

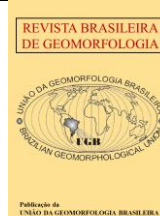


<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 24, nº 1 (2023)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i1.2215>



Artigo de Pesquisa

Monitoramento da microtopografia do solo em trilhas de uso público no litoral do Parque Nacional da Serra da Bocaina (RJ)

Monitoring of soil microtopographic on public use trail in the coast of the Serra da Bocaina National Park (RJ)

Guilherme Marques de Lima¹, Luana de Almeida Rangel² e Antonio Jose Teixeira Guerra³

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia, Rio de Janeiro, Brasil. guilhermem.lima@ufrj.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0261-1249>

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia, Rio de Janeiro, Brasil. luarangel24@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5664-568X>

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia, Rio de Janeiro, Brasil. antoniotguerra@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2562-316X>

Recebido: 04/04/2022; Aceito: 07/10/2022; Publicado: 16/01/2023

Resumo: A erosão hídrica superficial é um dos processos responsáveis pela degradação dos solos, especialmente em áreas tropicais, devido aos elevados índices pluviométricos. A análise da microtopografia do solo é um dos métodos de mensurar a evolução e desenvolvimento deste processo, principalmente em áreas sob uso intensivo, como trilhas em unidades de conservação. O litoral do Parque Nacional da Serra da Bocaina, no estado do Rio de Janeiro, apresenta diversos pontos de interesse geoturístico, que atraem inúmeros visitantes diariamente, desencadeando vários impactos ambientais nas trilhas que dão acesso a estes atrativos. Sendo assim, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a evolução espaço-temporal dos processos erosivos no leito de duas trilhas deste parque, através do monitoramento da microtopografia do solo em dois períodos distintos. Posteriormente, os resultados foram correlacionados com os dados pluviométricos e com as características fisiográficas da área. Constatou-se que ambos os pontos monitorados estão sofrendo com a perda de solo devido, principalmente, aos elevados índices pluviométricos, que se concentram nos meses de dezembro e janeiro. A visitação intensa e desordenada, a cobertura vegetal e quantidade de serrapilheira foram fatores que possivelmente influenciaram a evolução destes processos no leito das trilhas, gerando dinâmicas distintas entre os pontos monitorados.

Palavras-chave: Microtopografia; erosão; trilhas; unidades de conservação;

Abstract: Surface water erosion is one of the processes responsible for soil degradation, especially in tropical areas, due to high levels of rainfall. The analysis of soil microtopography is one of the methods to measure the evolution and development of this process, especially in areas under intensive use, such as trails in conservation units. The coast of Serra da Bocaina National Park, in Rio de Janeiro State, has several sites of geotouristic interest, that attract countless visitors daily, therefore triggering several environmental impacts on the trails that give access to these attractions. Therefore, this research aimed to evaluate the spatio-temporal evolution of erosive processes on the two trails ground in this park, by monitoring the soil microtopography in two different periods. Subsequently, the results were correlated with rainfall data and with the physiographic characteristics of the area. It was found that both monitored points are suffering from soil loss, mainly due to high rainfall, which is concentrated in December and January. The intense and disordered visitation, the vegetation cover and the amount of litter were factors that possibly influenced the evolution of these processes in the bed of the trails, generating different dynamics between the monitored points.

Keywords: Microtopography; erosion; trails; conservation units;

1. Introdução

O solo é um componente natural, limitado e multifuncional do sistema físico da Terra que fornece diversos serviços para a humanidade, garantindo a sobrevivência dos ecossistemas, da biodiversidade e a manutenção da vida (BAER; BIRGÉ, 2018; POESEN, 2018; ALBALADEJO; DIAZ-PEREIRA; VENDE, 2021; YIN; ZHAO; PEREIRA, 2022). Entretanto, a sua degradação, através dos processos erosivos, por exemplo, é um dos maiores desafios ambientais que a sociedade humana enfrenta atualmente, sejam eles resultantes de processos naturais ou então induzidos atividades humanas (PRĂVĂLIE, 2021; BOARDMAN; POESEN; EVANS, 2021; FERREIRA *et al.*, 2022).

Sobre os processos erosivos hídricos, que consistem na desagregação, transporte e deposição do solo pela ação da água das gotas da chuva e do escoamento superficial (*runoff*) (GUERRA *et al.*, 2017; LAL, 2019; CENTERI, 2022), sua ocorrência está se intensificando devido às mudanças climáticas, ambientais e às ações antrópicas, fazendo com que as taxas de perda de solo sejam superiores as taxas de formação, além de causar implicações socioeconômicas e ambientais adversas, como o declínio da produtividade agrícola, o aumento da insegurança alimentar, da pobreza, da desigualdade social e da emissão de gases poluentes (POESEN, 2018; PRĂVĂLIE, 2021).

O uso e o pisoteio de pessoas em trilhas, por exemplo, é uma das causas que acentuam a sua ocorrência, já que estas ações afetam as características físico-químicas e biológicas do solo, e por sua vez, a dinâmica dos processos erosivos (MEADEMA *et al.*, 2020; ROMEO *et al.*, 2021; PEREIRA *et al.*, 2022). Até o século XIX, as trilhas eram o componente principal da infraestrutura de transporte terrestre dos povos, onde se deslocavam pessoas, cargas e animais domésticos, já que, muitas vezes, eram as únicas vias alternativas para os viajantes. Entretanto, hoje existem inúmeras redes de trilhas locais, regionais, nacionais ou internacionais, que são mantidas e construídas visando oferecer oportunidades de lazer e recreação em contato com o ambiente natural (MANNING; ANDERSON; PETTENGILL, 2017; LEUNG *et al.*, 2018; WARD-PERKINS, BECKMANN; ELLIS, 2020).

Estas características tornam as áreas protegidas, altamente vulneráveis a degradação ambiental, pois, além destes territórios apresentarem um baixo aporte financeiro na fiscalização, estruturação e manutenção de seu funcionamento, eles apresentam uma alta demanda para uso público devido as suas trilhas, espaços de lazer e beleza cênica (BHAMMAR *et al.*, 2021; IRVING, LIMA, NASRI, 2022; ZHANG; ZHONG; YU, 2022). No Brasil, as UC's apresentam uma crescente considerável no número de visitantes nos últimos anos (BREVES *et al.*, 2020), que somada à falta recursos financeiros e humanos (VIEIRA; PRESSEY; LOYOLA, 2019; THOMAZ *et al.*, 2020; FOLHARINI; MELO; CAMERON, 2021), favorecem a ocorrência de impactos ambientais e processos de degradação ambiental, como a erosão e a compactação do solo (FONSECA FILHO *et al.*, 2018; RANGEL *et al.*, 2019; MOREIRA *et al.*, 2020), tornando assim, necessária ações que conciliem visitação pública e conservação ambiental.

Neste sentido, pesquisas sobre o monitoramento de áreas degradadas em trilhas de UC's podem subsidiar tomadas de decisão, além de auxiliar na recuperação destas áreas, pois trilhas mal gerenciadas e sem manutenção desequilibram o sistema geoecológico (WARD-PERKINS, BECKMANN; ELLIS, 2020). Logo, o monitoramento da microtopografia do solo pode otimizar práticas de manejo, pois permitem identificar a ocorrência e a dinâmica de processos que colocam em risco a integridade ambiental. Silva e Castro (2015), por exemplo, realizaram a análise da microtopografia do solo como um indicador de degradação relacionado ao fluxo de visitantes da trilha. Rangel e Guerra (2018) utilizaram esta técnica para inferir áreas que estão sofrendo com processos erosivos, enquanto Salesa e Cerdá (2019) calcularam a perda de solo numa trilha utilizada por esportistas. Já Silva e Botelho (2021) utilizaram esta técnica para complementar observações sobre a degradação da trilha numa área protegida.

Ainda, como a distribuição espacial das microvariações topográficas no topo do solo resultam de parâmetros físico-químicos que alteram a sua superfície, o levantamento e o monitoramento da microtopografia do solo permite atribuir inferências sobre a resistência à penetração e ao grau de interferência que o pisoteamento está gerando nas trilhas, além de estabelecer relações entre o uso das trilhas e a retenção hídrica ao escoamento superficial (*runoff*), a infiltração e a percolação de água de água no solo, ao transporte de sedimentos, a formação de crostas na sua camada superficial, as trocas de calor entre o solo e atmosfera, aos parâmetros físico-químicos do solo etc. (GUERRA *et al.*, 2017; RANGEL *et al.*, 2019; FIGUEIREDO; MARTINS, 2021; SILVA; BOTELHO, 2021).

