

AVALIAÇÃO DA EROÇÃO DOS SOLOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEQUENO, PARATY-RJ

*ASSESSMENT OF SOIL EROSION IN THE DRAINAGE BASIN OF PEQUENO RIVER, PARATY
MUNICIPALITY, RIO DE JANEIRO STATE*

*EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN DEL SUELO EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO
PEQUENO, PARATY-RJ*

<https://doi.org/10.26895/geosaberes.v12i0.1060>

RAFAEL CARVALHO SANTOS ^{1*}
ANTONIO JOSE TEIXEIRA GUERRA ²

¹ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
Cidade Universitária, CCMN, CEP: 21941-916, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, Tel.: (+55 21) 99676.4290, rafac.16@gmail.com,
<http://orcid.org/0000-0002-3118-0054>

*Autor correspondente

² Professor do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
Cidade Universitária, CCMN, CEP: 21941-916, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, antoniotguerra@gmail.com,
<http://orcid.org/0000-0003-2562-316X>

Histórico do Artigo:

Recebido em 11 de Julho de 2020.

Aceito em 12 de Janeiro de 2021.

Publicado em 13 de Janeiro de 2021.

RESUMO

A erosão dos solos é um fenômeno natural que vem se acelerando pelas atividades humanas desenvolvidas de forma inadequada, resultando na degradação dos solos e de suas múltiplas funções. Nesse sentido, o objetivo do trabalho é avaliar o estado ambiental da bacia hidrográfica do rio Pequeno – Paraty/RJ, com destaque para a problemática da erosão dos solos. Os procedimentos metodológicos envolveram levantamentos bibliográficos e documentais, trabalhos de campo, análises de atributos do solo e mapeamentos temáticos. Os resultados apontam que as características do relevo contribuem para a aceleração dos processos geomorfológicos e, apesar das limitações, os solos apresentaram baixa erodibilidade. No entanto, as mudanças na cobertura vegetal e o uso e manejo inadequado têm influência no aporte de matéria orgânica do solo, podendo afetar seus atributos e aumentar sua erodibilidade com o tempo.

Palavras-chave: Erodibilidade. Diagnóstico Ambiental. Unidade de Conservação.

ABSTRACT

Soil erosion is a natural phenomenon that has been accelerated by inadequately human activities, resulting in soil degradation and its multiple functions. In this sense, the objective of this research work is to assess the environmental status of the drainage basin of Pequeno river, Paraty Municipality, Rio de Janeiro State, with emphasis on soil erosion. The methodological procedures involved bibliographical and documentary surveys, fieldwork, analysis of soil attributes and thematic mappings. The results show that the relief characteristics contribute to geomorphological processes acceleration and, despite the limitations, soils showed low erodibility. However, changes in vegetation cover and inadequate use and management have an influence on the supply of organic matter into the soil, which may affect its attributes and increase its erodibility over time.

Keywords: Erodibility. Environmental Assessment. Conservation Units.

RESUMEN

La erosión del suelo es un fenómeno natural que se ha acelerado por actividades humanas inadecuadamente desarrolladas, lo que resulta en la degradación del suelo y sus múltiples funciones. En este sentido, el objetivo del trabajo es evaluar el estado ambiental de la cuenca hidrográfica del río Pequeno - Paraty / RJ, con énfasis en el problema de la erosión del suelo. Los procedimientos metodológicos incluyeron encuestas bibliográficas y documentales, trabajo de campo, análisis de atributos del suelo y mapeos temáticos. Los resultados muestran que las características de alivio contribuyen a la aceleración

de los procesos geomorfológicos y, a pesar de las limitaciones, los suelos mostraron una baja capacidad de erosión. Sin embargo, los cambios en la cubierta vegetal y el uso y manejo inadecuados influyen en el suministro de materia orgánica en el suelo, lo que puede afectar sus atributos y aumentar su erosión con el tiempo.

Palabras clave: Erodabilidad. Diagnóstico ambiental. Unidad de Conservación.

