. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 95-106, 2014.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. London: academic press. 1983, 390 p.

KACHHWALA, T. S. Temporal monitoring of forest land for change detection and forest cover mapping through satellite remote sensing. In: **Proceedings of the 6th Asian Conf. on Remote Sensing**, p. 77-83, 1985.

MARIANO, D. A.; DOS SANTOS, C. A.; WARDLOW, B. D.; ANDERSON, M. C.; SCHILTMAYER, A. V.; TADESSE, T.; & SVOBODA, M. D. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 213, p. 129-143, 2018.

PALÁCIO, H. A. Q.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; ARAÚJO NETO, J. R.; BRASIL, P. P. Energy evaluation of semi-arid watersheds under different management strategies. **Transactions of the ASABE**, v. 56, p. 1-7, 2013.

RIEBSAME, W. E.; MEYER, W. B.; TURNER B. L. Modelagem do uso da terra e da cobertura como parte da mudança ambiental global. **Clim. Mudança**, v. 28, p. 45-64, 1994.



RODRIGUES, J. D.; ANDRADE, E. D.; TEIXEIRA, A. D. S.; SILVA, B. D. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 452-465, 2009.

SELLERS, P. J.; BOUNOUA, L.; COLLATZ, G. J.; RANDALL, D. A.; DAZLICH, D. A.; LOS, S. O.; BERRY, J. A.; FUNG, I.; TUCKER, C. J.; FIELD, C. B.; JENSEN, T. G. Comparison of radiative and physiological effects of doubled atmospheric CO<sub>2</sub> on climate. **Science**, v. 271, p. 1402-1406, 1996.  
SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, p. 243-252, 2005.

SILVA, B. B. D.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M.; MONTENEGRO, S. M.; BARBOSA JUNIOR, B. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 3-8, 2016.

SILVA, D. A. O.; SILVA, J. L. B.; OLIVEIRA, J. D. A.; BATISTA, P. H. D.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A. Spatial and temporal evolution of vegetation in semi-arid region. **Geotechnology applied to environmental studies**, v. 1, p. 88-102, 2018.

SOUZA, J. F. **Análise das mudanças do uso e ocupação do solo, variabilidade da temperatura e do saldo de radiação em João Pessoa – PB**. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, 2014.

TURNER, M. G.; & RUSCHER, C. L. Changes in landscape patterns in Georgia, USA. **Landscape ecology**, v. 1, p. 241-251, 1988.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Using the USGS Landsat 8 Product**. Disponível online em: <<https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product>>. Acesso em 20 de outubro de 2018.

YUAN, F.; SAWAYA, K. E.; LOEFFELHOLZ, B. C.; & BAUER, M. E. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. **Remote sensing of Environment**, v. 98, p. 317-328, 2005.