Considerando estes aspectos, o presente artigo tem como objetivo avaliar a evolução espaço-temporal dos processos erosivos no leito de duas trilhas no litoral do Parque Nacional da Serra da Bocaina (PNSB), no município de Paraty, através do monitoramento da microtopografia do solo, que, por sua vez, foram correlacionados com os

dados das precipitações da área, podendo, assim, ser útil para subsidiar e/ou auxiliar tomada de decisões associadas ao planejamento e à gestão ambiental, assim como a atividade turística nestas trilhas, que, por sua vez, são uma das mais visitadas do litoral desta área protegida devido à beleza cênica de seus atrativos geoturísticos.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

Inseridas na porção litorânea do Parque Nacional da Serra da Bocaina (UC de Proteção Integral), as duas trilhas de uso público estudadas são: a trilha que dá acesso a Cachoeira da Pedra que Engole; e a Trilha que dá acesso à Piscina Natural do Caixa D'Aço (Figura 1).

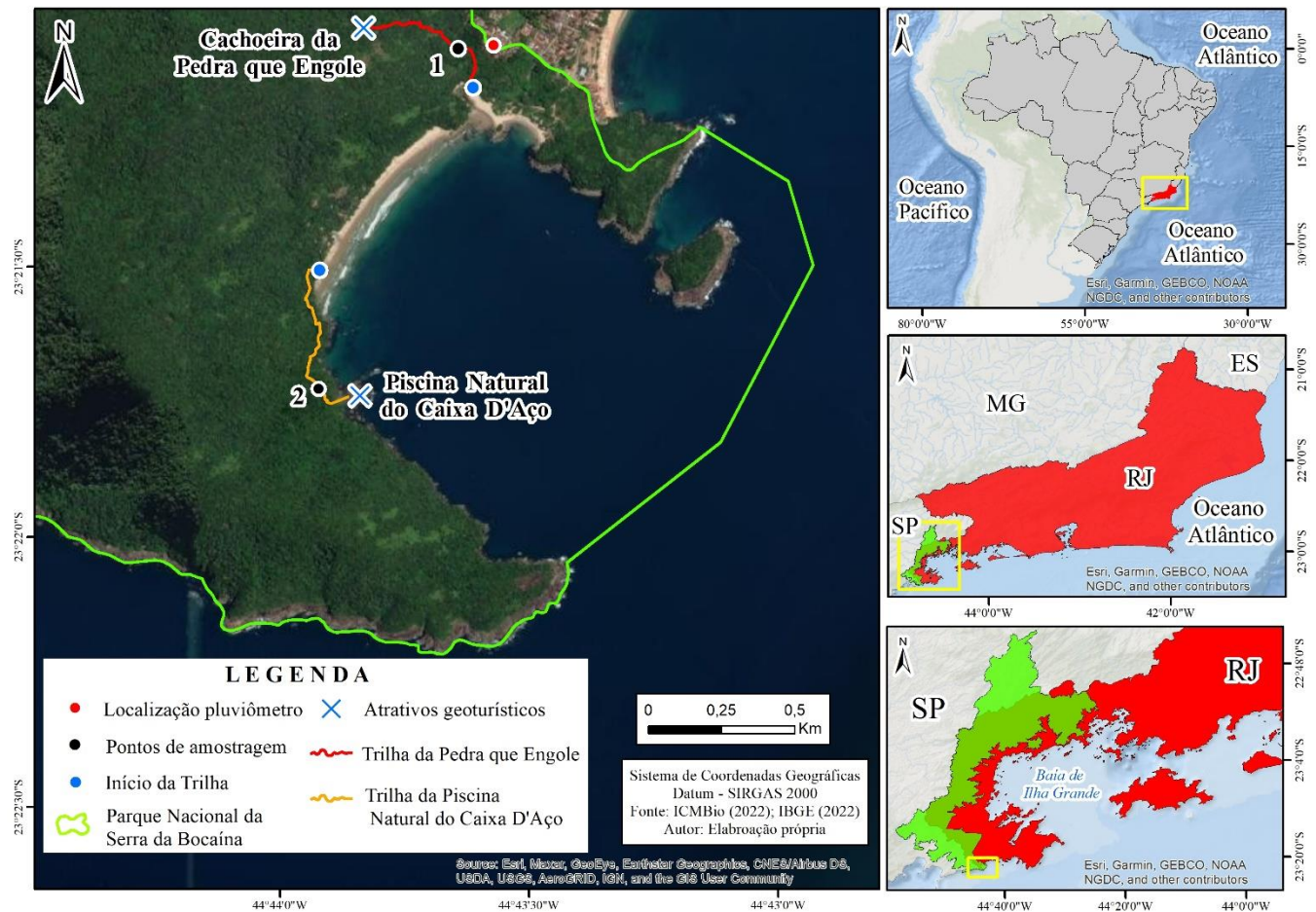


Figura 1. Mapa de localiza o da área de estudo no Parque Nacional da Serra da Bocaina (PNSB).

Criada em 1971, esta Unidade de Conserva o de Prote o Integral tem como objetivo principal proteger as últimas áreas de Mata Atlântica e ecossistemas marinhos do litoral sul-fluminense, já que contempla no interior de seu território, além de endemismos, refúgios ecológicos e espécies ameaçadas de extin o, um dos mais significativos remanescentes brasileiros deste bioma (MMA, 2002; LEUZINGER; SANTANA; SOUZA, 2020).

A classifica o climática regional   do tipo tropical úmido, com um regime sazonal de precipita es, sendo os maiores índices registrados nas áreas litorâneas do PNSB. O clima da região tem um zoneamento influenciado pelo efeito orográfico da Serra do Mar, cujas origens se associam ao rompimento do Gondwana ocidental,   abertura do Oceano Atlântico Sul, a reativa o de zonas de cisalhamento (Proterozóico) e a soerguimentos (Cenozóico) (KAMINO *et al.*, 2019; LEUZINGER; SANTANA; SOUZA, 2020). A compartimenta o do relevo e o desnivelamento altimétrico   uma barreira para as massas de ar responsáveis pelo comportamento dos fen menos meteorológicos, ou seja, as escarpas íngremes e seu relevo montanhoso dificultam a passagem dos sistemas frontais vindas do Atlântico Sul/Antártida, responsáveis pela pluviosidade regional, gerando assim, varia es espaço-temporais neste fen meno (KAMINO *et al.*, 2019; LEUZINGER; SANTANA; SOUZA, 2020).

Geologicamente, a área é constituída por rochas ortoderivadas do Arco Magmático Rio Negro (Ortognaisses), rochas ígneas da Suíte Granítica Parati-Mirim (Granitos), rochas miloníticas, cataclásticas, sedimentos continentais, marinhos e mistos (Cenozóico) (MMA, 2002; GUERRA *et al.*, 2013; HEIBRON; EIRADO; ALMEIDA, 2016). Sobre as suas características geomorfológicas, o PNSB situa-se no Planalto da Bocaina (1.100 a 2.000 m), que, por sua vez, integra a faixa costeira do Planalto Atlântico no sudeste brasileiro (HIRUMA *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2021).

Inserido no domínio florístico da Zona Neotropical, o PNSB possui uma variedade significativa de tipos vegetacionais, florestas e campos, classificados em três tipos de formações: a Floresta Ombrófila Densa (Submontana, Montana e Alto Montana), a Floresta Ombrófila Mista Alto Montana e os Campos de Altitude. Porém, nas trilhas predominam Floresta Ombrófila Densa (Submontana, Montanha e Alto Montanha), seja ela primária ou secundária, em estágio médio avançado de recuperação (MMA, 2002; RANGEL, 2018).

As trilhas ocorrem em relevo de Montanhas e Morros, sob solos de alteração, residuais superficiais e com diversos afloramentos rochosos de Granito Paraty-Mirim e sedimentos colúvio-aluvionares. Em geral, os solos apresentam saturação por base inferior a 50%, fato que lhes confere o caráter distrófico, possuem elevada acidez e altos teores de alumínio. O mapeamento de Carvalho Filho *et al.*, (2003), na escala de 1:250.000, mostra que nas trilhas predominam Cambissolos Háplicos Distróficos. Estas classes e os Neossolos Litólicos também ocorrem na região montanhosa, nas escarpas e na faixa costeira entre a escarpa da Serra do Mar e as planícies. Já os Latossolos ocorrem nos topos e nas encostas mais suaves do relevo (MMA, 2002; GUERRA *et al.*, 2013; RANGEL, 2018).

As trilhas apresentam aproximadamente 600 metros (m) cada uma. Entretanto, apesar da Trilha da Pedra que Engole apresentar trechos mais íngremes, com uma declividade média de 12,4% e uma altitude de 0 a 46 (m), a Trilha da Piscina Natural do Caixa D'Aço apresenta uma declividade média de 14,3% e uma amplitude altimétrica entre 0 e 36 (m), sendo tal comportamento resultado do trecho inicial da primeira trilha ser mais plano (Figuras 2).

