BIOGEOMORFOLOGIA APLICADA À COMPREENSÃO DA DEGRADAÇÃO DO SOLO NO SEMIÁRIDO: ESTUDO NO BAIXO CURSO DO RIACHO DO NAVIO (PE)

Iami Amor d'Oxum Jansen Porto [1]
Victor Emanuel Izidio Pimentel [2]
Alissandra Trajano Nunes [3]
Kleber Carvalho Lima [4]

RESUMO

A degradação dos terrenos em ambientes semiáridos está diretamente relacionada à redução da cobertura vegetal e a intensificação dos processos erosivos, promovendo alterações na dinâmica superficial da paisagem. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo compreender os processos erosivos por meio da análise de indicadores biogeomorfológicos em uma área experimental localizada no baixo curso do Riacho do Navio, no município de Floresta (PE). Os procedimentos metodológicos envolveram levantamento de campo, imageamento aéreo com Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) e análise espacial em Sistema de Informação Geográfica (SIG). Foram analisados indicadores biogeomorfológicos como plantas em pedestal, raízes expostas e biocrostas, buscando compreender sua relação com a degradação do solo e a dinâmica erosiva. Os resultados evidenciaram a predominância de áreas com solo exposto, cobertura vegetal descontínua e ocorrência de processos erosivos superficiais associados ao escoamento difuso. As plantas em pedestal e as raízes expostas indicaram rebaixamento progressivo da superfície do solo, principalmente em setores com maior exposição e menor densidade vegetal. Já as biocrostas apresentaram contribuição para a estabilização superficial do terreno, embora tenham sido observados sinais de erosão subsuperficial em áreas com solo coberto pela crosta biológica. Assim, os indicadores biogeomorfológicos mostraram-se eficientes na interpretação da dinâmica erosiva e da degradação ambiental em ambientes semiáridos.

INTRODUÇÃO

A degradação do solo é um dos principais problemas ambientais em áreas semiáridas, principalmente quando ocorre em ambientes inseridos em bacias hidrográficas onde seu uso da terra altera a cobertura vegetal e intensificam os processos erosivos (Oliveira *et al*., 2023). Nesses locais, a combinação entre longos

[1] Graduanda do Curso de Geografia da Universidade de Pernambuco - UPE, iami.amor@upe.br;
[2] Graduando do Curso de Geografia da Universidade de Pernambuco - UPE, victor.izidio@upe.br;
[3] Doutora do Curso de C. Biológicas da Universidade de Pernambuco - UPE, alissandra.nunes@upe.br;
[4] Doutor do Curso de Geografia da Universidade de Pernambuco - UPE, kleber.carvalho@upe.br;

períodos de estiagem, solos frágeis, chuvas concentradas e práticas de usos inadequadas favorece a perda da camada superficial do solo, o surgimento de feições erosivas e a alteração na dinâmica real do relevo (Lima *et al*., 2023). No baixo curso do riacho do Navio, no município de Floresta (PE), esses processos podem ser observados de forma clara, principalmente em áreas onde a vegetação foi reduzida e o solo passou a ficar mais exposto à ação pluvial.

Nesse sentido, a vegetação exerce um papel essencial na proteção do solo, pois reduz o impacto direto das gotas de chuva, contribui para a infiltração da água e ajuda a controlar o escoamento superficial (Guida *et al.*, 2023). Quando essa cobertura vegetal é removida ou degradada, o solo fica mais vulnerável à erosão, a compactação e a formação de feições como raízes expostas e plantas em pedestal (Tabarelli *et al.*, 2025). Essas feições servem como indicadores físicos do nível original do solo antes do início do desgaste erosivo (Jesus *et al.,* 2022).