INTRODUÇÃO

A erosão dos solos é um processo geomorfológico que vem acarretando na degradação ambiental em vários países do mundo (GUERRA et al., 2017; MORGAN, 2005; POESEN, 2018). Ela ocorre, sobretudo, devido à interação de fatores controladores, sendo eles a erosividade da chuva, erodibilidade do solo, características da encosta e cobertura vegetal. Porém, as atividades humanas desenvolvidas de forma inadequada têm acelerado a ocorrência no tempo-espaço de processos erosivos ligados ao escoamento superficial e subsuperficial, resultando na degradação dos solos e de suas múltiplas funções (GOUDIE, 1995; GUERRA, 2013 e 2014; MORGAN, 2005; OSMAN, 2014). Com isso, o equilíbrio dinâmico do ambiente natural acaba por ser rompido e danos à própria sociedade são percebidos, levando à perda da qualidade ambiental e cabendo a tomada de medidas que visem à conservação e recuperação das áreas degradadas (GUERRA et al., 2017; KONDOLF e PIÉGAY, 2011; POESEN, 2018).

A erosão dos solos pode acontecer em encostas com declividade superior a 3°, contribuindo com sua evolução, tendo taxas de transporte de sedimentos variadas ao longo da alta, média e baixa encosta, de acordo com as características da mesma e sua interação com outros fatores controladores (MORGAN, 2005; PEREIRA et al., 2016). A erosão nas encostas causada pela água é a que mais ocorre no mundo, possuindo duas fases básicas, são elas: a remoção de partículas do solo e o transporte dessas partículas pela superfície ou subsuperfície até diminuir a energia do fluxo e ocorrer a deposição do material em partes mais baixas da encosta, resultando numa terceira fase, ou lançando-o no canal fluvial (GOUDIE, 1995; GUERRA, 2013; MORGAN, 2005; POESEN, 2018).

A erodibilidade dos solos refere-se à resistência do solo à erosão, onde as propriedades físicas, químicas e mineralógicas são significativas para a indicação da sua suscetibilidade à erosão associadas aos outros fatores controladores. As propriedades que influenciam na velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade de absorção da água pelo solo, assim como as que geram maior resistência a desagregação e remoção de partículas do solo, são fundamentais para acessar sua erodibilidade que varia ao longo do tempo de acordo com a dinâmica pedológica e sua relação com o ambiente. Entre elas, destacam-se: textura, teor e estabilidade dos agregados, densidade do solo – Ds, porosidade – Pt, teor de matéria orgânica – MO e pH (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014; GOUDIE, 1995; GUERRA, 2013; MORGAN, 2005; POESEN, 2018).

As características das encostas variam muito na superfície da Terra, mesmo em escalas grandes do terreno, e suas alterações pelas atividades humanas podem acarretar na aceleração de processos geomorfológicos, responsáveis pela evolução do relevo (FAVIS-MORTLOCK, 2012; GUERRA, 2015). Nesse sentido, os atributos do relevo fornecem informações relevantes no estudo da erosão dos solos. O conhecimento de parâmetros como altitude, declividade, forma e orientação das encostas são importantes para se caracterizar o relevo de forma mais completa (VALERIANO, 2008), além de permitir fazer observações sobre a dinâmica dos processos hidrológicos, geomorfológicos, pedológicos e ecológicos sobre a superfície (COELHO NETTO, 2013; MAFRA, 2012; POESEN, 2018).

A declividade é um parâmetro comumente utilizado para estabelecer critérios de uso adequado do solo/relevo, identificando áreas suscetíveis à morfogênese (LEPSH, 2011; ROSS e FIERZ, 2018; SILVEIRA e SILVEIRA, 2016). Ela pode transformar a energia potencial em energia cinética, acelerando a velocidade do fluxo superficial e sua capacidade de transporte,

sobretudo, quando o solo está sem cobertura vegetal. Assim como, encostas com declividades mais baixas podem favorecer o processo de infiltração (GUERRA et al., 2017; POESEN, 2018).

A orientação das encostas é um parâmetro que permite inferir sobre a direção do fluxo superficial, a exposição das encostas à insolação e à umidade. De maneira geral, no hemisfério sul as encostas orientadas para norte, nordeste, noroeste e leste recebem mais insolação do que as encostas orientadas para sul, sudeste, sudoeste e oeste, conseqüentemente, as primeiras possuem maior evapotranspiração do que as últimas. Essa variável geomorfológica pode gerar desdobramentos sobre os atributos do solo e os processos pedogenéticos, podendo refletir significativamente sobre o uso e cobertura da terra quando associados a outros fatores (ROVANI e CASSOL, 2012).

