

Índices multiespectrais aplicados à identificação de paleocanais no Rio Claro, afluente do Rio Araguaia, Goiás, Brasil

Matheus Cardoso Gomes

da Universidade Federal de Goiás - Goiânia – Brasil
matheuscardoso545@gmail.com

Ana Paula Matos e Silva

da Universidade Federal de Goiás - Goiânia – Brasil
annapaulamatos1@gmail.com

Maximiliano Bayer

da Universidade Federal de Goiás - Goiânia – Brasil
maxibayer@yahoo.com.ar

Resumo: Os paleocanais como evidências de mudanças históricas nos sistemas fluviais, formam-se por fatores intrínsecos e extrínsecos à sua bacia e em variadas escalas temporais. Seu mapeamento por sensoriamento remoto é importante para entender o significado destas feições, aumentando informações para o gerenciamento ambiental, pois tais ferramentas permitem discriminar os alvos com base na resposta espectral dos mesmos mediante a aplicação de índices multiespectrais. Alguns índices multiespectrais como *Tasseled Cap* e seu produto *Wetness*, NDMI e o MNDWI podem ressaltar a umidade do solo e/ou vegetação e feições de água respectivamente. A partir disto, este trabalho objetiva utilizar e avaliar a aplicabilidade destes três índices em imagens Landsat 8 para identificar paleocanais num trecho de planície do baixo Rio Claro – GO, afluente do Rio Araguaia, que abriga paleocanais de diferentes características ambientais. Como resultado, os índices foram satisfatórios, mostrando semelhanças e potencialidades de acordo com as características ambientais das feições existentes na área. Com base nisso, foi verificado que no trecho estudado o canal do rio Claro experimentou diferentes processos de abandono do canal. Além disso, suas aplicações permitiram interpretações acerca de processos de migração fluvial existentes no trecho estudado, visto que a área de estudo possui diversidade de ambientes úmidos que permitem a aplicação conjunta dos mesmos.

Palavras-chave: Paleocanais. Índices multiespectrais. Sensoriamento remoto. Landsat 8.

Introdução

Os canais fluviais são configurados de forma que se obtenha o transporte mais satisfatório de água e sedimentos, e podem ter sua forma alterada ao longo do tempo devido principalmente à alteração nas variáveis hidrossedimentológicas (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017; CHRISTOFOLETTI, 1981). Algumas causas que interferem no balanço hidrossedimentológico e promovem mudanças nos canais podem ser atribuídas a mudanças climáticas (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017; VANDENBERGHE, 1995), processos neotectônicos (BURNETT; SCHUMM, 1983; FORTES; STEVAUX; VOLKMER,

2005), alterações antrópicas (BRADLEY; SMITH, 1984; MICHELI; KIRCHNER; LARSEN, 2004; DA SILVA et al. 2016) ou ainda fatores intrínsecos ao próprio canal (STOLUM, 1996) podendo ocorrer em variadas escalas temporais (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Os canais fluviais, como responsáveis pela esculturação da bacia por meio da dinâmica erosiva-deposicional, formam relevos característicos, como vales, terraços e planícies de inundação sendo que nas adjacências do canal a dinâmica dos fluxos modela a paisagem criando feições que evidenciam a continuidade desse processo, como os canais abandonados (CHRISTOFOLETTI, 1981; NANSON; CROKE, 1992; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017). Os paleocanais são entendidos como evidências de uma drenagem pretérita, que podem ocorrer na forma de canal contínuo e/ou meandro abandonado (IBGE, 2009) e que devido a características que favorecem maior umidade à vegetação podem ser diferenciadas das áreas vicinais (DE MORAIS; DOS SANTOS; STEVAUX, 2012). Sua identificação é importante para o entendimento da reconstrução paleoambiental do sistema fluvial e das características atuantes neste processo, podendo auxiliar no processo de gerenciamento ambiental e estudo de cenários futuros (DE MORAIS; DOS SANTOS; STEVAUX, 2012; STEVAUX; LATRUBESSE, 2017; DA SILVA et al. 2016).

Essas alterações na paisagem, promovidas pela migração dos canais, ocorrem em escalas espaciais suficientes para serem mapeadas por sensoriamento remoto (GHOSHAL et al. 2010). Os sensores multiespectrais permitem que o operador possa discriminar alvos com base na diferente resposta desses à radiação eletromagnética, e assim criar operações matemáticas entre bandas com objetivo de destacar as feições de interesse (MENESES et al. 2012). Com base nisso, as análises advindas do sensoriamento remoto facilitam a identificação de alvos que podem não ser vistos em campo principalmente em extensas áreas (ZANI; ASSINE, 2011).

A operação de bandas conhecida como *Tasseled Cap* produz três produtos principais com base na operação de seis bandas, sendo eles o *Brightness*, *Greenness* e *Wetness*, onde o componente *Wetness* detecta a umidade do solo e de forma um pouco limitada a umidade da vegetação, sendo utilizado também para estudos em ambientes florestais (CRIST; CICONE, 1984; JIN; SADER, 2005; HEALEY et al. 2005). A sua aplicação na geomorfologia fluvial permitiu realçar paleocanais (DE MORAIS; DOS SANTOS; STEVAUX, 2012; BISSON; BINI, 2012), podendo também associar-se a outros índices e imagens de vários períodos (ORENGO; PETRIE, 2017).

Assim como o *Tasseled Cap*, o índice NDMI (*Normalized Difference Moisture Index*) também é utilizado em estudos florestais e como indicador de umidade, semelhante ao produto

wetness (BROM et al 2012; WILSON; SADER, 2002; JIN; SADER, 2005). A banda do *MIR* desse índice é o canal que representa a maior absorção da umidade, o que promove sua aplicação na detecção de alvos com maior teor de água (WILSON; SADER, 2002). Já o MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*) tem como objetivo realçar feições de água com maior eficiência, eliminando interferências de vegetação, áreas construídas e solos, delineando satisfatoriamente os corpos d'água (XU, 2006; GIL; PADOVANI; COELHO, 2019; MOGHADDAM; SEDIGHI; FAYYAZI, 2015; KWANG; JNR; AMOAH, 2017).

