

## **DINÂMICA EROSIVA EM AMBIENTE SEMIÁRIDO: UMA ABORDAGEM EMPÍRICA POR MEIO DE PINOS DE EROSÃO NO MUNICÍPIO DE FLORESTA (PE)**

Kleber Carvalho Lima <sup>1</sup>  
Isaías Duarte Nunes <sup>2</sup>  
Cenira Maria Lupinacci <sup>3</sup>

### **INTRODUÇÃO**

A erosão do solo é um processo naturalmente geomorfológico e, ao mesmo tempo, um processo que pode ser resultado da degradação dos terrenos, e que pode causar danos ambientais, perda de meios de subsistência e serviços, bem como perturbações sociais e econômicas (Poesen, 2018; Senanayake et al., 2020). Diversos fatores podem causar a erosão, incluindo a quantidade e intensidade das precipitações, o uso da terra, a cobertura vegetal, as propriedades do solo e o comprimento e gradiente das vertentes (Chen et al., 2013).

Ellison (1947), apontou que a erosão superficial do solo durante as chuvas é um fenômeno complexo, resultante inicialmente do desprendimento das partículas pelo impacto das gotas de chuva e do fluxo superficial. Nessa perspectiva, diferentes processos de desprendimento, arraste, transporte e deposição de partículas ocorrem na vertente. Esses processos ocorrem em microescala e podem variar espacialmente e temporalmente, em função de diversos aspectos, como a rugosidade da superfície, e a intensidade e duração da chuva (Römkens, et al., 2002; Nearing et al., 2017; Li et al., 2020).

Em regiões semiáridas, a precipitação tende a se dividir em infiltração e escoamento superficial, destacando-se o escoamento hortoniano como um dos principais mecanismos de geração de escoamento, especialmente sob chuvas torrenciais. De acordo com Kidron (2021), o fluxo hortoniano advém apenas quando a capacidade

---

<sup>1</sup> Docente do PPGSDS da Universidade de Pernambuco, Campus de Garanhuns - PE, [kleber.carvalho@upe.br](mailto:kleber.carvalho@upe.br);

<sup>2</sup> Graduando do Curso de Geografia da Universidade de Pernambuco, Campus de Garanhuns - PE, [isaias.nunes@upe.br](mailto:isaias.nunes@upe.br);

<sup>3</sup> Docente do PPGG da Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro - SP, [cenira.lupinacci@unesp.br](mailto:cenira.lupinacci@unesp.br).

de infiltração da superfície do solo é ultrapassada, ocorrendo independentemente do subsolo estar úmido ou não.

Nesse contexto, experimentos de campo podem ser utilizados para estimar a erosão ou o escoamento superficial decorrente de eventos pluviométricos em intervalo de tempo que varia, desde um evento chuvoso, até eventos em escala mensal ou anual (Shi et al., 2013). Um dos métodos tradicionais são os pinos de erosão, que se destacam por serem eficientes, baratos e fáceis de serem utilizados, em comparação com outros métodos (Daley et al., 2023).

Desse modo, o objetivo desse trabalho é analisar a dinâmica erosiva de partículas do solo em um sistema erosivo experimental, situado no município de Floresta, semiárido pernambucano. Trata-se de um estudo em desenvolvimento que aqui, enfatiza os dados referentes ao período chuvoso, os quais apresentaram singularidades interessantes para a divulgação por meio deste trabalho.