A forma das encostas é uma característica que pode afetar a aceleração, desaceleração, convergência e divergência de fluxos ao longo de sua superfície, influenciando no transporte e deposição de materiais (GUERRA, 2015). As encostas podem ser classificadas de acordo com sua curvatura em perfil e planta, resultando em nove combinações, onde a forma côncava-convergente possui a máxima concentração e acúmulo do escoamento e a convexa-divergente possui máxima dispersão do escoamento (VALERIANO, 2008).

A cobertura vegetal funciona como uma proteção natural para o solo contra a erosão. Ela protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva e dispersa a água da chuva através de sua interceptação e armazenamento pelas folhas, galhos e troncos. A vegetação também fornece MO para os solos e contribui com sua permeabilidade e armazenamento de água, diminui a velocidade e dispersa o fluxo superficial através da formação de serapilheira (COELHO NETO, 2013; GOUDIE e VILES, 2016; MORGAN, 2005).

Logo, o uso e cobertura da terra permitem inferir sobre os diferentes arranjos espaciais que configuram a paisagem, assim como os processos e fenômenos naturais e sociais responsáveis pelas transformações ambientais (GOUDIE e VILES, 2016). Quando se trata de um Parque Nacional e sua zona de amortecimento, essas informações assumem o papel de identificar possíveis vetores de pressão que podem ocasionar impactos, constituindo assim, relevante contribuição para a gestão e conservação ambiental.

Nesse sentido, o objetivo do trabalho é avaliar o estado ambiental da bacia hidrográfica do rio Pequeno – Paraty/RJ, diante das atividades agropecuárias ali exercidas, com destaque para a problemática da erosão dos solos. Assim, através da análise de fatores controladores dos processos erosivos, almeja-se fornecer elementos para o planejamento e a gestão de áreas degradadas na bacia em estudo, inserida no contexto regional do turismo e de Unidade de Conservação – UC.

ÁREA DE ESTUDO

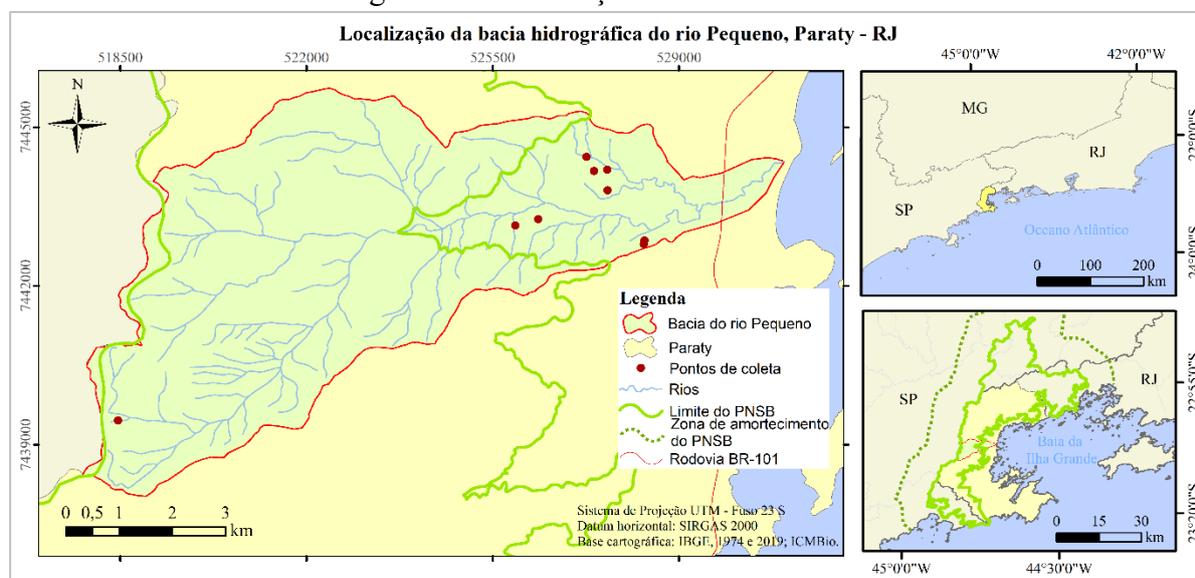
A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Pequeno – BHRP, localizada no município de Paraty, litoral sul fluminense, no Estado do Rio de Janeiro (Figura 1). A bacia está inserida no Parque Nacional da Serra da Bocaina – PNSB e sua zona de amortecimento, UC criada por Decreto Federal em 1971 e posteriormente modificada pelo Decreto Federal de 1972, abrangendo uma área de 104.000 hectares (BRASIL, 2002).

