

O estudo da erosão dos solos sob uma concepção sistêmica

The study of soil erosion under a systemic conception

Inocencio de Oliveira Borges Neto^{*}, Leonardo José Cordeiro Santos^{*}, Dirce Maria Antunes Suertegaray^{**}, Rafael Albuquerque Xavier^{***}

^{*} Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, e-mails: iobngpb@gmail.com; santos.ufpr@gmail.com

^{**} Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: dircesuerte@gmail.com

^{***} Departamento de Geografia, Universidade Estadual da Paraíba, e-mail: xavierra@uol.com.br

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v57i0.87037>

Resumo

O presente artigo objetivou compreender como os processos erosivos podem ser analisados, sob uma visão sistêmica. Sendo assim, aqui considera-se a erosão dos solos um fenômeno de ocorrência natural, que pode (e geralmente é) ser influenciado pelas atividades antrópicas, se configurando como um dos principais problemas ambientais do planeta, além de ser o principal agente modelador da superfície terrestre. As consequências da atuação acelerada dos processos erosivos são inúmeras, como por exemplo: redução da fertilidade natural e capacidade produtiva dos solos; assoreamento e poluição dos corpos hídricos; empobrecimento das comunidades rurais, êxodo rural, entre muitos outros. Entender a dinâmica deste fenômeno, se torna fundamental, pois, a compreensão da sua abrangência espaço-temporal associada com o conhecimento dos possíveis problemas que podem vir a ocorrer com sua atuação acelerada, fornece subsídios para a elaboração de gestões sustentáveis, deste recurso tão valioso, haja vista que, os solos são o 'alicerce' da fauna, flora, e principalmente da subsistência humana. Os procedimentos analíticos deste manuscrito, estão fundamentados na construção de um sistema baseado em um estudo de caso, exemplificando como a abordagem sistêmica pode ser desenvolvida nos estudos dos processos erosivos. Ao analisar a erosão dos solos sob uma abordagem sistêmica, foi possível observar como os diversos fluxos de matéria e energia ocorriam entre as variáveis, explicitando a importância de compreender os processos erosivos de forma integrada, evitando interpretações fragmentadas e reducionistas.

Palavras-chave:

Abordagem Sistêmica, Processos Erosivos, Semiárido.

Abstract

This article aimed to understand how erosion processes can be analyzed from a systemic point of view. Therefore, soil erosion is considered here as a naturally occurring phenomenon, which can (and usually is) influenced by human activities, constituting one of the main environmental problems of the planet, in addition to being the main modeling agent of the terrestrial surface. The consequences of the accelerated action of erosion processes are numerous, such as: reduction of

natural fertility and productive capacity of soils; silting and pollution of water bodies; impoverishment of rural communities, rural exodus, among many others. Understanding the dynamics of this phenomenon becomes fundamental, because the understanding of its spatio-temporal scope associated with the knowledge of the possible problems that may occur with its accelerated performance, provides subsidies for the elaboration of sustainable management, of this so valuable resource, given that the soils are the 'foundation' of the fauna, flora, and mainly of human subsistence. The analytical procedures of this manuscript are based on the construction of a system based on a case study, exemplifying how the systemic approach can be developed in the studies of erosive processes. By analyzing soil erosion from a systemic approach, it was possible to observe how the different flows of matter and energy occurred between the variables, explaining the importance of understanding erosion processes in an integrated way, avoiding fragmented and reductionist interpretations.

Keywords:

Systemic Approach, Erosive Processes, Semiarid.

I. INTRODUÇÃO

Os processos erosivos são mecanismos naturais que ocorrem na superfície terrestre, conduzidos por uma combinação complexa de fatores, onde, o ser humano, por meio de suas atividades, tem colaborado significativamente para alterar a intensidade e a dispersão da sua ocorrência (GUERRA et al., 2017; MARTÍNEZ-MENA et al., 2020; XAVIER et al., 2016).

Brady e Weil (2013) afirmam que o uso dos solos pelos seres humanos associado com outras atividades, durante a segunda metade do século XX, degradou cerca de 5 bilhões de hectares (43% do globo). A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (*Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO*), estima que até 2050 serão perdidos cerca 1,5 milhões de km², caso não exista uma preocupação em termo de ações que possibilitem uma utilização sustentável dos solos (FAO, 2019).

Vários são os problemas oriundos da atuação acelerada dos processos erosivos, como: emissão de CO₂ para a atmosfera (LAL, 2018; OLSON et al., 2016); perda de nutrientes essenciais ao desenvolvimento da fauna e flora, como por exemplo o Carbono e o Nitrogênio (CHARTIER; ROSTAGNO; VIDELA, 2013; WOLKA et al., 2021); poluição e assoreamento dos rios e reservatórios (BAKKER et al., 2005); diminuição na capacidade de infiltração e retenção de água nos solos (SANTOS et al., 2016); destruição de habitats naturais (PRINCE et al., 2018); aceleração do processo de desertificação (MIRZABAEV et al., 2019; UNCCD, 2017) e etc.

As consequências advindas da intensa atuação dos processos erosivos, podem ser irreparáveis, para o solo, para as águas, para o ambiente e conseqüentemente para a própria sociedade. Por exemplo, civilizações como a Mesopotâmica e Egípcia (no Oriente Médio) e Maias (na Mesoamérica) declinaram tendo a dinâmica

erosiva com sendo um dos principais fatores condicionantes (DOTTERWEICH, 2013; HILLEL, 1991; MONTGOMERY, 2007; VANWALLEGHEM, 2017).

Outros exemplos como o empobrecimento das comunidades locais/rurais (PRINCE et al., 2018), o abandono da terra seguida do êxodo rural (SHRESTHA; SURIYAPRASIT; PRACHANSRI, 2014), além de seus efeitos econômicos, sociais, culturais, produtivos e ambientais (SANTOS et al., 2016), interferem diretamente na resiliência do ambiente e no cotidiano das sociedades (BLAIKE, 1985; FAO, 2019).