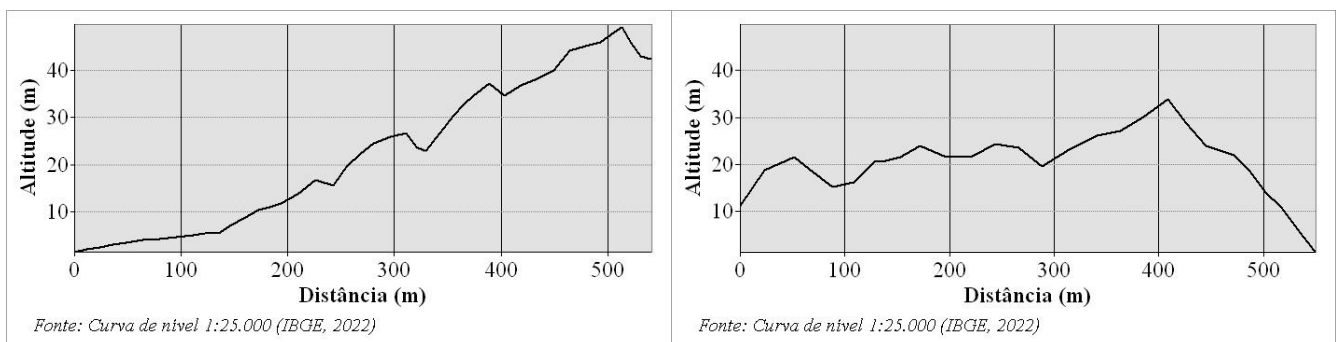


Figura 2. Perfis topográficos das trilhas estudadas no litoral do PNSB, município de Paraty (RJ): Pedra que Engole (esquerda) e Piscina Natural do Caixa D'Aço (direita). Fonte: Autor (2022).

Ainda, a Vila de Trindade, a cerca de 22 km do centro de Paraty, é formada originalmente por uma comunidade tradicional caiçara, estando parcialmente inserida no interior do PNSB, onde estão localizadas as duas trilhas estudadas nesta pesquisa, que correspondem a um dos principais destinos turísticos de Paraty e da área de inserção desta UC. A beleza cênica de seus atrativos geoturísticos, como a Cachoeira da Pedra que Engole e a Piscina Natural do Caixa D'Aço (Figura 3), tem atraído uma demanda crescente de visitantes, que conseqüentemente, tem desencadeado inúmeros impactos negativos sobre a base de recursos naturais da região devido ao uso público desordenado, especialmente em épocas de grande fluxo de visitantes, como, por exemplo, durante o verão e também durante os feriados prolongados (CONTI; IRVING, 2014; ICMBIO, 2014; RANGEL, 2018; RANGEL; GUERRA, 2018; RANGEL *et al.*, 2019; LEUZINGER; SANTANA; SOUZA, 2020; ROMA *et al.*, 2020).



Figura 3. Atrativos geoturísticos nas trilhas estudadas no litoral do PNSB, município de Paraty (RJ): Pedra que Engole (esquerda) e Piscina Natural do Caixa D’Aço. Fotos: Autor (2022).

2.2. Metodologia

Para a realização desta pesquisa foram utilizados dados obtidos em campo que, posteriormente, foram tabulados em gabinete. A medição da microtopografia do solo foi obtida através da instalação de duas estacas em secções transversais escolhidas no leito das trilhas, isto é, de uma borda a outra, seguindo aquilo que foi desenvolvido por Shakesby (1993), sendo adotada por Ferreira (1996) em estudos sobre erosão hídrica em solos e também aplicada em trilhas por Rangel e Guerra (2018) e Silva e Botelho (2021).

Desta maneira, foi possível monitorar a microtopografia do solo entre os meses de agosto de 2021 e março de 2022, visando a obtenção de relações e variações significativas e contrastantes entre os dados temporais das precipitações pluviométricas da região. Estes monitoramentos ocorreram em dois pontos distintos nas trilhas, que, por sua vez, foram escolhidos conforme as características do leito das trilhas, isto é, quando foi identificada a existência de processos erosivos (ravinas) bastante desenvolvidos: um na Trilha da Pedra que Engole, e outro na Trilha da Piscina Natural do Caixa D’Aço (Figura 4).



Figura 4. Direção do *runoff* (vermelho) nas erosões monitoradas no PNSB, município de Trindade (RJ). Esquerda (Ponto 1): Trilha da Pedra que Engole; Direita (Ponto 2): Piscina Natural do Caixa D’Aço. Fotos: Autor (2022)

A ponte de erosão utilizada seguiu o modelo desenvolvido por Shakesby (1993) e adaptada para trilhas por Silva e Castro (2015). Para a elaboração das seções transversais e a respectiva obtenção dos dados referentes à microtopografia do solo, foram utilizados: estacas/hastes de madeira de 50 centímetros (úteis para o nivelamento), sarrafos de 2 metros (ponte de erosão) e vareta de ferro de 1 metro (vareta de medição). A ponte possui 100 furos (pontos de análise), distribuídos numa equivalência de 2 centímetros. Além disso, para a instalação da “ponte de erosão” foi necessário fincar duas estacas nas bordas da seção transversal (pontos) escolhida. Posteriormente, foi utilizado um nível de madeira para nivelar o sarrafo entre as bordas das trilhas (Figura 5). Por fim, os valores dos pontos de análise foram obtidos com o auxílio de uma trena de medição, após o nivelamento da ponte.



Figura 5. Ponte de erosão construída sobre o leito com feição erosiva monitorada na Trilha da Piscina Natural do Caixa D’Aço (Ponto 2). Foto: Autores (2021)

A partir da medição microtopografia do solo no leito das trilhas com feições erosivas expressivas nos dois períodos de monitoramento, foi elaborado um gráfico com estes dados no *software* Excel, que, por sua vez, permitiu a análise espaço-temporal destes processos erosivos, isto é, estimar sua evolução ao longo do tempo de monitoramento, bem como analisar sua evolução espacial ao longo dos dois períodos de monitoramento. Por conseguinte, foi possível identificar os pontos onde há acúmulo e retirada de sedimentos e matéria orgânica, identificar os locais onde há intenso pisoteio e retirada de partículas orgânicas e inorgânicas do solo através do escoamento superficial (*runoff*), assim como estimar a área perdida de solo ao longo do leito das trilhas nos pontos monitorados. Após a elaboração e análise desses gráficos com os dados espaço-temporais da microtopografia do solo, foi possível não apenas estimar a área das seções transversais monitoradas, como também quantificar a evolução da área de solo perdida através das erosões nos pontos das duas trilhas estudadas.

A declividade média das duas trilhas foi obtida através do *Google Earth*, o comprimento da rampa dos pontos onde as erosões se localizam através de uma trena manual, e a declividade média das rampas destes pontos com uma bússola geológica tipo Brunton DQL-8.

Já os dados pluviométricos foram obtidos através de um pluviômetro manual instalado em um *camping* na imediação do PNSB (latitude 23°21'5.28"S e longitude 44°43'34.47"O), numa altura de aproximadamente 1,5 m em uma base de madeira e afastado de obstáculos, visando armazenar e registrar o volume diário de precipitação da água ocorrida ao longo do monitoramento. Os registros destes dados começaram nas datas do início do monitoramento das duas pontes de erosão (agosto de 2021 e março de 2022), sendo a leituras destes dados registradas diariamente sempre às 11 horas da manhã.

3. Resultados

A avaliação da microtopografia do solo nos dois pontos nas trilhas estudadas permitiu identificar que houve uma evolução espaço-temporal dos processos de erosão e deposição de matérias orgânicos e inorgânicos no leito das trilhas, que por sua vez, podem estar associados com o pisoteamento do solo, a remoção da matéria orgânica e também com os índices pluviométricos registrados ao longo do período da realização do monitoramento.

A Figura 6, que contém o gráfico com os dados da microtopografia do solo no ponto 1, na Trilha da Pedra que Engole, evidencia a existência de uma ravina próxima ao talude inferior do leito da trilha, assim como a evolução da área da seção transversal do ponto monitorado, já que o topo do solo no segundo monitoramento (linha azul) esteve abaixo do topo do solo realizado no primeiro monitoramento (linha laranja) (Figura 6).