A BHRP tem embasamento geológico constituído predominantemente por granitos, que são rochas resistentes ao intemperismo e erosão. Devido a estas características, observa-se encostas rochosas e depósitos colúvio-aluvionares, compostos por matações com diâmetro entre 0,6 m – 3 m expostos e emersos no solo da região, ao longo de encostas e sopés dos principais vales (BRASIL, 2002).

De acordo com Dantas (2000), a área possui três unidades geomorfológicas: Escarpas Serranas, Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas e Planícies Flúvio-Marinhas. Predominam as Escarpas Serranas cujo relevo caracteriza-se por ter altas declividades, com escarpas festonadas

e topos de morros alinhados. O embasamento geológico exerce certo controle estrutural, com presença de vales estruturais sobre falhas ou fraturas, como também zonas de cisalhamento ou rochas supracrustais condicionando lineamentos e segmentos da rede de drenagem (DANTAS, 2000).

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: elaborado pelo autor.

A BHRP tem área de 46,84 km², apresenta hierarquia fluvial de 4^a ordem, padrão de drenagem dendrítico, com talvegue seguindo linha de fratura, fruto da associação do embasamento cristalino com o relevo dissecado da Serra do Mar (localmente conhecida como Serra da Bocaina), submetido ao clima tropical úmido (BRASIL, 2002).

A estação pluviométrica São Roque é a mais próxima da bacia e apresenta as maiores médias anuais da região, com 2.311 mm e média mensal de 193 mm no período de 1968 a 2011 (ANA, 2016). Isto se deve a posição geográfica da estação no litoral, sem presença de barreiras topográficas que impeçam a penetração dos ventos úmidos do quadrante sul (BRASIL, 2002). Ao analisar a distribuição temporal das chuvas nessa estação pluviométrica, observa-se que o período mais chuvoso se estende de novembro a março, com médias mensais de pluviosidade superiores a 250 mm, enquanto o mais seco vai de maio a agosto, com médias inferiores a 100 mm mensais.

Silva et al. (2013) calcularam o índice de erosividade anual médio EI₃₀ para a estação São Roque, no período de 1970 a 2010, chegando ao valor de 9.853 MJ/mm/ha/h/ano, indicando elevado potencial da chuva em causar erosão. Contudo, a dinâmica dos elementos atmosféricos nesta região é fortemente influenciada pelo relevo e pela amplitude altimétrica, acarretando em distribuição espacial e temporal irregular de chuvas e temperaturas ao longo da área de estudo (BRASIL, 2002; GUERRA et al., 2013).

O solo predominante é o Cambissolo Háplico que, de maneira geral, é pouco evoluído, raso a pouco profundo, com presença de fragmentos de rochas, elevada acidez e baixa fertilidade natural. Também se destacam o Latossolo Vermelho-Amarelo e, nas áreas com declividade acentuada, o Neossolo Litólico (BRASIL, 2002).

A vegetação natural predominante é a Floresta Ombrófila Densa, constituída por grande diversidade de espécies características do bioma da Mata Atlântica. Contudo, as pressões das atividades humanas, desenvolvidas ao longo da ocupação territorial, deixaram e deixam suas marcas na paisagem. A cobertura vegetal natural foi quase que totalmente destruída e mesmo

com a criação do PNSB, os remanescentes de Mata Atlântica e vegetação secundária continuam ameaçados (BRASIL, 2002).

MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de alcançar os objetivos propostos, inicialmente foi realizado levantamento bibliográfico e documental sobre a temática através de materiais disponíveis em bibliotecas, periódicos e *sites* de órgãos oficiais. A BHRP foi selecionada para o desenvolvimento do estudo, sua delimitação foi feita através da articulação em ambiente SIG das cartas topográficas SF.23-Z-C-I-1 de Cunha e SF.23-Z-C-I-2 de Parati, produzidas pelo IBGE em 1974 na escala de 1:50.000.