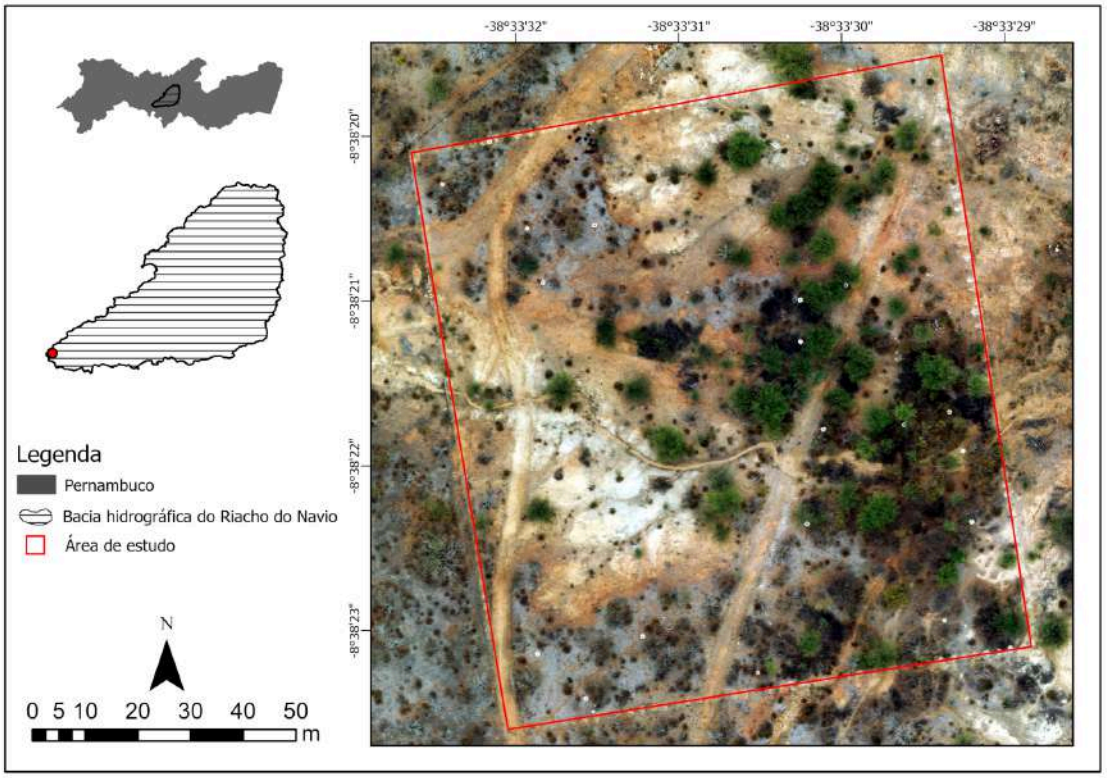
Assim, a biogeomorfologia se torna fundamental para a leitura da paisagem. Essa abordagem leva em consideração a interação entre organismos vivos, solos e as formas de relevo, permitindo compreender como fatores biológicos participam da dinâmica geomorfológica (Larsen *et al*., 2020). Em áreas degradadas, os indicadores biogeomorfológicos podem auxiliar na compreensão da intensidade da erosão, como as plantas em pedestal, as raízes expostas e as crostas biológicas do solo (CBS).

Como a erosão ocorre a partir da interação entre os fluxos hidrológicos superficiais e o terreno, a bacia hidrográfica funciona como uma unidade de análise espacial integrada, pois permite visualizar como a degradação se manifesta no terreno de maneira sistêmica. Assim, a presente pesquisa tem como objetivo compreender a atuação de indicadores biológicos de erosão em áreas afetadas por processos intensos de remoção do solo no baixo curso do Riacho do Navio, Pernambuco.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está localizada em uma área experimental situada na Fazenda Escola do Instituto Federal do Sertão Pernambucano (IFSertão), no município de Floresta (PE), baixo curso da bacia hidrográfica do Riacho do Navio (Figura 1). A área encontra-se a aproximadamente 4km da cidade. Neste setor, predomina a vegetação de caatinga em estado de degradação, entremeada com extensas áreas de solo exposto, cujos sinais de processos erosivos superficiais são evidentes. Nessas áreas há formação de caminhos preferenciais de escoamento superficial, ravinas, solos recobertos por pavimento detrítico e vegetação descontínua.

