ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Análise da Susceptibilidade à Erosão Hídrica em uma Bacia Hidrográfica do Semiárido Brasileiro

Tássio Jordan Rodrigues Dantas da Silva¹, José Cleidimário Araújo Leite², Andréa Karla Gouveia Cavalcanti³, Jussara Silva Dantas⁴, Flaubert Queiroga de Sousa⁵, Maxsuel Bezerra do Nascimento⁶, José Ludemario da Silva Medeiros⁶, Olávio Rocha Neto⁶, Gabriella Moreira Campos⁷, Luan Carlos de Andrade Santos⁷

¹ Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), CEP 58400-970, Campina Grande, Paraíba. (83) 99872-5430. tassiojordan@hotmail.com (autor correspondente). ² Dr. em Engenharia de Processos, na área de Tratamento de Efluentes da Indústria do Petróleo, pela Universidade Federal de Campina Grande, Professor Associado II da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Rua Jairo Vieira Feitosa, nº 1770, Pereiros, CEP 58840-000, Pombal/PB. cleidimario@yahoo.com.br ³ Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Técnica de Laboratório em Geoprocessamento na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Rua Jairo Vieira Feitosa, nº 1770, Pereiros, CEP 58840-000, Pombal/PB. andreakgcavalcanti@gmail.com ⁴ Drª em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho." Professora Adjunta IV da Universidade Federal de Campina Grande, Avenida Universitária, s/n - Santa Cecília, CEP 58708-110, Patos/PB. jussarasd@yahoo.com.br ⁵ Dr. em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Professor substituto da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Rua Jairo Vieira Feitosa, nº 1770, Pereiros, CEP 58840-000, Pombal/PB. flaubertqueiroga@yahoo.com.br ⁶ Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba, CEP 58400-970, Campina Grande/PB. maxsuel10gba@hotmail.com; joseludemariomedeiros@gmail.com; olavorochaneto12@gmail.com ⁷ Mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), CEP 52171-900, Recife/ PE. moreiragabriella84@gmail.com; luan.santss@gmail.com.

Artigo recebido em 29/07/2020 e aceito em 25/04/2021

RESUMO

A degradação dos solos constitui um dos principais problemas da atualidade, sendo decorrente, na maioria das vezes das ações irresponsáveis do ser antrópico sobre os recursos naturais, nesse âmbito o geoprocessamento se apresenta como uma importante ferramenta de investigação, servindo de base para identificação dos níveis de degradação ambiental, bem como na classificação de terras e na elaboração de mapas cartográficos que auxiliem no planejamento público e em novas pesquisas acadêmicas. Neste estudo, teve-se por objetivo avaliar a susceptibilidade à erosão hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó, por meio de geotecnologias. A sequência dos procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa foram: criação de um banco de dados georreferenciados, atribuição de pesos as classes de susceptibilidade à erosão do solo, elaboração de mapas temáticos e geração de um mapa final de vulnerabilidade à erosão hídrica. A partir dos resultados, foi possível identificar áreas de incompatibilidade legal e averiguar que 66% da área de estudo apresentou grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável e que outros 19% da área enquadraram-se de moderadamente vulnerável a vulnerável, indicando assim, a necessidade da adoção de medidas mitigadoras a fim de reduzir a vulnerabilidade dos solos nesses locais. Por fim, pôde-se concluir que o uso de geotecnologias associado a modelos empíricos é eficaz na classificação de vulnerabilidade do solo à erosão hídrica.

Palavras-Chave: Vulnerabilidade Ambiental. Geoprocessamento. SIG. Planejamento Ambiental.

Analysis of Susceptibility to Water Erosion in a Hydrographic Basin on the Brazilian Semi-arid

ABSTRACT

Soil degradation is one of the main problems nowadays, being the result, in most cases, of the irresponsible actions of anthropic being on natural resources, in this context, geoprocessing presents itself as an important research tool, serving as a basis for identifying levels of environmental degradation, as well as in the classification of lands and in the elaboration of cartographic maps that assist in public planning and in new academic research. In this study, the objective was to evaluate the susceptibility to water erosion in the Piancó River Hydrographic Basin, through geotechnologies. The sequence of the methodological procedures used in this research were: creation of a georeferenced database, assigning weights to classes of susceptibility to soil erosion, thematic maps elaboration and generation of a final map of vulnerability to water erosion. From the results, it was possible to identify areas of legal incompatibility and ascertain that 66% of the study area had a moderately stable / vulnerable degree of vulnerability and that another 19% of the area classified themselves as moderately vulnerable to vulnerable, thus indicating the need the adoption of mitigation measures in order

1443

to reduce the vulnerability of soils in these places. Finally, it was concluded that the use of geotechnologies associated with empirical models is effective in classifying soil vulnerability to water erosion.

Keywords: Environmental vulnerability. Geoprocessing. GIS. Environmental planning.

Introdução

A erosão é tão antiga quanto o planeta Terra, sendo geológica e procedente de fenômenos naturais que agem constantemente na superfície terrestre, como eventualidade natural do processo de remodelação do relevo, e estabelecendo um processo positivo para a formação do próprio solo (Ozsahin et al., 2018; Poesen, 2018). A ação antrópica quebra essa harmonia, rompendo o equilíbrio natural desse processo, e dando origem a erosão acelerada (singularizada apenas como erosão), fenômeno que gera grandes prejuízos à sociedade (Poesen, 2018; Efthimiou et al., 2020; Borrelli et al., 2021).

Nos últimos anos, a degradação dos solos, tem sido motivo de preocupação por grande parte da população. O crescente aumento populacional, juntamente com o consumo acelerado dos recursos naturais tem interferido severamente nas modificações da superfície terrestre (Chalise et al., 2019; Pan et al., 2018), de tal forma que a exploração vem ocorrendo de maneira acelerada e irresponsável, sem a consciência de que parte dos recursos naturais são finitos ou de árdua recuperação, com destaque para a água e o solo (Hamidov et al., 2018; RekhoF et al., 2019).