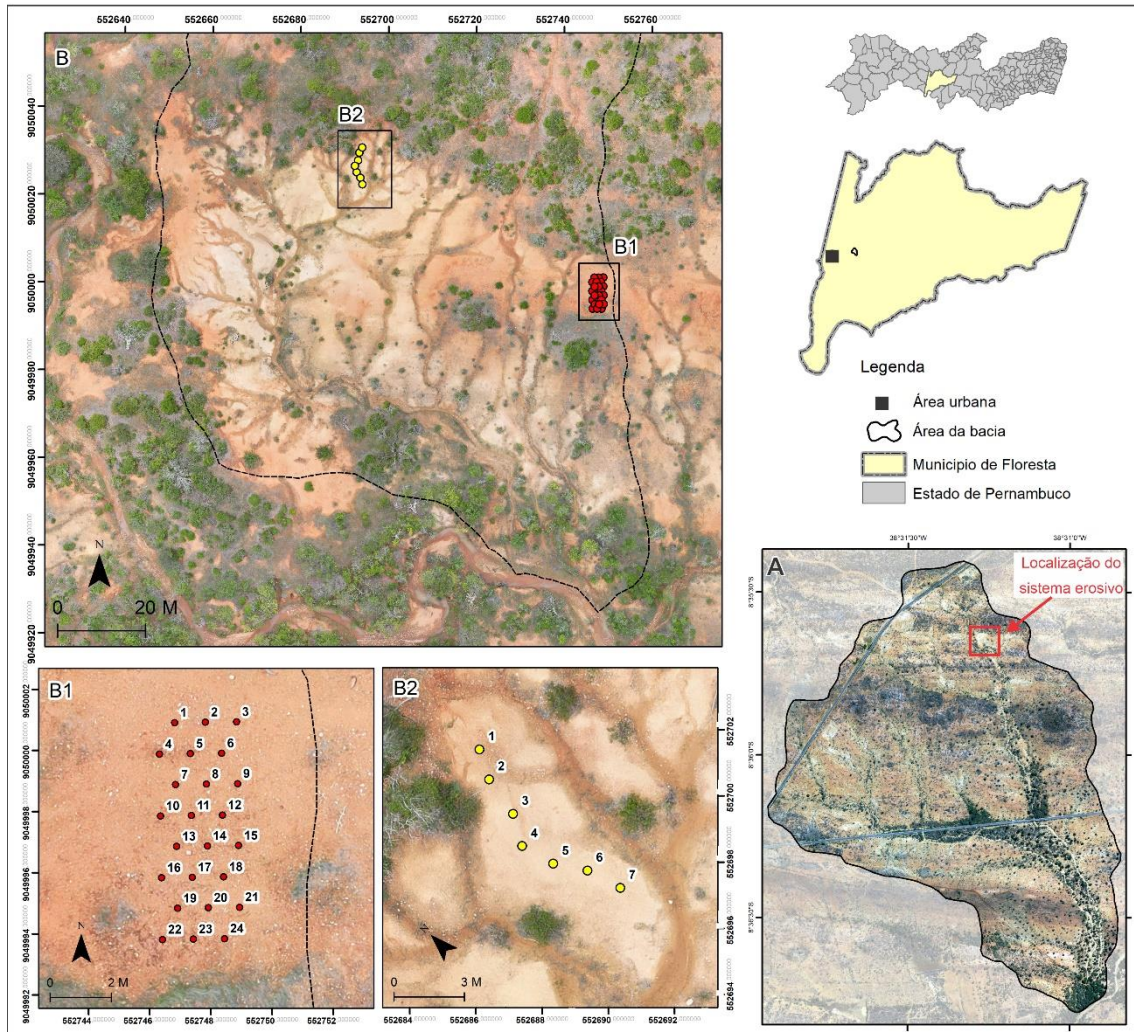
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O sistema erosivo está localizado na bacia hidrográfica experimental do riacho Floresta (Figura 1), no contexto da Depressão Sertaneja, cujas superfícies aplainadas se desenvolveram sobre rochas cristalinas do Paleoproterozóico ao Neoproterozóico, com falhas, lineamentos e feições de deformação da Zona de Cisalhamento de Pernambuco.

Localmente, ocorrem catenas solo-relevo com ocorrência de Neossolos nos topos, Luvisolos, no terços superior e médio da vertente, e Planossolos, no terço inferior, próximos aos riachos (Corrêa; Souza; Cavalcanti, 2014). O clima regional apresenta pluviosidade média anual de 400 mm e temperatura média anual de 24°C. A vegetação natural é a Caatinga Parque, hiperxerófitas, com arbustos de distribuição espaçada, associados a herbáceas e gramíneas (IBGE, 2012).

Os pinos de erosão de aço galvanizado (0,6 cm de diâmetro e 10 cm de comprimento) foram instalados perpendicularmente ao terreno, no sentido do declive, com auxílio de marreta de aço, deixando-se 1 cm exposto na superfície a partir da marcação realizada, conforme adaptações (Kearney et al., 2017). Os pinos foram distribuídos em dois setores do sistema (Figura 1), sendo: [1] 24 pinos em parcela experimental de 2,5×7 m situada na vertente com espaçamento de 1 m entre estes; e [2] 7 pinos em setor de inter-rill.