Segundo Loureiro et al., (2022), Parsons (2019) e Poesen (2018) a maioria dos estudos que abordam a dinâmica dos processos erosivos, são baseados em metodologias/técnicas como: a modelagem com o geoprocessamento (BORRELLI et al., 2017; 2020); laboratoriais, por meio de radionuclídeos como o céσιο-137 (CORRÊA; AZAMBUJA, 2020); e, analógicas como é o caso dos monitoramentos e/ou experimentos realizados em campo (GUERRA, 2005; MORGAN, 2005).

Toda essa ampla diversidade de metodologias/técnicas para a análise dos processos erosivos é importante e válida, mas segundo Parsons (2019), elas precisam levar em consideração todas as conexões das variáveis que controlam a dinâmica. Sob um viés sistêmico, isso significa dizer que, é necessário compreender como ocorrem as trocas de matéria e energia, através de suas (inter)relações.

Sendo assim, é imprescindível para o ordenamento e gestão dos espaços (principalmente rurais), compreender a abrangência espaço-temporal dos processos erosivos e dos problemas advindos de sua atuação intensificada pelas intervenções humanas. Seguindo esta perspectiva, entende-se que o meio ambiente deve ser analisado como um conjunto de elementos interligados, que realizam troca de matéria e energia (abordagem sistêmica)¹.

Para confirmar a importância dessa proposição analítica, Thornes e Brunsden (1977 *apud* FALCÃO, 2020), afirmaram que a utilização de uma abordagem sistêmica em estudos de processos, é devidamente apropriada e será cada vez mais importante ao estabelecer a resposta para esses processos.

Falcão (2020), Huggett (2007) e Marques Neto e Oliveira (2022) de modo geral, ainda reforçam que, o estudo dos processos a partir da abordagem sistêmica, permite ao pesquisador levar em consideração as

¹ Não foi realizada uma descrição detalhada sobre a historicidade dessa proposta teórica-conceitual-metodológica, haja vista que, o objetivo deste trabalho foi de realizar a construção de um sistema, a partir de um estudo de caso sobre processos erosivos, evidenciando as principais trocas de matéria e energia ocorridas entre as variáveis do estudo escolhido. E por entender que já existe uma vasta bibliografia que descreve as origens, os caminhos preferencialmente percorridos e os principais tipos de sistemas. Por exemplo: Bertalanffy (2014), Chorley (1962), Chorley e Kennedy (1971), Christofolletti (1979, 1980, 1999), Gregory (1992), Haigh (1985), Huggett (2007), Limberger (2006), Marques Neto (2008), Marques Neto e Oliveira (2022), Scheidegger (1992), Silva e Leite, (2020), Strahler (1980), Vale (2012), Vicente e Perez Filho (2003).

conexões e a complexidade dos elementos que compõem, dinamizam e governam os processos erosivos, pois, a análise fragmentada do fenômeno acima aludido, tende a gerar inúmeros problemas na construção do conhecimento devido ao seu aspecto reducionista.

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo demonstrar como os processos erosivos podem ser analisados, sob uma concepção sistêmica.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Este artigo resulta de uma análise dos processos erosivos utilizando os pressupostos teórico-metodológico da abordagem sistêmica. Para tal, foi construído um esquema sistêmico, a partir de um estudo de caso (BORGES NETO, 2021), para correlacionar, como algumas das principais variáveis interagem entre si e com o ambiente circundante, ao trocar matéria e energia, na dinâmica erosiva dos solos.

Sendo assim, os procedimentos metodológicos foram divididos nas seguintes etapas:

- 1ª Etapa: consistiu na busca e, posterior leitura, de referencial teórico relevante à abordagem sistêmica. Todas as buscas foram realizadas em plataformas digitais (Google Acadêmico e Portal de Periódicos da CAPES) e em bibliotecas universitárias;
- 2ª Etapa: baseando-se na leitura das referências selecionadas na etapa anterior, elaborou-se uma revisão da literatura;
- 3ª Etapa: associando o estudo de Borges Neto (2021) com a revisão da segunda etapa, construiu-se didaticamente o modelo sistêmico.

Com isso dividiu-se os resultados em duas partes: a primeira - “*A abordagem sistêmica no estudo dos processos erosivos*” -, é uma revisão da literatura que explicita a importância dessa propositura teórico-metodológica para os estudos dos processos erosivos; e a segunda - “*A análise dos processos erosivos sob uma ótica sistêmica*” -, busca demonstrar como as principais variáveis (solos e usos) se comportam em meio a dinâmica de entrada (*input*) e saída (*output*) de matéria e energia no sistema.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A abordagem sistêmica no estudo dos processos erosivos

A abordagem sistêmica é uma visão integradora e dinâmica dos elementos que compõe o todo, constituindo uma unidade, com isso, os fenômenos que se manifestam no espaço podem interagir, convergindo para a manutenção ou alteração dos sistemas (OTTO; MORAIS, 2019).

Gregory (1992) considera a abordagem sistêmica como uma metodologia unificadora para a Geografia e eficaz para ser utilizada em trabalhos com foco nos solos e seus processos. O autor supracitado, ainda afirma que nos ramos da Geografia Física a abordagem sistêmica foi empregada como parte de uma base essencial para o estudo de bacias hidrográficas, de canais fluviais, entre outros, e tem sido implementada como instrumento básico para as análises de outros campos geomorfológicos.

Chorley (1962) chama a atenção para a importância da abordagem sistêmica nos estudos dos processos erosivos, segundo ele, a erosão é um importante agente esculptor das paisagens, principalmente do relevo, a qual pode ser entendida como um processo que ocorre em um sistema aberto, pois necessita de constante suplementação e remoção de material e energia para sua existência. Perante tal realidade, é fundamental o entendimento da dinâmica de entrada (*input*) e saída (*output*) de matéria e energia (FALCÃO, 2020; LISBOA et al., 2020).