Figura 1 - Localização da área de estudo no contexto da bacia hidrográfica do Riacho do Navio (PE)



Fonte: Autores, 2026.

O imageamento da área foi realizado por meio de sobrevoos com aeronave remotamente pilotada - ARP modelo DJI Air 2S, equipado com sensor de alta resolução, durante o período seco do ano de 2025, no mês de agosto. As imagens

obtidas foram processadas no software Agisoft Metashape, permitindo a geração de ortomosaicos de alta resolução. Posteriormente, os produtos gerados foram analisados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software Arcgis Pro, possibilitando a interpretação de padrões de degradação e de feições erosivas lineares.

Em campo, foram selecionados como indicadores biogeomorfológicos as plantas em pedestal, plantas com raízes expostas e biocrostas em sua composição macro. Esses indicadores foram escolhidos por terem capacidade de evidenciar aspectos sobre as dinâmicas erosivas laminares, como o rebaixamento da superfície em sua camada superficial.

A análise das plantas em pedestal e das raízes expostas foram realizadas a partir de medições em campo, considerando a diferença entre o nível atual da superfície do solo e a base original na planta ou no sistema radicular (Verheijen *et al*., 2024). Tal procedimento permitiu estimar o rebaixamento do solo associado à ação dos processos erosivos, além de possibilitar a comparação entre diferentes pontos da área estudada.

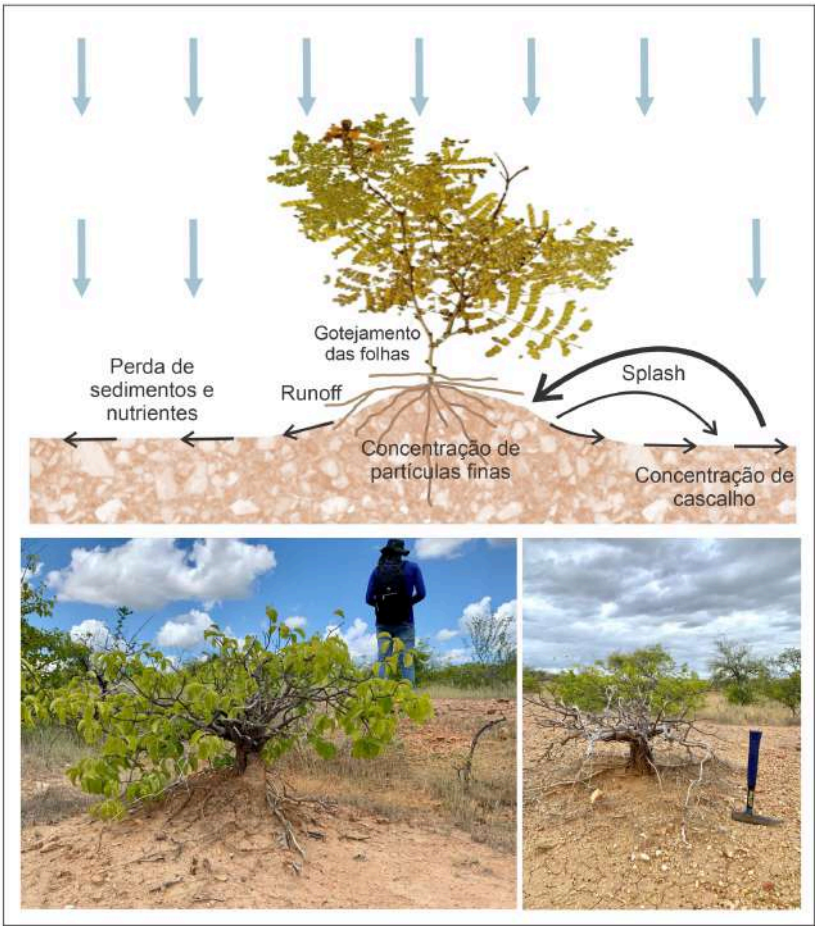
Além disso, foi delimitada uma parcela dentro da área de estudo caracterizada pela presença significativa de biocrostas e sinais de erosão nas suas bordas. Nessa área, foram instalados pinos com o objetivo de se medir os avanços dos processos erosivos ao longo do período de observação (Daley *et al.*, 2023), tanto na camada mais superficial (0-5cm) quanto em camadas subsuperficiais, aqui consideradas a partir de 5 cm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicaram a ocorrência de plantas em pedestal e plantas com raízes expostas nas áreas de exposição do solo, cujos indivíduos ocorrem de maneira isolada no terreno. Os indivíduos com a formação de pedestal e exposição de raízes corresponderam a *Cenostigma pyramidale* (Catingueira) e a *Aspidosperma pyrifolium* (Pereiro) (Figura 2), ambos com sistema radicular fasciculado.

