

AVALIAÇÃO DA ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO NO SEMIÁRIDO SERGIPANO

EVALUATION OF SOIL LOSS ESTIMATES IN SEMI-ARID SERGIPAN

EVALUACIÓN DE ESTIMACIONES DE PÉRDIDA DE SUELO EN SERGIPAN SEMIÁRIDO

ÉDER GUEDES FREITAS¹
VLÁDIA PINTO VIDAL DE OLIVEIRA²

¹ Doutorando em Geografia (UFC), Geógrafo na Superintendência do Patrimônio da União em Sergipe
E-mail: ederguedes91@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1083-2313>

² Doutora em agronomia, Professora do curso de Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC),
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7756-9009>

RESUMO

Nas regiões semiáridas, a erosão tem grande importância na dinâmica ambiental. Apesar de ser um processo natural, as intervenções antrópicas têm intensificado seus efeitos, resultando em quadros de degradação os quais afetam, direta ou indiretamente, as questões ambientais, sociais e econômicas no semiárido brasileiro. No semiárido sergipano, a disseminação de práticas agrícolas inadequadas põe em risco a própria capacidade de uso da terra para a manutenção das atividades produtivas, evidenciando a necessidade de se avaliar o potencial de erosão do solo se tornando importante instrumento de análise dos problemas ambientais. A utilização de metodologias, como a EUPS, possibilitam analisar e identificar as áreas com maior potencial à erosão, permitindo identificar os locais mais suscetíveis ao processo, sua intensidade, e as práticas que mais contribuem para a degradação dos solos. Como resultado do cruzamento dos indicadores foi possível observar valores de perdas de solos inferiores a 10 ton/ha/ano, em 57,65% do território analisado, seguidos pelas perdas de 10 a 20 ton/ha/ano (21,28%), 20 a 50 ton/ha/ano (15,42%) e maiores que 50 ton/ha/ano, correspondendo a 4,58% da região. O fator topográfico foi o indicador que mais influenciou nos valores de fragilidade, apresentando boa correlação com os resultados obtidos neste trabalho. A utilização da EUPS, mostrou-se como ferramenta prática no estudo e avaliação da erosão no semiárido sergipano, possibilitando compreender a influência dos fatores ambientais nos processos erosivos, bem como possibilitando identificar as áreas com maiores suscetibilidades às perdas, se tornando um poderoso instrumento ao processo de planejamento e ordenamento territorial.

Palavras-chave: Sistema de informações geográficas; Erosão; Perdas de solo; Degradação; semiárido.

ABSTRACT

In semi-arid regions, erosion plays a major role in environmental dynamics. Despite being a natural process, anthropogenic interventions have intensified its effects, resulting in degradation which directly or indirectly affects environmental, social and economic issues in the Brazilian semi-arid region. In the semi-arid region of Sergipe, the spread of inappropriate agricultural practices jeopardizes the land's ability to be used to maintain productive activities, highlighting the need to assess the potential for soil erosion, making it an important tool for analyzing environmental problems. The use of methodologies such as EUPS makes it possible to analyze and identify the areas with the greatest potential for erosion, allowing us to identify the places most susceptible to the process, its intensity and the practices that most contribute to soil degradation. As a result of crossing the indicators, it was possible to observe soil loss values of less than 10 tons/ha/year in 57.65% of the territory analyzed, followed by losses of 10 to 20 tons/ha/year (21.28%), 20 to 50 tons/ha/year (15.42%) and greater than 50 tons/ha/year, corresponding to 4.58% of the region. The topographic factor was the indicator that most influenced the fragility values, showing a good correlation with the results obtained in this work. The use of the EUPS has proved to be a practical tool in the study and assessment of erosion in the semi-arid region of Sergipe, making it possible to understand the influence of environmental factors on erosion processes, as well as making it possible to identify the areas with the greatest susceptibility to losses, becoming a powerful instrument in the process of planning and land management.

Keywords: Geographic information system; Erosion; Soil loss; Degradation; Semi-arid.

RESUMEN

En las regiones semiáridas la erosión tiene gran importancia en la dinámica ambiental. A pesar de ser un proceso natural, las intervenciones humanas han intensificado sus efectos, resultando en condiciones de degradación que afectan, directa o indirectamente, cuestiones ambientales, sociales y económicas en la región semiárida brasileña. En la región semiárida de Sergipe, la difusión de prácticas agrícolas inadecuadas pone en riesgo la capacidad misma de utilizar la tierra para mantener actividades productivas, destacando la necesidad de evaluar el potencial de erosión del suelo, convirtiéndose en una importante herramienta para analizar los problemas ambientales. El uso de metodologías, como la EUPS, permite analizar e identificar

áreas con mayor potencial de erosión, permitiendo identificar los lugares más susceptibles al proceso, su intensidad y las prácticas que más contribuyen a la degradación del suelo. Como resultado del cruce de indicadores, se pudo observar valores de pérdida de suelo inferiores a 10 toneladas/ha/año, en el 57,65% del territorio analizado, seguido de pérdidas de 10 a 20 toneladas/ha/año (21,28 %), 20 a 50 ton/ha/año (15,42%) y mayores a 50 ton/ha/año, correspondientes al 4,58% de la región. El factor topográfico fue el indicador que más influyó en los valores de fragilidad, mostrando una buena correlación con los resultados obtenidos en este trabajo. El uso de la EUPS resultó ser una herramienta práctica en el estudio y evaluación de la erosión en la región semiárida de Sergipe, permitiendo comprender la influencia de los factores ambientales en los procesos de erosión, además de identificar áreas con mayor susceptibilidad a pérdidas, convirtiéndose en un poderoso instrumento para procesos de planificación y ordenamiento territorial.

Palabras clave: Sistema de información geográfica; Erosión; Pérdidas de suelo; Degradación; Semi árido.

INTRODUÇÃO

A erosão pode ser compreendida como o processo de “desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos” (IPT, 1986, citado por SANTORO, 2009, p. 55) sendo este o principal processo geomorfológico natural responsável pela modelagem da superfície terrestre, produzindo os materiais que serão transportados e depositados ao longo das vertentes (CARMO et. al., 2016).