A sucessiva ação antrópica, além de ser pouco organizada e sem muito planejamento ou gestão, provoca altos custos econômicos nos estudos e levantamentos dos recursos naturais por meio de modelos e/ou técnicas tradicionais, como o aerolevantamento, visto que este procedimento leva tempo e custos para ser realizado (Martins et al., 2019; Pagan et al., 2020; Bohn et al., 2021).

Nessa situação, para se obter informações precisas e de forma ágil, visto que o problema das elevadas despesas pode ser cessado a partir do emprego de dados coletados por sensores remotos de satélites orbitais. Assim, para acelerar ainda mais este processo e incorporá-lo a outras informações cartográficas, é imprescindível a utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que permita elaborar um banco de dados e possibilitar o acompanhamento e estudo temporal da área experimental, sendo um instrumento de grande importância em análises ambientais (Silva et al., 2018; Martins et al., 2019; Pagan et al., 2020).

A região que compreende a área de estudo do presente trabalho, o semiárido nordestino,

apresenta diversas características de agentes naturais e/ou antrópicos que causam impactos sobre os recursos naturais presentes no âmbito de uma bacia hidrográfica, sendo uma região propícia ao estudo de vulnerabilidade à erosão hídrica. Portanto, com a realização dessa pesquisa, espera-se a obtenção de subsídios que contribuam para a melhoria e expansão de estratégias e tecnologias de conhecimentos sobre esta temática, em especial, para uma região que carece de informações sobre os processos erosivos.

A Bacia Hidrográfica do Rio Piancó (BHRP), localizada no sudoeste do estado da Paraíba, é responsável pelo abastecimento de água de mais de 112 municípios, uma vez que nela está inserido o Sistema Hídrico Curema-Mãe D'Água (CBHPPA, 2018). Desta forma, essa bacia é de extrema importância não apenas para o abastecimento humano, mas ainda para a agricultura, dessedentação de animais e a piscicultura, não só da BHRP, mas também da bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, já que o referido sistema hídrico assegura a perenização deste rio à jusante.

Lepsch (2016) e De Queiroz et al. (2020) ressaltam que a região semiárida do Brasil apresenta tendências a ocorrência de erosões, devido à fraca estrutura de seus solos, como também a elevada concentração de chuvas torrenciais em um curto período, provocando graves problemas ambientais como o assoreamento dos corpos hídricos superficiais. Nesse âmbito, Silva et al. (2019) descrevem que além do assoreamento dos corpos hídricos, a erosão gera o empobrecimento de terras, em razão da perda da camada fértil do solo, prejuízos nas lavouras, e contribuem para o surgimento de áreas degradadas.

Entretanto, Crepane et al. (2001) destacam que os principais fatores que interferem na erosão hídrica do solo são os fatores climáticos, a geologia, a geomorfologia, a pedologia e o uso do solo, assim, estes autores categorizaram o grau de vulnerabilidade dos solos em cinco classes, através da atribuição de pesos para cada categoria em todas as classes analisadas, tornando-se um estudo pioneiro sobre esta temática e um dos métodos mais utilizados no país.

Nesse cenário, o presente trabalho busca responder a seguinte hipótese: “É possível avaliar

o grau de susceptibilidade à erosão hídrica em uma bacia hidrográfica da região semiárida do Brasil através de geotecnologias?”. A fim de responder essa hipótese a BHRP foi tomada como unidade de estudo para ser analisada através de um SIG. Entre os estudos que abordam a vulnerabilidade à erosão do solo destacam-se o manuscrito de Alves et al. (2016), no sudoeste do Goiás, Rodrigues et al. (2018), na bacia hidrográfica do Rio Cervo em Minas Gerais, e Cuiabano et al. (2018) na sub-bacia do córrego do Guanabara, na Reserva do Cabaçal-MT. Na literatura internacional, ressaltam-se os trabalhos de Tianyang Li et al. (2019), no sudoeste da China, Panagopoulos et al. (2019), na região do Mediterrâneo, e Haidara et al. (2019) na bacia de Souss-Massa-Daraa, no sul do Marrocos.

Deste modo, teve-se por objetivo avaliar a susceptibilidade à erosão hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó por meio de um SIG.

Material e métodos

Área de estudo

Essa pesquisa foi desenvolvida na BHRP, que está inserida no “Polígono das Secas” e localizada no sudoeste do Estado da Paraíba, divisa com os estados do Pernambuco, ao Sul, e do Ceará, a Oeste, entre as coordenadas geográficas 06°45’36” e 07°50’29” de latitude Sul e 38°15’55” e 37°24’10” de longitude Oeste (Figura 1). O Rio Piancó, principal fluxo d’água da bacia hidrográfica, nasce entre os municípios de Conceição e Santa Inês no Estado da Paraíba, e segue até desaguar em sua foz no Rio Piranhas-Açu, no município de Pombal/PB, que por sua vez despeja suas águas no Oceano Atlântico, na costa norte do Estado do Rio Grande do Norte (CBHPPA, 2018).

Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó.

O clima é o semiárido do tipo BSh seco e quente, de acordo com a classificação de Koppen. As temperaturas são bastante altas durante o dia, com médias diárias dificilmente inferiores aos 24 °C e umidade relativa do ar inferior a 75%. O período chuvoso é curto e irregular, em média de três a quatro meses, variando de janeiro a maio, com média anual de 750 mm (Fernandes e Queiroz, 2018). Por fim, a área de estudo engloba por

completo ou parcialmente 41 municípios, todos pertencentes ao Estado da Paraíba, e totalizando um recorte total de 9.275 km².

Modelagem em ambiente SIG

A sequência dos procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa pode ser observada em síntese na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.

