



## Alterações ambientais na Bacia Hidrográfica do rio Marapanim, Pará, Brasil

### *Environmental changes in the Marapanim river watershed, Pará, Brazil*

Ádanna de Souza Andrade<sup>1\*</sup>, Altem Nascimento Pontes<sup>2</sup>, Suezilde da Conceição Amaral Ribeiro<sup>3</sup>, Bruno Wendell de Freitas Pereira<sup>4</sup>, Valter Vinícius Pereira Brandão<sup>5</sup>, Paulo Eduardo Silva Bezerra<sup>6</sup>

**Resumo:** A bacia hidrográfica é considerada a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e onde concentram-se as atividades de uso e ocupação do solo. Essas atividades acabam alterando significativamente a cobertura vegetal da bacia hidrográfica, o que influencia diretamente na temperatura de superfície, já que a vegetação funciona como um regulador de temperatura. Nesse sentido, a preservação da vegetação ao longo das bacias hidrográficas é considerada de fundamental importância, sendo que essa permite a proteção do solo à ocorrência de processos erosivos, contribui para a infiltração de água no solo e a manutenção do microclima. Assim, o objetivo com esse trabalho foi avaliar as alterações na cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Marapanim, Pará, por meio da comparação entre os valores de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e temperatura superficial para os anos de 1995, 2004 e 2016. Foram adquiridas imagens de satélite (Land Sat 5 e 8) e realizados processamentos a fim de se obter o NDVI e a temperatura superficial dos anos de análise. Os resultados mostraram que houve uma perda de vigor vegetativo ao longo do período, bem como queda de 2,06 °C na temperatura média de 1995 para 2004 e um aumento de 3,43°C de 2004 para 2016. As áreas de menores valores de NDVI apresentaram as maiores temperaturas, principalmente áreas urbanas, denotando a influência da vegetação no microclima. Nesse contexto, esse estudo pode subsidiar a formulação de políticas públicas, visando promover o uso sustentável dos recursos naturais na área da bacia.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto; Geoprocessamento; Recursos hídricos

**Abstract:** The watershed is considered the territorial unit for the implementation of the National Policy of Water Resources and where the activities of land cover are concentrate. These activities altering the vegetation cover of the watershed, which directly influences the surface temperature, since the vegetation functions as a temperature regulator. In this context, the preservation of vegetation along the watersheds is considered of fundamental importance because it allows the protection of the soil to the occurrence of erosion processes, contributes to the infiltration of water in the soil and the maintenance of the microclimate. Thus, the objective of this study was to evaluate the changes in the vegetation cover of the Marapanim river watershed, comparing values of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and surface temperature for the years 1995, 2004 and 2016. It was used the Satellite images (Land Sat 5 and 8) and processed to obtain the NDVI and the surface temperature of the years of analysis. The results showed that there was a loss of vegetative in this period, as well as a decrease of 2.06 °C in the average temperature from 1995 to 2004 and an increase of 3.43 °C from 2004 to 2016. The areas with the lowest values of NDVI presented the highest temperatures, mainly urban areas, showing the influence of vegetation in the microclimate. In this context, this study can support the formulation of public policies to promote the sustainable use of natural resources in the area of the basin.

**Keywords:** Remote sensing; Geoprocessing; Water Resources

\* Autor para correspondência

Recebido para publicação em 12/02/2018; aprovado em 11/03/2018

<sup>1</sup>Mestranda em Ciências Ambientais, Universidade do Estado do Pará, Belém, Fone: (91) 98110-4380, E-mail: [adanna.eng.ambiental@gmail.com](mailto:adanna.eng.ambiental@gmail.com)

<sup>2</sup>Doutor em Ciências Físicas/Professor Adjunto IV, Universidade do Estado do Pará, Belém, E-mail: [altempontes@hotmail.com](mailto:altempontes@hotmail.com)

<sup>3</sup>Doutora em Engenharia de Alimentos/Professora Adjunta, Universidade do Estado do Pará, Belém, E-mail: [suziar@yahoo.com.br](mailto:suziar@yahoo.com.br)

<sup>4</sup>Doutor em Ciências Agrárias/Professor Adjunto, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, E-mail: [brunowendell@yahoo.com.br](mailto:brunowendell@yahoo.com.br)

<sup>5</sup>Especialista em Geografia da Amazônia/Professor, Secretaria de Estado de Educação, Belém, E-mail: [viniciuspgeo@gmail.com](mailto:viniciuspgeo@gmail.com)

<sup>6</sup>Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, E-mail: [pauloeduardoea@gmail.com](mailto:pauloeduardoea@gmail.com)



## INTRODUÇÃO

A Amazônia se destaca pela densa cobertura vegetal e presença de rios, além de grande variedade de fauna e flora, o que confere à mesma uma rica biodiversidade (LIMA, 2016). No entanto, ao longo do tempo, essa região vem sendo alterada significativamente em seu processo de ocupação, o que acarreta em profundos desequilíbrios socioambientais (SOUZA et al., 2011).

A bacia hidrográfica se insere nesse contexto, sendo essa definida como um conjunto de terras limitadas por divisores de água, abrangendo uma rede de drenagem capaz de drenar a água para um único ponto denominado exutório (TARGA et al., 2012).

Assim, a água se inter-relaciona com o meio, como o solo, a vegetação e as próprias ações antrópicas, estas decorrentes do processo de urbanização (CARVALHO, 2014). Dessa forma, as dinâmicas de uso e ocupação da terra, aliado aos processos naturais, alteram a paisagem ao longo de uma bacia hidrográfica, conseqüentemente afetam a qualidade de água aos usuários da mesma, além de acarretar na retirada da vegetação, erosão e assoreamento dos corpos hídricos (MOREIRA et al., 2015; SOUSA et al., 2014).