Com base nesta premissa, esse trabalho objetiva identificar paleocanais com base na aplicação de índices multiespectrais (MNDWI, NDMI e TCT-*wetness*) e avaliar a eficiência dos mesmos na identificação destes ambientes, sobre imagens de satélites, num trecho de planície do baixo rio Claro no estado de Goiás, que abriga paleocanais em diferentes estágios evolutivos.

Metodologia

O Rio Claro é um afluente do Rio Araguaia e apresenta curso principal de 344 km de extensão. Na parte baixa da bacia desenvolve-se uma ampla planície inundável com morfologias indicativas da atuação de processos de migração e deslocamento lateral do canal, assim como avulsões e abandono de canal (BAYER, 2002) (Figura 1). Para identificação dos paleocanais optou-se por restringir a análise para um trecho de planície com maior concentração de morfologias fluviais remanescentes, considerando ainda a presença de água ou umidade do solo/vegetação. Foram consideradas feições de paleocanais aquelas com características lineares e/ou meândricas correspondentes a drenagens pretéritas (IBGE, 2009) que não estão diretamente conectadas ao canal atual.

Utilizou-se uma imagem Landsat 8 referente ao mês de julho de 2018, considerando menor interferência atmosférica para o período. A imagem foi adquirida e processada utilizando a plataforma do *Google Earth Engine* e posteriormente trabalhada no *software QGIS*. Para a aplicação dos índices espectrais necessitou-se das bandas: Banda 2 (Azul), Banda 3 (Verde), Banda 4 (Vermelho), Banda 5 (Infravermelho próximo), Banda 6 (SWIR 1), Banda 7 (SWIR 2). Também foi realizado sobrevôo com drone (marca *DJI/Phantom 4*) no mês de outubro de 2019, com o intuito de demonstrar com maior detalhamento algumas feições na área de estudo. O equipamento utilizado pertence ao Programa Pro-Vant da Universidade Federal de Goiás/IESA/LAPIG e possui registro na ANAC (PP-000027847).

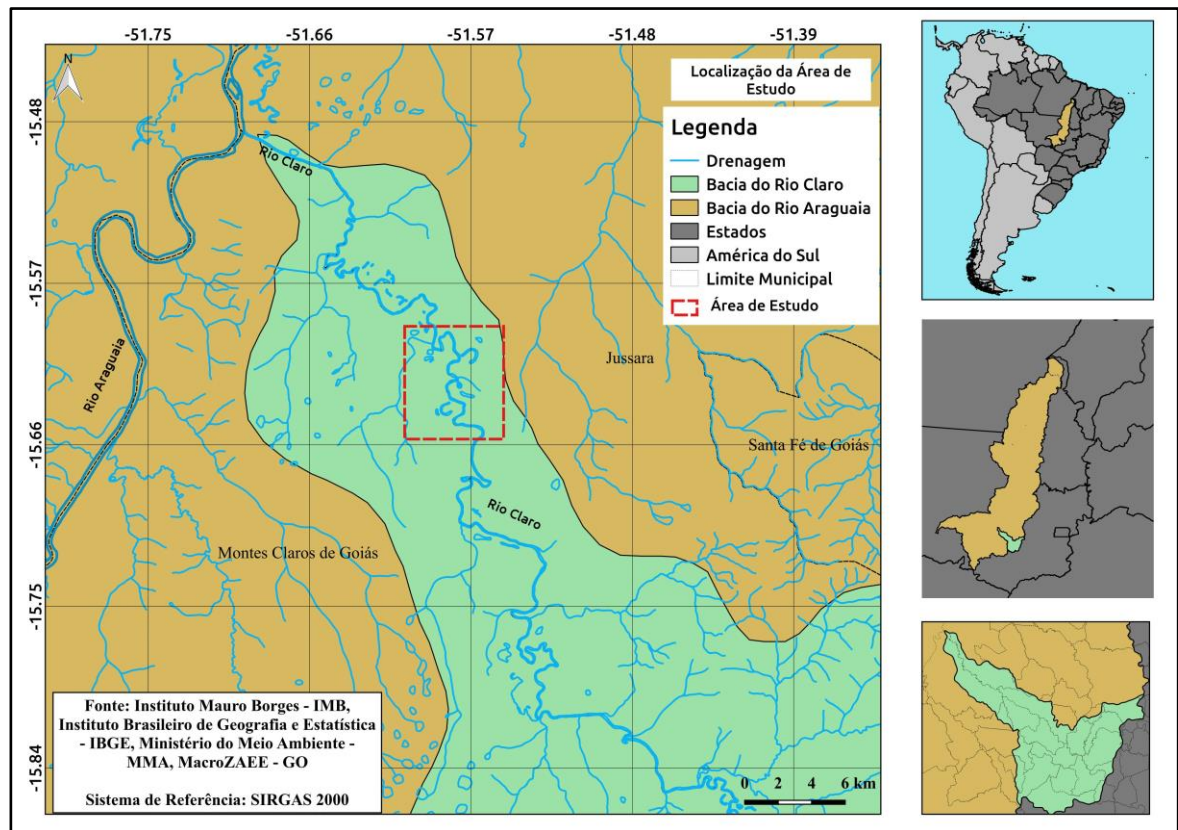


Figura 01: Localização da área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Com o propósito de identificar os paleocanais com água, foi utilizado o índice MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*), apresentado por Xu (2006), com o propósito de identificar aquelas feições cuja gênese remete ao canal principal e que possuem água exposta à superfície (Equação 1). Para imagem do satélite Landsat 8, foram utilizadas as bandas do verde (Banda 3) e do SWIR 1 (Banda 6), na qual Xu (2006) expõe que a diferença normalizada produz valores positivos (corpos com água exposta) e negativos (sem água exposta), promovendo maior realce dos corpos de água.

Equação 1 – Cálculo do índice MNDWI. Adaptado de Xu(2006)

$$MNDWI = \frac{Verde - SWIR1}{Verde + SWIR1}$$

onde: *Verde* é a banda do verde e *SWIR 1* é a banda do infravermelho médio 1.