Para a geração do banco de dados, foi necessária a obtenção de informações sobre a bacia hidrográfica estudada e procedimentos de pesquisa, tais como:

- Coleta de dados junto aos sites do IBGE, da Agência Nacional de Águas (ANA), da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESPA), e do *United States Geological Survey* (USGS);
- Análise e tabulação dos dados por meio de planilhas eletrônicas no *software microsoft excel* versão 2016;
- Espacialização, reprojeção e padronização dos dados para as coordenadas geográficas SIRGAS 2000 UTM 24 Sul, por meio do *software* livre QGIS, versão 3.4.5.

A customização do mapa final de vulnerabilidade à erosão hídrica da BHRP, assim como os respectivos mapas temáticos de vulnerabilidade (precipitação, geologia, geomorfologia, uso do solo e pedologia), foi elaborada por meio de um plano de informações (vetoriais e matriciais), formado por um banco de dados no ambiente SIG, no qual, cada classe de unidade de paisagem, de todos os temas, foi associada aos valores que indicam o seu respectivo grau de vulnerabilidade.

Desta forma, a partir do modelo apresentado na Tabela 1, que constitui 21 classes

(com valores de 1,0 a 3,0) de vulnerabilidade à perda de solo, repartidas entre casos em que há o predomínio dos processos de pedogênese (valores adjacentes de 1,0), passando por situações intermediárias (valores adjacentes de 2,0), e situações de predomínio de morfogênese (valores adjacentes de 3,0), conforme Crepani et al. (2001).

O modelo exposto na Equação 1 representa o cálculo empregado na média final que traduz empiricamente o grau de vulnerabilidade atribuído a cada unidade de paisagem para a determinação da carta final de vulnerabilidade à erosão hídrica da BHRP. Este procedimento foi realizado por meio da ferramenta computacional *raster calculator*, no *software* livre QGIS 3.4.5.

$$V = (G + R + P + O + C) / 5 \quad (1)$$

Em que,

V = Vulnerabilidade da unidade de paisagem;

G = Vulnerabilidade para o tema geologia;

R = Vulnerabilidade para o tema geomorfologia;

P = Vulnerabilidade para o tema pedologia;

O = Vulnerabilidade para o tema uso do solo;

C = Vulnerabilidade para o tema precipitação.

Tabela 1. Escala do grau de Vulnerabilidade.

UNIDADE DE PAISAGEM (UP)	VALOR	GRAU DE VULNERABILIDADE
UP 01	1,0	Estável
UP 02	1,1	
UP 03	1,2	
UP 04	1,3	
UP 05	1,4	Moderadamente Estável
UP 06	1,5	
UP 07	1,6	
UP 08	1,7	
UP 09	1,8	Medianamente Estável/ Vulnerável
UP 10	1,9	
UP 11	2,0	
UP 12	2,1	
UP 13	2,2	
UP 14	2,3	Moderadamente Vulnerável
UP 15	2,4	
UP 16	2,5	
UP 17	2,6	
UP 18	2,7	Vulnerável
UP 19	2,8	
UP 20	2,9	
UP 21	3,0	

Resultados e discussão

Análise pedológica

Foram identificadas oito classes de solo e afloramentos rochosos, como se observa na Figura 3. O tipo de solo predominante foi o Neossolo Litólico, com 5.424 km² (58,8% da área), seguido do Luvisolo Crômico, com 2.235 km² (24,3%), e o Argissolo Vermelho, com 1.175 km² (12,7 %), enquanto os demais solos observados não chegaram a atingir 1% da área estudada.

Os Argissolos Vermelhos são solos desenvolvidos, mas, em geral, apresentam relativa profundidade e, juntamente com a presença de argila nas camadas inferiores favorecem a vulnerabilidade à erosão hídrica (Oliveira et al., 2020). Assim, estes solos estão inseridos nos limites da bacia hidrográfica, região das cabeceiras, onde se tem uma elevada inclinação do relevo e, consequentemente, maior velocidade das enxurradas, o que contribui para a formação de focos erosivos, sendo este solo categorizado com um grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável.

Os Luvisolos Crômicos são solos pouco profundos (rasos), pouco desenvolvidos e ricos em minerais primários (Francisco et al., 2019; Marinho

et al., 2019), e foram enquadrados, assim como os Argissolos, em moderadamente estável/vulnerável. Na bacia hidrográfica, estão inseridos na região do baixo Rio Piancó (ao norte) nas proximidades do exutório, onde se encontram as áreas mais planas do relevo. No entanto, este tipo de solo é bastante pedregoso e suas camadas superficiais denotam elevada concentração de argila, o que dificulta diretamente a infiltração das águas da chuva e potencializa a ação erosiva.

O Neossolo Litólico ocupa cerca de 60% da área de estudo e apresenta-se como um solo pouco evoluído, com baixa profundidade, cascalhento e com frequentes afloramentos de rocha, melhor dizendo, um solo de extrema suscetibilidade erosiva (Francisco et al., 2019), é considerado como vulnerável na classificação do grau de vulnerabilidade.

Desse modo Rodrigues et al. (2018), em estudo realizado na Bacia Hidrográfica do Rio do Cervo em Minas Gerais, constataram que o Neossolo Litólico foi a classe de solo com maior fator de erodibilidade dentre as classes estudadas, e considerado de elevada suscetibilidade à erosão hídrica. Nesse contexto, Barbosa Neto et al. (2017), que realizaram levantamentos da degradação do solo na região semiárida do Brasil, observaram que 84% dos solos analisados apontam processos de

erosão que variaram de moderados a fortes. Logo, entende-se que a BHRP predominantemente,

apresenta um fator pedológico classificado como vulnerável à erosão hídrica.

Figura 3. Mapa pedológico da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó.

Análise geológica

A geologia da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó apresentou inúmeras unidades litoestratigráficas, e a classificação digital permitiu observar um total de onze grupos: Aluviões, Complexo Camalaú, Complexo Caicó, Complexo Piancó, Complexo Salgueiro-Riacho Gravatá, Complexo São Caetano, Formação Mauriti, Formação Santana dos Garrotes, Formação Seridó, Granitoides e Suítes Intrusivas.