Ao se empregar uma abordagem sistêmica (como sistemas abertos), na análise da dinâmica erosiva, é necessário compreender os solos como um produto oriundo de uma complexa interação entre outras variáveis – como por exemplo: embasamento geológico, topografia, clima, cobertura vegetal, posição geográfica, tempo, entre outros fatores (GUERRA; MENDONÇA, 2004; MORGAN, 2005; SCHAETZL; ANDERSON, 2005). Pois, os solos estão constantemente ajustando-se, às diversas formas, de variação dos fluxos de massa e energia, gradientes termodinâmicos e outras condições ambientais exógenas (GERRARD, 1992; SCHAETZL; ANDERSON, 2005).

De acordo com Guerra e Mendonça (2004), no interior de um sistema, os materiais podem ser transportados de um local para outro, ou ter suas propriedades físicas alteradas por reações químicas. Por isso, alguns elementos são mais importantes do que outros, no controle da formação dos solos (SCHAETZL; ANDERSON, 2005), e seus respectivos agentes modeladores - principalmente a erosão (FAO, 2019; GUERRA, 1994; GUERRA et al., 2017; MORGAN, 2005).

Todavia, com o objetivo de facilitar o entendimento da dinâmica erosiva, por meio de uma abordagem sistêmica, neste estudo, pauta-se a esta análise utilizando como exemplo, a erosão hídrica. Esse tipo de erosão, conforme Mafra (2007), consiste essencialmente numa sequência de transferências de matéria e energia, causadas por um desequilíbrio do sistema água-solo-cobertura vegetal, resultando numa perda progressiva de solo.

Ainda, Mafra (2007) explica que, quando a energia da precipitação é aplicada à superfície do terreno, a partir de um limite de resistência ao cisalhamento, iniciam-se as permutas de matéria, por processos de

desestabilização dos agregados do solo, de movimentação e transporte das partículas para as áreas mais rebaixadas do relevo.

Consequentemente, por intermédio da atuação conjunta desses processos de matéria e energia, que são os processos erosivos de natureza hídrica, as camadas mais superficiais do solo – normalmente as mais férteis (BORRELLI et al., 2017; FAO, 2019; MIRZABAEV et al., 2019) – são removidas, reduzindo a espessura dos perfis de solo (MAFRA, 2007).

Na erosão hídrica, a mais importante entrada (input) de matéria (água), é condicionada pelas características das chuvas e pelas propriedades intrínsecas do solo, visto que, são essas interações que definem as formas de circulação da água (por exemplo: escoamento, e infiltração), e sua capacidade de alterar os sistemas.

FAO (2019), Guerra (1991; 1994), Morgan (2005) e Vanwalleghem (2017), evidenciam em suas respectivas obras que, as propriedades do solo mais importantes para os estudos dos processos erosivos, são a estabilidade dos agregados e o conteúdo de matéria orgânica do solo, pois essas propriedades são essenciais para o controle da dinâmica erosiva.

Por exemplo, solos com boa agregação e teor de matéria orgânica, basicamente apresentam alta permeabilidade e proteção contra o impacto das gotas da chuva, com isso, reduzem as taxas de escoamento superficial, logo, favorecem o armazenamento de água no interior do próprio solo, interferindo na distribuição temporal e nas relações entre fluxo superficial e subsuperficial, principais vias de circulação de matéria (GUERRA, 1994; MORGAN, 2005; ZAVOIANU, 1985 *apud* FALCÃO, 2020).

Outra variável vital para a compreensão sistêmica dos processos erosivos é a cobertura vegetal. Muitos são os estudos relacionados à erosão dos solos, que destacam o papel da cobertura vegetal, no controle dos processos erosivos, haja vista que, áreas que ainda detêm fragmentos de sua vegetação nativa, tendem a erodir menos (BORRELLI et al., 2020), do que terrenos com solo exposto ou com monoculturas (XAVIER et al., 2016).

O fato mencionado anteriormente, está diretamente relacionado com a capacidade da cobertura vegetal nativa dos seus diversos estratos arbóreos, em reduzir o impacto direto com o solo das gotas da chuva e o escoamento, então, favorecendo a infiltração e retenção de água no solo, ao contrário das áreas de solo exposto e/ou monoculturas, que na grande maioria das pesquisas com foco na erosão dos solos, detêm os maiores índices de material erodido.

Pode-se destacar, outro elemento, como a capacidade de transporte e seletividade do material erodido. Falcão (2020), afirma que, a carga de sedimentos é a taxa de transporte efetiva ou vigente, sendo que ela pode

ser tanto maior quanto menor do que a capacidade de transporte, além é claro, da sua seletividade quando se refere aos processos erosivos superficiais, visto que, conforme Chartier, Rostagno e Videla (2013), Lal (2018), Olson et al. (2016), Martínez-Mena et al. (2020) e Wolka et al. (2021), tais processos tendem a remover seletivamente nutrientes, como por exemplo: Carbono e Nitrogênio, e as partículas mais finas e leves (argilas) que são mais vulneráveis do que as partículas maiores.

Falcão (2020) compreende que essas interpretações detêm um entendimento sistêmico, pois, quando a carga de sedimentos extrapola a capacidade de transporte, ocorre sua deposição numa taxa proporcional à diferença entre a capacidade de transporte e aquela carga, então, a deposição diminui a carga de sedimentos, acumulando-se sobre as superfícies mais rebaixadas do relevo, logo, essas áreas de acumulação, normalmente, contarão com maiores teores de nutriente e partículas de solo.

A análise dos processos erosivos sob uma ótica sistêmica

Um interessante exemplo de construção sistêmica, tendo como principal problemática a erosão dos solos, pode ser utilizado quando se analisa o trabalho de Borges Neto (2021), que, ao estudar a dinâmica hidro-erosiva em zona semiárida, mais especificamente no Cariri paraibano (Figura 1) identifica algumas relações de troca de matéria e energia (Figura 2).