Para os paleocanais que na imagem não continham água exposta em sua superfície, mas sim manchas de umidade que se destacavam do seu entorno, foi usada a transformação *Tasseled Cap*, exibida por Crist e Cicone (1984), onde apenas o produto *wetness* foi empregado, devido sua maior facilidade em diferenciar feições de maior umidade (CRIST; CICONE,1986; JIN; SADER,2005). O cálculo deste índice utilizou 6 bandas do satélite Landsat 8 (bandas:

2,3,4,5,6,7) e coeficientes elaborados por Baig et al (2014) para o produto *wetness* com base no satélite Landsat 8 sendo utilizada a equação (Equação 2) apresentada por Hung, Marangon e dos Santos (2017) para construção do produto.

Equação 2 – Cálculo do produto *wetness* da transformação *Tasseled Cap*. Adaptado de Hung, Marangon e dos Santos (2017) e Baig et al., (2014).

$$TCTWetness = (0.1511 \times \text{Azul}) + (0.1973 \times \text{Verde}) + (0.3283 \times \text{Vermelho}) + (0.3407 \times \text{Infravermelho próximo}) + (-0.7117 \times \text{SWIR 1}) + (-0.4559 \times \text{SWIR 2})$$

onde: *Azul* é a banda do azul, *Verde* é a banda do verde, *Vermelho* é a banda do vermelho, *Infravermelho Próximo* é a banda do infravermelho próximo, *SWIR 1* é a banda do infravermelho médio 1 e *SWIR 2* é a banda do infravermelho médio 2.

Com esse mesmo intuito, foi utilizado o índice NDMI (*Normalized Difference Moisture Index*), exposto por Wilson e Sader (2002), onde se utiliza as bandas do infravermelho próximo (Banda 5) e do infravermelho médio (Banda 6) (Equação 3). O NDMI e o produto *wetness* da transformação *Tasseled Cap* podem ser semelhantes em seus resultados (WILSON e SADER, 2002), apresentando grande correlação de resultados em estudos florestais (JIN e SADER, 2005).

Equação 3 – Cálculo do índice NDMI. Adaptado de Wilson e Sader (2002).

$$NDMI = \frac{\text{InfravermelhoPróximo} - \text{SWIR1}}{\text{InfravermelhoPróximo} + \text{SWIR1}}$$

onde: *Infravermelho Próximo* é a banda do infravermelho próximo e *SWIR 1* é a banda do infravermelho médio.

Após a construção de cada índice multiespectral, todos foram submetidos a processo de vetorização semiautomática no *software QGis* utilizando o *plugin Gimp Selection Feature* dentro do próprio *software*, com base na interpretação visual dos alvos, buscando dessa maneira delinear os paleocanais e assim, facilitar a visualização e entendimento de seus significados morfológicos.

Resultados e discussões

O resultado obtido pelo MNDWI (Figura 2) permitiu o delineamento de aproximadamente 21 corpos hídricos e se mostrou eficaz na separação de alvos de água e não água. Como já explanado por outros autores, este índice não realçou manchas de umidade, pois todos estes compartimentos foram na imagem categorizados com pixels menores que zero (feições não água). Os alvos evidenciados sugerem processo de abandono de canal meândrico por processos de travessia seguindo depressão topográfica e corte do pedúnculo, sendo estes processos mencionados anteriormente por Christofoletti (1981) e Hooke (2013). Outras lagoas possuem formas residuais de paleocanais, onde estão parcialmente ocupadas por água e vegetação.