Foram identificados diferentes níveis de desenvolvimento de pedestais, classificados como pouco expressivos (≤10cm), medianamente expressivos (10cm a 20cm) e muito expressivos (≥20cm). Os diferentes níveis de exposição indicaram a atuação de processos erosivos intensos ao longo do tempo, típicos de ambientes semiáridos. Nesse contexto, o solo no entorno das plantas é erodido pelo escoamento difuso, enquanto o solo agregado às raízes permanece protegido pelo sistema radicular. Tal situação foi colocada por Jesus *et al.,* (2022), ao analisar plantas em pedestal no semiárido da Bahia.

Figura 2 - Esquema representativo da formação de plantas em pedestal e exemplos na área de estudo.

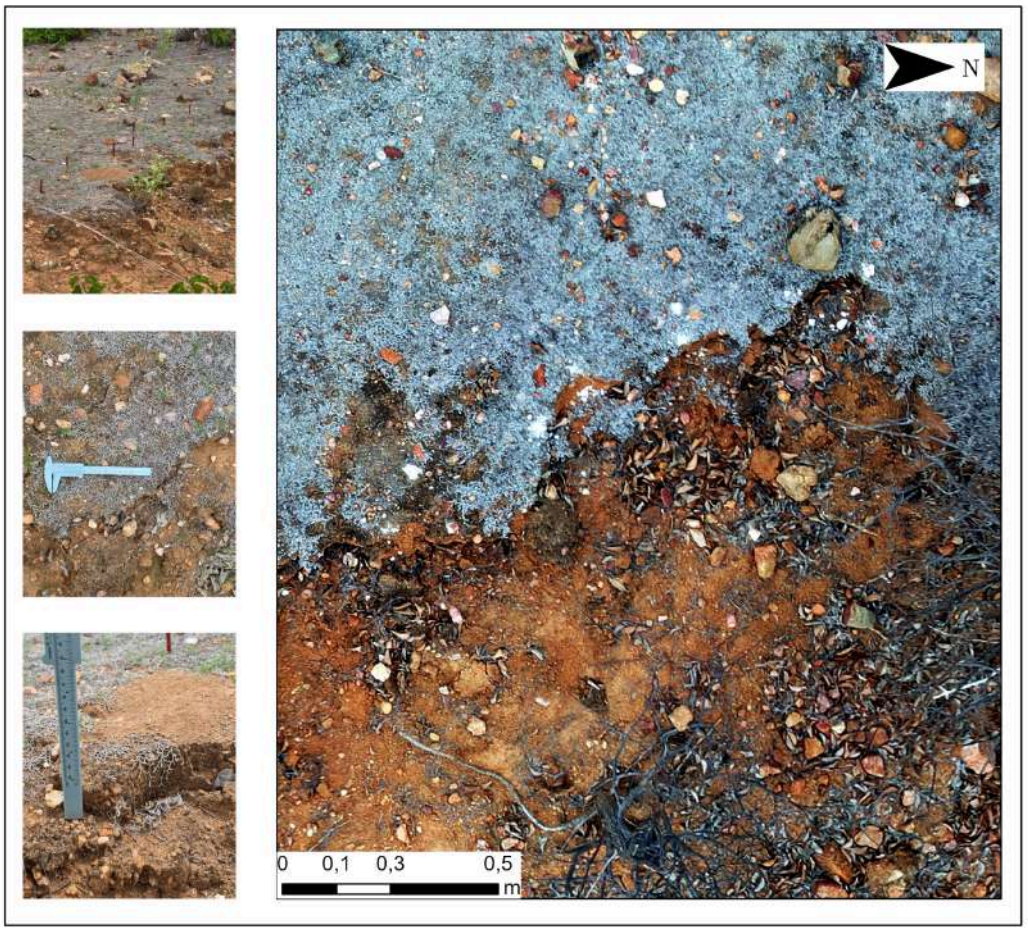


Fonte: Autores, 2025.

Por sua vez, a ocorrência de biocrostas foi observada nas áreas sem erosão, associadas à presença de pequenos arbustos representativos de *Cenostigma pyramidale, Aspidosperma pyrifolium* e *Prosopis juliflora* (Algaroba). Em sua estrutura macro, as biocrostas são compostas por Briófitas da família *Pottiaceae* e por Pteridófita da família *Selaginellaceae* (*Selaginella sellowii Hieron*) (Oliveira; Maciel-Silva, 2022). A *Selaginella sellowii Hieron* é frequente em ambiente de Caatinga, também considerada como espécie xerófila. Em solos secos, é como estarem associadas a crostas biológicas em sua composição micro, cujas ramificações criam uma camada protetora da porção mais superficial do solo (Couto *et al*., 2021).

No entanto, foi observada a ocorrência de processos erosivos subsuperficiais após a camada estabilizada pela crosta biológica. Esses processos ocorreram especialmente nas bordas, nos trechos de contato entre as áreas com solo exposto e aquelas com CBS (Figura 3), sugerindo erosão intensa que alcança as porções do solo situadas imediatamente abaixo das crostas (abaixo dos 5 cm). Em campo, observou-se a formação de pequenos dutos subsuperficiais de escoamento da água e remoção de partículas que se assemelham a processos de piping abaixo dos 5 cm, com abertura na superfície em meio a *Selaginellaceae*.