Diversos fatores influenciam na ocorrência do fenômeno, tais como as características morfológicas do terreno (declividade, comprimento e formato da rampa), cobertura vegetal, intensidade pluviométrica e a erodibilidade dos solos, possibilitando definir os locais e os diferentes graus de susceptibilidade à erosão, bem como quantidade e tamanho das partículas do material que pode ser carregado (AYRES, citado por BERTONI; LOMBARDI NETO, idem, p. 62), ou agindo como proteção natural face aos agentes externos (BERTONI; LOMBARDI NETO, idem).

Para Silva et. al. (2019), a erosão hídrica é um dos principais problemas ambientais, uma vez que pode causar danos consideráveis aos solos, pela remoção das camadas superficiais dos solos, resultando na diminuição da fertilidade do solo, redução da camada arável e da diversidade e atividade microbológica do solo, com conseqüente redução do potencial produtivo do solo e aumento nos custos de produção e recuperação dos solos, assumindo grande importância, no contexto da região semiárida brasileira, dada a sua irreversibilidade (SAMPAIO et al., 2005).

Contudo, tais processos têm sido intensificados pela intervenção humana, ocasionando a perda de grande quantidade de solo (SANTORO, 2009), sendo considerado o processo que mais contribui para a degradação das terras produtivas (WEILL; PIRES NETO, 2007). Os processos de degradação dos solos, tem início com o desmatamento e com a substituição da vegetação nativa, favorecendo e acelerando a ocorrência dos processos erosivos, ocasionando a perda de materiais (em especial de nutrientes e de matéria orgânica), desorganizando sua estrutura, levando a degradação deste importante recurso natural (SANTORO, 2009; CARMO et al., 2015).

Nesse contexto, se insere a discussão das questões ambientais na região semiárida brasileira, que, desde o início de sua ocupação, tem sido intensamente modificada pelas atividades humanas (CASTELLETTI et al., 2003; SÁ et al. 2010), sobretudo pela expansão da pecuária, a partir de meados o século XVII, a qual tem contribuído para transformar extensas áreas de caatinga em pastagens (ALVES, 2009; MMA, 2011). O uso indiscriminado dos recursos florestais tem efeitos negativos sobre a estabilidade e a capacidade regenerativa dos solos e da vegetação, prejudicando a regeneração natural e dificultando a permeabilidade dos solos (MMA, 2011, p. 26).

A redução da qualidade ambiental, é o aspecto mais visível do processo de degradação ambiental na região semiárida. Contudo, os efeitos desses processos se fazem sentir nas demais esferas da sociedade impactando diretamente nas esferas social, política e econômica das

regiões afetadas por estes processos. A redução da capacidade produtiva está associada (além da perda de camada arável e matéria orgânica), à lixiviação de nutrientes e no ressecamento do perfil do solo que afetam, diretamente, na capacidade produtiva local e, portanto, na distribuição de renda, segurança alimentar, gerando, ainda, custos econômicos para a restauração ou recuperação ambiental.

O semiárido sergipano, de igual modo, é marcado pela degradação de sua cobertura florestal, sendo resultante de vários fatores, dentre os quais se destacam: a disseminação de práticas agrícolas inadequadas, o pastoreio excessivo, o desmatamento, impulsionadas pelas práticas agropecuárias, colocando-se em questão a própria capacidade de uso da terra e dos recursos para a manutenção das atividades produtivas e para a garantia dos serviços ambientais (FERNANDES et al., 2015).

Segundo Martins et al. (2017), no estado de Sergipe um total de 841,61 km² do território já apresenta evidências de degradação, estando estas áreas concentradas nos setores noroeste e sudoeste do estado, equivalendo a 5,14% da área suscetível à desertificação (ASD) do estado. Pode-se relacionar esse quadro observado à intensa modificação nos padrões de uso e ocupação dos solos, com conversão das áreas de caatinga, por áreas de pastagens, ou agricultura, sem as devidas práticas conservacionistas, deixando expostos, os já frágeis solos da região, às intempéries climáticas, possibilitando a ocorrência de processos de degradação.

Nos municípios que compõem a microrregião sergipana do sertão do São Francisco, em análise realizada através de imagens de satélite, verificou-se que cerca de 15,99% da área (aproximadamente 869,70 km²) encontrava-se recoberta por vegetação nativa. Quanto à categoria de solo exposto, foi identificada uma área de 314,11 km² (cerca de 5,78%). Por fim, as áreas de intervenção antrópica (aqui abrangendo as áreas de vegetação aberta, arbustivas abertas, pastagens e cultivos) compreendeu uma parcela de 4.209,65 km², cerca de 77,42% do território da microrregião.

Avaliar o potencial de perdas de solo possibilita um melhor dimensionamento e ordenamento do uso, centrado no potencial de suporte do solo, conservação do solo e água, além de possibilitar uma melhor compreensão da dinâmica ambiental e a predição de impactos ambientais (XAVIER et al., 2019; SOUSA, PAULA, 2019), podendo ser determinadas de várias formas, desde a adoção de métodos diretos de coleta e avaliação do material erodido, ou métodos indiretos, mediante modelagem matemática (XAVIER et al., *idem*).

Para Lopes et al. (2011), ambos os métodos de análise apresentam vantagens e desvantagens. Para a análise quantitativa, ainda que possibilite a obtenção de valores absolutos e precisos de erosão, exigem maior conhecimento, por parte do usuário, requererem mais informações do que os modelos qualitativos e são mais dispendiosos, do ponto de vista econômico e de tempo, visto que necessitam de avaliação local, para sua análise. Já os métodos qualitativos têm como principal vantagem a facilidade de manipulação dos fatores selecionados e sua posterior combinação, apresentando, contudo, uma aproximação grosseira e generalista dos valores de perda esperados para determinada área.