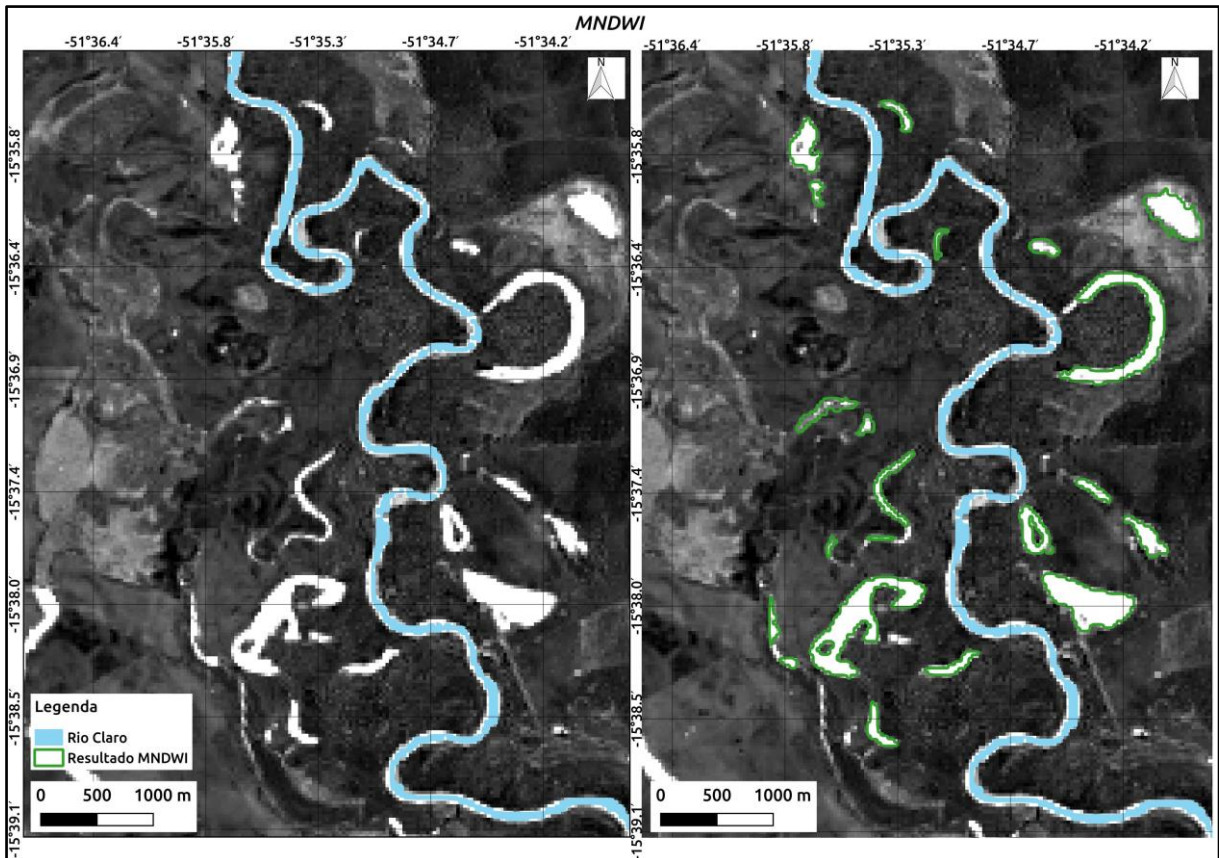


Figura 2: Resultado do índice MNDWI. Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

O produto *wetness*, resultante da transformação *Tasseled Cap* (Figura 3), promoveu realce nas áreas de maior umidade (em cinza claro), sendo estas localizadas na planície de inundação com vegetação arbórea e nos paleocanais. Os paleocanais foram destacados por terem em sua circunvizinhança áreas de menor umidade, o que fez com que a umidade contida nestas feições pudesse ser identificada com maior facilidade. Esta umidade inferior das áreas

vicinais pode ser justificada em parte pelo tipo de cobertura existente, principalmente pastagens, e também pelo mês de julho ser contido em um período de seca na região.

O paleocanal P1 identificado na região (Figura 3) possui um caráter sinuoso e linear, diferente daqueles identificados no índice anterior. Com base na posição topográfica que ocupa e na literatura existente sobre o tema, é possível que as características desse paleocanal possam ser indicativas de processos avulsivos num sistema multicanal precedente, considerando que em tal trecho estudado já foram identificados previamente diversos processos de movimentação do canal principal em séries históricas (CASTRO; DE CAMPOS; ZANCOPE, 2014). O paleocanal P2, que se encontra na área de planície e permeado por vegetação arbórea, foi também identificado por ser uma área interpretada como uma clareira, o que gerou uma diferença de umidade passível de ser interpretada como indicativo de um paleocanal.

Já o paleocanal P3, assim como no resultado do índice anterior, também foi realçado devido ao fato que o produto *wetness* gerou pixels de valor superior às áreas vizinhas, nas regiões em que há água exposta à superfície. O produto *wetness*, também utilizado por de Moraes, dos Santos e Stevaux (2012), se mostrou eficiente em realçar os paleocanais em sua área de estudo, onde os autores atribuíram tal eficiência ao uso de 6 bandas espectrais que enriquecem a geração de informação.

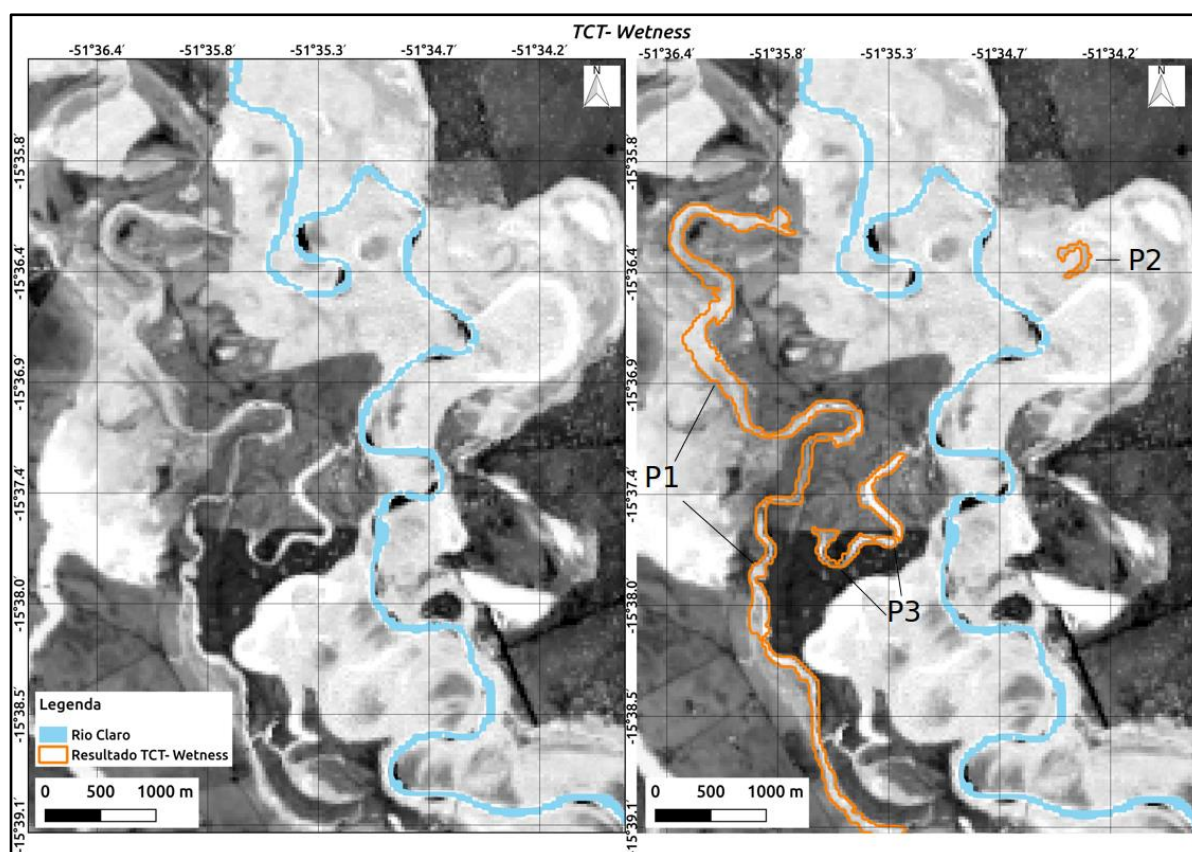


Figura 3: Resultado do produto *wetness* da Transformação *Tasseled Cap*. Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