Nesse sentido, as bacias hidrográficas são consideradas unidades de planejamento e de grande importância para a manutenção dos recursos naturais (SCHUSSEL; NETO, 2015). Avaliar as mudanças na cobertura vegetal ocorridas ao longo da bacia possibilita melhor gestão dos recursos hídricos, minimizando impactos decorrentes da perda da vegetação (BARBIERI; WERLANG, 2015).

As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são fundamentais em tais estudos, na medida em que possibilitam a identificação e o mapeamento dos usos da terra, permitindo obter informações necessárias ao manejo e gestão dos recursos naturais (PRINA et al., 2016; DANELICHEN et al., 2016). Os índices de vegetação, os quais são constituídos de modelos matemáticos que visam avaliar a cobertura vegetal em diversos aspectos, como área foliar, biomassa e atividade fotossintética, são amplamente utilizados na análise de mudanças na vegetação ao longo do tempo em diversas regiões do mundo (MARCUSI et al., 2010; CHEN et al., 2014).

Dentre esses índices, destaca-se o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) como o mais utilizado no levantamento e monitoramento da vegetação, pois permite identificar e diferenciar áreas com algum tipo de vegetação e áreas sem cobertura vegetal, além de avaliar o vigor vegetativo de determinada vegetação ou cultura (BORATTO; GOMIDE, 2013; LIMA et al., 2013). Além disso, o NDVI está sendo aplicado em imagens de alta resolução espacial e temporal, como a RapidEye, visando obter informações que permitam aplicações eficientes de fertilizantes e assim a otimização da produção de culturas (KROSS et al., 2015).

A bacia hidrográfica do rio Marapanim, objeto desse estudo, faz parte da mesorregião do Nordeste Paraense, e abrange 12 municípios em um território ocupado por mais de 526.000 habitantes (IBGE, 2017). Essa mesorregião é considerada a mais antiga em colonização da Amazônia e, portanto, possui uma paisagem muito antropizada (WATRIN et al., 2009).

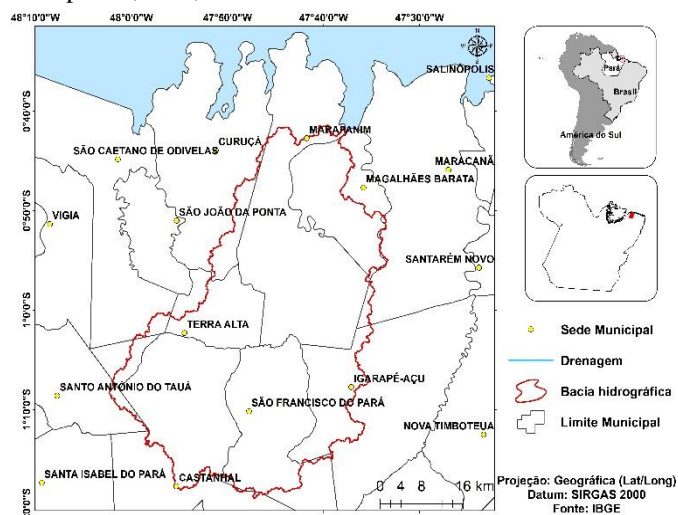
Assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar a partir da aplicação do Normalized Difference Vegetation Index

(NDVI), as alterações na cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Marapanim-PA, bem como a relação entre os valores de NDVI e temperatura superficial, evidenciando as mudanças ocorridas entre 1995 e 2016.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na Bacia Hidrográfica do rio Marapanim (Figura 1), a qual possui área de 2.141,26 km<sup>2</sup> e pertence à mesorregião do Nordeste paraense, entre as coordenadas geográficas 0°32'19.075" e 1°18'36.961"S e 47°31'45.232" e 48°2'20.954"W. Essa bacia está presente em território ocupado por mais 526 mil habitantes, em 12 municípios paraenses: Castanhal, Curuçá, Terra Alta, São Francisco, Igarapé-Açu, Maracanã, Magalhães Barata, Santa Isabel do Pará, Santo Antônio do Tauá, São Caetano, Vigia de Nazaré e Marapanim.

**Figura 1.** Localização da Bacia Hidrográfica do rio Marapanim, Pará, Brasil.



Fonte: Autores, 2017

Para a delimitação da bacia foram utilizados dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução espacial de 30 metros, obtidos no banco de dados Topodata do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, por meio de imagens do tipo Modelo Digital de Elevação (MDE) de número 00S48ZN e 01S48ZN articulada às cartas na escala 1:250.000. A delimitação foi feita no Sistema de Informação Geográfica (SIG) ARC GIS 10.1, utilizando-se a ferramenta *Hydrology*.

O principal rio dessa bacia é o rio Marapanim, com 127,96 km de extensão e sua nascente principal está localizada no município de São Francisco do Pará. A vegetação original é a floresta ombrófila densa de terras baixas (IBGE, 2012), com presença de solos bem drenados e de baixa fertilidade natural, predominantemente os Latossolos Amarelos distróficos (EMBRAPA, 2013). Atualmente, a vegetação da região encontra-se em estágio de sucessão, marcada pela presença de uso agrícola e pastagens degradadas (COSTA, 2011).

As imagens foram adquiridas do satélite LANDSAT 5 do ano de 1995 e 2004 e do LANDSAT 8 do ano de 2016, obtidas no site do United States Geological Survey (USGS) referentes à órbita/ponto 223/61, conforme especificações

descritas na Tabela 1. As datas foram escolhidas conforme disponibilidade de imagens com menor cobertura de nuvens. Todas essas datas são correspondentes à estação seca na Amazônia, o que minimiza os efeitos da sazonalidade na interferência de respostas espectrais.