Um dos métodos, amplamente, utilizados nos estudos de erosão é a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Este modelo, utiliza dos fatores topográficos (declividade e comprimento de rampa), índices de precipitação, cobertura vegetal e de erodibilidade do solo para predição das perdas de solo em uma dada área, tendo como principal vantagem viabilizar a estimativa de perdas em áreas extensas (MOURA et al., 2017), sendo um recurso valioso ao planejamento ambiental e à tomada de decisões (JARDIM et al., 2017; SOUSA; PAULA, 2019).

O advento dos SIGs, contribuiu de forma significativa na utilização dos métodos de modelagem, sobretudo da EUPS, ao possibilitar uma maior velocidade e facilitação na análise e predição das perdas por erosão, possibilitar uma melhor análise da distribuição da erosão laminar, além de permitir a análise dos resultados associado-as aos padrões de uso e ocupação

das terras e a modelagem do comportamento dos processos erosivos em diferentes cenários (LOPES et al., 2015; SOUSA, PAULA, 2019; XAVIER et al., 2019).

Xavier et al. (*idem*), destacam que, a eficiência e confiabilidade da aplicação do método está condicionado pela confiabilidade dos dados das suas variáveis, uma vez que pequenas variações nos valores adotados para cada indicador, afetam, significativamente o resultado final, tornando a metodologia para a obtenção dos dados mais importante que a própria equação. Diversos trabalhos, que aplicaram a metodologia para predição do potencial de perdas de solo por erosão no semiárido brasileiro, apresentaram diferenças significativas em seus resultados, influenciados, sobretudo, pelos métodos de cálculo utilizados para a obtenção dos valores para as variáveis analisadas.

Contudo, Lopes et al. (2015) e Xavier et al. (*idem*), chamam atenção que a utilização dessa metodologia não deve considerar os valores de perdas de solo como dados reais de erosão, visto que a metodologia tende a superestimar as perdas de solo, e sim serem utilizados para caracterizar, qualitativamente, as áreas quanto a sua, maior ou menor, susceptibilidade à erosão laminar, contribuindo de forma mais significativa para avaliar e identificar as áreas mais degradadas pelo processo.

Diante deste quadro, o presente estudo, propõe-se a avaliar a estimativa de perdas de solo, identificando as áreas com maior suscetibilidade à ocorrência do fenômeno, utilizando, para tal fim, a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) em ambiente SIG.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende os municípios componentes da Microrregião sergipana do Sertão do São Francisco – Canindé de São Francisco, Feira Nova, Gararu, Gracho Cardoso, Itabi, Monte Alegre de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, Poço Redondo, Porto da Folha, com área de 5.444,31 km², localizada entre as coordenadas 9°27'48,2" S 38°03'52,7" O e 10°23'07,7" S 37°20'36,6" O, distando, aproximadamente, 144 km da capital sergipana.

A geologia da área é composta por rochas da faixa de dobramentos sergipana, representadas por litótipos ígneos e metamórficos, de idade Neoproterozóica a mesoproterozóica e, pontualmente, por litótipos de idade paleozóica e cenozóica, representadas por materiais sedimentares, de composição clástica ou inconsolidada, (CARVALHO; MARTINS, 2017).

O clima é caracterizado como Semiárido, tipo “Bsh”, com precipitações inferiores a 800 mm/ano, com duas estações distintas: uma chuvosa de outono/inverno, entre os meses de março a julho, com duração de 3 a 5 meses, e uma estação seca, com duração de 7 a 9 meses (FERNANDES et al., 2015). As temperaturas médias anuais, apresentam-se elevadas em todos os meses do ano, variando de 25 a 28° C, com os meses de maio a setembro apresentando as menores temperaturas observadas.

O relevo é caracterizado por um modelado suave, marcados por declividades variando de 3 a 20%, as quais representam cerca de 44 e 36,82% do território, respectivamente, e ocorrência de superfícies declivosas, dispersos no território estando associadas aos maciços residuais e as áreas intensamente dissecadas, com declividades apresentando valores superiores a 20% representando cerca de 6,9% (forte onduladas), 0,42% (montanhosas) e 0,02% (escarpadas) do total.

Maior parte do território consiste de áreas com cotas altimétricas variando de 100 a 300 m, que juntas representam 85,6% do total, seguidas das áreas de cotas altimétricas menos expressivas, variando de 0 a 100 metros, que representam cerca de 10,2% do total, já as áreas com maiores cotas altimétricas (> 300 m), perfazem apenas 4,2% da área.

O quadro pedológico é composto por solos, em geral, pouco espessos e pouco desenvolvidos, predominando as classes de neossolos litólicos, planossolos, luvisolos,

neossolos regolíticos e argissolos, respectivamente, influenciados pela composição litológica da região, combinada às condições climáticas semiáridas.

Na região predominam dois tipos de vegetação: a Caatinga Hipoxerófila e a Hiperxerófila, estando intimamente associadas ao regime de aridez predominante. Nas áreas com menor déficit hídrico, com até sete meses secos, há ocorrência da caatinga hipoxerófila, e nas demais ocorrem a caatinga hiperxerófila, esta última, restrita aos municípios de Canindé de São Francisco e Porto da Folha, (FRANCO, 1983 citado por GÓIS, 2020).

Para estimar as perdas de solo por erosão, foi utilizada a Equação Universal de Perda de Solos – EUPS, expresso na **Equação 1**.

$$EUPS = R * K * LS * C * P \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: A = perda de solo ($\text{ton/ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); R = erosividade da chuva ($\text{MJ/ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); K = erodibilidade do solo [$\text{ton/ha}^{-1} (\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1})^{-1}$]; L = comprimento do declive (adimensional); S = grau de declive (adimensional); C = uso e manejo do solo (adimensional); P = práticas conservacionistas (adimensional).

Para a obtenção do fator LS, foram utilizadas imagens do radar ALOS-Palsar, com resolução espacial de 12,5 metros, processadas no software Qgis 3.10.8, sendo realizado o preenchimento de falhas, através do algoritmo *Fill sinks*, após isso, foi utilizado o algoritmo *basic terrain analysis*.