Figura 3 - Imageamento da parcela delimitada para a análise do avanço erosivo em áreas com CBS.



Fonte: Autores, 2025 e 2026.

Esse resultado aponta que, embora as biocrostas atuem como um importante agente de proteção e estabilização do solo contra a erosão superficial (Guida *et al.*, 2023), elas não impedem completamente a ocorrência de processos erosivos em camadas inferiores, como já foi apontado anteriormente por Santos *et al.* (2026), ao analisar o papel da CBS na estabilização de terrenos erodidos no município de Floresta.

A análise desses indicadores biogeomorfológicos na área experimental permitiu compreender não apenas a intensidade da erosão, mas também seus diferentes modos de atuação, incluindo processos superficiais e subsuperficiais de remoção de partículas.

O estudo demonstrou que os indicadores biogeomorfológicos são eficientes na identificação e interpretação dos processos erosivos no semiárido, como um todo, já que

as plantas em pedestal e as raízes expostas podem indicar o rebaixamento progressivo do solo, principalmente em áreas com maior exposição e menor cobertura vegetal.

Por outro lado, as biocrostas desempenham papel relevante na estabilização da superfície do solo, reduzindo a erosão laminar, quando associadas a espécies de porte arbustivo e arbóreo, como na sucessão ecológica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada no baixo curso do Riacho do Navio evidenciou a importância dos indicadores biogeomorfológicos para a compreensão da dinâmica erosiva do solo, permitindo identificar diferentes formas de degradação do solo associadas às condições de cobertura vegetal e ao escoamento superficial. Os resultados reforçam a relevância da biogeomorfologia como ferramenta de análise, contribuindo para estudos voltados ao monitoramento ambiental, manejo de bacias hidrográficas e conservação do solo. Além disso, o uso de tecnologias de imageamento e geoprocessamento mostrou-se eficiente na identificação de áreas suscetíveis à degradação, possibilitando maior aplicação prática da pesquisa.