**Tabela 1.** Imagens utilizadas para a geração do NDVI.

Data da imagem	Sensor	Satélite	Banda	Intervalo do comprimento de onda $\mu\text{m}$
10/07/1995	TM	Land Sat 5	B3 (vermelho)	0,63–0,69
			B4 (infravermelho próximo)	0,76–0,90
23/11/2004	TM	Land Sat 5	B3 (vermelho)	0,63–0,69
			B4 (infravermelho próximo)	0,76–0,90
21/09/2016	OLI	Land Sat 8	B4 (vermelho)	0,630–0,680
			B5 (infravermelho próximo)	0,845–0,885

As imagens disponíveis no USGS estão projetadas para o Hemisfério Norte, assim, foi feita a reprojeção dessas para o Hemisfério Sul, utilizando-se o sistema de projeção UTM e Datum WGS 84. As bandas foram submetidas à uma correção atmosférica pelo método DOS (Dark Object Subtraction) proposto por Chavez (1988 e 1989), para corrigir os efeitos do espalhamento atmosférico na radiância da cena. Posteriormente, foi feito um recorte da cena para a área da bacia hidrográfica.

Para a geração do NDVI, foi realizada a conversão de Número Digital da imagem para reflectância, conforme metodologia proposta no sítio do USGS, em virtude de essa caracterizar a energia incidente sobre o alvo. Essa correção foi realizada no *software* ARC GIS 10.1, pela ferramenta *Raster calculator*. Para a realização da conversão, foram obtidos os parâmetros necessários no arquivo MTL das imagens disponíveis no USGS e utilizou-se a Eq. 1:

$$\rho\lambda' = M\rho Q\text{cal} + A\rho \quad (1)$$

Em que:  $\rho\lambda'$  – reflectância do topo da atmosfera, sem correção para o ângulo solar;  
 $M\rho$  – Fator multiplicativo de redimensionamento da banda;  
 $Q\text{cal}$  – Valor Digital da banda.

Para essa reflectância, foi realizado correção para o ângulo solar, dividindo-a pelo seno do ângulo de elevação local, conforme descrito na Eq.2:

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta\text{SE})} \quad (2)$$

A geração do NDVI, proposto por Rouse et al. (1973), é feita pela divisão da subtração da reflectância das bandas do infravermelho próximo e vermelho pela soma das mesmas, por meio do algoritmo padrão descrito na Eq. 3:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR}-\text{RED}}{\text{NIR}+\text{RED}} \quad (3)$$

Em que: NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; NIR: Refletância na faixa do infravermelho próximo; RED: Refletância na faixa do vermelho.

Os valores resultantes variam de -1 a 1, de forma que quanto mais próximo de 1 maior é a presença de vegetação (aumento da reflexão na banda do infravermelho próximo e diminuição da reflexão na banda do vermelho), enquanto que valores negativos indicam a presença de água e valores próximos de 0 representam o solo exposto (KIEL, 2008). O NDVI foi gerado no *software* ARC GIS 10.1 pela ferramenta *Raster calculator*, utilizando-se das respectivas bandas corrigidas e aplicando-se a Eq. 3 para cada ano de análise.

Para melhor visualização e interpretação dos índices gerados para cada ano, foi feita a classificação dos valores do NDVI, obtendo-se assim, valores máximos e mínimos do NDVI de cada ano. A partir dessa classificação, foram gerados os mapas do NDVI para os anos de 1995, 2004 e 2016, visando melhor visualização espacial e comparação das áreas de vegetação.

Para elaboração das temperaturas de superfície de cada ano, utilizou-se a banda termal 6 do satélite Land Sat 5 e a banda termal 10 do satélite Land Sat 8. Primeiro, foi feita a conversão de número digital (DN) para radiância, conforme metodologia proposta por Chander et al. (2009), por meio da Eq. 4.

$$L\lambda = \left( \frac{(L\text{máx}-L\text{mín})}{(Q\text{calmáx}-Q\text{calmín})} \right) + (Q\text{cal}-Q\text{calmín})+L\text{mín}.$$

Em que:  $L\lambda$  – radiância;  $L\text{máx}$  – 15.303 (radiância espectral para DN=255);  $L\text{mín}$  – 1,238 (radiância espectral para DN=1);  $Q\text{cal máx}$  – 255;  $Q\text{cal mín}$  – 1.

Posteriormente, foi realizada a operação para geração da temperatura superficial, por meio da ferramenta *raster calculator* do *software* ARC GIS 10.1. De acordo com Chander e Markham (2003), a radiância termal  $L\lambda$  emitida pela superfície terrestre pode ser convertida em temperatura superficial ( $T_s$ ) a partir da inversão da fórmula de Plank, pela Eq. 5.

$$T_s = \frac{K2}{\ln\left(\frac{k1}{L\lambda}\right) + 1} - 273,15 \quad (5)$$

Em que:  $T_s$  – temperatura superficial terrestre em Kelvin;  $k1$  e  $k2$  – constantes de calibração (Tabela 2) do respectivo satélite;  $L\lambda$  – radiância termal superficial;  $-273,15$  – transformação da temperatura em Kelvin para graus Celsius.

**Tabela 2.** Constantes de calibração para os satélites Land Sat 5 e 8.

Constantes	Land Sat 5	Land Sat 8
K1	607,76	774,88
K2	1260,56	1321,07

Fonte: Adaptado de Chander et al. (2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 observa-se a delimitação das classes de NDVI para o ano de 1995, 2004 e 2016, com destaque para as áreas 1, 2 e 3, as quais foram delimitadas para comparação com os dados de temperatura superficial. De acordo com