No geral, a área de estudo é composta por regiões do cristalino, onde há o predomínio de materiais dos tipos magmáticos, xistos, gnaisses e granitos. Estes tipos de rochas são bem resistentes às ações erosivas, o que os enquadram como classes estáveis à moderadamente estáveis.

Nessas regiões do cristalino, estão inseridos a Formação Santana dos Garrotes (25% da área), Suítes Intrusivas (21,7%), Complexo Piancó (16,7%), Complexo Salgueiro-Riacho Gravatá (14,8%), Complexo Caicó (10%), Granitoides (3%), Formação Seridó (2,6%),

Complexo São Caetano (2,1%) e Complexo Camalaú (1,3%), conforme pode-se observar na Figura 4.

A Formação Santana dos Garrotes, também descrita como grupo Cachoeirinha, é formada principalmente por metagrauvacas, rochas metaclásticas e/ou metavulcânicas (De Brito Neves et al., 2018). Na BHRP, este grupo encontra-se presente numa faixa que se estende do Sul para o Leste. A classe das Suítes Intrusivas está inserida na área de estudo de forma mais dispersa, concentrando-se em toda região Centro-Sul principalmente na faixa Sudeste. De acordo com os mesmos autores, esta classe é composta por associações de rochas calcialcalinas, graníticas e megacristais.

Nesse cenário, as unidades litoestratigráficas do cristalino correspondem (juntas) a cerca de 98% da área total de estudo, consequentemente, se pode afirmar que a BHRP se apresenta entre as classes estável à moderadamente estável ao grau de vulnerabilidade, no fator geologia, à erosão hídrica.

Entretanto, vale ressaltar que a presença de Aluviões, principalmente nas calhas e às margens dos rios e riachos da bacia hidrográfica, serve de alerta para possível geração de focos erosivos nestes locais e consequentemente, a deposição de sedimentos no leito dos fluxos d'água e mananciais de abastecimento, como os açudes Curema e Mãe D'Água, que formam juntos o principal Sistema Hídrico da região.

Nessa conjuntura, De Medeiros et al. (2019) ao analisarem a bacia do Eptácio Pessoa,

no semiárido do Estado da Paraíba, observaram um rendimento médio de sedimentos de 3,91 toneladas/ ha/ mês, o que demonstra a susceptibilidade à erosão do solo das bacias hidrográficas do semiárido paraibano. Da Silva et al. (2020), também no Eptácio Pessoa, identificaram tendências de crescimento na erosividade, assim, esses trabalhos corroboram com a possível vulnerabilidade dos solos na região de estudo.

Figura 4. Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó.

Análise geomorfológica

Na Figura 5, exibe-se o mapa geomorfológico da BHRP, que, por sua vez, estabelece os valores da escala do grau de vulnerabilidade para as unidades de paisagem, envolvendo a relação entre os três índices morfométricos examinados para a área de estudo: declividade, amplitude altimétrica e dissecação do relevo pela drenagem.

Portanto, demonstra que as condições mais estáveis da bacia hidrográfica são encontradas na região do baixo Rio Piancó (ao Norte), que

apresenta baixos índices de declividade e amplitude altimétrica, ou seja, região mais plana e com maior quantidade de redes de drenagem. Enquanto as condições mais vulneráveis da paisagem estão presentes na região Centro-Sul, em consequência das maiores altitudes e relevo acidentado, característica de uma área acentuada e que favorece a erosão hídrica.

Bednář e Šarapatka (2018), em estudo realizado na República Tcheca, relacionaram a declividade do solo e outros fatores físicos com a degradação do solo, o que permitiu detalhar e conhecer melhor as características do ambiente

estudado e associar diretamente a declividade aos processos de erosão hídrica.

Vale destacar, que a geomorfologia é um fator bastante utilizado na identificação e classificação dos processos erosivos, tendo como exemplo a pesquisa realizada por Hembram et al. (2019), que por meio de fatores geoambientais e medições dos parâmetros morfométricos, conseguiram identificar as feições erosivas na bacia do rio Jainti, leste da Índia, e apresentar o

zoneamento da área à vulnerabilidade natural e adequação ao uso do solo.

Ressalva-se, também, os manuscritos de Cuiabano et al. (2018) na sub-bacia do Córrego do Guanabara no município de Reserva do Cabaçal-MT, e Gerber et al. (2018), no vale do Itajaí em Santa Catarina, que a partir da caracterização do relevo avaliaram a vulnerabilidade ambiental em suas respectivas áreas de estudo.

Figura 5. Mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó.

Análise pluviométrica

As observações climatológicas para este tipo de estudo, fundamentam-se na capacidade em que os fenômenos climáticos têm de modificar a paisagem, bem como sua influência espacial sobre o meio, onde se dá a conexão com outros processos atmosféricos, hidrológicos e geomorfológicos.

Os dados que relacionam a intensidade pluviométrica de um local podem ser considerados modelos de valores de energia potencial disponível para transforma-se em energia cinética responsável pela erosividade da chuva (Acquaotta et al., 2018; Mioto e Silveira, 2019). Neste cenário, se pode afirmar que quanto maiores os valores de

intensidade pluviométrica, maior a erosividade da chuva, na qual é possível criar uma escala de erosividade da chuva que retrate a influência do clima nos processos morfodinâmicos (Crepani et al., 2001; Oliveira e Selva, 2019).

Na BHRP, a intensidade pluviométrica variou de 180 mm/ano a 240 mm/ano para uma série histórica de 25 anos (1994-2018). Assim, levando-se em consideração a localização dos postos pluviométricos ao longo da bacia hidrográfica, percebe-se a homogeneidade destes, portanto, gerando uma situação condizente com a ocorrência pluviométrica local, o que retrata uma interpretação realista do fator climático na área de estudo. Quanto ao grau de vulnerabilidade, a

intensidade pluviométrica ficou classificada em moderadamente estável à medianamente estável/vulnerável conforme a Figura 6.