Os valores de erosividade da área em estudo, foram obtidos através da análise de dados pluviométricos de 14 estações – disponíveis Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB), da Agência Nacional de Águas (ANA): Capivara II, Delmiro Gouveia, Pão de Açúcar, Piranhas, Santana Do Ipanema, Traipu, Coronel João Sá, Lagoa Preta, Quixaba, Santa Brigida, São Francisco, Camboatã, Capela e Propriá.

A erosividade (R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada para uma dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção vegetal, sendo resultante da soma dos valores mensais dos índices de erosão, expressos através da **equação 2**, apresentada por Bertoni; Lombardi Neto (2017).

$$EI = 67,355 * \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0,85} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde, EI = média mensal do índice de erosão, em $\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}$; r = precipitação média mensal em milímetros e P = precipitação média anual em milímetros.

A erodibilidade (K), expressa a capacidade de um determinado solo em resistir à atuação dos processos erosivos, estando relacionada tanto às suas características morfológicas, como químicas e biológicas. Para os valores de erodibilidade, foram adotados os intervalos utilizados por Lopes et al. (2011) - Tabela 1.

As informações relativas à cobertura vegetal (fator C), foram obtidas através da utilização de imagens de sensores remotos, do satélite da série Landsat 8 (cena 215/67, data de aquisição 05/12/2017, com resolução espacial de 30 m), por meio do NDVI.

Para a obtenção do NDVI, foi utilizado o software Qgis (versões 2.18.28, *Las Palmas*, e 3.10.8, *A Coruña*), sendo realizados os seguintes procedimentos de Correção radiométrica, conforme descritos por Bezerra et al. (2018),

$$L\lambda = \left(\frac{LMax\lambda - LMin\lambda}{65535}\right) * DN + LMIN\lambda \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde L_{λ} é o valor da radiância espectral para a banda, $LMax_{\lambda}$ e $LMin_{\lambda}$ são os coeficientes de calibração das respectivas radiâncias espectrais de cada banda ($W/m^2/sr/m$), DN nível digital do pixel na imagem, que varia de 0 a 65535.

Após isso, foi realizada a reclassificação dos valores obtidos conforme Tabela 1.

Tabela 1: Valores adotados para os indicadores

Classe de cobertura	NDVI	C	Solo	K
água	-1 a 0.1	0	Argissolo	0,02
solo nu/área urbana	0.1 a 0.24	1	Luvissolo	0,036
Cultivo	0.24 a 0.275	0,25	Neossolo litólico	0,028
Pastagem	0.275 a 0.32	0,2		
vegetação arbustiva	0.32 a 0.47	0,02	Neossolo regolítico	0,012
vegetação arbustiva-arbórea	0.37 a 0.41	0,01		
vegetação arbórea-arbustiva	0.41 a 0.55	0,01	Planossolo	0,027
vegetação arbórea	> 0.55	0,01		

Fonte: Adaptado de Lopes et al. (2011).

Para a geração da carta de perdas de solos da microrregião sergipana do sertão do São Francisco, foram realizadas operações matemáticas, por meio da álgebra de mapas. O produto resultante foi reclassificado em cinco classes de fragilidade, variando de muito baixa a muito alta, tomando como base os valores de perda de solos, estabelecidos na Tabela 3.

Na área, em análise, não foram identificadas a adoção de práticas conservacionistas no manejo dos solos, por esta razão, foi adotado o valor 1 para o fator P no cálculo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A erosividade da chuva (fator R) é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva, esperada para uma dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção vegetal (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017), dependendo de características como tamanho, forma e velocidade terminal das gotas das chuvas ao atingirem o solo.

A distribuição dos valores de erosividade, apresentam relações com as características pluviométricas do território analisado, sofrendo variação, de oeste para leste, da ordem de 2.251 a 4.855,36 MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹ (Figura 1a), influenciadas pela melhoria nas condições pluviométricas. Os valores encontrados neste estudo, foram semelhantes àqueles obtidos por Moura et al. (2017) para a bacia hidrográfica do Rio São Francisco, Moreira et al. (2017) e Xavier et al. (2019) ao estudarem uma região semiárida no estado de Pernambuco, e por Rabelo e Araújo (2019), ao analisarem a erosividade em uma bacia no semiárido paraibano.

Nos municípios de Canindé de São Francisco e, parte dos municípios de, Poço Redondo, Monte Alegre e Nossa Senhora da Glória, foram obtidos os menores valores para o fator R, com totais inferiores a 2.500 MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. No extremo oposto, os municípios de Feira Nova e partes dos municípios de Gracho Cardoso e Nossa Senhora da Glória, apresentaram totais superiores a 4.000 MJ.mm/ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹.

Ainda, a variabilidade pluviométrica, típica da região semiárida, faz com que os valores de R variem entre a quadra seca e a chuvosa, conforme destacado por Jardim et al. (2017). Como esperado, os maiores valores de erosividade observados, foram encontrados entre os meses de maio a julho, que compreendem os meses com os maiores totais pluviométricos na região, ao passo que os menores valores foram obtidos entre os meses de setembro a dezembro.

A erodibilidade dos solos (fator K) - Figura 1b, representa a vulnerabilidade do solo aos processos erosivos, apresentando diferentes taxas de perdas as quais são influenciadas por características intrínsecas do próprio solo. Solos com valores de erodibilidade mais altos,