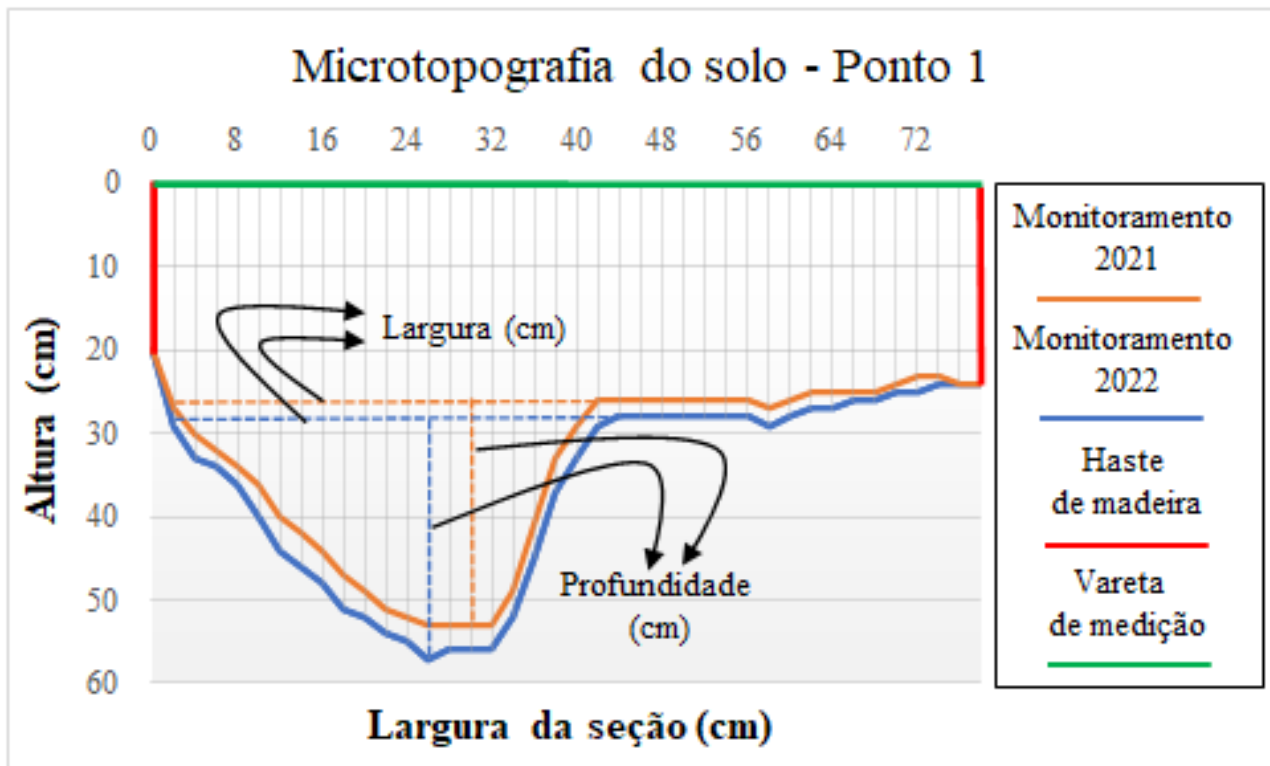


Figura 6. Evolução da microtopografia do solo monitorada na Trilha da Pedra que Engole (Ponto 1).

Além disso, é possível identificar que no primeiro monitoramento (2021), a profundidade máxima desta ravina era de aproximadamente 25 cm, e no último monitoramento (2022) esta profundidade evoluiu aproximadamente 5 cm em relação ao monitoramento anterior (2021). Apesar da largura desta ravina ter apresentado valores semelhantes em ambos monitoramentos realizados, o valor do segundo monitoramento foi aproximadamente 2 cm maior em relação ao primeiro (42 cm) (Figura 6). Ainda, é possível identificar que houve um aprofundamento do leito desta trilha entre os períodos estudados, principalmente no interior da ravina, já que a área total da seção transversal no primeiro monitoramento (2021) foi de 0,265 m² e de 0,2844 m² no segundo período (2022), isto é, um aumento da área da seção transversal de aproximadamente 0,0194 m² (Figura 6).

Já os dados sobre a microtopografia do solo no ponto 2 (Figura 7), na trilha da Piscina Natural do Caixa D'Áço, também evidenciam a existência de uma ravina no leito da trilha, entretanto, neste ponto o ravinamento se encontra na porção central do leito da trilha. Sua profundidade máxima no primeiro monitoramento (2021) foi de aproximadamente 14 cm, enquanto no segundo monitoramento (2022) esta profundidade é aproximadamente 2 cm maior em relação ao monitoramento anterior (2021) (Figura 7). Sobre a largura deste ravinamento, nota-se que no primeiro monitoramento seu valor foi de aproximadamente 24 cm, enquanto no segundo monitoramento (2022) este valor foi aproximadamente 26 cm, isto é, aproximadamente 2 cm maior em relação ao monitoramento anterior (2021) (Figura 7). Ainda, os valores da área da seção transversal indicam um aumento de aproximadamente 0,0197 m² no ponto 2 do primeiro período (2021) para o segundo (2022), já que no primeiro está a área era de aproximadamente 0,3361 m², e cerca de 0,3558 m² no segundo.

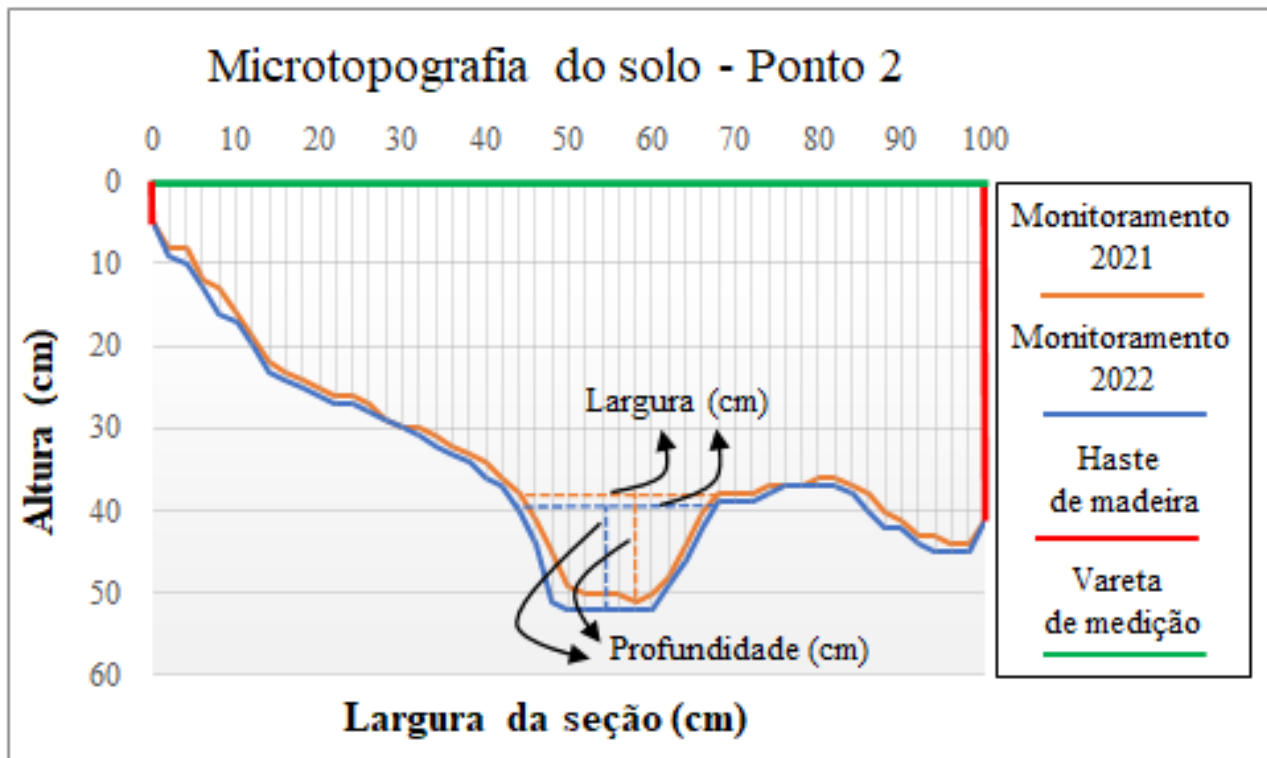


Figura 7. Evolução da microtopografia monitorada na Trilha da Piscina Natural do Caixa D'Aço (Ponto 2).

Apesar dos dados da Figura 6 e 7 indicarem que houve um aumento da área da seção transversal entre o primeiro e o segundo período de monitoramento, estes dados podem resultar tanto da perda de solo como também da remoção da camada de serrapilheira existente no leito da trilha, especialmente no primeiro monitoramento no ponto 2 (Figura 5). Esta figura mostra que neste período de monitoramento (2021), o interior da ravina do ponto 2 apresentava um grande volume de serrapilheira, principalmente no leito da trilha e no interior da ravina monitorada. Já na figura 4, obtida durante o segundo monitoramento (2022), este mesmo ponto apresentava um volume muito menor de serrapilheira, seja no leito da trilha ou no interior da ravina monitorada (Figura 4).

No ponto 1, nos dois períodos monitorados, tanto a ravina quanto o leito da trilha não apresentaram volumes significativos de serrapilheira (Figura 4), podendo então, o aumento da área da sua seção transversal estar mais associado a perda de solo do que com a remoção da serrapilheira, que, por sua vez, se mostrou mais associada à evolução da área da seção transversal no ponto 2, que apresentou uma redução do volume de material orgânico do primeiro período (2021) para o segundo (2022), e o aumento da área de sua seção transversal (Figura 4, 5 e 7).