Vale ressaltar, que as precipitações pluviométricas são bastante escassas e se concentram em um curto período para essa região e, geralmente, ocorrem na forma de chuvas torrenciais. Estas chuvas são a principal causa das perdas de solo no semiárido brasileiro, provocando mudanças na consistência do terreno e o assoreamento dos corpos hídricos superficiais (Miotto e Silveira, 2019; Tinôco et al., 2019).

Os problemas ambientais são ainda mais graves quando estas chuvas ocorrem logo no início do período chuvoso e atingem um solo

completamente exposto, sem qualquer proteção vegetal, visto que a ação erosiva da chuva acarretará danos ainda mais significativos, como o surgimento de voçorocas e afloramentos de rocha (Lepsch, 2016; Barbosa et al., 2018).

Estudos sobre a erosividade das chuvas no semiárido brasileiro são bastante comuns, a exemplo, do trabalho de Almeida (2017), que estimou os valores de erosividade entre 1.439 a 5.864 MJ mm ha⁻¹ por ano, enquadrando-se como baixo e moderado respectivamente, assim, colaborando com os resultados de intensidade das chuvas encontrados nesta pesquisa, bem como, com a classificação de Crepani et al. (2001).

Figura 6. Mapa da intensidade pluviométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó.

Análise do uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo (Figura 7), representa a classificação digital das imagens multiespectrais do *Landsat-8*, em que foi possível categorizar quatro classes de uso e ocupação: corpos d'água superficiais, vegetação, solo exposto e áreas urbanas.

A classe de uso e ocupação do solo com maior ocorrência na bacia hidrográfica foi a de vegetação, com cerca de 6.012 km², o equivalente a 64% da área total. A expressiva predominância desta classe de ocupação do solo, reflete em um grau de baixa vulnerabilidade, já que esta foi enquadrada como medianamente estável/vulnerável.

A vegetação exerce uma função de destaque e de extrema importância para a proteção natural do solo contra a ação das gotas da chuva, do escoamento superficial e subsuperficial. Além de proteger, a cobertura vegetal contribui para o aumento da infiltração e armazenamento da água no solo, por meio da adição de matéria orgânica e presença de raízes, influenciando na redução da ação erosiva (Bertoni e Lombardi Neto, 2014; Fernandes e Queiroz, 2018).

Entretanto, a área de estudo está inserida em uma região dominante do bioma Caatinga, com vegetação local classificada como Savana Estépica arborizada, apresentando um estrato arbustivo-arbóreo esparsa, com árvores de pequeno a médio porte e que perdem as folhas (caducifólia) no período de estiagem (Fernandes e Queiroz, 2018), situação que contribui para a formação de processos erosivos, principalmente no início do período chuvoso, quando as precipitações atingem o solo desprotegido, o que justifica o valor de 2,0 na escala do grau de vulnerabilidade para a classe vegetação.

Dentre as classes de ocupação do solo, com grau de vulnerabilidade à erosão hídrica, a que

mais requer atenção é a de solos expostos, com 3.143 km², o equivalente a 34,2% da área total (Figura 7). Estas áreas são as mais susceptíveis aos processos de degradação e são resultantes da utilização de terras para a produção agrícola e criação de animais, uma vez que estas áreas se concentram nas planícies do Norte, onde há maior disponibilidade hídrica, devido à localização do Sistema Hídrico Curema-Mãe D'água. Observa-se ainda, em menor ocorrência, as classes corpos d'água superficiais (1,0%) e áreas urbanas (0,8%).

Rodrigues et al. (2018), relataram que o predomínio de solo exposto em áreas de pastagem ou na agricultura, formam as áreas mais vulneráveis à erosão na bacia hidrográfica do Rio Cervo, em Minas Gerais, indicando perdas de solo superiores a 10 toneladas por hectare (t.ha⁻¹). Lepsch (2016) ressalva sobre os prejuízos causados pela classe de solo exposto nas atividades agropecuárias, principalmente, quando não se tem uma intervenção conservacionista do solo. Além disso, acrescenta que o uso de medidas educacionais, sociais e econômicas favoráveis à conservação do solo se tornou um fator indispensável atualmente.

Figura 7. Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó.

Análise do grau de vulnerabilidade

O mapa final de suscetibilidade à erosão hídrica da área de estudo (Figura 8), estabelece a distribuição espacial das classes de vulnerabilidade para as unidades de paisagem, envolvendo a relação entre os cinco fatores estudados: pedologia, geologia, geomorfologia, pluviometria e uso do solo.

A análise dos resultados obtidos mostra que cerca de 19% da BHRP apresenta paisagens de alta vulnerabilidade à perda de solo por erosão hídrica, distribuída entre as classes moderadamente vulnerável (17%) e vulnerável (1,92%). Essas áreas correspondem, principalmente, às superfícies aluviais com associação de Neossolo Litólico, solos expostos e dissecação do relevo e, também, às áreas com altos índices de declividade.

É importante destacar, que há uma relevante concentração das áreas vulneráveis distribuídas às margens e nas calhas dos fluxos

d'água, apresentando como característica comum elevado percentual de solo exposto em terrenos aluviais, o que facilita a ocorrência de processos erosivos e gera diversas consequências ambientais, entre eles o assoreamento dos corpos hídricos.

Essas unidades de paisagem, devem ser levadas em consideração por pertencerem a áreas de incompatibilidade legal, ou seja, áreas de preservação permanente (APPs), que foram manuseadas para alguma atividade diferente dos tipos de usos que estão previstos em lei. Deste modo, verifica-se que o alto índice de vulnerabilidade que atinge as APPs deve-se provavelmente à gestão inadequada dos recursos naturais e à falta de execução do Código Florestal Brasileiro (Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012), no qual se proíbe o desmatamento das áreas de mata ciliar, em um raio de pelo menos 30 metros a contar da borda da calha do leito regular do rio (curso d'água) (BRASIL, 2012).