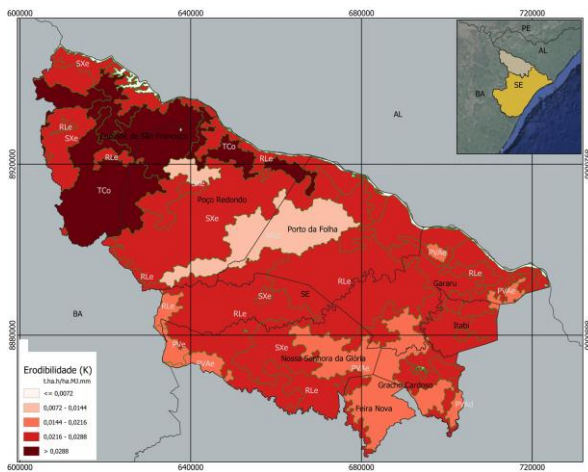
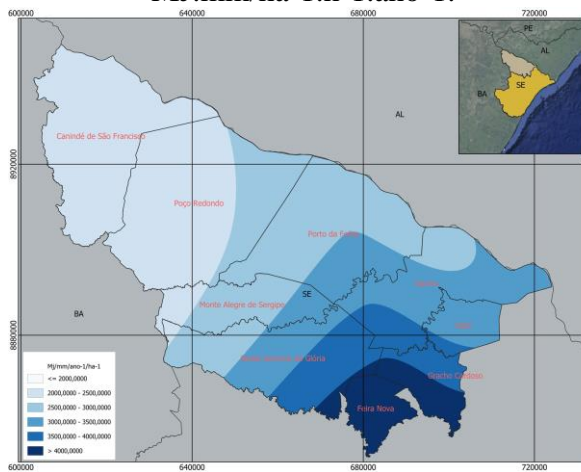
sofrerão mais intensamente com os efeitos dos processos erosivos do que um com baixa erodibilidade (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2017).

Na área em análise, cerca de 80,8% do território apresentou altos valores de erodibilidade ($> 0,027 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$), devido a predominância de solos rasos e pouco desenvolvidos – compostos por Neossolos litólicos (44,49%), luvisolos (16,5%) e planossolos (19,87%), os argissolos, que representaram cerca de 10,84% do território, com valor de erodibilidade de $0,02 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$, e os neossolos regolíticos, 7,15%, que apresentaram os menores valores de erodibilidade ($0,012 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$).

Figura 1: Plano de informações e valores correspondentes dos indicadores utilizados

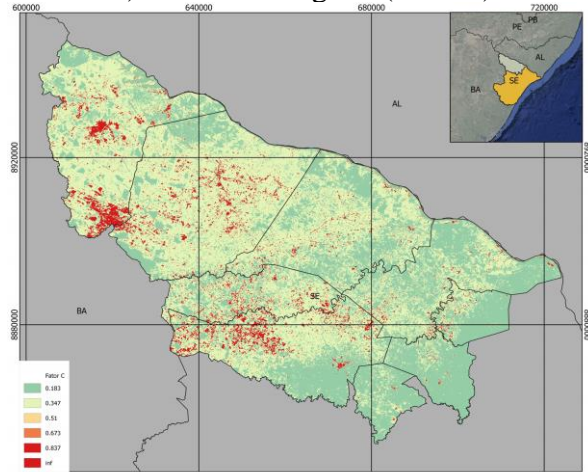
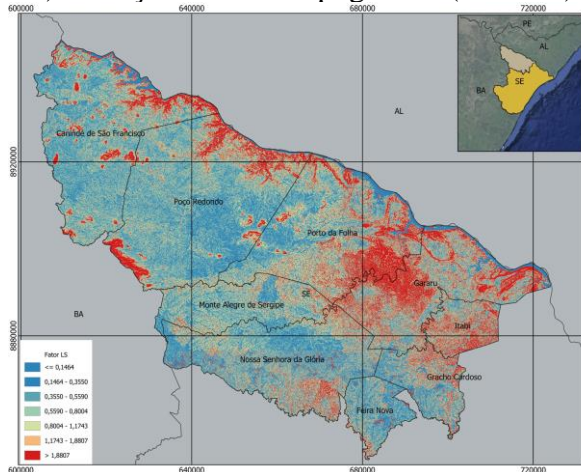
a) Erosividade da área (fator R), em $\text{MJ.mm/ha-1.h-1.ano-1}$.

b) Erodibilidades dos solos (fator K)



c) Variação do fator topográfico (fator LS)

d) Cobertura vegetal (fator C)



Fonte: Organizado pelo autor.

O fator LS, é um fator adimensional, que representa a relação de perdas esperadas de solo por unidade de área, em um declive qualquer, em relação às perdas esperadas em uma vertente de 25 metros de comprimento com declive de 9%. Segundo Bertoni; Lombardi Neto (2017), as características da vertente (sobretudo, pelo comprimento do declive, quanto pelo seu gradiente) influenciam fortemente na intensidade de atuação dos processos erosivos.

Na área em análise, o fator LS variou entre 0,0 à 71,554, com valor médio de 1.017 e desvio-padrão de 1.178 (Figura 1c). No geral, os valores de LS menores que 1 prevaleceram na região, representando mais de 65% do território ($3.572,84 \text{ km}^2$), seguidos pela classe de 1 a 2, que representou 21,48% ($1.169,56 \text{ km}^2$), semelhantes àqueles obtidos por Moura et al. (2017).

Observando a distribuição dos valores de LS, verifica-se que os maiores valores esperados estão associadas às áreas mais declivosas, como nos maciços residuais e serras baixas, áreas de relevo ondulado, associadas à regiões de relevo bastante dissecadas, localizadas às margens do Rio São Francisco, bem como no setor mais oriental da microrregião analisada. Tal comportamento foi igualmente verificado nos trabalhos de Brasil et al. (2017) e Xavier et al. (2019), nos quais os valores relativos ao indicador geomorfológico, os quais variaram conforme as características de declividade e amplitude locais.

De forma a caracterizar as formas de uso e ocupação, foi utilizada cena do satélite Landsat 8, 215/67, datada de 05/12/2017, por apresentar a menor taxa de cobertura por nuvens. Conforme resultados obtidos, verificou-se que cerca de 15,99% da área (aproximadamente 869,70 km²) encontrava-se recoberta por vegetação nativa. Quanto à categoria de solo exposto, foi identificada uma área de 314,11 km² (cerca de 5,78%). Por fim, as áreas de intervenção antrópica (aqui abrangendo as áreas de vegetação aberta, arbustivas abertas, pastagens e cultivos) compreendeu uma parcela de 4.209,65 km², cerca de 77,42% do território da microrregião - Tabela 2.