Antes de falar sobre o esquema sistêmico aqui proposto, é importante realçar as principais características do estudo utilizado como referência, assim como de sua área (BORGES NETO, 2021). Nesta região, o embasamento geológico é predominantemente cristalino (CPRM, 2002; 2020). O relevo varia de plano a suavemente ondulado no interior do Planalto da Borborema (CORRÊA et al., 2010). O Cariri paraibano é uma das regiões mais secas do Brasil, onde o domínio semiárido apresenta uma precipitação média anual de 350 mm, evapotranspiração potencial de quatro vezes maior que a precipitação e temperatura média de 27 °C (KAYANO; ANDREOLI, 2009). A cobertura vegetal – Caatinga – possui grande biodiversidade endêmica (APG, 2016). Arbustos, árvores de 3 a 9 m de altura que perdem suas folhas sazonalmente, cactos e gramíneas adaptadas as condições semiáridas cobrem parcialmente o solo (SANTOS et al., 2012).

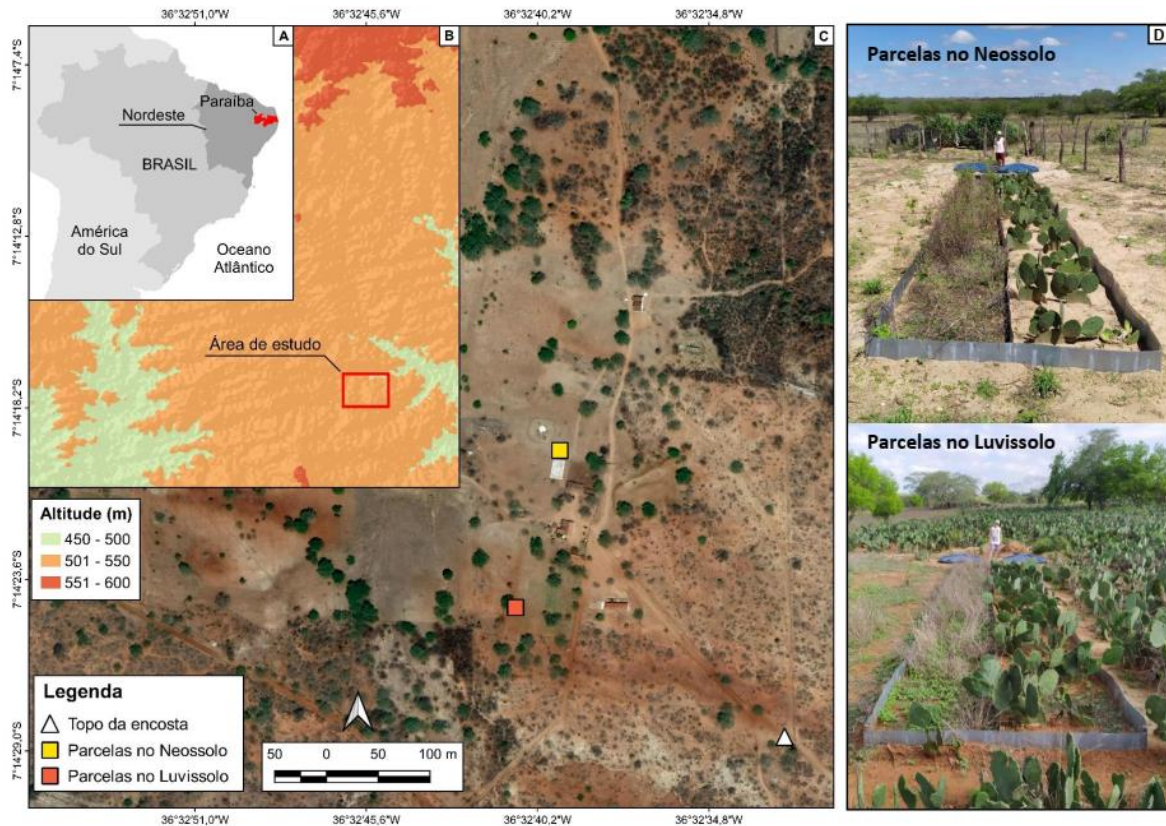


Figura 1 – Localização da área de estudo (A), distribuição das parcelas de acordo com a altitude (B), localização das parcelas na encosta (C) e visualização das parcelas (D). Fonte: Google Earth (2023), IBGE (2020) e JAXA (2020). Elaboração própria, 2023.

Historicamente, a ocupação do Cariri paraibano iniciou-se nas margens dos rios no século XVI (RIETVELD, 2009). No século XVII, a coroa portuguesa permitiu a colonização e a prática da pecuária e da agricultura de milho, feijão e algodão (SOUZA; SOUZA, 2016). Paralelamente ao declínio da cotonicultura a partir da década de 1980, ocorre a expansão da pecuária, principalmente caprina, e a urbanização. Atualmente, a densidade de caprinos supera a densidade populacional em vários municípios (ALMEIDA, 2012). O cultivo da palma forrageira acompanha a expansão da pecuária como alimento para o gado devido sua resistência à seca (ARAÚJO et al., 2019).

Vale destacar que Borges Neto (2021), teve como objetivo, verificar o comportamento de duas classes de solos e em diferentes usos frente a erosão laminar. O estudo foi realizado nas duas classes de solos mais representativas da região – os Neossolos e os Luvissois, representando respectivamente, 29,14% e 64,68% da extensão do Cariri paraibano –, em condições de relevo com declividade suave – cerca de 5° –, intensidade e quantidade de precipitação semelhantes, além de padronização do manejo dos usos – a cultura da palma foi escolhida por ser resistente e servir de forragem aos animais nos períodos de estiagens, e o pousio para

representar uma área em processo de descanso. Chama-se ainda a atenção para a utilização, neste estudo, das parcelas hidro-erosivas ou experimentais, conforme Guerra (2005), para monitoramento da erosão laminar.

No esquema organizado (Figura 2), a precipitação constitui a variável independente, aquela que dá início a dinâmica do sistema (*input*), por fornecer matéria e energia. Numa perspectiva generalista, sabe-se que quando a água da chuva chega próximo da superfície terrestre, parte dela é interceptada pela cobertura vegetal ou pelos diferentes usos da terra, que por sua vez, minimizam a velocidade e o impacto das gotas da chuva nos solos. Desta forma, as taxas de infiltração se elevam, os índices de escoamento diminuem, e conseqüentemente ocorre uma redução nas taxas erosivas.