Figura 8. Mapa final de suscetibilidade à erosão hídrica.

As condições mais estáveis da paisagem são encontradas em 15% da área de estudo, difundidas entre moderadamente estável (14%) e estável (0,96%). Estas áreas se concentram na

região Norte da bacia hidrográfica, onde ocorrem associações de Luvissoilo Crômico, estratigrafia do embasamento cristalino e relevo suave com a presença de alguns fragmentos de vegetação.

Portanto, diferente dos resultados encontrados nos estudos de Ribeiro e Campos (2007) e de Falcão e Leite (2018), onde ambas pesquisas concluíram que suas respectivas áreas de estudo (bacias hidrográficas) apresentaram alta estabilidade à susceptibilidade dos solos, a BHRP apresentou-se de forma instável à classificação do grau de vulnerabilidade, com a predominância de áreas medianamente estável/vulnerável a moderadamente vulnerável, devido, principalmente, à presença marcante de solos pouco desenvolvidos, relevo suave/ondulado e uma alta concentração da cobertura vegetal.

A baixa porcentagem de áreas estáveis na BHRP requer uma atenção especial quanto à estabilidade deste recorte, uma vez que, considerando a escala do grau de vulnerabilidade à erosão hídrica, a área de estudo apresenta uma significativa tendência de susceptibilidade aos processos erosivos. De acordo com Crepani et al. (2001), isso possivelmente é reflexo da predominância da morfogênese, ou seja, da presença dos processos modificadores do relevo.

A classe de susceptibilidade à erosão hídrica que se destacou na BHRP foi a medianamente estável/vulnerável, com cerca de 6.123 km², o equivalente a 66% da área total. Tal fato ocorreu, principalmente nas regiões de Neossolo Litólico, geologia moderadamente estável, e relevo ondulado a forte ondulado com a presença de cobertura vegetal. Desta forma, a área de estudo deve ser levada em consideração pelos órgãos públicos, como também pela população, para que haja ações e políticas públicas eficazes voltadas diretamente a mitigar esta problemática ambiental, de forma a garantir sua conservação em plena harmonia com o ser antrópico.

Conclusões

A utilização do modelo empírico, proposto na pesquisa, associado a um SIG se apresentou eficaz na classificação do grau de vulnerabilidade à erosão hídrica, permitindo identificar áreas susceptíveis à degradação do solo.

Parte considerável da BHRP (66% de sua área) apresentou grau de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável e que outros 19% da bacia hidrográfica enquadraram-se de moderadamente vulnerável a vulnerável, indicando assim a necessidade da adoção de medidas mitigadoras a fim de minimizar a vulnerabilidade dos solos nesses locais.

O emprego do SIG no estudo de susceptibilidade à erosão, serviu de alerta para a atual situação da bacia hidrográfica do Piancó, disponibilizando informações úteis e inovadoras sobre esta temática, sobretudo, para uma região escassa desse tipo de conhecimento, e servindo de alicerce para iminentes pesquisas no meio acadêmico, e ainda para a melhoria e o desenvolvimento de tecnologias, estratégias e planos de gestão ambiental nessa região.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Geoprocessamento (LabGeo), do Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG - *Campus Pombal*).

Referências

- AESA. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, 2020. Geo Portal AESA. Disponível: <<http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>>. Acesso: 04 jun. 2020.
- ANA. Agência Nacional de Águas/ Portal Hidroweb, 2019. Disponível: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso: 02 de fev. 2019.
- Alves, M.C., Suzuki, L.G.A.S., Suzuki, L.E.A.S., 2007. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31, 617-625.
- Almeida, a. Q. D., souza, r. M. S., loureiro, d. C., pereira, d. D. R., cruz, m. A. S., & vieira, j. S., 2017. Modelagem da dependência espacial do índice de erosividade das chuvas no semiárido brasileiro. *Pesquisa agropecuária brasileira* [online], v. 52, n. 6, p. 371-379. Disponível: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000600001> . Acesso: 27 de jul. 2020.
- Alves, r. E.; souza, f. L.; souza, m. V.; queiroz, a. F. T.; & lima, v. J., 2016. A degradação e fragilidade dos solos no sudoeste de goiás. *Revista geográfica de américa central* [online], v. 6, n. 2, p. 235-258. Disponível: <https://doi.org/10.15359/rgac.1-56.10> . Acesso: 25 jul. 2020.
- Acquaotta, f.; faccini, f.; fratianni, s.; paliaga, g.; e sacchini, a., 2018. Rainfall intensity in the genoa metropolitan area: secular variations and consequences. *Weather*, v. 73, n. 11, p. 356-362. Disponível: <https://doi.org/10.1002/wea.3208> .