O resultado obtido pelo NDMI (Figura 4), como já dito na literatura, mostrou-se visualmente semelhante ao produto *wetness* no tocante à identificação de paleocanais. As áreas de maior umidade também se apresentam em tons de cinza claro, enquanto as de menor umidade em tons mais escuros. Quanto aos corpos com água, o NDMI também gerou pixels nestas regiões com valores semelhantes as áreas úmidas. Xu (2006) argumenta que o NDMI exposto por Wilson e Sader (2002) é utilizado para o reconhecimento de água na vegetação, enquanto Rokni et al (2014) e Nandi et al (2018) expõem que o NDMI, por ter tal propósito, não é eficiente na delimitação de corpos de água. Outro ponto observado é que o NDMI produziu maior detalhamento da umidade existente na planície, dando mais destaque às diferenças existentes principalmente na área de planície com vegetação mais densa.

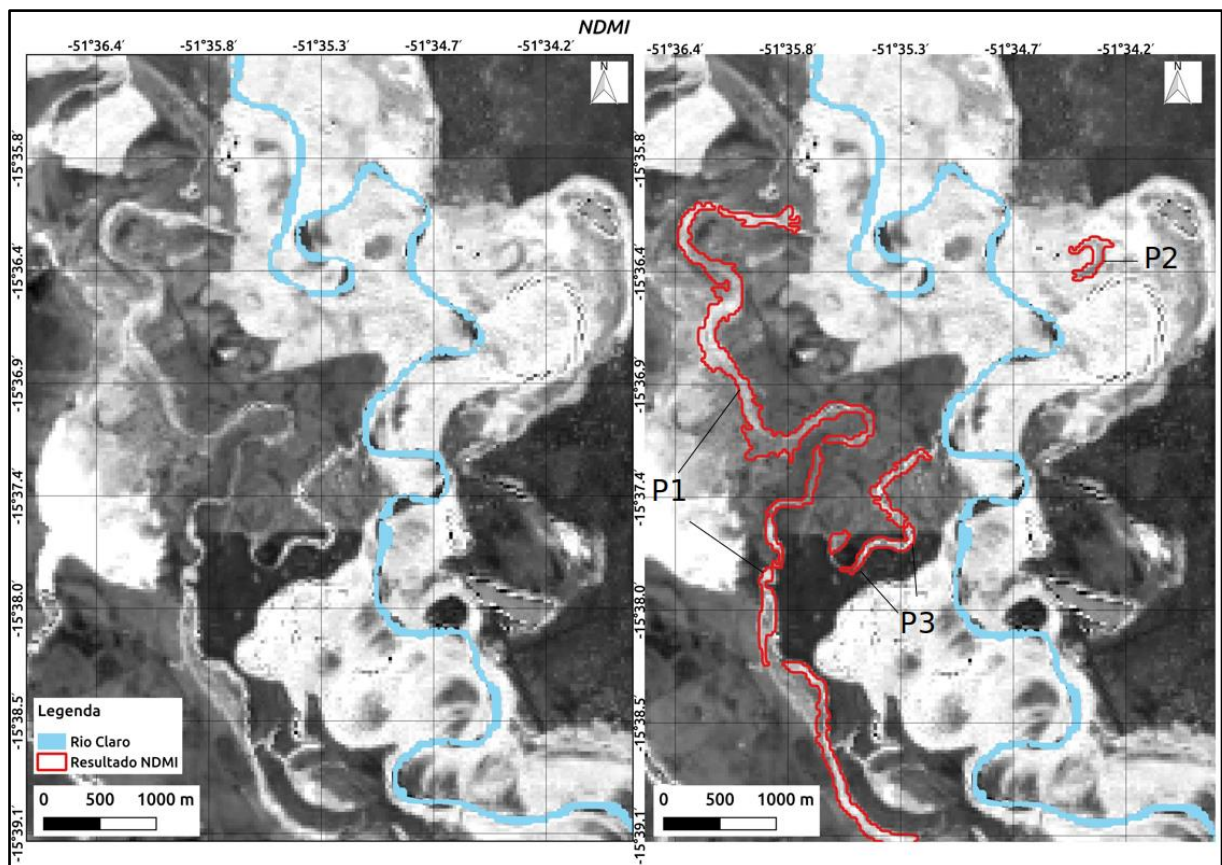


Figura 4: Resultado do Índice NDMI. Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Índices Multiespectrais	Quantidade de polígonos	Área Total (km ²)
MNDWI	21	1,278
Tct- <i>wetness</i>	7	1,189
NDMI	13	1,196

Quadro 1: Quantidade de polígonos gerados pelos índices e valores de área (km²). Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Os índices empregados atenderam o objetivo proposto, visto que delimitaram alvos de diferentes características ambientais de forma satisfatória. O índice MNDWI gerou 21 polígonos com área total de 1,278 km², o produto *wetness* gerou 7 polígonos com 1,189 km² de área total e por fim, o índice NDMI, que gerou 13 polígonos com 1,196 km² de área total. O produto *wetness* e o índice NDMI, além do aspecto visual, se mostraram pouco diferentes entre si nos valores de área dos alvos, apesar de a quantidade superior de polígonos do NDMI em relação ao *wetness*. É possível que tal característica seja resultante do maior detalhamento visual fornecido pelo índice NDMI, onde o índice produziu pixels próximos com diferentes valores, fazendo com que o processo de vetorização semiautomática gerasse polígonos fragmentados.

Tal correspondência entre o índice NDMI e o produto *wetness*, já abordada também por outros autores (WILSON; SADER, 2002; JIN; SADER, 2005), em termos visuais e de área, levanta a possibilidade de que para a área de estudo, pode-se optar pela aplicação de um em detrimento do outro. Vale destacar que esses dois índices obtiveram êxito devido às feições consideradas de maior umidade terem em sua circunvizinhança coberturas com umidade diferente, como pode ser visto também pela Figura 5.