Foram realizados quatro trabalhos de campo na área de estudo entre 2015 e 2016, com o objetivo de realizar observações, anotações e registros fotográficos da paisagem, dialogar com os produtores rurais e coletar amostras de solo. Os critérios utilizados na escolha dos pontos de coleta foram baseados, previamente, em observações de imagens de satélite no *Google Earth* e no reconhecimento de campo. Procurou-se coletar as amostras no terço médio da encosta, onde a velocidade do escoamento superficial tende a ter maior potencial erosivo (MORGAN, 2005), levando em consideração a presença de sinais de processos erosivos, o tipo de solo, as características da encosta e o uso e cobertura da terra. Durante os trabalhos de campo, o acesso aos locais previamente selecionados foi dificultado por conta das chuvas, das péssimas condições das estradas rurais e, principalmente, pela falta de autorização dos produtores rurais para acessar suas propriedades.

Nesse sentido, não foi possível acessar certas áreas da bacia, então, as coletas ficaram concentradas na zona de amortecimento (Figura 1). As coletas foram feitas na camada superficial do solo, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, onde se observa maior influência das atividades humanas sobre propriedades do solo fundamentais para sua resistência à erosão (BRADY e WEIL, 2008; PEREIRA e THOMAZ, 2015; PEREIRA et al., 2016). Em cada ponto foram coletadas três amostras em anéis de Kopeck de 100 cm³, visando determinar a densidade do solo – Ds, densidade de partículas – Dp e porosidade total – Pt, e uma deformada, utilizada para determinar granulometria, pH e matéria orgânica – MO, ambas nas duas profundidades. Além disso, coletou-se um bloco indeformado na profundidade de 0-10 cm para verificar a estabilidade de agregados por via úmida. As características ambientais mais relevantes de cada ponto foram sistematizadas na Figura 2.

Mapeamentos

Através dos materiais cartográficos levantados foram elaborados mapas de hipsometria, declividade, orientação das encostas, forma das encostas e uso e cobertura da terra. Foram utilizados as curvas de nível com equidistância de 20 m, pontos cotados e rede de drenagem das cartas topográficas fornecidas pelo IBGE para a criação do Modelo Digital de Elevação – MDE, que constitui uma representação digital contínua do relevo no espaço, muito utilizados em estudos de bacias hidrográficas (FITZ, 2008). A estrutura matricial do MDE armazena em suas células valores de altitude que permitem calcular variáveis topográficas através da modelagem do relevo, levando em consideração a relação entre as células (VALERIANO, 2008).

Para a elaboração do MDE foi utilizada a ferramenta *Topo to Raster* do ArcGIS 10.1. O *raster* foi gerado com células de 25x25 metros e utilizado na criação dos mapas de hipsometria, declividade, orientação e forma das encostas. O mapa hipsométrico foi elaborado através do fatiamento da altitude em classes, sobre o qual foi sobreposto o relevo sombreado com 60% de transparência. A partir das ferramentas *Hillshade*, *Slope*, *Aspect* e *Curvature*, respectivamente,

foram criados os mapas de sombreamento do relevo, declividade, orientação e forma das encostas.

Figura 2 – Principais características ambientais dos pontos de coleta de solo na BHRP, Paraty – RJ.

Ponto	Coord. UTM	Alt. (m)	Dec. (°)	Posição na encosta	Forma da encosta	Solo	Uso e cobertura da terra	Observações
F1	527405-7444174	165	21	Média encosta	Retilínea	CX	Floresta	Secundária
A1	527652-7444197	95	28	Média-Baixa encosta	Convexa	CX	Agricultura	Cultivo permanente de coco com solo exposto
A2	527262-7444441	146	26	Baixa encosta	Côncava	CX	Agricultura	Cultivo de banana, cana-de-açúcar e mandioca
P1	525926-7443142	241	26	Média encosta	Convexa	CX	Pastagem	Presença de matacões e sinais de superpastoreio
P2	518458-7439457	1.420	25	Baixa encosta	Retilínea	CX	Pastagem	Presença de matacões e terracetes
F2	528341-7442791	141	13	Alta encosta	Convexa	LVA	Floresta	Secundária
P3	528353-7442862	118	36	Alta-Média encosta	Convexa	LVA	Pastagem	Submetido usualmente a queimadas e com presença de terracetes
P4	526357-7443265	189	22	Média encosta	Convexa	LVA	Pastagem	Submetido a queimada recentemente
P5	527660-7443810	62	18	Média-Baixa encosta	Retilínea	LVA	Pastagem	Submetido a queimadas usualmente

Fonte: elaborado pelo autor.