- Acesso: 21 de abr. 2021.
- Barbosa, A. M. S.; Martorano, L. G.; Dos Santos, L. S., E De Oliveira Aparecido, L. E., 2018. Potencial erosivo das chuvas em simulador portátil em diferentes coberturas do solo. *Revista ibero-americana de ciências ambientais*, 9, 200-209. Disponível: <https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2018.004.0017> . Acesso: 20 de abr. 2021.
- Barbosa Neto, M. V.; Araujo, M. S. B.; Filho, J. C. A.; Almeida, B. G, 2017. Degradação do solo por erosão em área vulnerável à desertificação no semiárido pernambucano. *Ln: i congresso nacional de geografia física [online]*. Campinas - sp, p. 4406-4416. Disponível: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1929> . Acesso: 23 mai. 2020.
- Bertoni, J., Lombardi Neto, F., 2014. *Conservação Do Solo*. 9ed. São Paulo: Ícone, p. 355.
- Bednář, m.; šarapatka, b., 2018. Relationships between physical–geographical factors and soil degradation on agricultural land. *Environmental research*, 164, 660-668. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.042> . Acesso: 21 de abr. 2021.
- Bohn, L.; Lyra, G. B.; Oliveira-Júnior, J. F.; Zeri, M.; E Cunha-Zeri, G., 2021. Desertification susceptibility over rio de janeiro, brazil, based on aridity indices and geoprocessing. *International journal of climatology*, v. 41, p. E2600-e2614. Disponível: <https://doi.org/10.1002/joc.6869> . Acesso: 19 de abr. 2021.
- Borrelli, P.; Alewell, C.; Alvarez, P.; Anache, J. A. A.; Baartman, J.; Ballabio, C.; E Panagos, p., 2021. Soil erosion modelling: a global review and statistical analysis. *Science of the total environment*, p. 146494. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146494> . Acesso: 20 de abr. 2021.
- BRASIL. Código Florestal Brasileiro, 2012. Disponível: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm#art83 . Acesso: 27 de jun. 2020.
- CBHPPA. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó - Piranhas - Açu, 2018. Disponível: <http://www.cbhpiancopiranhasacu.org.br/site/a-bacia> . Acesso: 05 de abr. 2020.
- Chalise, D.; Kumar, L.; & Kristiansen, P., 2019. Land degradation by soil erosion in nepal: a review. *Soil systems*, v. 3, n. 1, p. 12. Disponível: <https://doi.org/10.3390/soilsystems3010012> . Acesso: 20 de abr. 2021.
- Acesso: 20 de abr. 2021.
- Crepani, E.; Medeiros, J. D.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V.; Barbosa, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. 1 ed. São José dos Campos: ed. Inpe /ministério da ciência e tecnologia, 2001, p. 74.
- Cuiabano, M. D. N., Neves, S. M. A. D. S., Nunes, M. C. M., Serafim, M. E., E Neves, R. J, 2018. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica na sub-bacia do córrego do guanabara/reserva do cabaçal-mt, brasil. *Geociências (São Paulo)*, v. 36, n. 3, p. 543-556. Disponível: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i1.12301> . Acesso: 20 jun. 2020.
- Da Silva, R. M., Santos, C. A. G., Da Costa, J. F. C. B., Silva, A. M., & Neto, R. M. B., 2020. Spatial distribution and estimation of rainfall trends and erosivity in the Epitácio Pessoa reservoir catchment, Paraíba, Brazil. *Natural hazards*, v. 102, n. 3, p. 829-849. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03926-9> . Acesso: 20 de abr. 2021.
- De Brito Neves, B. B.; Van Schmus, W. R.; Campos Neto, M. C., 2018. Sistema de dobramentos piancó-alto brígida (pe-pb-ce), regionalização geotectônica e geocronologia. *Geologia USP. Série científica*, v. 18, n. 4, p. 149-171. Disponível: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v18-142182> . Acesso: 20 de abr. 2021.
- De Medeiros, I. C.; Da Costa Silva, J. F. C. B.; SILVA, R. M.; & SANTOS, C. A. G., 2019. Run-off–erosion modelling and water balance in the Epitácio Pessoa Dam river basin, Paraíba State in Brazil. *International journal of environmental science and technology*, v. 16, n. 7, p. 3035-3048. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1940-3> . Acesso: 20 de abr. 2021.
- De Queiroz, M. G.; Da Silva, T. G. F.; Zolnier, S.; Jardim, A. M. D. R. F.; De Souza, C. A. A.; Júnior, G. D. N. A.; E De Souza, L. S. B., 2020. Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. *Catena*, v. 188, p. 104457. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104457> . Acesso: 20 de abr. 2021.
- Efthimiou, N.; Psomiadis, E.; Panagos, P., 2020. Fire severity and soil erosion susceptibility mapping using multi-temporal earth observation data: the case of Mati fatal wildfire in eastern