Além disso, comparando estes dois dados com as características fisiográficas dos pontos, isto é, com a declividade média e o comprimento da rampa na qual as seções transversais monitoradas estão inseridas, é possível identificar que ambos os pontos apresentam declividade suficientes para favorecer o escoamento superficial em detrimento da infiltração da água no interior do solo, isto é, valores superiores a 3%, e consequentemente, desencadear a ocorrência de processos erosivos. Enquanto o ponto 1 apresenta um ravinamento desenvolvido em uma rampa com 5 m de comprimento e com uma declividade média de aproximadamente 15%, o ponto 2 apresenta uma ravina localizada em uma rampa com 4 m de comprimento e uma declividade média de aproximadamente 12%.

Já os dados diários de chuva (Tabela 1), que foram registrados e permitiram a obtenção dos volumes totais mensais das precipitações pluviométricas durante os dois períodos de monitoramento (Figura 8), mostram que houve uma concentração significativa das chuvas, especialmente nos meses de dezembro e janeiro. Estes meses registraram não apenas os maiores volumes diários de chuva (90 e 150 mm, respectivamente) (Tabela 1), como também os maiores volumes totais mensais, isto é, 647,5 mm no primeiro mês e 593 mm no segundo (Figura 8).

Tabela 1. Valores diários das precipitações (mm) no litoral do PNSB entre os meses de agosto (2021) e março (2022).

Dias/mês	Agosto	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
1	-	20	7,5	20	0	40	10	0
2	-	0	5	15	0	10	20	0
3	-	0	5	0	10	10	7,5	0
4	-	0	15	0	10	0	5	0
5	-	0	5	0	12,5	3	0	0
6	-	5	20	0	15	150	0	0
7	-	5	40	0	75	150	5	0
8	-	0	5	0	5	40	135	0
9	-	0	10	12,5	10	20	5	0
10	-	0	25	0	0	15	5	0
11	-	5	5	0	0	10	0	0
12	-	7,5	0	7,5	50	15	0	0
13	-	0	0	0	0	0	0	-
14	-	0	0	0	0	0	0	-
15	-	0	0	0	10	0	20	-
16	-	0	10	0	0	0	0	-
17	-	5	15	0	85	0	0	-
18	-	25	30	0	15	0	75	-
19	-	25	25	0	0	0	0	-
20	-	0	30	0	0	0	0	-
21	-	0	30	0	0	0	0	-
22	-	7,5	0	0	0	0	0	-
23	-	0	0	0	50	0	0	-
24	-	0	0	0	55	0	0	-
25	-	0	0	0	15	0	0	-
26	0	0	0	0	0	0	0	-
27	15	0	7,5	0	15	10	0	-
28	55	0	20	0	0	70	0	-
29	7,5	0	20	15	55	5	-	-
30	5	0	20	0	90	10	-	-
31	37,5	-	35	-	70	35	-	-

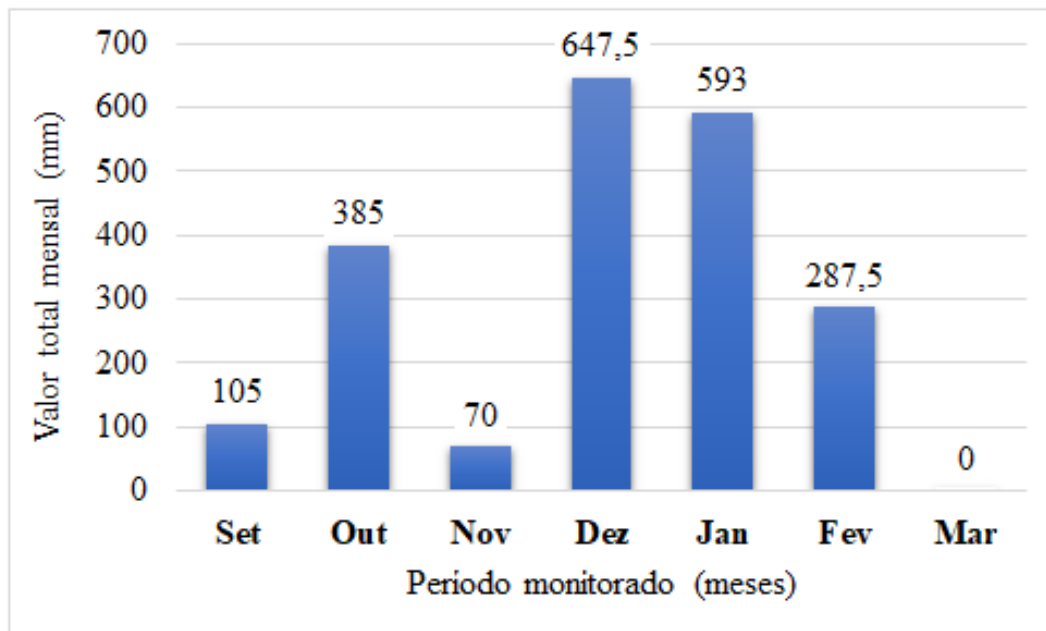


Figura 8. Valores totais mensais das precipitações no litoral do PNSB entre os meses de agosto (2021) e março (2022).

Considerando o intervalo de dias entre a realização do primeiro monitoramento e do segundo, isto é, 204 dias, é possível encontrar uma média diária de chuva superior a 10,8 mm. Deste intervalo de 204 dias, mais da metade (117 dias) apresentaram volume de chuva igual a 0 mm (Tabela 1), evidenciando uma concentração significativa das precipitações pluviométricas, principalmente nos meses de dezembro e janeiro, que além de apresentarem os maiores valores totais mensais de precipitação (Figura 8), também apresentaram os menores valores de precipitações iguais a 0 mm ante os demais meses (Tabela 1). Ainda, dos 87 dias em que foram registrados valores diários superiores que 0 mm, 49 tiveram valores diários de chuva acima da média (10,8 mm), especialmente os meses de outubro (13 dias), dezembro (13 dias) e janeiro (9 dias), reforçando assim, um cenário mais propício nestes meses para a evolução das feições erosivas devido ao aumento do volume no *runoff* no leito das trilhas (Tabela 1).

4. Discussão

Considerando os dados sobre a microtopografia do solo, das características fisiográficas e das precipitações pluviométricas, foi possível identificar correlações significativas entre a evolução das feições erosivas e os dados das chuvas; correlações entre evolução destas feições, declividade média e comprimento da rampa onde os pontos com as erosões hídricas estão localizados; além de estabelecer inferências sobre o pisoteio do solo.

Como a erosão hídrica do solo é um processo de mobilização, transporte e deposição de sedimentos pela ação da água, as águas oriundas das precipitações pluviométricas possivelmente são as responsáveis por provocarem o rompimento dos agregados e o destacamento das partículas do solo no leito das trilhas, e conseqüentemente, desencadear a evolução das feições erosivas entre os períodos monitorados, já que o impacto da energia cinética de suas gotas, ao atingirem a superfície do solo, provocam a erosão por *splash* e a perda de solo pelo escoamento superficial (*runoff*) (FERNÁNDEZ-RAGA *et al.*, 2017; NEARING *et al.*, 2017; CENTERI, 2022; PEREIRA *et al.*, 2022).

Desta maneira, o rompimento dos agregados do solo e o respectivo destacamento de suas partículas pela erosão por *splash* devido à ação da água meteórica, faz com que haja o selamento da camada superficial do solo através da formação de crostas em seu topo, o fechamento de seus poros, a redução da infiltração da água em seu interior e o aumento do volume de água escoada em superfície, ou seja, processos que favorecem a ocorrência e a evolução dos processos erosivos como as que foram monitoradas nas trilhas do PNSB (GUERRA *et al.*, 2017; FERNÁNDEZ-RAGA *et al.*, 2017; RANGEL *et al.*, 2019; FIGUEIREDO; MARTINS, 2021; CENTERI, 2022).

Portanto, este comportamento pode estar associado com a evolução da área das seções transversais que foram monitoradas nos dois pontos das trilhas no litoral do PNSB, já que as áreas destas seções aumentaram do primeiro monitoramento (2021) para o segundo (2022) (Figuras 6 e 7), assim como os valores do volume total mensal das precipitações ao longo do período monitorado (Tabela 1 e Figura 8). Entretanto, destaca-se a necessidade de

maiores períodos temporais de monitoramento para a confirmação desta possível associação, seja pelo curto período de monitoramento da microtopografia do solo ou das precipitações pluviométricas na localidade.

Além disso, outros fatores também podem estar associados com esta evolução. O solo do ponto 1, em relação ao solo do ponto 2, por exemplo, possui em seu entorno uma cobertura vegetal mais esparsa e menos densa, bem como a ausência de serrapilheira/material orgânico em sua superfície (Figura 4 e 5), que o deixa mais exposto a compactação, a erosão por *splash* ocasionada pelas gotas de água das chuvas, e a perda de material sólido pelos processos erosivos. Teoricamente, estas características acentuam o impacto da erosão por *splash*, ocasionado pelas gotas de chuva, reduzindo o volume de incremento de material orgânico no solo e, por sua vez, aumentar a perda de solo através dos processos erosivos devido a capacidade deste material aumentar à integridade estrutural, formar agregados estáveis e reduzir a erodibilidade do solo (OBALUM *et al.*, 2017; GMACH *et al.*, 2020).