**Figura 1:** Localização da B.H. riacho Floresta (A), com o sistema erosivo (B) e a distribuição dos pinos de erosão na parcela (B1) e no inter-rill (B2).



Fonte: Autores, 2024.

Todos os pinos foram instalados no final do período seco de 2023, no mês de novembro. Dessa forma, as leituras foram realizadas com auxílio de régua de alumínio, a partir de dezembro de 2023 até julho de 2024, contando-se com 7 medições. Observa-se que não houve leitura em fevereiro de 2024 em razão de questões logísticas de deslocamento até o experimento.

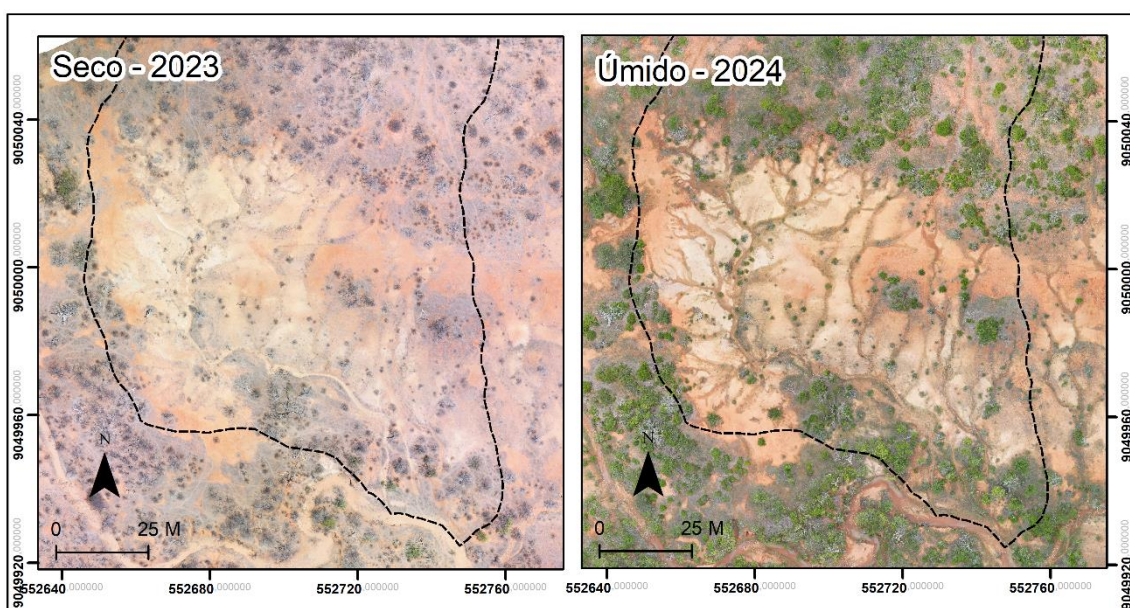
Nesse período, foram realizados sobrevoos com aeronave remotamente pilotada – ARP, modelo Air 2S da DJI, com o intuito de se complementar o monitoramento e perceber possíveis mudanças no terreno associadas ao aumento e/ou retração de áreas erodidas, de feições lineares e mudanças no padrão de vegetação.

Os dados de chuva acumulada mensal foram obtidos da estação automática n°A351 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situada a 9 km de distância da área de estudo. Em cada mês, foram observados os dias em que houveram as precipitações, antes e posteriormente às medições.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

No período seco e Úmido (Figura 2), não foram observadas modificações significativas concernentes ao aumento e/ou redução na área de solo exposto. Porém, a presença de pequenas áreas de solo exposto em meio a vegetação foi ressaltada por meio das imagens obtidas com ARP. Morgan (2005) e Chen et al. (2013), apontaram que manchas de solo exposto em meio à vegetação provocam um forte contraste nas condições de infiltração e escoamento, sendo altamente propícias para a formação de pequenas depressões por escoamento superficial e caminhos preferenciais de escoamento concentrado. Logo, aponta-se que a cobertura vegetal na área de estudo não apresenta eficácia suficiente para proteger os terrenos dos processos erosivos na vertente, embora ela possa retardar a velocidade com a qual a erosão por splash e laminar atuam.