CX - Cambissolo; LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo.

Para a elaboração do mapa de declividade optou-se pela declividade em graus, os intervalos das classes e sua influência nos processos erosivos foram baseados no IBGE (2009), sendo definidas cinco classes: 0-3°, 3-8°, 8-20°, 20-45° e acima de 45°.

No mapa de forma das encostas, a ferramenta *Curvature* leva em consideração a combinação da curvatura em planta e perfil, obtendo resultados expressos em valores negativos indicando encostas côncavas, positivos para encostas convexas e igual a zero para encostas planas/retilíneas. Contudo, não existem encostas absolutamente planas, permitindo, assim, considerar valores entre -0,1 e 0,1 para encostas planas (SILVEIRA e SILVEIRA, 2016; VALERIANO, 2008).

A elaboração do mapa de uso e cobertura da terra foi realizada no *software* SPRING 5.5.0 a partir das imagens Rapideye de 21/07/2012 (cenas 2328415 e 2328416) com resolução de 5 m, fornecidas gratuitamente pelo MMA. As classes temáticas foram definidas de acordo com as observações feitas em campo e nas imagens de satélite do *Google Earth*, seguindo as

orientações do IBGE (2013), resultando nas seguintes classes: áreas de vegetação natural, áreas antrópicas agrícolas, solo exposto, afloramento rochoso, água e sombra.

Para o mapeamento das imagens utilizou-se a classificação supervisionada por região, técnicas que consistem no reconhecimento de áreas homogêneas, através da interação com o fotointérprete. Selecionou-se as bandas 352/RGB das imagens Rapideye, as quais foram realçadas através da aplicação de contraste. Em seguida, foi feita a segmentação por crescimento de região, a fim de agrupar os pixels vizinhos com características homogêneas, utilizando os valores de similaridade 25 e área do pixel 30. Os valores de similaridade e área do pixel foram definidos após realizar diversos testes, sendo esses os valores que apresentaram os melhores resultados para agrupar as feições das imagens em regiões e formar menos polígonos indevidos (FLORENZANO, 2011).

As imagens segmentadas foram então classificadas empregando o classificador Battacharya, com limiar de aceitação de 95%, para isso foram adquiridas amostras das diferentes classes temáticas estabelecidas. Por fim, o mapa matricial gerado foi convertido para vetor e realizado a edição vetorial para checagem e correção de erros (FLORENZANO, 2011).

Os mapas gerados foram então convertidos de *raster* para polígono e as classes temáticas quantificadas. Também foram realizados cruzamentos de dados entre os mapas através da ferramenta *Tabulate Area* no ArcGIS 10.1.

Análise dos atributos do solo

Os procedimentos laboratoriais para análise dos atributos do solo foram realizados no Laboratório de Geomorfologia Maria Regina Mousinho de Meis no Departamento de Geografia da UFRJ, seguindo as orientações da EMBRAPA (1997) e do método de Yoder (1936) modificado por Castro Filho et al. (1998). Todas as análises laboratoriais foram feitas em triplicata, calculando-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

A D_s foi obtida através do método do anel volumétrico, a D_p pelo método do balão volumétrico com álcool e a P_t calculada através dos resultados da D_s e D_p . Na análise granulométrica foi utilizado o método da pipeta (dispersão total), sendo calculadas as frações areia grossa (2,0-0,2 mm), areia fina (0,2-0,053 mm), silte (0,053-0,002 mm) e argila (abaixo de 0,002 mm) e determinada as classes texturais de cada amostra (EMBRAPA, 1997).