Entretanto, a evolução da área de sua seção transversal foi menor ante a área da seção transversal do ponto 2, podendo, então, tal evolução estar associada à presença de material orgânico/serrapilheira na superfície do solo, já que no primeiro monitoramento do ponto 2 havia uma maior quantidade destes materiais em relação ao segundo período de monitoramento neste mesmo ponto (Figuras 4 e 5). Sendo assim, o aumento da área da seção transversal também pode estar associado com a retirada e o transporte destes materiais através do escoamento superficial (*runoff*), e não estritamente com a perda de material mineral do solo, conforme o comportamento semelhante encontrado por Rangel e Guerra (2018) na área de estudo.

Rangel e Guerra (2018), Rangel (2018) e Rangel *et al.*, (2019) também identificaram que a alteração das características físicas do solo devido ao pisoteamento provocado pelo uso público nas trilhas, o aumento do grau de compactação do solo, a redução da serrapilheira e de material orgânico, também contribuem para a desagregação e o selamento da camada superficial do solo, que conseqüentemente, aceleram a evolução das feições erosivas nas trilhas, já que a ausência de vegetação e material orgânico em seu leito expõe o solo aos efeitos de erosividade da chuva e acentua a perda de solo e outros materiais sólidos através do escoamento superficial (*runoff*). Desta maneira, tanto os trabalhos supracitados e como os registros fotográficos de campo (Figuras 4 e 5) permitem inferir que as trilhas estudadas apresentam solo exposto, compactados e com pouca serrapilheira/material orgânico, que auxiliado ao pisoteamento intensivo provocado pelo fluxo de turistas em determinados períodos do ano (MMA, 2002; ICMBIO, 2014), favorecem a formação de caminhos preferenciais para o escoamento superficial e o desenvolvimento de processos erosivos ao longo do leito das trilhas. Ainda, a compactação elevada pelo pisoteio reduz a infiltração da água no solo, altera a sua estrutura e estabilidade, promove a redução nas taxas de infiltração e percolação de água, eleva o volume do *runoff* e perda de materiais sólidos do solo (GUERRA *et al.*, 2017; RANGEL *et al.*, 2019; DU *et al.*, 2021; ZHU; XU, 2021; PEREIRA *et al.*, 2022).

Logo, o transporte de matérias sólidas (orgânicas e minerais) do solo pelo *runoff*, favorecido tanto pelas precipitações como pelo pisoteio do solo, pode estar associados com a redução da serrapilheira do ponto 1 no primeiro monitoramento (2021) para o segundo (2022), e com a maior evolução da área da seção transversal deste ponto ante a seção do ponto 2, já que o maior volume de chuvas e a compactação do solo devido ao pisoteamento do leito da trilha pelo fluxo de pessoas tendem a formar caminhos preferenciais de água, promoverem a lavagem da superfície do solo e a remoção de partículas sólidas, que conseqüentemente, aumentam a área da seção transversal neste ponto (RANGEL *et al.*, 2019; FIGUEIREDO; MARTINS, 2021; PEREIRA *et al.*, 2022).

Ainda, essa relação se reforça devido aos maiores índices pluviométricos coincidirem com o período de grande fluxo de visitantes pelo início de verão e ao início do período de férias (dezembro e janeiro). Logo, há um conjunto de fatores que favorecem a compactação do solo; a remoção da serrapilheira; a redução da sua porosidade, a infiltração, aeração e capacidade de campo; a acentuar a ocorrência de processos erosivos nas trilhas; e a aumentar a área das seções transversais monitoradas (GUERRA *et al.*, 2017; RANGEL *et al.*, 2019; PEREIRA *et al.*, 2022).

Sendo assim, a microtopografia do solo analisada durante os períodos de monitoramento pode ter suas alterações associadas ao pisoteio gerado pelo elevado fluxo de visitantes, como também pelo regime pluviométrico local, que além de estar predominantemente concentrado em meses específicos, provoca a concentração de fluxo preferenciais de água, que por, sua vez, convergem para as ravinas e contribuem para a evolução dos processos erosivos, para a remoção de materiais sólidos orgânicos e minerais do solo, para o surgimento de novas erosões e para o aumento da susceptibilidade do solo à erosão (GUERRA *et al.*, 2017; BOARDMAN; POESEN; EVANS, 2021; FIGUEIREDO; MARTINS, 2021). Entretanto, reforça-se a necessidade da realização da análise das características físicas e químicas do solo associadas à sua erodibilidade (granulometria, porosidade, densidade do solo, pH e

matéria orgânica), por exemplo, para reforçar a relação entre a evolução espacial da área das seções transversais com o impacto do pisoteamento do solo e a dinâmica destes atributos físico-químico nos pontos monitorados.

Sobre a declividade média e o comprimento da rampa onde estes pontos estão localizados, apesar do ponto 1 apresentar valores do comprimento de rampa e de declividade média superiores às do ponto 2, a evolução da área da sua seção transversal foi menor do que a da área deste último ponto. Possivelmente, esta evolução também está mais associada com a remoção da serrapilheira do que com a perda de solo, conforme discutido anteriormente, já que, teoricamente, declividades elevadas e encostas mais longas tendem a intensificar o volume, a velocidade e o poder erosivo da água, e remover maiores quantidades de partículas do solo ante encostas menores e mais suaves (KER *et al.*, 2015; GUERRA *et al.*, 2017; POESEN, 2018; BOARDMAN; POESEN; EVANS, 2021).

Por outro lado, Morgan (2005) destaca que não há necessariamente uma correlação positiva entre a declividade e os processos erosivos, já que em alguns casos a erosão pode diminuir devido ao decréscimo de material disponível no solo. Desta forma, deve-se analisar este fator correlacionado com outros aspectos, como, por exemplo, as características físicas e químicas do solo, que, por sua vez, não foram mensuradas no trabalho. Sendo assim, considerando que a área das trilhas é composta predominantemente por solos poucos desenvolvidos e com uma evolução não muito avançada, como os Cambissolos Háplicos Distróficos (MMA, 2002; CARVALHO FILHO *et al.*, 2003), infere-se que, apesar do ponto 1 estar localizado numa rampa maior e com uma declividade mais acentuada, a pouca disponibilidade de materiais sólidos deste tipo de solo não favoreceu a retirada de sedimentos e o aumento da área da seção transversal, enquanto que no ponto 2, ao contrário, apesar de ser o mesmo tipo de solo, a existência de materiais orgânicos na superfície (serrapilheira) correspondeu à perda de material sólido pelo *runoff*, e conseqüentemente, a maior evolução da área de sua seção transversal ante o ponto 1.

5. Conclusões

Os dados apresentados nesta pesquisa indicam que há necessidade de se buscar alternativas efetivas ao turismo de massa que está sendo desenvolvido no litoral do Parque Nacional da Serra da Bocaina, haja visto que o fluxo intensivo de pessoas em seus principais atrativos geoturísticos, associados aos elevados índices pluviométricos da localidade, que se concentram em alguns meses do ano e coincidem com o período de maior visitação na localidade, indicam afetar diretamente na ocorrência de processos de degradação do solo, como no desenvolvimento evolutivo das feições erosivas que foram monitoradas nas duas trilhas.

Os dados obtidos neste monitoramento reforçam esta necessidade, já que a área das feições erosivas nas seções transversais escolhidas aumentaram de um monitoramento para o outro em ambos os casos (0,0194 m² no ponto 1 e 0,0197 m² no ponto 2), e também pelo fato de ter sido constatada a remoção da serrapilheira em um dos pontos monitorados (ponto 2), indicando, assim, não apenas um escoamento superficial com elevada capacidade de remover materiais sólidos do solo, como também uma menor proteção deste ante ao impacto das gotas de chuva e a perda de partículas orgânicas e inorgânicas, seja pela erosão por *splash* ou pelos processos erosivos hídricos. Além disso, estes dados permitem atribuir inferências acerca do pisoteamento do solo devido ao fluxo de pessoas ao longo das trilhas, já que este fluxo tende a contribuir para aumentar o volume do *runoff*, a perda de partículas orgânicas e inorgânicas no solo e ao desenvolvimento de feições erosivas.

Portanto, de maneira geral, os resultados indicaram a existência de uma relação entre a área das seções transversais, os índices pluviométricos, a retirada e o transporte de materiais sólidos pelo escoamento superficial (*runoff*) e a compactação do solo ocasionado tanto pelo pisoteio de visitantes, quanto pelo impacto das gotas das chuvas no leito das trilhas. Já as características fisiográficas apresentaram pouca relação com os dados obtidos, mas relação com o tipo de solo da área de estudo. Entretanto, destaca-se a necessidade de maiores períodos amostrais para o estabelecimento de novas correlações ou inferências.