**Figura 2:** Imagens do sistema erosivo obtidas por ARP em novembro de 2023 (A), e em março de 2024 (B).

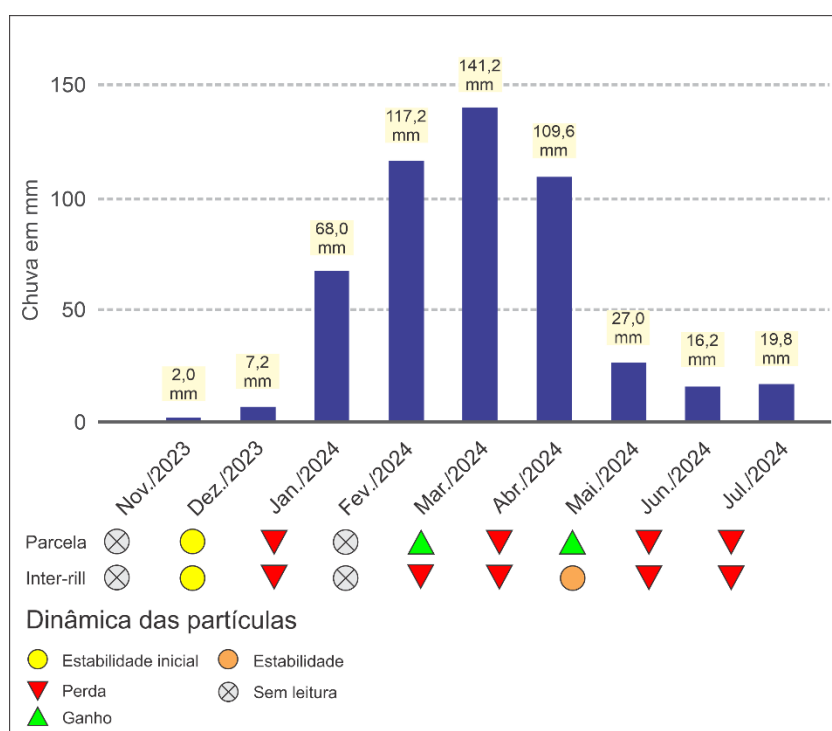


Fonte: Autores, 2024.

A análise dos dados da parcela erosiva, em conjunto com os dados de chuva (Figura 3), demonstraram que predominou a remoção de sedimentos em janeiro, e entre junho e julho. Nos meses com maior precipitação predominaram processos deposicionais. A partir disso, considera-se que no período inicial do experimento (seco), as primeiras chuvas em caráter rápido e concentrado, favoreceram a erosão das partículas pelo fluxo hortoniano, comum em regiões semiáridas (Assouline e Thompson, 2023; Assouline et al., 2024).

Para o contexto do experimento, destaca-se que o fluxo hortoniano é corroborado pela mudança textural abrupta dos Luvisolos crômicos entre o horizonte A (arenoso) e o horizonte B (argiloso); e pela presença do pavimento detrítico sobre o terreno (Yair; Klein, 1974).

**Figura 3:** Chuva acumulada e dinâmica erosiva mensal entre os meses de dezembro de 2023 e julho de 2024.



Fonte: INMET (2024); Autores, 2024.

Entre março e maio, meses respectivamente correspondentes ao período úmido e à retomada das condições secas, a análise dos dados em cada pino da parcela erosiva (Tabela 1), permitiram constatar que, quase 50% da parcela sofreu deposição. De acordo com Kidron (2021), o fluxo hortoniano no semiárido pode ocorrer em condições

de solo seco ou úmido, já que a capacidade de infiltração do solo geralmente diminui à medida que a umidade antecedente do solo aumenta.

Na parcela, considera-se que as deposições nos pinos provavelmente ocorreram em função do realocamento dos materiais erodidos anteriormente por fluxo hortoniano, em condições de umidade antecedente do solo (Sela et al., 2015; Kim et al., 2019). Ao mesmo tempo, destaca-se que a micro topografia do terreno e a rugosidade da superfície atuam em microescala como variáveis responsáveis pelas oscilações do escoamento hídrico na vertente e na parcela, causando constantes oscilações de estabilidade, erosão e deposição nos pinos (vide tabela 1 - pinos 07, 20 e 23).