A análise da estabilidade de agregados foi realizada no equipamento Yoder, seguindo os procedimentos de homogeneização, umedecimento por capilaridade, peneiramento via úmida, secagem e pesagem do material retido em cada peneira (CASTRO FILHO et al., 1998; EMBRAPA, 1997). Após os procedimentos, foram calculados o Diâmetro Médio Ponderado – DMP, Diâmetro Médio Geométrico – DMG e Índice de Estabilidade dos Agregados – IEA utilizando as equações modificadas de Kemper e Rosenau (1986), onde:

$DMP (mm) = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)$, em que w_i = proporção de cada classe em relação ao total e x_i = diâmetro médio das classes, expresso em mm;

$DMG (mm) = \exp \frac{\sum w_i \ln x_i}{\sum w_i}$, em que w_i = proporção de cada classe em relação ao total e x_i = diâmetro médio das classes, expresso em mm;

$IEA (\%) = \left(\frac{\text{peso total dos agregados} - \text{peso dos agregados } < 0,25mm}{\text{peso da amostra seca}} \right) \times 100$.

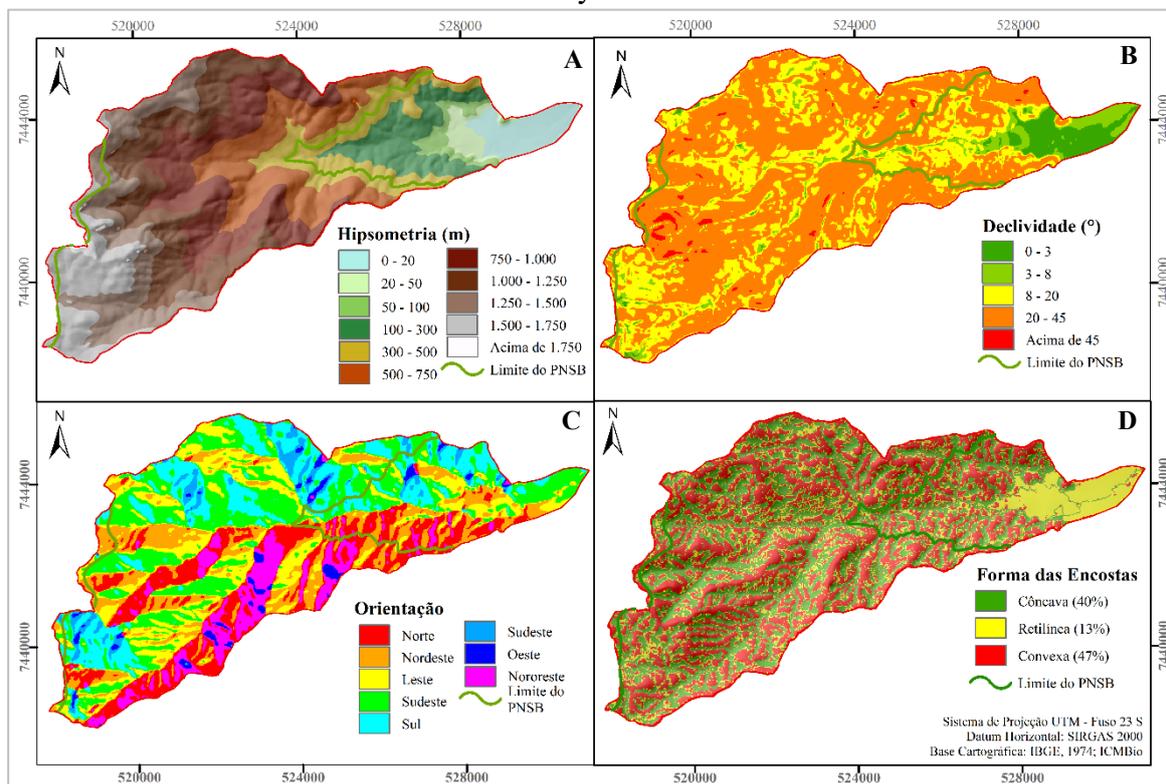
O pH foi medido através de um Potenciômetro com eletrodo combinado imerso em suspensão solo:água, 1:2,5. O carbono orgânico foi determinado pela oxidação de MO por via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, posteriormente convertido em teor de MO do solo (EMBRAPA, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Atributos do relevo

As classes hipsométricas mostram o elevado desnível topográfico apresentado pela BHRP e, através do sombreamento do relevo, fica nítido a espacialização da unidade geomorfológica predominante, as Escarpas Serranas (Figura 3a). A amplitude altimétrica é de aproximadamente 1.850 m, com as cotas mais baixas próximas a 0 m e o pico mais alta com 1.850 m, indicando elevada energia potencial para ocorrência do escoamento superficial. Apesar da resistência das rochas, a rede de drenagem possui forte potencial erosivo, incidindo sobre o relevo formando vales profundos com leitos pedregosos, assim como evidenciado por Ross e Fierz (2018). O limite do PNSB se estende entre a classe de 300-500 m e o topo da Serra da Bocaina, na divisa entre os Estados do Rio de Janeiro e São Paulo.