Além disso, os resultados indicam a necessidade da realização de um monitoramento, tanto da microtopografia do solo, como dos índices pluviométricos, por um período temporal maior ao que foi realizado, assim como uma complementação destes dados com as características físico-químicas do solo, a fim de se obter dados mais concisos e absolutos sobre as correlações, relações e inferências que foram levantadas nesta pesquisa.

Destaca-se também que a elevada quantidade de sítios de geodiversidade e as populações tradicionais existentes nesta UC tendem a demandar um fluxo elevado de pessoas ao longo das trilhas, tornando necessário que seus gestores promovam o estímulo de atividades voltadas para a geoconservação, e que reconheçam a importância do patrimônio geológico e geomorfológico deste território, para assim, divulgá-los aos usuários que a

frequentam de tal modo que estes reconheçam e compreendam a relevância de manter a integridade do sistema ambiental no processo de visitação, e evitar a prática de atividades deletérias ao ambiente local.

Ainda, os processos de degradação do solo estudados nas trilhas também evidenciam a necessidade de ações de recuperação nos pontos degradados, como, por exemplo, o manejo de estruturas físicas que se encontram danificadas, pouca eficiência ou elevado riscos aos usuários; a construção de degraus e escadas em trechos com processos erosivos bem desenvolvidos; assim como a realização de ações de conscientização e de educação ambiental aos turistas e demais usuários, especialmente aquelas associadas a condutas adequadas e de baixo impacto, já que a o fluxo de pessoas pode ser um dos principais fatores que desencadeiam estes processos.

Por fim, os resultados desta pesquisa demonstram a importância de pesquisas técnicas e de trabalhos de campo voltadas para o planejamento, a gestão e a análise das atividades de uso público em Unidades de Conservação, com o objetivo de desenvolver diagnósticos e ações para auxiliar e subsidiar iniciativas voltadas à recuperação ambiental e também a redução de impactos negativos nestas áreas protegidas.

Contribuições dos Autores: G. M. de Lima: Concepção, metodologia, software, curadoria dos dados e redação (inicial -revisão - edição); L. de A. R: Metodologia, redação (inicial - revisão), validação e análise formal; A. J. T. G: Análise formal, redação (revisão), administração do projeto e aquisição de financiamento.

Agradecimentos: Os autores desta pesquisa agradecem ao Programa de Pós-Graduação de Geografia (UFRJ), a CAPES e a FAPERJ pelo apoio financeiro necessário para a elaboração dos trabalhos de campo, e ao Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio) pela autorização necessária para realizar a pesquisa.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse. Os financiadores não tiveram interferência no desenvolvimento do estudo; na coleta, análise ou interpretação dos dados; na redação do manuscrito, ou na decisão de publicar os resultados.

Referências

1. ALBALADEJO, J.; DIAZ-PEREIRA, E.; VENDE, J. Eco-holistic soil conservation to support land degradation neutrality and the sustainable development goals. *Catena*, v. 196, p. 104823 - 104833, 2021. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104823
2. ALMEIDA, M. P.; LIMA, G. S.; MARTINS, S. V.; BONTEMPO, G. C. Characterization and degradation state of the trails in Caparaó National Park. *Floresta*, v. 49, n. 4, p. 709-716, 2019. DOI: 10.5380/rev.v49i4.58156
3. BAER, S. G.; BIRGÉ, H. E. Soil ecosystem services: an overview. *Managing Soil Health for Sustainable Agriculture Volume 1*, [S.L.], p.17-38, 2018. DOI: 10.19103/AS.2017.0033.02
4. BARROS, A.; PICKERING, C. M. How Networks of Informal Trails Cause Landscape Level Damage to Vegetation. *Environmental Management*, v. 60, n. 1, p. 57-68, 2017. DOI: 10.1007/s00267-017-0865-9
5. BHAMMAR, H.; LI, W.; MOLINA, C. M. M.; HICKEY, V.; PENDRY, J.; NARAIN, U. Framework for Sustainable Recovery of Tourism in Protected Areas. *Sustainability*, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 2798-2808, 2021. DOI: 10.3390/su13052798
6. BOARDMAN, J.; POESEN, J.; EVANS, M. Slopes: soil erosion. *Geological Society, London, Memoirs*, [S.L.], v. 58, p. 1-15, 2021. DOI: 10.1144/M58-2021-4
7. BREVES, G. S. S.; BARBOSA, E. F. P.; GARDA, A. B.; SOUZA, T. V. S. **Monitoramento da Visitação em Unidades de Conservação Federais: Resultados de 2019 e Breve Panorama Histórico**. Brasília: ICMBio, 2020.
8. CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J. F.; WITTERN, K. P.; LEMOS, A. L.; SANTOS, R. D.; CALDERANO FILHO, B.; OLIVEIRA, R. P.; AGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S.; CHAFFIN, C. E.; MOTHCI, E. P.; LARACH, J. O. I.; CONCEIÇÃO, M.; TAVARES, N. P.; SANTOS, H. G.; GOMES, J. B. V.; CALDERANO, S. B.; GONCALVES, A. O.; MARTORANO, L. G.; BARRETO, W. O.; CLAESSEN, M. E. C.; PAULA, J. L.; SOUZA, J. L. R.; LIMA, T. C.; ANTONELLO, L. L.; LIMA, P. C. **Mapa de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. Escala 1:250.000.
9. CENTERI, C. Soil Water Erosion. *Water*, v. 14, n. 3, p. 447-501, 2022. DOI: 10.3390/w14030447
10. CONTI, B. R.; IRVING, M. A. Desafios para o ecoturismo no Parque Nacional da Serra da Bocaina: o caso da Vila de Trindade (Paraty, RJ). *Revista Brasileira de Ecoturismo (Rbecotur)*, v. 7, n. 3, p. 517-538, 2014. DOI: 10.34024/rbecotur.2014.v7.6400
11. DU, X.; JIAN, J.; DU, C.; STEWART, R. D. Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. *International Soil and Water Conservation Research*, v. 10, n. 2, p. 188-196, 2022. DOI: 10.1016/j.iswcr.2021.08.001.
12. FERNÁNDEZ-RAGA, M.; PALENCIA, C.; KEESSTRA, S.; JORDÁN, A.; FRAILE, R.; ANGULO-MARTÍNEZ, M.; CERDÀ, A. Splash erosion: a review with unanswered questions. *Earth-Science Reviews*, v. 171, p. 463-477, 2017. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.06.009