Sobre esse aspecto, Mark (2005), afirmou que a micro topografia combinada com a rugosidade, determinam a concentração e a profundidade dos fluxos, assim como influencia o transporte e a acumulação de sedimentos vertente abaixo.

**Tabela 1:** Valores absolutos de erosão e deposição de material (mm) na parcela erosiva.

Pino	2023		2024				
	12/12	18/01	05/03	11/04	10/05	14/06	12/07
01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,2
02	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
03	0,0	0,2	0,2	0,4	0,0	0,4	0,4
04	0,0	0,2	0,0	+0,2	0,2	+0,2	+0,1
05	0,0	0,2	0,1	0,1	+0,1	0,4	0,5
06	0,0	0,3	0,3	0,5	+0,3	0,5	0,6
07	0,0	0,1	0,0	0,2	0,2	+0,1	0,2
08	0,0	0,0	+0,1	0,0	0,1	0,1	0,2
09	0,0	0,1	0,0	0,3	0,2	0,4	0,3
10	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	0,4
11	0,0	0,0	+0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
12	0,0	0,3	0,1	+0,1	0,0	0,2	0,2
13	0,0	0,0	0,0	0,0	+0,2	0,0	0,2
14	0,0	0,0	+0,2	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1
15	0,0	0,0	+0,1	+0,4	+0,4	+0,2	+0,2
16	0,0	0,0	0,0	0,2	+0,2	+0,1	0,3
17	0,0	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
18	0,0	0,0	+0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
19	0,0	0,1	0,4	0,4	0,5	0,4	0,6
20	0,0	0,3	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
21	0,0	0,5	0,5	0,6	0,2	0,5	0,6
22	0,0	0,0	0,2	+0,2	+0,3	+0,2	0,0
23	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,3
24	0,0	0,5	0,1	0,2	0,2	0,0	0,3

\*Amarelo: estabilidade inicial; vermelho: remoção; verde: ganho; laranja: estabilidade.

Já no inter-rill (Tabela 2), a dinâmica ocorreu nos períodos seguintes, demonstrando um certo atraso em relação a parcela. Assim, as perdas registraram-se em março e poucas deposições em abril. Como se trata de área mais distante dos canais intermitentes, levanta-se a hipótese de uma erosão remontante do setor de vertentes em direção ao setor mais alto. A erosão é acentuada pela presença de gretas de dessecação em argilas 2:1, cujos fluxos removem as partículas em pequenos canais subterrâneos (Khun; Bryan, 2004).

**Tabela 2:** Valores absolutos de erosão e deposição de material (mm) no Inter-rill.

Pino	2023			2024			
	12/12	18/01	05/03	11/04	10/05	15/06	12/07
01	0,0	0,4	1,5	1,2	1,4	1,6	1,7
02	0,0	0,0	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8
03	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,7
04	0,0	0,0	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6
05	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
06	0,0	0,0	0,2	0,4	0,6	0,6	0,7
07	0,0	0,0	0,4	0,6	0,5	0,6	0,5

\*Amarelo: estabilidade inicial; vermelho: remoção; verde: ganho; laranja: estabilidade.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dinâmica no sistema erosivo analisado se mostrou complexa, com variações dos processos em vertente que atuam em diferentes escalas, em função do feedback entre as precipitações, cobertura vegetal, características dos sedimentos, setor da vertente, micro topografia e rugosidade do terreno.

Embora o período analisado não corresponda ao intervalo anual, indicado como mínimo para estudos com pinos de erosão, os dados discutidos neste trabalho demonstraram a complexidade da interação entre aspectos hidrológicos e sedimentológicos no semiárido. Assim, os resultados obtidos até o momento coadunam com outros contextos semelhantes, apontados por diferentes autores em outras regiões semiáridas do mundo. Sinaliza-se, a partir disso, para a necessidade de desenvolvimento de pesquisas no semiárido brasileiro que buscam avaliar a erosão em microescala e em diferentes modalidades.

Dados dessa natureza podem contribuir de maneira contundente na formulação de novas políticas públicas voltadas ao combate à desertificação e degradação

ambiental. Da mesma forma, pode contribuir com a implementação de planos de ação previstos em políticas públicas e legislações e já existentes.