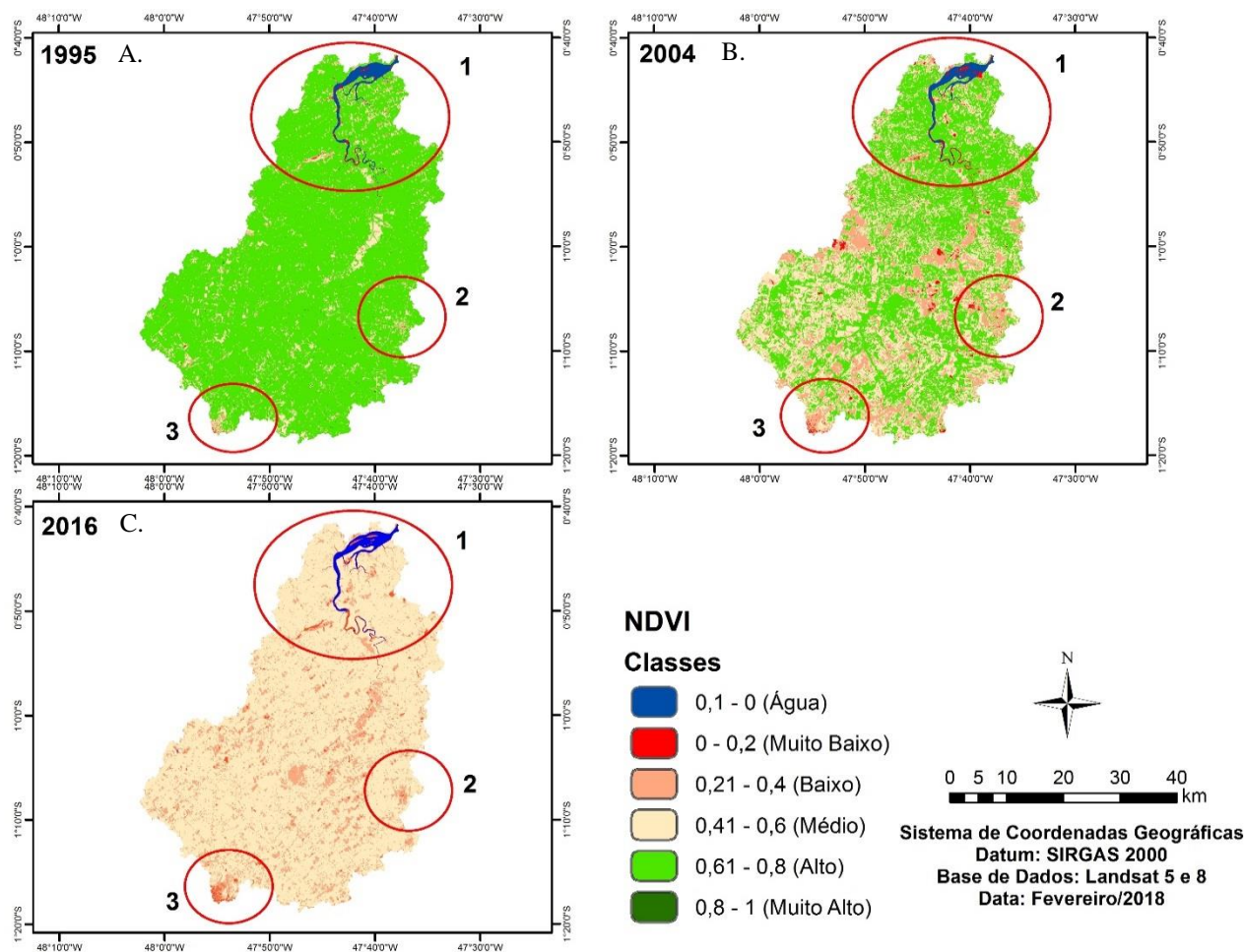
Figueirêdo et al. (2013), os valores de NDVI entre 0,1 e 0,2 são característicos de áreas antropizadas, de afloramento rochoso e de solo exposto. Valores entre 0,2 e 0,4 caracterizam vegetação rala, valores entre 0,4 e 0,6 representam vegetação intermediária e valores acima de 0,6, vegetação densa.

De acordo com Melo et al. (2011), o NDVI permite determinar a densidade da fitomassa foliar fotossinteticamente ativa, quanto maior o valor do NDVI, mais densa é a fitomassa verde da área. Nota-se que de 1995 a 2016 houve uma expressiva diminuição do vigor vegetativo, já que em 1995 tinha-se dominante na paisagem valores de

NDVI entre 0,61 e 0,8 (Figura 2A), em 2016 passou a ser expressiva na área valores de NDVI entre 0,21 e 0,6 (Figura 2B).

Maiores valores de NDVI estão associados à presença de clorofila em florestas ombrófilas, já que vegetação mais densa ocasiona menor refletância na região do visível devido à maior oferta de pigmentos fotossintetizantes (PONZONI et al., 2012). Todavia, menores valores de NDVI estão relacionados ao baixo vigor vegetativo ocasionado pela ausência de vegetação, tal como evidenciado por Fernandes et al. (2016).

**Figura 2.** NDVI para os anos de 1995 (A), 2004 (B) e 2016 (C) da Bacia Hidrográfica do rio Marapanim, Pará, Brasil.



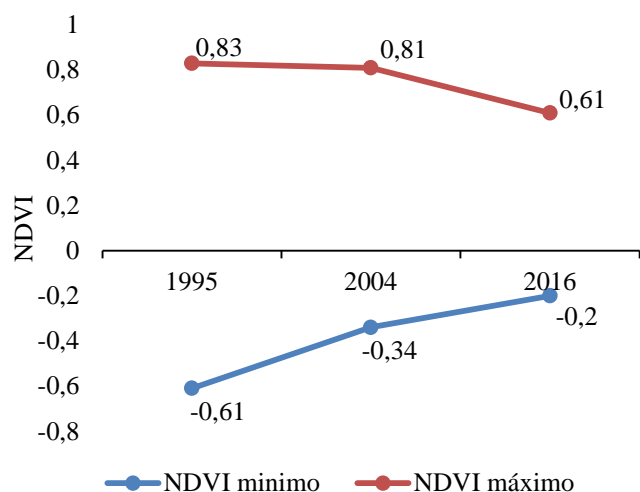
A partir da representação dos valores máximos e mínimos de NDVI para cada ano de análise (Figura 3), pode-se perceber que ao longo do tempo (1995 a 2004) houve uma diminuição do valor máximo do NDVI e um significativo aumento dos valores mínimos, comportamento que está associado à perda de vigor vegetativo na área de estudo, já que o ideal seria que o valor máximo de NDVI aumentasse com o passar do tempo, o que caracterizaria a presença de vegetação mais densa.