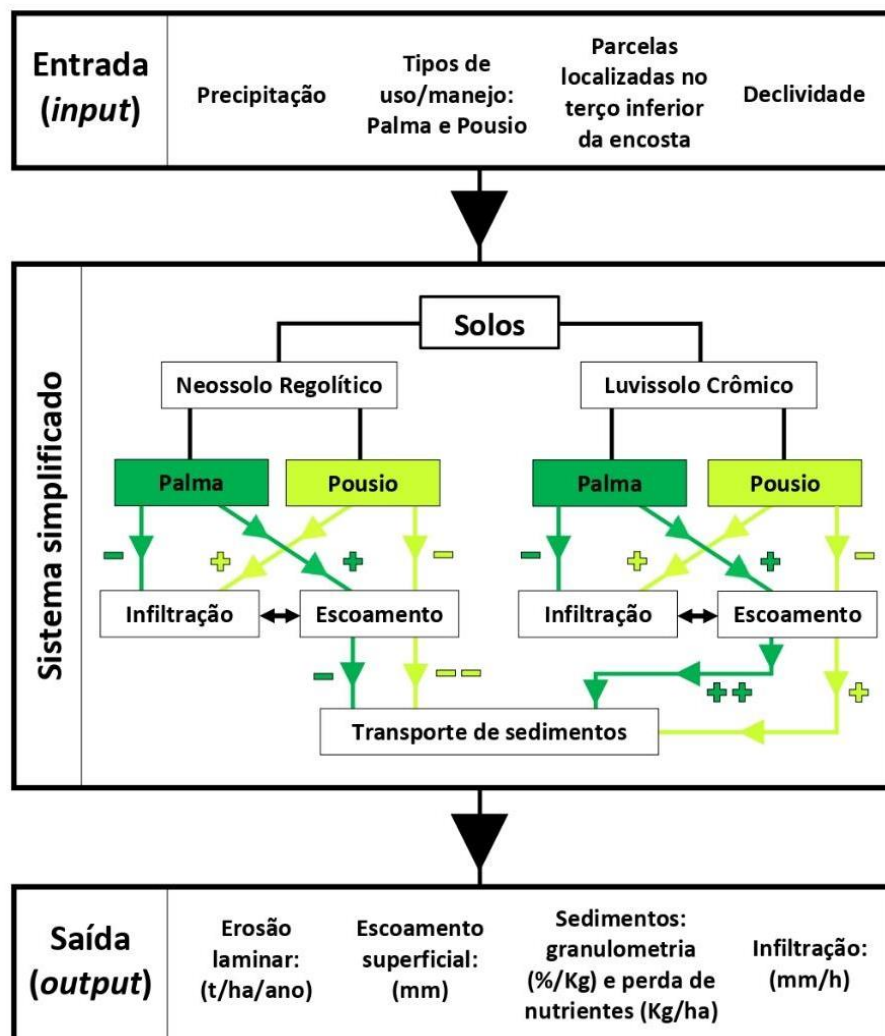


Figura 2 – Exemplo simplificado de construção sistêmica para o estudo da erosão laminar. Legenda: "--" muito baixo; "-" baixo; "+" alto; "++" muito alto; "t" toneladas; "ha" hectare; "mm" milímetros; "%" porcentagem; "Kg" quilos; "h" hora. Fonte dos dados: Borges Neto (2021). Elaboração própria, 2022.

O contrário ocorre quando não existe cobertura vegetal, seja ela natural ou oriunda dos diferentes usos da terra. Neste caso, a água da chuva entra em contato direto com o solo (efeito *splash*), que desagrega e dispersa suas partículas, favorecendo a redução das taxas de infiltração, logo observa-se um aumento do escoamento e da erosão.

No entanto, quando se leva em consideração os dados encontrados/gerados por Borges Neto (2021)², constata-se que os diferentes processos e variáveis, quando comparados, revelaram resultados bastante diversos. Sendo assim, ao descrever o esquema da Figura 2, tem-se o seguinte:

- Entrada (input): O início da dinâmica sistêmica ocorre com o recebimento de matéria e energia das variáveis de precipitação, tipos de uso – palma e pousio, posição topográfica – terço inferior da encosta, e, declividade;
- Sistema simplificado: No sistema “solos” foi onde se deu às relações entre as variáveis e processos, evidenciando os principais fluxos (de matéria e energia) e suas respectivas respostas.

Os resultados mostraram que, independentemente do tipo de solo, o uso da Palma gerou mais escoamento (+ = alto) e menos infiltração (- = baixo), enquanto no Pousio, observou-se o contrário, ou seja, mais infiltração (+ = alto) e menos escoamento (- = baixo).

Num segundo momento, verificou-se que as taxas de escoamento dos usos sobre o Luvissole Crômico tiveram os maiores valores, principalmente em relação ao uso da Palma (++ = muito alto), favorecendo, em tese, a maior capacidade de transporte de material. No Neossolo Regolítico as taxas de escoamento foram menores, destacando-se o uso de Pousio (-- = muito baixo), com a menor capacidade de transporte de todo o sistema.

- Saída (output): A saída reflete os produtos oriundos das diversas trocas de matéria e energia no interior do sistema. Então averiguou-se que o Neossolo Regolítico, mesmo com menores taxas de escoamento (-- = Pousio e - = Palma), contou com os maiores valores de erosão. Isto pode estar atrelado ao fato do Neossolo Regolítico ser muito incipiente – pedogeneticamente menos desenvolvidos que o Luvissoles Crômico –, de textura franco-arenosa e apresentar fraca estruturação, reduzida capacidade de manutenção de Carbono (C) em seu interior, inviabilizando a formação de agregados mais estáveis, influenciando diretamente na seletividade dos sedimentos perante a dinâmica erosiva. Por isto os sedimentos erodidos deste solo, obtiveram predominantemente uma granulometria de areia grossa e fina, além dos maiores teores de Carbono (C) e Nitrogênio (N). Já o Luvissole Crômico por comportar

² Para visualizar os dados detalhadamente sugere-se consultar também Borges Neto et al. (2023).