Tabela 2: Área por classe de cobertura vegetal

Cobertura Vegetal (expressa em km ²)							
MUNICÍPIO	Solo Nu/ Área Urbana	Cultivos	Pastagem	Vegetação arbustiva	Vegetação arbustiva-arbórea	Vegetação arbórea-arbustiva	Vegetação arbórea
Canindé de São Francisco	86,19	234,27	365,6	175,1	32,83	12,42	3,12
Feira Nova	1,61	3,56	31,84	73,72	41,71	30,5	0,28
Gararu	13,86	47,29	208,74	224,61	90,2	59,99	3,04
Gracho Cardoso	2,3	5,42	24,21	62,16	48,71	84,91	14,2
Itabi	4,7	12,89	31,71	41,9	30,35	58,09	3,76
Monte Alegre de Sergipe	32,31	92,54	140,21	95,94	19,64	6,04	0,08
Nossa Senhora da Glória	74,5	170,09	224,81	153,69	62,57	67,33	4,66
Poço Redondo	75,06	389,78	501,7	156,66	39,79	38,39	12,78
Porto da Folha	23,58	129,09	352,64	259,48	75,64	27,33	1,34
TOTAL	314,11	1084,93	1881,46	1243,26	441,44	385	43,26

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores obtidos, neste estudo, divergiram significativamente daqueles apresentados por Moura et al. (2017), que observaram uma variação da ordem de 63,64 ton/ha.ano de estimativa de perda de solo. Tal diferença entre os resultados, pode ser explicada pela diferença nos valores adotados, para o fator CP, sobretudo, para as tipologias cultivos e áreas de pastagem. Contudo, no que diz respeito à distribuição das classes por perdas, foram encontrados resultados similares, com as áreas de menor potencial erosivo compreendendo maior parcela e as áreas de maior potencial, às menores.

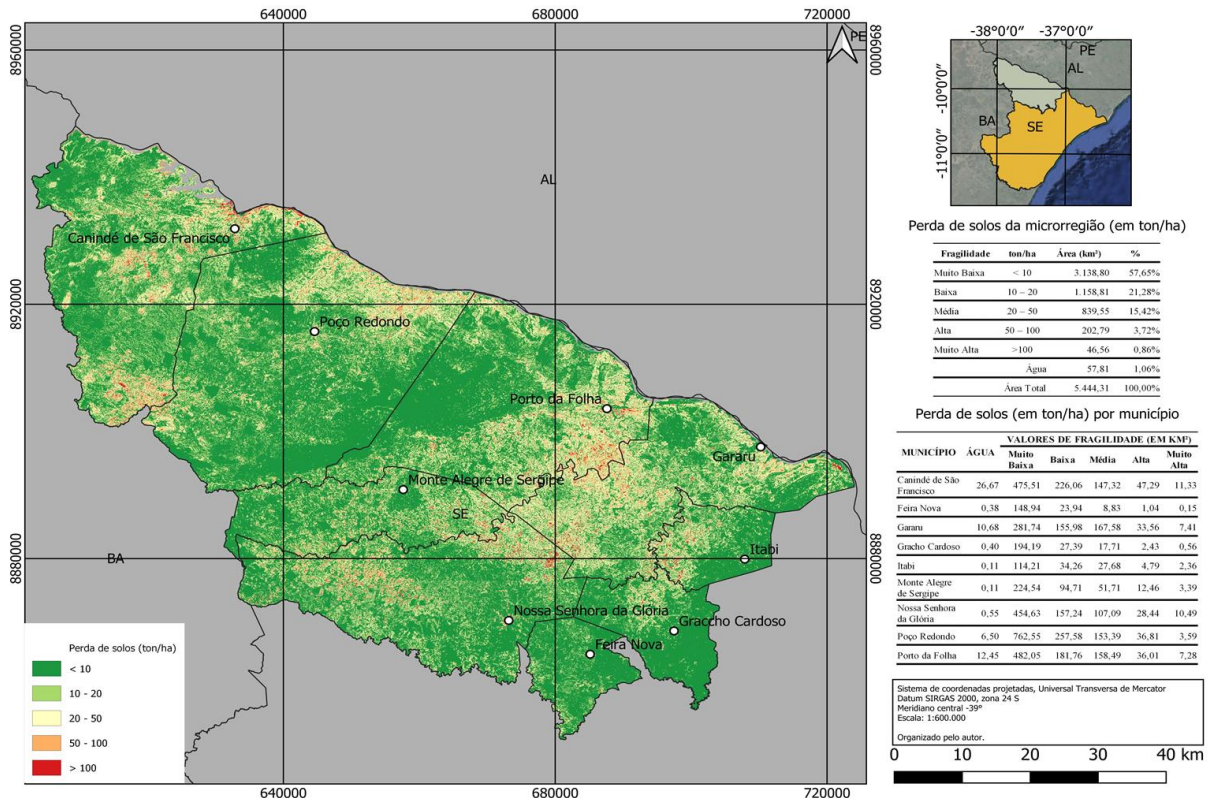
Como resultado do cruzamento dos indicadores utilizados, foi obtido arquivo *raster*, com os valores de perdas de solo, esperados para a área - Figura 2. Na área, em estudo, foram observados uma amplitude nos valores de perdas de solos de 0 a 300 ton/ha, com valor médio de 13,93 ton/ha. Em 57,65% do território analisado predominaram perdas inferiores a 10 ton/ha/ano, seguidos pelas perdas de 10 a 20 ton/ha/ano (21,28%), 20 a 50 ton/ha/ano (15,42%) e maiores que 50 ton/ha/ano, correspondendo a 4,58% da região, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Estimativa de perdas de solo para a microrregião sergipana do sertão do São Francisco

Perdas de solo (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Grau de erosão	Área	%
< 10	Muito Baixo	3138,8	57,65
10 – 20	Baixo	1158,81	21,28
20 – 50	Médio	839,55	15,42
50 – 100	Alto	202,79	3,72
> 100	Muito alto	46,56	0,86

Fonte: Organizado pelo autor.

Figura 2: Mapa de perda de solos da microrregião Sergipana do Sertão do São Francisco



Fonte: Organizado pelo autor.