Querino et al. (2016) constataram uma diminuição de 69% do NDVI de 1984 a 2011 em uma área desmatada do

sudoeste da Amazônia brasileira. No entanto, para esses autores, valores baixos de NDVI também podem ser ocasionados por uma estação seca severa, devido a perda de umidade do solo em decorrência do déficit de chuva.

Quando comparado o primeiro e último ano de análise, 1995 e 2016, verifica-se que as áreas em tons mais esverdeados, que representa os valores mais altos do NDVI, desaparecem, sobressaindo os valores de NDVI de 0,21 a 0,4, enfatizando a perda acentuada de vigor vegetativo na bacia hidrográfica do rio Marapanim-PA. Esse fato está relacionado ao crescimento da urbanização e consequentemente das atividades de uso e ocupação do solo, o que acarreta em alterações na cobertura vegetal da bacia, tanto pela expansão da malha urbana quanto pelas práticas agropecuárias, comuns em áreas do nordeste paraense (JUNIOR; FUCKNER, 2008; PEREIRA et al., 2015).

**Figura 3.** Comparação dos valores máximos e mínimos do NDVI da Bacia Hidrográfica do rio Marapanim, Pará, Brasil.



As áreas de maior densidade vegetal corresponderam aos maiores valores de NDVI e se mostraram abundante ao longo da bacia no ano de 1995, enquanto que os valores mais baixos de NDVI corresponderam às áreas urbanas ou solo exposto, principalmente na porção mais ao Sul da área de estudo, sendo mais evidente no ano de 2004. Hilker et al. (2014), ao analisarem a relação entre as precipitações e dinâmica do NDVI na Amazônia, constataram que desde o ano 2000, a precipitação diminuiu em 69% na floresta tropical, o que representou uma queda de 55% do NDVI.

A área demarcada em 1 da Figura 2, parte mais ao Norte da bacia, representa o entorno do rio Marapanim, o principal da bacia hidrográfica. Nessa área, notou-se que nos anos de 1995 e 2004 os valores de NDVI variavam entre 0,61 a 0,8, característicos de vegetação densa, porém em 2016 essa mesma área passou a ter valores de NDVI entre 0,41 a 0,6, típicos de vegetação intermediária.

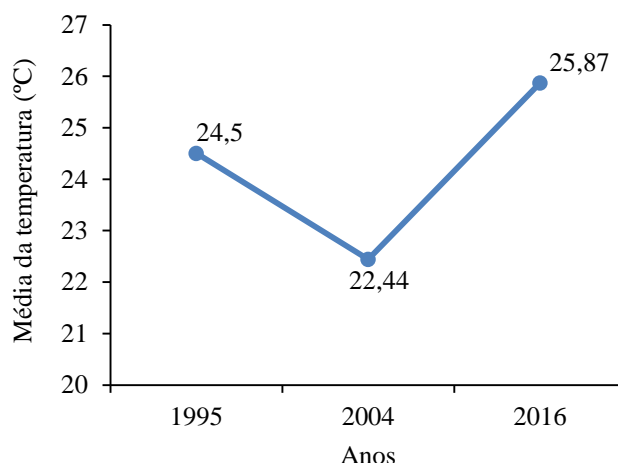
As áreas em 2 e 3 da Figura 2 permaneceram ao longo de todo o período, com valores de NDVI considerados baixo ou muito baixo. Isso pode ser explicado pelo fato de que nessas áreas se concentram as sedes urbanas dos municípios de Igarapé-Açu e Castanhal, respectivamente, o que corrobora com o fato de que, solos expostos ocasiona valores baixos de NDVI, como enfatizado por Bezerra et al. (2014).

No que diz respeito à temperatura superficial, houve uma queda de 2,06 °C na temperatura média de 1995 para 2004, no entanto de 2004 para 2016 houve um aumento na temperatura média de 3,43 °C, assim como na temperatura máxima, que passou de 29,17 °C em 2004 para 32,23 °C em 2016, correspondendo a um aumento de 3,06 °C em um período de 12 anos (Tabela 3, Figura 4).

**Tabela 3.** Temperatura superficial para cada ano de análise na Bacia Hidrográfica do rio Marapanim, Pará, Brasil.

Ano	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Média
1995	29,18	19,82	24,50
2004	29,17	15,72	22,44
2016	32,23	19,51	25,87

**Figura 4.** Média da temperatura superficial da Bacia Hidrográfica do rio Marapanim, Pará, Brasil.



Menores valores de temperatura superficial estão associados à presença de vegetação arbórea, já que essa converte em calor latente (via evapotranspiração) boa parte da energia que chega à superfície (SAMPAIO et al., 2007). Entretanto, áreas desprovidas de vegetação, com solo exposto ou destinadas à pastagem tendem a apresentar maiores valores de temperatura, tal como constatado por Caioni et al. (2017).

De acordo com Mallick et al. (2008), a temperatura da superfície terrestre (TST) diz respeito ao fluxo de calor dado em função do balanço de radiação que chega e que sai de um corpo, sendo influenciada pela presença de cobertura vegetal, pois essa, auxilia na regulação termal da superfície por meio do processo de evapotranspiração.