maiores teores de argila em sua formação e deter uma forte estruturação e maior estabilidade dos agregados, possibilita uma maior resistência às mudanças de uso/cobertura impostas por atividades antrópicas. A granulometria dos sedimentos oriundos da erosão deste solo, caracterizam-se pela fração fina (argila e silte), além dos menores teores de C e N. Porém, mesmo erodindo menos, o Luvisolo Crômico contou com os maiores valores de escoamento (++ = Palma e + = Pousio), tal fato, pode estar relacionado com a natureza das argilas que compõem esse solo, argilas expansivas (do tipo 2:1), essas argilas se expandem quando úmidas (menos infiltração e mais escoamento) e se retraem quando secas (mais infiltração e menos escoamento). O uso da Palma no Neossolo Regolítico, obteve os maiores índices de erosão, já sobre o Luvisolo Crômico, esse uso, contou com as maiores taxas de escoamento. Quando se analisa os dados coletados do Pousio, fica evidente sua capacidade em mitigar as taxas de escoamento e da erosão. Ressalta-se que o cultivo da Palma é uma atividade muito importante e representativa para o semiárido brasileiro, pois está diretamente ligada a pecuária, servindo como forragem durante os longos períodos de estiagem da região, e conseqüentemente à sobrevivência das famílias, mas que se manejada de forma inadequada tende a degradar intensamente os solos (ARAÚJO et al., 2019).

Essas entre tantas outras considerações, só foram possíveis analisando-se os processos erosivos sob uma visão sistêmica. Mesmo que o esquema sistêmico (Figura 2), baseado no estudo de Borges Neto (2021), seja generalizado e simplificado, ele de certa forma representa as interações dos principais elementos que geraram e controlaram a dinâmica da erosão laminar, mostrando que, o estudo dos processos erosivos é mais fácil de ser compreendidos numa lógica sistêmica, visto que, a análise fragmentada tende a não contribuir para a compreensão totalizadora do fenômeno.

Diante de tudo que foi exposto, sabe-se que muitas são as interações sistêmicas que desencadeiam e regem os processos erosivos. As interpretações descritas anteriormente são apenas alguns exemplos, dos vários que se podem ter ao se analisar sistemicamente a dinâmica erosiva dos solos. Para tanto, Guerra (1991) adverte que qualquer que seja a extensão, o quadro sistêmico precisa permitir a vinculação do aporte teórico, conceitual e metodológico, estando aberto à testagem empírica, como são feitos nos modelos mistos de mensuração e análise.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O exercício de construção sistêmica aqui apresentado (Figura 2), auxilia a visão da interação entre diversos processos e variáveis, por meio de troca de matéria e energia, e possibilitam a criação de uma robustez

teórica-conceitual-metodológica que lhe permitem expandir sua área de atuação, se tornando cada vez mais importante nos debates ambientais, nas tomadas de decisão e nas ações executoras voltadas para as mais diversas ações restaurativas e/ou para a coexistência mais sustentável com o meio ambiente.

Neste estudo em específico, ressalta-se que a abordagem sistêmica, que se propõe (holística) reflete uma construção da totalidade a partir dos objetivos do estudo, a exemplo da pesquisa sobre processos erosivos aqui utilizada (BORGES NETO, 2021). Esta permite uma compreensão mais ampliada, entretanto, não expressa a complexidade do real. Todo o conhecimento sobre a realidade é algo inalcançável, sob qualquer abordagem metodológica.

Perante tudo que foi relatado, ressalta-se, que, a abordagem sistêmica agregada nos estudos dos processos erosivos, além de buscar a interpretação da complexidade, que, esclarece a organização de um sistema espacial, – conforme as interações que se processam entre os atributos formadores e que lhes confere caráter dinâmico e não-linear – tem vasto potencial em pesquisas que almejam avaliar a instabilidade morfodinâmica do meio ambiente.

V. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, N. V. Ordenamento territorial geoambiental da bacia Hidrográfica do rio Taperoá/semiárido paraibano. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal Fluminense, 2012, 238 p.
- APG. The Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 181, n. 1, p. 1-20, 2016.
- ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LIRA, E. C.; FÉLIX, E. S.; SOUZA, J. T. A; LIMA, W. B. Palma forrageira: plantio e manejo. Campina Grande: INSA, 2019, 60 p.
- BAKKER, M. M.; GOVERS, G.; KOSMAS, C.; VANACKER, V.; VAN OOST, K.; ROUNSEVELL, M. Soil erosion as a driver of land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Amsterdam, v. 105, n. 3, p. 467-481, 2005.
- BERTALANFFY, L. Teoria Geral dos Sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. Tradução de Francisco M. Guimarães. 8ª ed. Petrópolis-RJ: Vozes, 2014, 360 p.
- BLAIKIE, P. The political economy of soil erosion in developing countries. Nova York, Longman Group Limited, 1985, 200 p.
- BORGES NETO, I. O. Processos hidro-erosivos em distintas classes de solo sob diferentes tipos de uso em zona semiárida. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021, 141 p.
- BORGES NETO, I. O.; XAVIER, R. A.; SOUZA, B. I.; SANTOS, L. J. C.; SOARES, D. A.; SOUZA, J. J. L. L. Preliminary experimental data on surface runoff and soil loss in the Caatinga. *Earth Surface Processes and Landforms*, Accepted Author Manuscript, p. 1-12, 2023.
- BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; PANAGOS, P.; LUGATO, E.; YANG, J. E.; ALEWELL, C.; WUEPPER, D.; MONTANARELLA, L.; BALLABIO, C. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-