Já Lopes et al. (2015), ao estudarem as perdas erosivas na bacia do açude Marengo, observaram resultados similares na distribuição das classes por perdas, sendo constatados que mais de 70% da área analisada, apresentou perdas inferiores à 50 ton/ha, sendo que em 52,43% da área foram obtidos valores inferiores a 10 ton/ha/ano, e, aproximadamente, 30% da área apresentando perdas superiores a 50 ton/ha/ano.

Os autores evidenciaram, ainda, que as maiores perdas de solo estimadas se localizavam nas linhas de drenagens dos riachos, devido as maiores declividades, e também nas regiões mais degradadas, as quais foram enquadradas como áreas de alto e muito alto grau de erosão.

Sousa; Paula (2019), por sua vez, ao estudarem o potencial erosivo na bacia hidrográfica do rio Seridó, na Paraíba, identificaram valores máximos de erosão da ordem de 165 ton/ha⁻¹ano⁻¹, com valores médios de 29 ton/ha⁻¹ano⁻¹, com as áreas mais críticas localizadas em parcelas com declividade mais acentuadas, locais com solos expostos e nas proximidades de reservatórios hídricos.

Na bacia do rio Coreaú, o potencial de erosão estimado por RABELO; ARAÚJO (2019), apresentou valores médios da ordem de 15,80 ton/ha⁻¹. ano⁻¹, com valores máximos podendo atingir até 1.206,90 ton/ha⁻¹.ano⁻¹, em áreas que combinam altos valores de declividade, uso intensivo e solo exposto. No geral, os resultados apresentados pelos autores também evidenciam os baixos valores de perdas de solo esperados, influenciados pelas características locais.

LOPES et al. (2011), apresentaram estimativas de perdas de solo bem próximas às avaliadas neste estudo. Os autores, destacaram que maior parte da área analisada apresenta perdas de solo inferiores a 11 ton/ha/ano, representando cerca de 74% do território estudado, sendo explicado pelos baixos valores observados no local, são influenciados pelas características de relevo e cobertura vegetal que garantem maior estabilidade do local face aos processos erosivos.

Por fim, XAVIER et al. (2019) ao aplicarem variações nos métodos de cálculo da erosividade e erodibilidade, no estado de Pernambuco, obtiveram resultados divergentes aos encontrados neste trabalho. Os autores verificaram que os maiores percentuais de perdas de solo esperadas, para a região, se encontram nos intervalos de 0 a 10 ton/ha, que corresponde a, aproximadamente, 61% do território, enquanto que as áreas com perdas maiores que 50 ton/ha/ano, correspondem, em média, a 26% da área.

A Tabela 4, apresenta o coeficiente de correlação entre os indicadores adotados e os valores de perdas estimadas para a área estudada. Observa-se que os indicadores morfológicos e de uso e ocupação tiveram significativa influência nos resultados obtidos, enquanto que a erosividade apresentou fraca correlação negativa. Isto evidencia o papel das características do relevo (declividade e vertentes) na localização e intensidade da ocorrência dos processos erosivos.

Tabela 4: Coeficiente de correlação dos indicadores

	USLE	Erosividade	LS	Solos	Vegetação
USLE	1.000000				
Erosividade	-0.034193	1.000000			
LS	0.549700	0.054703	1.000000		
Solos	0.229856	-0.299213	0.077738	1.000000	
Vegetação	0.441757	-0.229857	-0.130257	0.056887	1.000000

Fonte: Organizado pelo autor.

Os trabalhos de Lopes et al. (2011), Lopes et al. (2015) e Brasil et al. (2017) também destacaram a influência destes dois fatores na localização e intensidade do fenômeno avaliado. Apenas Xavier et al. (2019) encontraram relação do fator R com os valores de perdas de solo, nas áreas com maiores estimativas de erosão, independente das outras variáveis.

As áreas com menores perdas de solo estimadas (< 20 ton/ha/ano), devido às características de relevo e cobertura vegetal, se mostram mais favoráveis à exploração econômica e ao processo de uso e ocupação dos solos, se mostrando menos suscetíveis à ocorrência de processos erosivos, o que faz com que os riscos, quando ocorram, sejam de fácil reparação exigindo menores custos, logísticos e financeiros, para viabilização das atividades econômicas.

As áreas com perdas de solos variando de 20 a 50 ton/ha/ano, devido às características de relevo menos favoráveis que na classe anterior, podem ser consideradas como áreas de potencial considerável a degradação. Nestas a utilização intensiva dos solos, sem adoção de medidas de proteção, manejo e práticas de uso e ocupação dos solos compatíveis às capacidades de resiliência dos solos, podendo levar ao depauperamento do potencial produtivo dos solos, devido à perda das camadas férteis e de nutrientes carreadas pelos efeitos dos agentes intempéricos, levando à degradação do solo.

Por fim, as áreas com perdas estimadas superiores a 50 ton/ha/ano, situadas em áreas de relevo mais movimentado, com menor percentual de cobertura vegetal e solos pouco desenvolvidos, faz com que estas áreas sejam extremamente mais sensíveis aos processos erosivos, sendo desaconselhada sua utilização direta. Desse modo, essas áreas devem ser consideradas como áreas de grande atenção, devido à sua maior suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos, exigindo a adoção de políticas públicas, fiscalização e definição de estratégias de combate e mitigação de efeitos negativos dos efeitos erosivos e de recuperação ambiental.

A utilização da EUPS, para avaliação da estimativa de perdas de solo, possibilita a compreensão da relação entre os fatores que compõem a paisagem, e sua influência na dinâmica ambiental, permitindo analisar, de forma integrativa, as formas de uso e ocupação do território e identificar as áreas mais críticas aos processos erosivos, se tornando um poderoso instrumento ao processo de ordenamento territorial.

Sua integração com os sistemas de informações geográficas, tornam a análise e modelagem mais rápidas, menos custosas e permitem

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho, evidenciam que na microrregião sergipana do sertão do São Francisco, predominaram perdas inferiores a 10 ton/ha/ano, correspondendo a 57,65% do território analisado, seguidos pelas perdas de 10 a 20 ton/ha/ano (21,28%), 20 a 50 ton/ha/ano (15,42%) e maiores que 50 ton/ha/ano, correspondendo a 4,58% da região. Os valores máximos de perdas de solos para erosão oscilaram em torno das 300 ton/ha/ano, com valor médio de 13,93 ton/ha/ano.