- attica, greece. *Catena*, v. 187, p. 104320. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104320> . Acesso: 20 de abr. 2021.
- Falcão, k. S.; leite, e. F., 2018. Avaliação do potencial natural à erosão hídrica na bacia do rio nioaque. *Revista geoaraguaia* [online]. Barra do garças/mt, v. 8, n. 3, p. 56-63. Disponível: <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/7792/pdf> . Acesso: 27 jul. 2020.
- Fernandes, m. F.; queiroz, p., 2018. Vegetação e flora da caatinga. *Ciência e cultura* [online], v. 70, n. 4, p. 51-56. Disponível: <https://doi.org/10.21800/2317-66602018000400014> . Acesso: 27 jul. 2020.
- Francisco, p. R. M.; de britto chaves, i.; de oliveira, f. P.; santos, d.; & barreto, h. T. S., 2019. Vulnerabilidade dos solos à desertificação na bacia hidrográfica do alto rio paraíba. *Caderno de pesquisa, ciência e inovação*, p. 78.
- Gerber, d., pertille, c. T., vieira, f. S., corrêa, b. J. S., de souza, c. F., 2018. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio itajaí-santa catarina. *Acta biológica catarinense* [online] v. 5, n. 01, p. 72-83. Disponível: <http://dx.doi.org/10.21726/abc.v5i1.446> . Acesso: 16 mai. 2020.
- Haidara, i., tahri, m., maanan, m., & hakdaoui, m., 2019. Efficiency of fuzzy analytic hierarchy process to detect soil erosion vulnerability, 2019. *Geoderma* [online], 354, 113853. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.07.01> . Acesso: 27 de jul. 2020.
- Hamidov, a.; helming, k.; bellocchi, g.; bojar, w.; dalgaard, t.; ghaley, b. B.; & schönhart, m., 2018. Impacts of climate change adaptation options on soil functions: a review of european case-studies. *Land degradation & development*, 29,-2389. Disponível: <https://doi.org/10.1002/ldr.3006> . Acesso: 20 de abr. 2021.
- HEMBRAM, T. K.; PAUL, G. C.; e SAHA, S., 2019. Comparative analysis between morphometry and geo-environmental factor based soil erosion risk assessment using weight of evidence model: a study on Jainti river basin, eastern India. *Environmental processes*, 6, 883-913. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s40710-019-00388-5> . Acesso: 21 de abr. 2021.
- Lepsch, i. F. Formação e conservação dos solos, 2016. 2ed. São paulo: oficina de textos, 178 p.
- Marinho, I. V.; Lúcio, A. M. F. N.; Holanda, A. C.; E Freitas, C. B. A., 2019. Análise comparativa de dois remanescentes arbustivo-arbóreo de caatinga. *Pesquisa florestal brasileira*, v. 39. Disponível: <https://doi.org/10.4336/2019.pfb.39e20170151> . Acesso: 19 de abr. 2021.
- Martins, J. J. F.; Soares, A. M.; Azeiteiro, U. M.; & Correia, M. L. T., 2019. Anthropic action effects caused by soybean farmers in a watershed of tocantins-brazil and its connections with climate change. In: *climate change-resilient agriculture and agroforestry*. Springer, cham, p. 257-281. Disponível: https://doi.org/10.1007/978-3-319-75004-0_15 . Acesso: 20 de abr. 2021.
- Mioto, s.; silveira, h., 2019. Análise sazonal da intensidade pluviométrica no alto curso do rio pirapó-pr a partir de dados de precipitação diária. *Caminhos de geografia*, v. 20, n. 69, p. 484-501. Disponível: <https://doi.org/10.14393/rcg206941714> . Acesso: 21 de abr. 2021.
- Ozsahin, E.; Duru, U.; Eroglu, I., 2018. Land use and land cover changes (lulcc), a key to understand soil erosion intensities in the maritsa basin. *Water*, 10, 335. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w10030335> . Acesso: 19 de abr. 2021.
- Oliveira, E. M.; Selva, V. S. F., 2019. Estudo da erosão no seridó paraibano como indicador do processo de desertificação: juazeirinho, paraíba (study of erosion in seridó paraibano as an indicator of desertification: juazeirinho, paraíba). *Revista brasileira de geografia física*, 12, 876-894. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p876-894> . Acesso: 21 de abr. 2021.
- Oliveira, J. G.; Santos, L. J. C.; Calegari, M. R., 2020. Relação solo-relevo em sistema pedológico argissolo-neossolo quartzarênico na região noroeste do estado do Paraná: caso de Amaporã. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21, Disponível: <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1786> . Acesso: 19 de abr. 2021.
- Pagán, J. I.; López, I.; Bañón, L.; E Aragonés, L., 2020. Consequences of anthropic actions in cullera bay (spain). *Journal of marine science and engineering*, 8, 240. Disponível: <https://doi.org/10.3390/jmse8040240> . Acesso: 19 de abr. 2021.
- Panagopoulos, Y., Dimitriou, E., & Skoulikidis, N., 2019. Vulnerability of a northeast mediterranean island to soil loss. *Can grazing management*

- mitigate erosion?. Water [online], 11, 1491. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w11071491> . Acesso: 26 jul. 2020.
- Pan, Y.; Yuan, S. Y.; Tan, H. M.; Gan, L.; Li, L.; Amini, F, 2018. Recent knowledge of hydraulic erosion of the hptm system with vegetation. In: pio conference series: earth and environmental sciences. Banda aceh, p. 012024.
- Poesen, J. Soil erosion in the anthropocene: research needs. Earth surface processes and landforms, 43, 64-84, 2018. Disponível: <https://doi.org/10.1002/esp.4250> . Acesso: 20 de abr. 2021.
- Ribeiro, F. L.; Campos, S, 2007. Vulnerabilidade à erosão do solo da região do alto rio pardo, pardinho, sp. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental [online], v. 11, n. 6, p. 628-636. Disponível: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662007000600012> . Acesso: 15 mai. 2020.
- Riekhof, M. C.; Regnier, E.; & Quaas, M. F., 2019. Economic growth, international trade, and the depletion or conservation of renewable natural resources. Journal of environmental economics and management, 97, 116-133. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.04.008> . Acesso: 21 de abr. 2021.
- Rodrigues, J. A. M; Mello, R. C.; Viola, M. R.; Rodrigues, M. C, 2018. Estimativa da vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio cervo–mg. Geociências [online], 36, 531-542. Disponível: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i3.11695> . Acesso: 29 abr. 2020.
- Silva, F. F. D.; Souza, T. E. D. S.; Souza, E. R. D.; Correa, M. M.; & Rolim, M. M., 2019. Surface sealing and water erosion of soils with mulching in the semi-arid region of brazil. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, 23, 277-284. Disponível: <https://doi.org/10.1590/18071929/agriambi.v23n4p277-284> . Acesso: 21 de abr. 2021.
- Silva, L. N. A.; Rocha, A. M.; Souza Filho, E. T.; Fernandes, J. A. F, 2018. O uso de sistemas de informação geográfica (sigs) na gestão sustentável do assentamento jardim, baturité-ce. Conexões-ciência e tecnologia [online], 12, 119-129. Disponível: <https://doi.org/10.21439/conexoes.v12i3.1190> . Acesso: 23 mai. 2020.
- Tianyang Li., Li, S., Liang, C., He, B., E Bush, R. T, 2019. Erosion vulnerability of sandy clay loam soil in southwest china: modeling soil detachment capacity by flume simulation. Catena [online], 178, 90-99. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.03.008> . Acesso: 26 jun. 2020.
- Tinôco, I. C. M.; Bezerra, B. G., Lucio, P. S.; E Barbosa, L. D. M., 2019. Caracterização dos padrões de precipitação no semiárido brasileiro. Anuário do instituto de geociências, 41, 397-409. Disponível: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_397_409 . Acesso: 21 de abr. 2021.
- USGS. United States Geological Survey. 2019. Disponível em: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-oli-operational-land-imager-and?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects . Acesso em: 18 de dez. 2019.