- 2070). Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 117, n. 36, p. 21994-22001, 2020.
- BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; FLEISCHER, L. R.; LUGATO, E.; BALLABIO, C.; ALEWELL, C.; MEUSBURGER, K.; MODUGNO, S.; SCHÜTT, B.; FERRO, V.; BAGARELLO, V.; OOST, K. V.; MONTANARELLA, L.; PANAGOS, P. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, v. 8, p. 13, 2017.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. Tradução técnica; Igo Fernando Lepsch. 3^a Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013, 686 p.
- CHARTIER, M. P.; ROSTAGNO, C; M.; VIDELA, L. S. Selective erosion of clay, organic carbon and total nitrogen in grazed semiarid rangelands of northeastern Patagonia, Argentina. *Journal of Arid Environments*, v. 88, p. 43-49, 2013.
- CHORLEY, R. J. Geomorphology and general systems theory. In: U.S. Geol. Survey prof. paper, v. 500-B, p. 1-10, 1962.
- CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. *Physical Geography: a systems approach*. Londres: Prentice Hall Inc. Co., 1971, 370 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Análise de Sistemas em Geografia*. São Paulo: Hucitec-Edusp, 1979, 106 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2^a Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980, 189 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de sistemas ambientais*. 1^a Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999, 256 p.
- CORRÊA, A. C. B.; AZAMBUJA, R. N. Dinâmica superficial numa bacia de drenagem semiárida mediante o uso do céσιο-137: estudo de caso da Bacia do Riacho Salgado-PE. *Geosp – Espaço e Tempo (On-line)*, v. 24, n. 2, p. 381-406, 2020.
- CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do planalto da Borborema. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*, 31 (1/2), p. 35-52, 2010.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil. Carta Geológica – Folha: SB.24-Z-D-III BOQUEIRÃO. Escala: 1:100.000, 2002.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil. Carta Geológica-Geofísica – Folha: SB.24-Z-D-II JUAZEIRINHO. Escala: 1:100.000, 2018.
- DOTTERWEICH, M. The history of human-induced soil erosion: Geomorphic legacies, early descriptions and research, and the development of soil conservation - A global synopsis. *Geomorphology*, v. 201, n. 1, p. 1-34, 2013.
- FALCÃO, C. L. C. A Teoria Geral dos Sistemas e o entendimento dos processos erosivos em uma bacia hidrografia. *Revista Equador (UFPI)*, v. 9, n. 4, p. 21-39, 2020.
- FAO. *Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management*. Rome, 2019, 89 p.
- GERRARD, J. *Soil Geomorphology – An Integration of Pedology and Geomorphology*. Londres, Chapman and Hall, 1992, 269 p.
- GOOGLE EARTH. Google Earth Pro online. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/>>. Acessado em março de 2023.
- GREGORY, K. J. *A natureza da Geografia Física*. Bertand: São Paulo, 1992, 367 p.
-

- GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 16, p. 32-37, 2005.
- GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R.; SHOKR, M. S. Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. *Pedosphere*, v. 27, p. 27-41, 2017.
- GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: *Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos*. (Orgs) GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. 4, p. 149-209.
- GUERRA, A. J. T. Soil characteristics and erosion, with particular reference to organic matter content. Tese de doutorado. Department of Geography King's College. London, 1991.
- GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: *Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. (Orgs.) VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, p. 225-256.
- HAIGH, M. J. *Geography and General System Theory, Philosophical Homologies and Current Practice*. *Geoforum*, v. 16 n. 2, p. 191-203, 1985.
- HILLEL, D. *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*. New York: The Free Press, 1991, 352 p.
- HUGGETT, R. J. A history of the systems approach in geomorphology. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*. v. 13, n. 2, p. 145-158, 2007.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Geociências > Organização do território > Malhas territoriais > Malha Municipal*, 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=30138>>. Acessado em agosto de 2021.
- JAXA. Japan Aerospace Exploration Agency. *ALOS Global Digital Surface Model - ALOS World 3D-30 m (AW3D30)*. 2020. Disponível em: <<https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>>. Acessado em novembro de 2021.
- KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V. Clima da região Nordeste do Brasil. In: I. F. de A. Cavalcanti; N. J. Derreira; M. G. A. J. da Silva; M. A. F. da S. Dias (Eds.); *Tempo e Clima no Brasil São Paulo: Oficina de Textos*, 2009, p. 213-234.
- LAL, R. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Wiley One Library, Global Change Biology*, v. 24. n. 8, p. 3285-3301, 2018.
- LIMBERGER, L. Abordagem sistêmica e complexidade na geografia. *Geografia*. v. 15, n. 2, p. 95-109, jul./dez. 2006.
- LISBOA, G. S.; SOUSA, P. R.; BEZERRA, J. F. R.; PEREIRA, R. C. C.; SILVA, Q. D. A epistemologia da Geografia e a abordagem sistêmica nos estudos dos processos erosivos. *Revista Percurso – NEMO, Maringá*, v. 12, n. 2, p. 5-21, 2020.
- LOUREIRO, H. A. S.; GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; PEREIRA, L. S.; GARRITANO, F. N. 19. Monitoramento da Erosão Hídrica no Brasil: Dos Métodos Manuais aos Digitais. In: *Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira*. (Orgs.) CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, M. C. V.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. 1ª Ed. Editora ICH-UnB. *União da Geomorfologia Brasileira*, 2022, 19, p. 530-563.
- MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação de uso do solo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. *Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, temas e aplicações*. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 2007, p. 301-322.
- MARQUES NETO, R. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e
-

possibilidades de aplicação. Geografia. Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências. v. 17, n. 2, jul./dez. p. 67-87, 2008.

MARQUES NETO, R.; OLIVEIRA, T. A. A Geomorfologia nos Estudos Integrados da Paisagem: Enfoque Evolutivo e Dinâmico na Interpretação dos Sistemas Geomorfológicos In: Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira. (Orgs.) CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, M. C. V.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. 1ª Ed. Editora ICH-UnB. União da Geomorfologia Brasileira, 2022, 29, p. 817-848.

MARTÍNEZ-MENA, M.; CARRILLO-LÓPEZA, E.; BOIX-FAYOS, C.; ALMAGRO, M.; GRACÍA FRANCO, N.; DÍAZ-PEREIRA, E.; MONTOYA, I.; VENTEA, J. Long-term effectiveness of sustainable land management practices to control runoff, soil erosion, and nutrient loss and the role of rainfall intensity in Mediterranean rainfed agroecosystems. *Catena*, v. 187, Stoten: 104352, p. 13, 2020.