Apesar dos diferentes métodos e intervalos adotados em outros estudos aplicados no semiárido brasileiro, as perdas por erosão no semiárido sergipano, apresentaram valores e distribuições bastante semelhantes às observadas em outras regiões do semiárido, localizadas nos estados do Ceará, Paraíba e Pernambuco, sendo influenciadas pelas características de relevo e cobertura vegetal, as quais foram mais significativas na localização e intensidade do fenômeno.

A utilização da EUPS, possibilitou uma maior compreensão da relação entre os fatores que compõem a paisagem, e sua influência na dinâmica ambiental, possibilitando a análise integrada das formas de uso e ocupação do território e a identificação das áreas mais críticas aos processos erosivos, sendo um poderoso instrumento ao processo de ordenamento territorial.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A. de; NASCIMENTO, S. S. do. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Editora: Ícone Editora. 2017. 392p.

BRASIL, J. B.; ROSA, G. Q.; RIBEIRO FILHO; J. C.; SILVA, C. V. T. Estimativa de perda de solo na bacia do açude Arneiroz II por ferramentas de geoprocessamento. **Ambiência**. v. 13, n. 2. p. 503-517, 2017. DOI:10.5935/ambiencia.2017.02.16rc.

CARMO, A. M. do; SOUTO, M. V. S.; DUARTE, C. R.; MESQUITA, A. F. Análise de Risco Ambiental à Erosão Gerada a partir de produtos de sensores remotos: MDE Topodata e Landsat

8. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** João Pessoa-PB, Brasil, 2015. p. 5927-5934.

CARVALHO, L. M. de; MARTINS, V. de S (Orgs). **Geodiversidade do estado de Sergipe**. Salvador: CPRM, 2017. 153 p.

CASTELLETTI, C. H. M.; SANTOS, A. M. M.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. da. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: SILVA, J. M. C. da; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. da; LINS, L. V. (Orgs.). **Biodiversidade da Caatinga: Áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2004. p. 91– 100.

FERNANDES, M. R. de M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q. de; FERNANDES, M. M. Mudanças do Uso e de Cobertura da Terra na Região Semiárida de Sergipe. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, p. 472-482, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.121514>.

GÓIS, D. V. **Cenários de risco à desertificação no semiárido sergipano**. 2020. 183 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2020.

JARDIM, A. M. da R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N.; SILVA, M. J. da; MORAIS, J. E. F. De; SILVA, T. G. F. da. Estimativas de perda de solo por erosão hídrica para o município de Serra Talhada, PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. v. 2, n. 3, p. 186-193, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1416.186-193>.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M. de; TEIXEIRA, A. dos S.; CAITANO, R. F.; CHAVES, L. C. G. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 5, n. 2, p.88-96, 2011.

LOPES, J. W. B.; ARAÚJO NETO, J. R.; PINHEIRO, E. A. Produção de sedimentos e assoreamento em reservatório no semiárido: O caso do açude Marengo, Ceará. **Geoambiente on-line**. n. 24, p. 16-31, 2015.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Subsídios para a Elaboração do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Caatinga**. Brasília: MMA, 2011. 128p.

MARTINS, E. S. P. R.; DE OLIVEIRA, S. B. P.; CARVALHO, M. S. B. D. S.; SIFEDINE, A.; FERRAZ, B. Uso de sensoriamento remoto para mapeamento de áreas susceptíveis à desertificação na região semiárida do Brasil. **Ciência & Trópico**, v. 41, n. 2, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.fundaj.gov.br/CIC/article/view/1663>>. Acesso em: 8 mar. 2022.

MOREIRA, E. B. M.; SOARES, D. B.; RIBEIRO, E. P.; NÓBREGA, R. S. Suscetibilidade à erosão hídrica na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, Pernambuco. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (Orgs.). **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**. 1ed.: 2017, v. 1, p. 4069-4080.

MOURA, M. M.; FONTES, C. Dos S.; SANTOS, M. H. dos; ARAÚJO FILHO, R. N.; HOLANDA, F. S. R. Estimativa de perda de solo no baixo São Francisco sergipano. **Revista Scientia Agraria**. v. 18, n. 2, p. 126-135, 2017.

RABELO, D. R.; ARAÚJO, J. C. de. Estimativa e mapeamento da erosão bruta na bacia hidrográfica do Rio Seridó, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.20, n.2, p.361-372, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i2.1414>.

SÁ, I. B.; CUNHA, T. J. F.; TEIXEIRA, A. H. de C.; ANGELOTTI, F.; DRUMOND, M. A. Processos de desertificação no Semiárido brasileiro. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 127-158.

SANTORO, J. Erosão Continental. In.: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. (orgs.). **Desastres Naturais: Conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 53-70.

SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. do S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista Geografia**. v. 22, n. 01, p. 90-112, 2005. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228637/23060>>. Acesso em: 11, set. 2020.

SILVA, J. R. I.; SOUZA, E. S. de; SANTOS, E. S. dos; ANTONINO, A. C. D. Efeito de diferentes usos do solo na erosão hídrica em região semiárida. **Revista Engenharia na Agricultura**. V.27, n.3, p.272-283, 2019.

SOUSA, F. R. C. De; PAULA, D. P. de. Análise de perda do solo por erosão na bacia hidrográfica do Rio Coreaú (Ceará-Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.20, n.3, p. 491-507, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i3.1393>.

WEILL, M. de A. M.; PIRES NETO, A. G. Erosão e Assoreamento. In. SANTOS, R. F. dos. **Vulnerabilidade ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?**. Capítulo 4. Brasília: MMA, 2007. p. 39-60.

XAVIER, J. P. S., BARROS, A. H. C., WEBBER, D. C., ACCIOLY, L. J. O., MARQUES, F. A., ARAÚJO FILHO, J. C., SILVA, A. B. Estimativa da erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.12, n.03, p. 859-875, 2019.