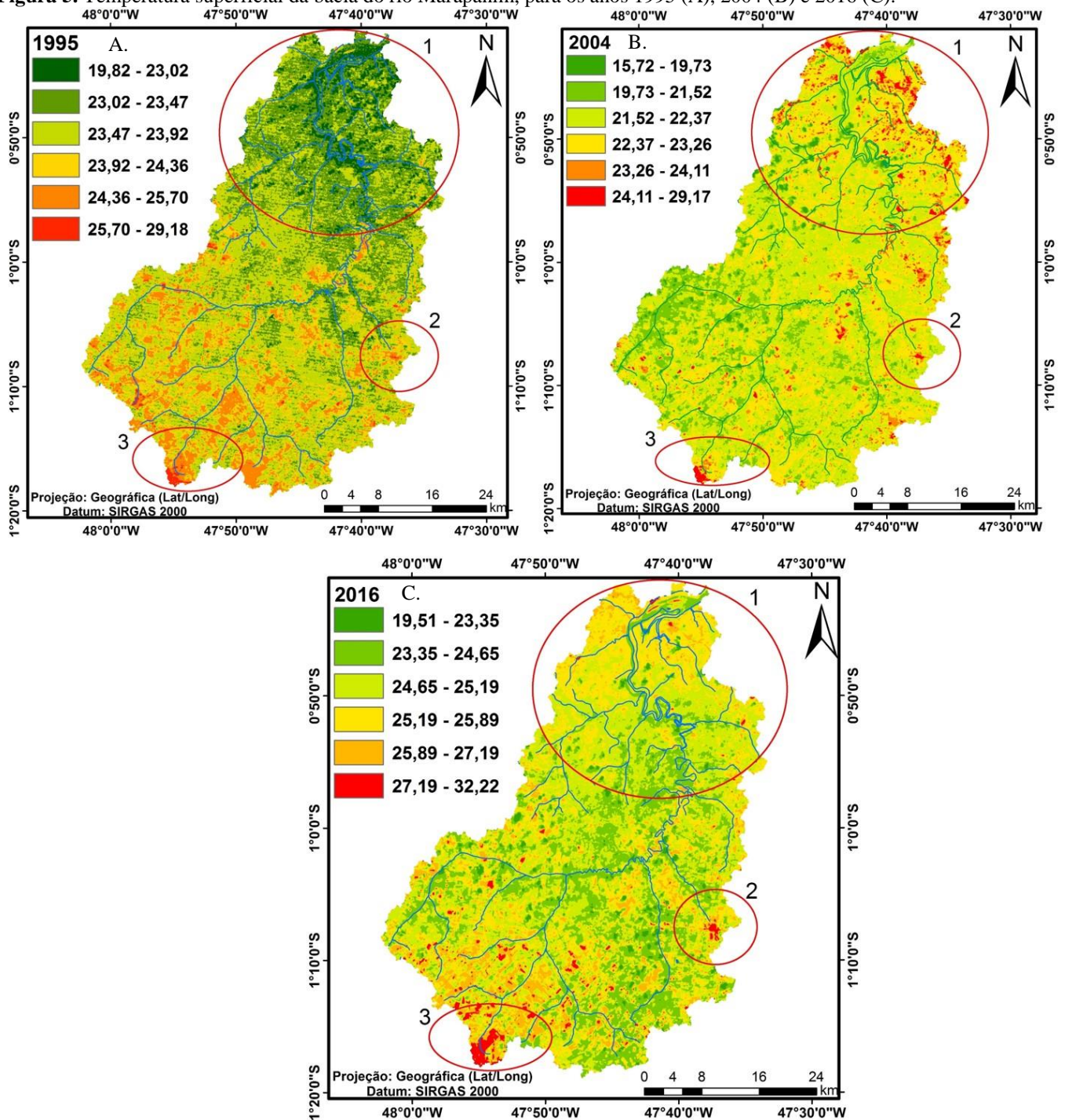
Nota-se que no ano de 1995 as menores temperaturas (entre 19,82 e 23,02 °C) encontravam-se no entorno dos rios (porção Norte da bacia), devido a presença de matas ciliares (Figura 5A), no entanto após 16 anos (2016), nota-se que essas áreas concentram temperaturas mais altas, acima de 25 °C, (Figura 5C). Assim, pode-se inferir que as áreas de preservação permanente estão sendo alteradas ao longo do tempo na bacia, o que vai de encontro com a legislação ambiental vigente, a qual prevê a preservação das áreas do entorno de nascentes e rios (BRASIL, 2012).

A porção Sul da bacia é a área que concentra as maiores temperaturas, correspondente às áreas onde há um intenso uso do solo, bem como as áreas urbanas dos municípios. Isso pode ser justificado pelo fato de que nas áreas urbanas, o processo de impermeabilização do solo eleva a temperatura superficial, já que há a perda de cobertura vegetal e consequentemente diminuição da evapotranspiração.

Querino et al. (2016) constataram um aumento de 24% da temperatura superficial em uma área onde ocorreu conversão florestal em pastagem na região central do estado de Rondônia, no sudoeste da Amazônia. Assim, as áreas de solo exposto apresentam baixa densidade vegetativa e consequentemente maior exposição à radiação solar (SANTOS et al., 2014).

Assis e Omassa (2007), destacam que uma área vegetada possibilita a diminuição do impacto da gota da chuva e consequentemente o escoamento superficial, ao mesmo tempo em que promove a infiltração de água no solo e o abastecimento dos lençóis freáticos. Com isso, a perda de vegetação em uma bacia deixa o solo mais vulnerável à ocorrência de processos erosivos, podendo contribuir para o assoreamento de corpos hídricos.

**Figura 5.** Temperatura superficial da bacia do rio Marapanim, para os anos 1995 (A), 2004 (B) e 2016 (C).



Nota-se a partir das Figuras 2A e 5A que as áreas de maior vigor vegetativo (porção Norte da bacia) no ano de 1995 foram as áreas de menor temperatura superficial, evidenciando que a presença de cobertura vegetal diminui a temperatura de uma área, devido a evapotranspiração e sombreamento (LOURENÇO et al., 2016).

Fazendo a relação entre os valores de NDVI e temperatura superficial nas áreas destacadas, pode-se perceber que na área 1 (Figuras 2 e 5) (nas proximidades do rio Marapanim) houve uma relação inversa entre o NDVI e a temperatura superficial de 1995 a 2004, ou seja, o NDVI diminuiu ao longo desse período (Figura 2), na medida que a temperatura superficial aumentou (Figura 5). Tal correlação

indica aumento da antropização na área ao longo do período analisado.