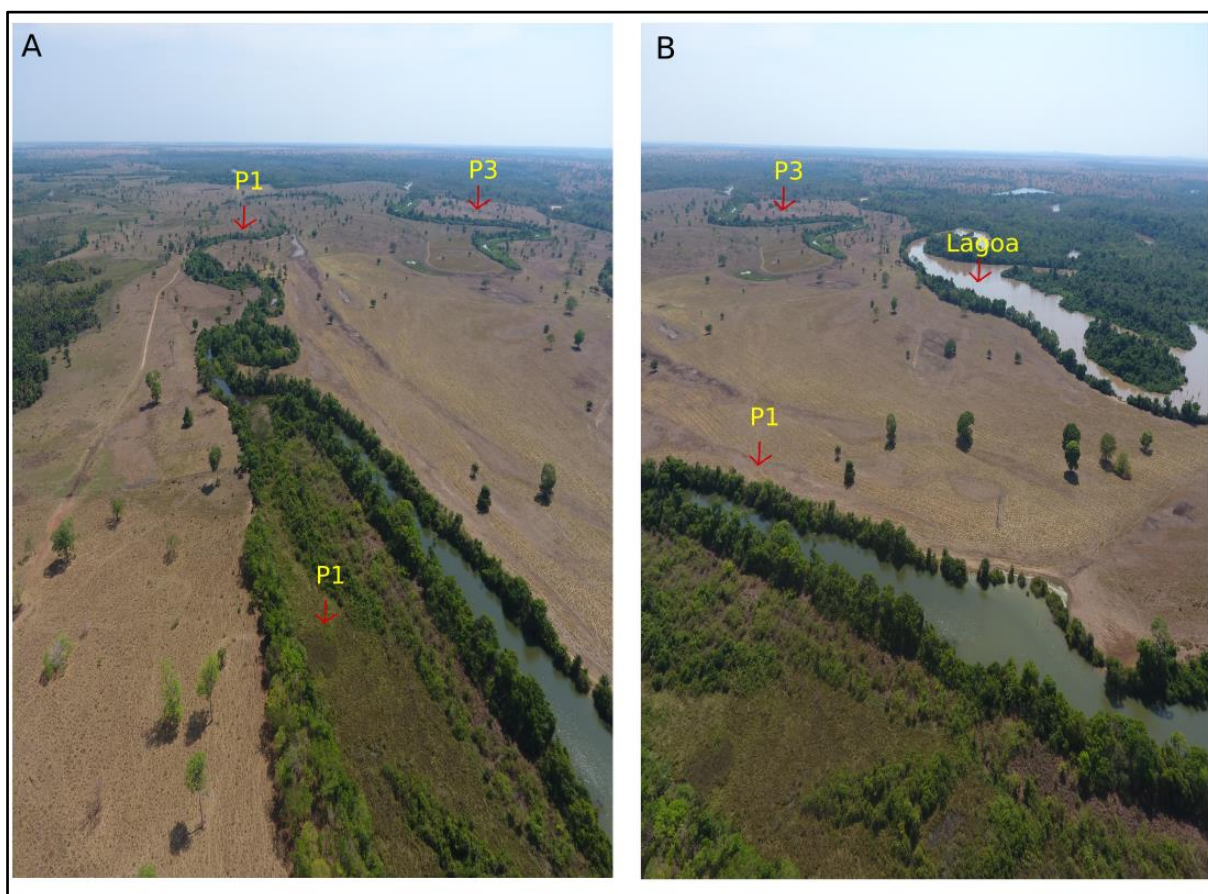


Figura 5: Imagem de drone dos paleocanais identificados previamente pelos índices multiespectrais. Os paleocanais P1, P2 e P3 foram realçados pelo índice NDMI e produto *wetness* enquanto a lagoa foi realçada pelo índice MNDWI. Fonte: UFG/LAPIG (2019).

Considerações finais

Os paleocanais encontrados nesse trecho de planície do rio Claro, considerados como áreas úmidas a partir da definição de áreas úmidas no Brasil de Junk et al (2013), podem prover vários serviços ecossistêmicos à sociedade, ser habitat para inúmeras espécies (JUNK et al, 2013; OZESMI; BAUER,2002) bem como local de deposição sedimentar em ambientes fluviais (PHILLIPS,1989). Com base no cenário da pouca assistência legal e políticas públicas para essas áreas (BARBOSA; MAILLARD,2010) e de sua importância ambiental, o sensoriamento remoto entra como útil ferramenta no mapeamento, monitoramento e levantamento de informações acerca dessas áreas ao longo dos anos (OZESMI; BAUER,2002). Dessa forma, os índices empregados permitiram inferir sobre processos atuantes na configuração da morfologia do rio Claro bem como podem ser empregados no mapeamento de áreas úmidas cuja gênese seja associada a ambientes fluviais como os vistos nesse estudo.

Ademais, os resultados obtidos permitem concluir que o trecho de planície no Rio Claro estudado experimentou diversos processos de migração do canal, corroborando estudos prévios realizados na região (CASTRO; DE CAMPOS; ZANCOPÉ,2014). Com isso, possível avulsão num sistema multicanal mais antigo, cortes de pedúnculos em trechos meandriformes, posterior abandono e perda de conectividade geraram um conjunto de canais abandonados, resultante de processos já descritos na literatura (CHRISTOFOLETTI, 1981; HOOKE, 2013) que podem ser identificados e caracterizados a partir de diferentes índices e combinações desses. Todavia, os dados aqui expostos não permitem atribuir um possível agente responsável por tais mudanças no canal, embora trabalhos prévios de Bayer (2002) e Castro, de Campos e Zancopé (2014) sugerirem controle estrutural atuante no canal nessa região.