Por fim, destaca-se a necessidade de ampliação das pesquisas relacionadas à interação entre biocrostas, cobertura vegetal e erosão subsuperficial, como estudos de monitoramento em longo prazo que permitam compreender o processo erosivo atuando com maior rigor em áreas cobertas pela crosta biológica.

Palavras-chave: Degradação ambiental; Indicadores biogeomorfológicos; Plantas em pedestal; Raíz exposta; Biocrosta.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à direção do Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Campus de Floresta, bem como ao corpo técnico de funcionários da Escola Fazenda (IF-Sertão), pelo apoio concedido na realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

COUTO, D. R; DAN, M. L.; AGUIAR, W. M. *et al*. Floristic composition, structure and species-area relationships on a neotropical inselberg in southeastern Brazil. **Rodriguésia**, v. 72, p. e00872020, 2021.

DALEY, J. S.; SPENCER, J. R.; BROOKS, A. P. *et al.* Direct rain splash and downwearing of internal surfaces as an important erosion process in alluvial gully development. **CATENA**, v. 221, 106760, 2023. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106760.

GUIDA, G.; NICOSIA, A.; SETTANNI, L. et al. A review on effects of biological soil crusts on hydrological processes. **Earth-Science Reviews**, v. 243, 104516, 2023. DOI: 10.1016/j.earscirev.2023.104516

JESUS, D. S.; VELLAME, L. M.; SILVA, A. J. P. *et al.* Soil pedestal dating in the degraded Salitre River basin in the northeast of Bahia, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 118, 103978, 2022. DOI: 10.1016/j.jsames.2022.103978.

LARSEN, A. *et al.* Biogeomorphology, quo vadis? On processes, time, and space in biogeomorphology. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 46, p. 12–23, 2021.

LIMA, K. C.; LUPINACCI, C. M.; GOMES, D. D. M. *et al.* Erosão em áreas suscetíveis a desertificação no Semiárido: possibilidades de análise por meio da cartografia geomorfológica baseada em imagens de altíssima resolução. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 2, e2319, 2023. DOI: 10.20502/rbg.v24i2.2319.

OLIVEIRA, M. F.; MACIEL-SILVA, A. S. Biological soil crusts and how they might colonize other worlds: insights from these Brazilian ecosystem engineers. **Journal of Experimental Botany**, 2022. DOI: 10.1093/jxb/erac162.

OLIVEIRA, M. K. T. de; MACEDO, R. C. B. da S.; REBOUÇAS, C. K. de O. et al. Ação antrópica na erosão de solo em bacias hidrográficas do semiárido brasileiro. **HOLOS**, v. 8, n. 39, 2024. DOI: 10.15628/holos.2023.16838.

SANTOS, L. B.; NUNES, I. D.; NUNES, A. T. *et al*. Crostas biológicas e a estabilização dos terrenos afetados por erosão no município de Floresta - semiárido de Pernambuco. In: Lopes, D. V (Org.). **Intemperismo, solos e paisagens**. Vol.1. Mossoró, RN: Edições UERN, 2026. p. 202-212

SILVA, T. J. R. D.; LEITE, J. C. A.; CAVALCANTI, A. K. G. et al. Análise da susceptibilidade à erosão hídrica em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 03, p. 1443-1457, 2021.

TABARELLI, M.; LEAL, I. R.; LOPES, A. V. *et al.* Changing the paradigm for the development of the Caatinga dry forest region to rescue threatened biodiversity and improve sustainability. **Conservation Biology**, 2025. DOI: 10.1111/cobi.70030.

VERHEIJEN, F. G. A.; MARTINS, M. A. S.; PRATS, S. A. *et al.* A new approach to pedestal differentiation for soil loss estimation—a case study from a burnt area in north-central Portugal. **Journal of Forestry Research**, v. 35, 42, 2024.