Nas áreas 2 e 3 (Figuras 2 e 5), correspondentes às sedes urbanas dos municípios de Igarapé-Açu e Castanhal, permaneceram com baixos valores de NDVI ao longo de todo o período, e também mantiveram altas temperaturas de 1995 a 2016, indicando que áreas densamente construídas favorecem a retenção de calor devido à grande concentração de construções e materiais urbanos (FRANÇA, 2012). Comportamento semelhante foi verificado por Heint et al. (2014) ao constatarem que a temperatura superficial de áreas urbanas do norte da Itália foi em média 2,9 °C maior do que a temperatura superficial de área rural.

O município de Castanhal vivenciou um crescimento urbano expressivo; uma vez que no período de 2000 a população urbana de Castanhal era de 121.249, e em 2016 a população estimada é de 192.571 habitantes, correspondendo a um crescimento na ordem de 59% (IBGE, 2017).

De acordo com Targa et al. (2012), a maior alteração em uma bacia hidrográfica ocorre a partir da urbanização, que causa a impermeabilização do solo, consequentemente diminui a infiltração e aumenta o escoamento superficial, aumentando os riscos de cheias e inundações.

A análise temporal do NDVI assim como da temperatura superficial, mostrou-se eficaz no sentido de estimar a variação do vigor vegetativo presente na área de estudo, bem como sua relação com as alterações ambientais que vêm ocorrendo na bacia hidrográfica, enfatizando a importância do uso de sensoriamento remoto e de geotecnologias em estudos ambientais, já que permite estudar as mudanças históricas ocorridas em uma determinada área.

## CONCLUSÕES

Na bacia hidrográfica do rio Marapanim-PA houve perda de vigor vegetativo de 1995 a 2016, em decorrência da alteração na cobertura vegetal nesse período, associado às mudanças no uso e cobertura do solo que alteram a qualidade ambiental da bacia hidrográfica.

Ocorreu aumento da temperatura superficial principalmente no entorno dos rios, enfatizando que as áreas de preservação permanente estão sendo irregularmente utilizadas.

Evidenciou-se forte relação entre os valores de NDVI e a temperatura superficial, de modo que áreas mais urbanizadas e consequentemente com maior uso do solo apresentaram os maiores valores térmicos, mostrando assim, a influência da cobertura vegetal no microclima da bacia hidrográfica.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado do Pará e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

## REFERÊNCIAS

ASSIS A. M.; OMASSA, K. Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. v.62, n.4, p.309-324, 2007.

BARBIERI, F. D. O.; WERLANG, M. K. Geoprocessamento aplicado à análise do uso da terra na bacia do Rio Melo, Faxinal do Soturno, RS. *Geografia Ensino & Pesquisa, Santa Maria*, v.19, n.3, p.57-66, 2015. <http://dx.doi.org/10.5902/2236499415052>.

BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 16, 2013, Foz do Iguaçu. Anais ... Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 7345-7352.

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, Campina Grande*, v.18, n.1, p.73-84, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000100010>

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Novo código Florestal. Brasília (Brasil): Ministério do Meio Ambiente, 2012.

COSTA, C. F. G. Hidrogeoquímica do escoamento superficial em solos de uma Mesobacia no Nordeste Paraense. Belém: UFRA, 2011. 140p.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, v.113, n.5, p.893-903, 2009.

CHEN, B.; XU, G.; COOPS, N. C.; CIAIS, P.; INNES, J. L.; WANG, G.; MYNENI, R. B.; WANG, T.; KRZYZANOWSKI, J.; LI, Q.; CAO, L.; LIU, Y. Changes in vegetation photosynthetic activity trends across the Asia-Pacific region over the last three decades. *Remote Sensing of Environment*, v.144, p.28-41, 2014.

CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente*, v.36, p.26-43, 2014.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.41, n.11, p. 2674-2677, 2003.

CHAVEZ, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, v.24, p. 459-479, 1988.

CHAVEZ, P. S. Radiometric calibration of Landsat thematic mapper multispectral images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.55, p.1285-1294, 1989.

CAIONI, C.; NEVES, S. M. A. S.; CAIONI, S.; BONINI, I.; PARENTE, T. de. L.; SILVA, A. C. S. Dinâmica da temperatura superficial da microbacia Pedra do Índio durante a seca de 2013. *Espacios, Caracas*, v.38, n.38, p.9, 2017.

DANELICHEN, V. H. M.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; VELASQUE, M. C. S.; SILVA, B. B.; NOGUEIRA, J. S. Uso do sensoriamento remoto na estimativa do índice de área foliar em floresta tropical. *Revista Ciência e Natura, Santa Maria*, v.38, n.3, p.1352-1360, 2016. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X19917>.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