O índice NDMI e o produto *wetness* da transformação *Tasseled Cap* se mostraram semelhantes quanto a seu aspecto visual, sendo que tal correspondência é aferida em outros trabalhos (WILSON; SADER, 2002; JIN; SADER,2005), se mostrando assim eficiente na delimitação das feições úmidas cuja vizinhança contém umidade diferente. Entretanto, estes dois resultados geraram, nas áreas com água, pixels com valores semelhantes às áreas de maior umidade, o que pode promover erros de interpretação visual. Mesmo com essa característica, o índice NDMI não é adequado para delimitação de corpos de água (ROKNI et al,2014; NANDI et al, 2019). Dessa forma, o MNDWI pode apoiar também na interpretação dos alvos vistos pelos dois índices anteriores, auxiliando na discriminação dos alvos com água e sem água.

O MNDWI também produziu resultados satisfatórios na identificação e delimitação dos alvos com água, contribuindo para a interpretação visual dos alvos destacados no NDMI

e *wetness*. A imagem Landsat 8, com resolução espacial de 30 metros, possibilitou comparações satisfatórias entre os índices, dada as dimensões da área de estudo. Dessa forma, os três índices utilizados foram bem-sucedidos na área de estudo, visto que há uma diversidade de ambientes que propicia a aplicação conjunta dos mesmos, não havendo, portanto, um índice mais eficiente. Porém, os índices NDMI e MNDWI podem ser aplicados à imagens de quaisquer satélites que contenham as bandas do verde, infravermelho próximo e infravermelho médio, enquanto a transformação *Tasseled Cap* e seu produto depende de coeficientes específicos para o satélite (KUNTSCHIK; GLERIANI, 2007), como os coeficientes elaborados por Baig et al (2014).

Entretanto, outros autores trabalhando com alguns dos índices também empregados nesse trabalho não consideraram todos os índices por eles utilizados como eficientes para identificação de paleocanais (DE MORAIS; ROCHA, 2016; DE MORAIS; DOS SANTOS; STEVAUX, 2012), o que manifesta a perspectiva que a aplicação dos mesmos pode ser condicionada às características ambientais da área de estudo.

Multispectral indices applied to paleochannel identification on Rio Claro, tributary of Rio Araguaia, Goiás, Brazil

Abstract: Paleochannels as evidence of historic channel changes, can be formed by intrinsic and extrinsic factors of its basin, occurring over varied temporal scales. Its mapping by remote sensing is important to understand these features meaning, increasing informations for environmental management, because this tools allows separate targets based on its spectral response upon multispectral indices application. Some multispectral indices as Tasseled Cap and its product Wetness, NDMI and MNDWI might highlight soil/vegetation moisture and water features respectively. Based on that, this paper aims to utilize assess these three indices aplicability over Landsat 8 images to identify paleochannels over a floodplain stretch of the low Rio Claro - GO, Araguaia river affluent, which holds paleochannels of different environmental characteristics. As a result, the indices were satisfactory, showing resemblance and potentialities according with environmental characteristics of the features. Based on that, it's been verified that rio Claro main channel have experienced differents process of channel abandonment. Furthermore, its application allowed interpretations about fluvial migration processes over the studied area, considering that the area has moist environments diversity that enable its mutual application.

Keywords: Paleochannels. Multispectral indices. Remote sensing. Landsat 8.

Índices multiespectrales aplicados a la identificación de paleocanales en el Río Claro, afluente del Río Araguaia, Goiás, Brasil

Resumen: Los paleocanales como evidencia de cambios históricos en los sistemas fluviales, están formados por factores intrínsecos y extrínsecos en la cuenca y en diferentes escalas de tiempo. Su mapeo de detección remota es importante para comprender el significado de estas características, aumentando la información para la gestión ambiental, una vez que estas herramientas permiten discriminar objetivos en función de su respuesta espectral mediante la aplicación de índices multiespectrales. Algunos índices multiespectrales como Tasseled Cap y su producto Wetness, NDMI y MNDWI pueden resaltar la humedad del suelo y también las características de vegetación y agua, respectivamente. A partir de esto, este trabajo tiene como objetivo utilizar y evaluar la aplicabilidad de estos tres índices en las imágenes del Landsat 8 para identificar paleocanales en un tramo de la llanura del bajo Río Claro - GO, un afluente del río Araguaia, que comprende paleocanales de diferentes características ambientales. Como resultado, los índices fueron satisfactorios, mostrando igualdad y

potencialidades de acuerdo con las características ambientales y fisonomía del área. Con base en esto, se verificó que en la sección estudiada el canal del río Claro experimentó diferentes procesos de abandono del canal. Además, sus aplicaciones permitieron interpretaciones sobre los procesos existentes de migración de ríos en la sección, ya que el área de estudio tiene una diversidad de ambientes húmedos que permiten su aplicación conjunta.

Palabras clave: Paleocanales. Índices multiespectrales. Detección remota. Landsat 8.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES pelo financiamento de bolsa de Mestrado, com vigência de março de 2020 a março de 2021, ao Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF) e o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) do Instituto de Estudos Sócio Ambientais (IESA) da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Referências

- BAIG, M. H. A. et al. Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. **Remote Sensing Letters**, v. 5, n. 5, p. 423-431, 2014.
- BARBOSA, I. S.; MAILLARD, P.. Mapping a wetland complex in the Brazilian savannah using an Ikonos image: assessing the potential of a new region-based classifier. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 36, n. sup2, p. S231-S242, 2010.
- BAYER, M.. **Diagnóstico dos processos de erosão/assoreamento na planície aluvial do rio Araguaia: entre Barra do Garças e Cocalinho**. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia,2002.
- BURNETT, A. W.; SCHUMM, S. A. Alluvial-river response to neotectonic deformation in Louisiana and Mississippi. **Science**, v. 222, n. 4619, p. 49-50, 1983.
- BRADLEY, C.; SMITH, D. G. Meandering channel response to altered flow regime: Milk River, Alberta and Montana. **Water Resources Research**, v. 20, n. 12, p. 1913-1920, 1984.
- BROM, J. et al. Changes in vegetation cover, moisture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis. **Ecological Engineering**, v. 43, p. 45-52, 2012.
- BISSON, M.; BINI, M.. A multidisciplinary approach to reveal palaeo-hydrographic features: the case study of Luna archaeological site surroundings. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 26, n. 2, p. 327-343, 2012.