**Palavras-chave:** Geomorfologia experimental; Parcela erosiva; Inter-rill; Chuvas torrenciais; Fluxo hortoniano.

## REFERÊNCIAS

Assouline, S.; Sela, S.; Dorman, M.; Svoray, T. Runoff generation in a semiarid environment: The role of rainstorm intra-event temporal variability and antecedent soil moisture. **Advances in Water Resources**, v. 188, p. 104715, 2024.

Chen, L.; Sela, S.; Svoray, T.; Assouline, S. The role of soil-surface sealing, microtopography, and vegetation patches in rainfall-runoff processes in semiarid areas. **Water Resources Research**, v. 49, p. 5585–5599, 2013.

Corrêa, A.C.B.; Souza, J.O.P.; Cavalcanti, L.C.S. **Solos do ambiente semiárido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica**. In: Guerra, A.J.T.; Jorge, M.C.O. (Orgs.) *Degradação dos solos no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 2014. p. 127-170.

Daley, J.S.; Spencer, J.R.; Brooks, A.O.; Stout, J.C.; Thwaites, R. Direct rain splash and downwearing of internal surfaces as an important erosion process in alluvial gully development. **Catena**, v. 221, part A, p. 106760, 2023.

Ellison, W.D. Soil erosion studies. - IV. Soil detachment by surface flow. **Agriculture Engening**, v. 28, p. 442–444, 1947.

Kearney, S.P.; Fonte, S.J.; García, E.; Smukler, S.M. Improving the utility of erosion pins: absolute value of pin height change as an indicator of relative erosion. **Catena**, v. 163, p. 427-432, 2018.

Kidron, G. Comparing overland flow processes between semiarid and humid regions: Does saturation overland flow take place in semiarid regions? **Journal of Hydrology**, v. 593, p. 125624, 2021.

Kim, J.; Johnson, L.; Cifelli, R.; Thorstensen, A.; Chandrasekar, V. Assessment of antecedent moisture condition on flood frequency: An experimental study in Napa River Basin, CA. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 26, p. 100629, 2019.

Kuhn, N. J.; Bryan, R. B. Drying, soil surface condition and interrill erosion on two Ontario soils. **Catena**, v. 57, n. 2, p. 113-133, 2004.

Li, L.; Nearing, M. A.; Polyakov, V. O.; Nichols, M. H.; Pierson, F. B.; Cavanaugh, M. L. Evolution of rock cover, surface roughness, and its effect on soil erosion under simulated rainfall. **Geoderma**, v. 379, p. 114622, 2020.



Morgan, R. P. C. **Soil erosion and conservation** – 3rd ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2005. 304 p.

Nearing, M.A.; Simanton, J.R.; Norton, L.D.; Bulygin, S.J.; Stone, J. Soil erosion by surface water flow on a stony, semiarid hillslope. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 24, p. 677-686, 1999.

Nearing, M. A.; Polyakov, V. O.; Nichols, M. H.; Hernandez, M.; Li, L.; Zhao, Y.; Armendariz, G. Slope-velocity equilibrium and evolution of surface roughness on a stony hillslope. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, n. 6, p. 3221-3229, 2017.

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

Römken, M. J.; Helming, K.; Prasad, S. N. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. **Catena**, v. 46, n. 2-3, p. 103-123, 2002.

Sela, S.; Svoray, T.; Assouline, S. Temporal variability of soil water content in a semiarid hillslope across time scales: Effect of soil surface condition. **Journal of Arid Environments**, v. 112, p. 64-74, 2015.

Senanayake, S; Pradhan, B.; Huete, A.; Brennan, J. A Review on Assessing and Mapping Soil Erosion Hazard Using Geo-Informatics Technology for Farming System Management. **Remote Sensing**, v. 12, n. 24, p. 4043, 2020.

Smith, M. **The Influence of surface roughness on runoff generation and soil erosion in semi-arid environments**. Thesis. Department of Geography, University of Durham, 2005. 208 p.

Yair, A.; Klein, S. The influence of surface properties on flow and erosion processes on debris covered slopes in an arid area. **Catena**, v. 1, p. 1-18, 1974.