MIRZABAEV, A.; WU, J.; EVANS, J.; GARCÍA-OLIVA, F.; HUSSEIN, I. A. G.; IQBAL, M. H.; KIMUTAI, J.; KNOWLES, T.; MEZA, F.; NEDJRAOUI, D.; TENA, F.; TÜRKEŞ, M.; VÁZQUEZ, J.; WELTZ, M. Chapter 3: Desertification. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. (Eds.) SHUKLA, P. R.; SKEA, J.; CALVO BUENDIA, E.; MASSON-DELMOTTE, V.; PÖRTNER, H. O.; ROBERTS, D. C.; ZHAI, P.; SLADE, R.; CONNORS, S.; VAN DIEMEN, R.; FERRAT, M.; HAUGHEY, E.; LUZ, S.; NEOGI, S.; PATHAK, M.; PETZOLD, J.; PORTUGAL PEREIRA, J.; VYAS, P.; HUNTLEY, E.; KISSICK, K.; BELKACEMI, M.; MALLEY, J. IPCC, 2019, 3, p. 249-343.

MONTGOMERY, D. R. *Dirt: The Erosion of Civilizations*. Berkeley, CA: University of California Press, 2007, 296 p.

MORGAN, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. Blackwell Publishing Ltd, 3ª Ed. 2005, 320 p.

OLSON, K. R.; AL-KAISI, M.; LAL, R.; CIHACEK, L. Impact of soil erosion on soil organic carbon stocks. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 71, n. 3, p. 61A-67A, 2016.

OTTO, C. S.; MORAIS, E. M. B. Reflexões sobre a análise sistêmica na geografia tendo o tema água como referência. Edição Especial - III Colóquio de Pesquisadores em Geografia Física Ensino de Geografia. *ParaOnde!?*, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 271-280, 2019.

PARSONS, A. J. How reliable are our methods for estimating soil erosion by water?. *Science of the Total Environment*, v. 676, p. 215-221, 2019.

POESEN, J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 43, p. 64-84, 2018.

PRINCE, S.; VON MALTITZ, G.; ZHANG, F.; BYRNE, K.; DRISCOLL, C.; ESHEL, G.; KUST, G.; MARTÍNEZ-GARZA C.; METZGER, J. P.; MIDGLEY, G.; MORENO-MATEOS, D.; SGHAIER, M.; THWIN, S. Chapter 4: Status and trends of land degradation and restoration and associated changes in biodiversity and ecosystem functions. In: *IPBES: Assessment Report on Land Degradation and Restoration*. (Eds.) MONTANARELLA, L.; SCHOLE, R.; BRAINICH, A. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 2018, 4, p. 221-338.

RIETVELD, Pe. J. J. *O Verde do Juazeiro: história da paróquia de São José Juazeirinho*. João Pessoa: Imprell Gráfica e Editora, 2009, 360 p.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; GUERREIRO, M. J. S.; MEDEIROS, P. H. A.; PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R. Effect of dry spells and soil cracking on runoff generation in a semiarid micro watershed under land use change. *Journal of Hydrology, Amsterdam*, v. 541, n. 4, p. 1057-1066, 2016.

- SANTOS, R. M.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; EISENLOHR, P. V.; QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D. B.; RODAL, M. J. Identity and relationships of the Arboreal Caatinga among other floristic units of seasonally dry tropical forests (SDTFs) of north-eastern and Central Brazil. *Ecology and Evolution*, v. 2, n. 2, p. 409-428, 2012.
- SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. *Soils Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press, 2005, 817 p.
- SCHEIDEGGER, A. E. Limitations of the system approach in geomorphology. *Geomorphology*, v. 5, p. 213-217, 1992.
- SHRESTHA, D. P.; SURIYAPRASIT, M.; PRACHANSRI, S. Assessing soil erosion in inaccessible mountainous areas in the tropics: The use of land cover and topographic parameters in a case study in Thailand. *Catena*, v. 121, p. 40-52, 2014.
- SILVA, D. M.; LEITE, E. F. Abordagem sistêmica e os estudos da paisagem. *Revista Pantaneira*, v. 18, Edição especial IV Workshop do PPGEQ/CPAQ/UFMS e 3ª Mostra de pesquisa dos cursos de pós-graduação e graduação em geografia, "Olhares e lugares geográficos do ensino, saúde, ambiente e sociedade na pandemia", UFMS, Aquidauana-MS, p. 14-29, 2020.
- SOUZA, B. I.; SOUZA, R. S. Processo de ocupação dos Cariris Velhos – PB e efeitos na cobertura vegetal: contribuição à Biogeografia Cultural do semiárido. *Caderno de Geografia*, v. 26, número especial 2, p. 229-258, 2016.
- STRAHLER, A. N. *Systems Theory in Physical Geography*. *Physical Geography*, v. 1, n. 1, p. 1-27, 1980.
- UNCCD. *Global Land Outlook*. First. UNCCD, Bonn, Germany, 2017, 336 p.
- VALE, C. C. Teoria Geral do Sistema: histórico e correlações com a geografia e com o estudo da paisagem. *Entre-Lugar*, Dourados-MS, ano 3, n. 6, p. 85-108, 2012.
- VANWALLEGHEM, T. *Soil Erosion and Conservation*. John Wiley & Sons, p. 1-10, 2017.
- VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem sistêmica e Geografia. *Geografia*. Rio Claro, v. 28, n. 3. p. 323-344, 2003.
- WOLKA, K.; BIAZIN, B.; MARTINSEN, V.; MULDER J. Soil and water conservation management on hill slopes in southwest Ethiopia. I. Effects of soil bunds on surface runoff, erosion and loss of nutrients. *Science of the Total Environment*, v. 757, Stoten: 142877, p. 41, 2021.
- XAVIER, R. A.; SANTOS, I. M.; DAMASCENO, J.; DORNELLAS, P. C.; BORGES NETO, I. O. Processos erosivos superficiais no município de Juazeirinho, Região Semiárida da Paraíba. *Revista do REGNE*, v. 2, Número Especial: III Simpósio de Geografia Física do Nordeste – Caicó-RN, p. 113-122, 2016.
-