CASTRO, W. S.; DE CAMPOS, A. B.; ZANCOPE, M. H. C. Migração do canal na planície fluvial do rio Claro–bacia do rio Araguaia, Goiás, Brasil. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 4, p. 343-349, 2014.

CRIST, E. P.; CICONE, R. C. A physically-based transformation of Thematic Mapper data--The TM Tasseled Cap. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing**, n. 3, p. 256-263, 1984.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1981. v.1.

DA SILVA, E.R.dos S, et al. Uso do sensoriamento remoto na análise de mudanças morfológicas no rio Correntes. 2016. Disponível em:<<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2016/cd/pdf/p90.pdf>> . Acesso em: 10/08/2019.

DE MORAIS, E.S.; DOS SANTOS, M. L.; STEVAUX, J. C.. Identificação de paleocanais na região da confluência entre os rios Ivaí e Paraná com o uso de dados de sensoriamento remoto e reconhecimento de fácies sedimentares. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 3, p. 505-512, 2012.

DE MORAIS, E. S.; ROCHA, P. C. Formas E Processos Fluviais Associados Ao Padrão De Canal Meandrante: O Baixo Rio Do Peixe, SP. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 3, 2016.

FORTES, E.; STEVAUX, J. C.; VOLKMER, S.. Neotectonics and channel evolution of the Lower Ivinhema River: A right-bank tributary of the upper Paraná River, Brazil. **Geomorphology**, v. 70, n. 3-4, p. 325-338, 2005.

GHOSHAL, S. et al. Channel and floodplain change analysis over a 100-year period: Lower Yuba River, California. **Remote Sensing**, v. 2, n. 7, p. 1797-1825, 2010.

GIL, A. P.; PADOVANI, C. R.; COELHO, A. L. N. Comparação entre NDWI e MNDWI para o mapeamento de áreas inundadas no Pantanal do Taquari. In: **Embrapa Pantanal-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2019.

HEALEY, S. P. et al. Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. **Remote sensing of environment**, v. 97, n. 3, p. 301-310, 2005.

HOOKE, J.M., 2013. River meandering. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, vol. 9, Fluvial Geomorphology, pp. 260-288.

HUNG, M. N. W. B.; MARANGON, F. H. S.; DOS SANTOS, I. Comparação entre o índice topográfico e o Tasseled Cap Wetness na estimativa da umidade do solo na bacia hidrográfica do Rio Corredeiras-SC. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 442-453, 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 175p.

JIN, S; SADER, S. A. Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. **Remote sensing of Environment**, v. 94, n. 3, p. 364-372, 2005.

JUNK, W. J. et al. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, v. 24, n. 1, p. 5-22, 2013.

KUNTSCHIK, G; GLERIANI, J. M. Coeficientes das componentes greenness, brightness e wetness da transformação Tasseled Cap para chernossolos da província de Buenos Aires, Argentina. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, v. 13, p. 5995-6002, 2007.

KWANG, C.; JNR, E. M. O.; AMOAH, A. S. Comparing of Landsat 8 and Sentinel 2A using Water Extraction Indexes over Volta River. **J. Geogr. Geol**, v. 10, n. 1, 2017.

MENESES, P. R. et al. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MICHELI, E. R.; KIRCHNER, J. W.; LARSEN, E. W. Quantifying the effect of riparian forest versus agricultural vegetation on river meander migration rates, Central Sacramento River, California, USA. **River research and applications**, v. 20, n. 5, p. 537-548, 2004.

MOGHADDAM, M. H. R; SEDIGHI, A.; FAYYAZI, M. A. Applying MNDWI index and linear directional mean analysis for morphological changes in the Zarriné-Rūd River. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 8, n. 10, p. 8419-8428, 2015.

NANSON, G. C.; CROKE, J. C. A genetic classification of floodplains. **Geomorphology**, v. 4, n. 6, p. 459-486, 1992.

NANDI, D. et al. Automatic Delineation of Water Bodies Using Multiple Spectral Indices. 2018.

ORENGO, H.; PETRIE, C. Large-scale, multi-temporal remote sensing of palaeo-river networks: A case study from northwest India and its implications for the Indus civilisation. **Remote Sensing**, v. 9, n. 7, p. 735, 2017.

OZESMI, S. L.; BAUER, M. E. Satellite remote sensing of wetlands. **Wetlands ecology and management**, v. 10, n. 5, p. 381-402, 2002.

PHILLIPS, J. D. Fluvial sediment storage in wetlands 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 25, n. 4, p. 867-873, 1989.

ROKNI, K. et al. Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery. **Remote sensing**, v. 6, n. 5, p. 4173-4189, 2014.

STEVANUX, J.C; LATRUBESSE, E.M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. -- (Coleção geográfica; v.3/ organização: Francisco de Assis Mendonça.

STØLUM, H. H. River meandering as a self-organization process. **Science**, v. 271, n. 5256, p. 1710-1713, 1996.

VANDENBERGHE, J. Timescales, climate and river development. **Quaternary Science Reviews**, v. 14, n. 6, p. 631-638, 1995.

WILSON, E. H.; SADER, S. A. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 3, p. 385-396, 2002.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International journal of remote sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.

ZANI, H.; ASSINE, M. L. Paleocanais no megaleque do rio Taquari: mapeamento e significado geomorfológico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 1, p. 37-43, 2011.

Sobre os autores

Matheus Cardoso Gomes - Cientista Ambiental pela Universidade Federal de Goiás. Mestrando em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás. Pesquisador associado ao Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF-UFG).

Ana Paula Matos e Silva - Cientista Ambiental pela Universidade Federal de Goiás. Mestranda em Geografia pelo Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Goiás. Pesquisadora associada ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG-UFG).

Maximiliano Bayer - Geólogo. Mestre em Geografia. Doutor em Ciências Ambientais. Professor associado ao Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás. Pesquisador do Laboratório de Geomorfologia, Geografia Física e Solos (LABOGEF-UFG). Vinculado ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB) e ao Programa de Pós Graduação em Geografia (PPGEO), ambos da UFG.

Recebido para avaliação em abril de 2020

Aceito para publicação em novembro de 2020