13. FERREIRA, C. G. Erosão hídrica em solos florestais. Estudo em povoamentos de *Pinu spinaster* e *Eucalyptus globulus* em Macieira - Alcôba. **Revista da Faculdade de Letras: Geografia**, Porto, v. 12/13, p. 145-244. 1996.
14. FERREIRA, C. S. S.; SEIFOLLAHI-AGHMIUNI, S.; DESTOUNI, G.; GHAJARNIA, N.; KALANTARI, Z. Soil degradation in the European Mediterranean region: processes, status and consequences. **Science of The Total Environment**, [S.L.], v. 805, p. 150106-150123, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150106
15. FIGUEIREDO, M. A.; MARTINS, J. V. A. Erosão em trilhas e sua relação com o turismo em áreas protegidas: uma breve discussão. In: SUTIL, T.; LADWIG, N. I.; SILVA, J. G. S. (org.). **Turismo em áreas protegidas**. Criciúma: UNESC, 2021. p. 173-195.
16. FOLHARINI, S. O.; MELO, S. N.; CAMERON, S. R. Effect of protected areas on forest crimes in Brazil. **Journal Of Environmental Planning And Management**, v. 65, n. 2, p. 272-287, 2021. DOI: 10.1080/09640568.2021.1881885
17. FONSECA FILHO, R. E.; VARAJÃO, A. F. D. C.; FIGUEIREDO, M. A.; CASTRO, P. T. A. Pedological aspects as environmental quality indicators of a touristic trail in the Serra do Cipó National Park/MG. **Rem - International Engineering Journal**, v. 71, n. 4, p. 543-551, 2018. DOI: 10.1590/0370-44672016710123
18. GMACH, M. R.; CHERUBIN, R.; KAISER, K.; CERRI, C. E. P. Processes that influence dissolved organic matter in the soil: a review. **Scientia Agricola**, [s.l.], v. 77, n. 3, p.1-10, 2020. DOI: 10.1590/1678-992X-2018-0164
19. GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O.; FULLEN, M. A. BEZERRA, J. F. R. The geomorphology of Angra dos Reis and Paraty municipalities, Southern Rio de Janeiro State. **Revista Geonorte**, v.9, n.1, p.1-21, 2013.
20. GUERRA, A. J. T.; FULLEN, A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R.; SHOKR, M. S. Slope processes, mass movements and soil erosion: a review. **Pedosphere**, v. 27, p. 27-41, 2017. DOI: 10.1016/s1002-0160(17)60294-7
21. HEILBRON, M.; EIRADO, L. G.; ALMEIDA, J. **Mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Rio de Janeiro**. Belo Horizonte: CPRM, 2016. Escala 1:400.000.
22. HIRUMA, S. T.; RICCOMINI, C.; MODENESI-GAUTTIERI, M. C.; HACKSPACHER, P. C.; HADLER NETO, J. C.; FRANCO-MAGALHÃES, A. O. B. Denudation history of the Bocaina Plateau, Serra do Mar, Southeastern Brazil: relationships to Gondwana breakup and passive margin development. **Gondwana Research**, [S.L.], v. 18, n. 4, p. 674-687, 2010. DOI: 10.1016/j.gr.2010.03.001.
23. ICMBIO – INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE. **Piscina natural terá limite de visitantes em Parque Nacional**. 2014. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/parnaserradabocaina/destaques/122-operacao-carnaval-2014.html>. Acesso em: 23 ago.2022.
24. IRVING, M. A.; LIMA, M. A. G.; NASRI, Y. X. G. Turismo e áreas protegidas: tendências globais e desafios para a integração de políticas públicas. **Confins**, [S.L.], n. 54, p. 1-7, 2022. DOI: 10.4000/confins.45109
25. KAMINO, L. H. Y.; REZENDE, E. A.; SANTOS, L. J. C.; FELIPPE, M. F.; ASSIS, W. L. Atlantic Tropical Brazil. In: SALGADO, A. A. R.; SANTOS L. J. C.; PAISANI, J. C. **The Physical Geography of Brazil: Environment, Vegetation and Landscape**, New York: Springer, 2019. p. 41-74.
26. KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 343p.
27. LAL, R. **Soil Quality and Soil Erosion**. CRC Press: Boca Raton, 2019.
28. LEUNG, Y. F.; SPENCELEY, A.; HVENEGAARD, G.; BUCKLEY, R. **Tourism and visitor management in protected areas: Guidelines for sustainability**. Gland: IUCN, 2018. 120p.
29. LEUZINGER, M. D.; SANTANA, P. C.; SOUZA, L. R. **Parques nacionais do Brasil: pesquisa e preservação**. Brasília: CEUB, 2020. 748p.
30. MALDONADO-ORÉ, E. M.; CUSTODIO, M. Visitor environmental impact on protected natural areas: an evaluation of the huaytapallana regional conservation area in Peru. **Journal of Outdoor Recreation And Tourism**, v. 31, p. 100298-100311, 2020. DOI: 10.1016/j.jort.2020.100298.
31. MANNING, R.; ANDERSON, L.; PETTENGILL, P. **Managing Outdoor Recreation: Case Studies in the National Parks**. Cambridge: CABI, 2017. 264p.
32. MEADEMA, F.; MARION, J. L.; ARREDONDO, J.; WIMPEY, J. The influence of layout on Appalachian Trail soil loss, widening, and muddiness: implications for sustainable trail design and management. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 257, p. 1-10, 2020. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109986
33. MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina**. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente. Diretoria de Ecossistemas/Departamento de Unidades de Conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/parnaserradabocaina/extras/62-plano-de-manejo-e-monitorias.html>. Acesso em: 23 jan. 2012.

34. MOREIRA, L. P.; SOUZA, T. R.; GUIMARÃES, L. L.; BARRELLA, W.; SADAUSKAS-HENRIQUE, H.; RAMIRES, M. Impact of tourism on two trails in the Sustainable Development Reserve of Barra do Una, Peruíbe City, State of São Paulo, Brazil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. 1 - 22, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i10.8508
35. MORGAN, R. P.C. **Soil Erosion and Conservation**. England: Blackwell Publishers, 2005. 304p.
36. NEARING, M. A.; YIN, S. Q.; BORRELLI, P.; POLYAKOV, V. O. Rainfall erosivity: An historical review. **Catena**, v. 157, p. 357-362, 2017. DOI: 10.1016/j.catena.2017.06.004
37. OBALUM, S. E.; CHIBUIKE, G.U.; PETH, S.; OUYANG, Y. Soil organic matter as sole indicator of soil degradation. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s.l.], v. 189, n. 4, p.1-19, 2017. DOI: 10.1007/s10661-017-5881-y
38. PRĂVĂLIE, R. Exploring the multiple land degradation pathways across the planet. **Earth-Science Reviews**, v. 220, p. 103689, 2021. DOI: 10.1016/j.earscirev.2021.103689
39. PEREIRA, L. S.; RODRIGUES, A. M.; JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T.; BOOTH, C. A.; FULLEN, M. A. Detrimental effects of tourist trails on soil system dynamics in Ubatuba Municipality, São Paulo State, Brazil. **Catena**, [S.L.], v. 216, p. 1-15, set. 2022. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106431
40. POESEN, J. Soil erosion in the Anthropocene: research needs. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 43, n. 1, p. 64-84, 2018. DOI: 10.1002/esp.4250
41. RANGEL, L. A. **Geoturismo em unidades de conservação: a utilização de trilhas no litoral do Parque Nacional da Serra da Bocaina – Paraty (RJ)**. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
42. RANGEL, L. A.; GUERRA, A. J. T. Microtopografia e compactação do solo em trilhas geoturísticas no litoral do Parque Nacional da Serra da Bocaina – Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 2, p. 391 - 405, 2018. DOI: 10.20502/rbg.v19i2.1309
43. RANGEL, L. A.; JORGE, M. C.; GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A. Soil Erosion and Land Degradation on Trail Systems in Mountainous Areas: Two Case Studies from South-East Brazil. **Soil Systems**, v. 3, n. 3, p. 56-70, 2019. DOI: 10.3390/soilsystems3030056
44. ROMA, T. N.; MOREIRA, L. A.; RIONDET-COSTA, D. R. T.; GILIOLI, L. A. Diálogos de educação ambiental não formal: relato de experiência de um mutirão de limpeza em um parque nacional. **Educação Ambiental em Ação**, v. XVIII, n. 70, 20 mar. 2020.
45. ROMEO R.; RUSSO, L.; PARISI F.; NOTARIANNI M.; MANUELLI S.; CARVAO S. **Mountain tourism - Towards a more sustainable path**. UNWTO: Rome, 2021.
46. SALESA, D.; CERDÀ, A. Four-year soil erosion rates in a running-mountain trail in eastern Iberian Peninsula. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, v. 45, n. 1, p. 309-331, 2019. DOI: 10.18172/cig.3826
47. SHAKESBY, R. A. The soil erosion bridge: a device for micro-profiling soil surfaces. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 18, n. 9, p. 823-827, 1993. DOI: 10.1002/esp.3290180906
48. SILVA, A. O.; CASTRO, A. O. C. Avaliação dos impactos de uso público na trilha ecológica da Praia do Perigoso - Parque Natural de Grumari, RJ. **Revista Eletrônica Uso Público em Unidades de Conservação**, v. 3, n. 5, p. 1-12, 2015. DOI: 10.47977/2318-2148.2015.v3n5p1
49. SILVA, A. O.; BOTELHO, R. G. M. Diagnóstico das condições ambientais e de uso público na trilha do Peito do Pombo por meio do Protocolo de Avaliação Rápida (Sana - Macaé - RJ). **Revista Iberoamericana de Turismo (Ritur)**, n. 11, p. 177-195, 2021. DOI: 10.2436/20.8070.01.225
50. SOUZA, D. H.; HACKSPACHER, P. C.; SILVA, B. V.; SIQUEIRA-RIBEIRO, M. C.; HIRUMA, S. T. Temporal and spatial denudation trends in the continental margin of southeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, [S.L.], v. 105, p. 102931-102952, 2021. DOI: 10.1016/j.jsames.2020.102931.
51. THOMAZ, S. M.; BARBOSA, L. G.; DUARTE, M. C. S.; PANOSSO, R. Opinion: the future of nature conservation in Brazil. **Inland Waters**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 295-303, 2020. DOI: 10.1080/20442041.2020.1750255
52. VIEIRA, R. R.S.; PRESSEY, R. L.; LOYOLA, R. The residual nature of protected areas in Brazil. **Biological Conservation**, [S.L.], v. 233, p. 152-161, 2019. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.02.010
53. WARD-PERKINS, D.; BECKMANN, C.; ELLIS, J. **Tourism routes and trails: theory and practice**. Boston: CABI, 2020. 190p.
54. YIN, C.; ZHAO, W.; PEREIRA, P. Soil conservation service underpins sustainable development goals. **Global Ecology and Conservation**, [S.L.], v. 33, p. 1-8, 2022. DOI:10.1016/j.gecco.2021.e01974
55. ZHANG, X.; ZHONG, L.; YU, H. Sustainability assessment of tourism in protected areas: a relational perspective. **Global Ecology and Conservation**, [S.L.], v. 35, p. 1-14, 2022. DOI: 10.1016/j.gecco.2022.e02074
56. ZHU, T.; XU, X. **Watershed Erosion Processes**. Cham: Springer International Publishing, 2021. 172p.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.