- FIGUEIRÊDO, A. C.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, E. S.; GUERRA, S. M. S.; GUSMÃO, A. C. V. L. Determinação de Índices de Vegetação para a análise da cobertura vegetal em bacia hidrográfica do Agreste pernambucano. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, 2013, Foz do Iguaçu. Anais ... Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 7009-7015.
- FERNANDES, A. C. G.; COUTINHO, M. A. N.; SANTOS, V. G.; NASCIMENTO, C. R. Utilização de intervalos de índices de vegetação e temperatura da superfície para detecção de queimadas. Cad. Ciênc. Agrá., Montes Claros, v.8, n.2, p.30-40, 2016.
- FRANÇA, M. S. Microclimas e suas relações com o uso do solo no entorno de escolas públicas na cidade de Cuiabá/MT. Revista Educação, Cultura e Sociedade, Sinop, v.2, n.2, p.148-161, 2012.
- HILKER, T.; LYAPUSTIN, A.; TUCKER, C. J.; HALL, F. G.; MYNENI, R. B.; WANG, Y.; BI, J.; MOURA, Y. M.; SELLERS, P. J. Vegetation dynamics and rainfall sensitivity of the Amazon. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 111, n. 45, p. 16041- 16046, 2014.
- HEINL, M.; HAMMERLE, A.; TAPPEINER, U.; LEITINGER, G. Determinants of urban-rural land surface temperature differences - A landscape scale perspective. Landscape and Urban Planning, v.134, p.33-42, 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 271 p.
- JUNIOR, O.M.S. FUCKNER, M. A. Análise comparativa dos dados de NDVI obtidos de imagens TM/Lansat 5 na área urbana da cidade de Marabá – PA para os anos de 1984 e 2007. In: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Meio Ambiente e Sociedade, 4, 2008, Belém. Anais ... Belém: ANPPAS, 2008. p. 4.
- KIEL, R. Detecção de mudanças no uso e na cobertura do solo em uma série temporal de imagens da região da Campanha do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRS, 2008. 203p.
- KROSS, A.; MCNAIRN, H.; LAPEN, D.; SUNOHARA, M.; CHAMPAGNE, C. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v.34, p.235-248, 2015.
- LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). Rev. Ambient. Água, Taubaté, v.8, n.2, p.1-7, 2013. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.959>.
- LIMA, M. O. Amazônia, uma história de impactos e exposição ambiental em paralelo à instalação de grandes empreendimentos na região. Rev Pan-Amaz Saude, Ananindeua, v.7, n.2, p.9-11, 2016. <http://dx.doi.org/10.5123/S2176-62232016000200001>.
- LOURENÇO, L. F. A.; MOREIRA, T. C. L.; ARANTES, B. L.; FILHO, D. F. S.; MAUAD, T. Metrôpoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde. Estud. Av, São Paulo, v.30, n.86, p.113-130, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100008>.
- MOREIRA, T. R.; SANTOS, A. R.; DALFI, R. L.; CAMPOS, R. F.; SANTOS, G. A. EUGENIO, F. C. Confronto do uso e ocupação da terra em Apps no município de Muqui, ES. Floresta e Ambiente, Rio de Janeiro, v.22, n.2, p.141-152, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.019012>.
- MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da Microbacia Hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús-CE. RAEGA, Curitiba, v.23, p.520-533, 2011. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v23i0.24919>.
- MALLICK, J.; KANT, Y.; BHARATH, B. D. Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat – 7 ETM+. Journal of Indian Geophysical Union, v.12, n.3, p.131-140, 2008.
- MARCUSSI, A. B.; BUENO, C. R. P.; MIQUELONI, D. P.; ARRAES, C. L. Utilização de Índices de vegetação para os Sistemas de Informação Geográfica. Revista Caminhos de Geografia, Uberlândia, v.11, n.35, p. 41-53, 2010.
- PRINA, B.; TRENTIN, R.; ZIANI, P. Ferramentas de Geoprocessamento aplicadas no mapeamento do uso da terra no município de Jaguari/RS. Revista Ciência e Natura, Santa Maria, v.38, n.3, p.1217-1227, 2016. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X18243>.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. 2.ed. São José dos Campos: Oficina de Textos, 2012. 176p.
- PEREIRA, B. W. F.; MACIEL, M. de N. M.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, H. A. S.; BRAGA, T. G. M.; FIGUEIREDO, D. B. Estrutura da paisagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi com base na fragmentação da vegetação. Rev. Cienc. Agrar, Belém, v.58, n.2, p. 159-167, 2015. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.1798>.
- QUERINO, C. A. S.; BENEDITTI, C. A.; MACHADO, N. G.; SILVA, M. J. G.; QUERINO, J. K. A. S.; NETO, L. A. S.; BIUDES, M. S. Spatiotemporal NDVI, LAI, albedo, and surface temperature dynamics in the southwest of the Brazilian Amazon forest. Journal of Applied Remote Sensing, v.10, n.2, p.1-12, 2016.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1



Symposium, 3, 1973, Washington. Proceedings ...  
Washington, D. C.: NASA, 1973. v. 1, p. 309- 317.

SOUZA, S. R.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.;  
JESUÍNO, S. A. Dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica  
do Rio Apeú, nordeste do Pará, Brasil. *Rev. Acad., Ciênc.  
Agrár. Ambient.* v.9, n.2, p. 141-150, 2011.

SOUSA, T. M. I.; FERREIRA, P. M. L.; GARRIDO, J. W.  
A.; QUEIROZ, M. M. F.; SILVA, F. M. Qualidade ambiental  
da bacia do Rio Piencó Piranhas Açú. *Revista Verde, Pombal,*  
v.9, n.4, p.84-94, 2014.

SANTOS, C. A. C.; WANDERLEY, R. L. N.; ARAÚJO, A.  
L.; BEZERRA, B. G. Obtenção do saldo de radiação em áreas  
de pastagem e floresta na Amazônia (estação seca) através do  
sensor Modis. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, n.3,  
p.420-432, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130591>

SCHUSSEL, Z.; NETO, P. N. Gestão por bacias  
hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. *Ambiente  
e Sociedade*, v.18, n.3, p.137-152, 2015.  
<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422ASOC838V1832015>.

SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M. H.;  
SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO,  
M. Regional climate change over eastern Amazonia caused  
by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical  
Research Letters*, v.34, n.17, p.1-7, 2007.  
<https://doi.org/10.1029/2007GL030612>

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. N.; DIAS, N.  
W.; MATOS, F. C. Urbanização e escoamento superficial na  
bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil.  
*Rev. Ambiente. água, Taubaté*, v.7, n.2, p.120-142, 2012.  
<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>.

WATRIN, O. dos. S.; GERHARD, P.; MACIEL, M. de. N.  
M. Dinâmica do uso da terra e configuração da paisagem em  
antigas áreas de colonização nordeste do estado do Pará.  
*Geografia, Londrina*, v.34, n.3, p. 445-472, 2009.