Figura 3 – a) Hipsometria; b) declividade; c) orientação; d) forma das encostas da BHRP, Paraty – RJ.



Fonte: elaborado pelo autor.

A classe de declividade (Figura 3b) predominante é de 20-45°, ocupando 61% da bacia, indicando forte influência para atuação de processos erosivos, como também de movimentos de massa, devido o predomínio do escoamento superficial semiconcentrado e concentrado (GUERRA et al., 2017). Seguida pela classe de 8-20° (28%) que apresenta influência moderada aos processos erosivos, se estendendo principalmente pelos fundos de vale. Nas classes com declividade inferior a 8°, a pedogênese é predominante e os solos tendem a ser mais desenvolvidos (IBGE, 2009). As duas classes com declividades menores que 8° totalizam 10% da bacia, elas estão concentradas próximas a Baía da Ilha Grande nas altitudes de até 100 m. Enquanto que a classe com declividade superior a 45° ocupa apenas 1% da área de estudo.

O PNSB ocupa 36 km² da BHRP, ou seja, 76% da área de estudo. Desse total de 36 km², 68% possui declividade entre 20-45° e outros 28% entre 8-20°, sendo um dos fatores relevantes

na delimitação da área do Parque, indicando fortes restrições ao uso do solo e alta suscetibilidade aos processos morfogenéticos (GUERRA et al., 2017; ROSS e FIERZ, 2018). As classes com predomínio de declividades acentuadas também foram encontradas em outras bacias hidrográficas sobre a Serra da Bocaina, a exemplo do trabalho de Neves (2015) na bacia do rio Mateus Nunes em Paraty – RJ.

Contudo, encostas com declividade a partir de 3° já podem sofrer erosão. Além disso, áreas com declives acentuados tendem a ter solos menos espessos, diminuindo a oferta de materiais, e menores chances de selagem do solo pela formação de crosta. Fato que demonstra a complexidade no estudo da erosão dos solos, onde apenas um fator não é suficiente para explicar o problema, cabendo entender e refletir sobre a interação entre os fatores controladores desses processos (GUERRA, 2015; GUERRA et al., 2017; MORGAN, 2005; PEREIRA et al., 2016; RODRIGUES, 2014).

Na área de estudo a maioria das encostas estão orientadas para sudeste (24%), seguida por leste (17%), nordeste (16%), sul (15%) e norte (15%), as orientações sudoeste, oeste e noroeste somam 14% (Figura 3c). A ferramenta utilizada para o mapeamento também classificou as áreas de planície, no entanto são áreas planas a suave onduladas.

No Estado do Rio de Janeiro, as encostas orientadas para o sul e sudoeste, por terem menor exposição aos raios solares, possuem maior incidência de florestas. Além disso, durante alguns períodos do ano elas recebem massas de ar úmidas que se refletem nas precipitações. Já encostas orientadas para nordeste e noroeste, por terem maior insolação, são mais preferidas para a agricultura (NOGUEIRA, 2012).

Nesse sentido, na BHRP as terras na margem direita do rio principal, por predominar a orientação para o norte, nordeste e noroeste, tendem a apresentar maior evapotranspiração do que as terras na margem esquerda, em decorrência da exposição aos raios solares. Notou-se também que as terras da margem direita são as mais utilizadas para atividades agrícolas.

Sathler (2004), em estudo realizado na região serrana do Rio de Janeiro, encontrou maior ocorrência na concentração de MO em encostas sob menor exposição solar ou cobertura vegetal densa e preservada. Demonstrando correlação entre encostas mais sombreadas e cobertura vegetal preservada com maiores conteúdos de MO no horizonte superficial dos solos.

Isso demonstra que na área de estudo, apesar de predominarem solos jovens, a orientação das encostas e a cobertura vegetal natural contribuem significativamente para oferta de MO aos solos, proporcionando, entre outros benefícios, melhoria da qualidade do solo e maior resistência aos processos erosivos.

A orientação das encostas, principalmente, para leste, além de sudeste, sul e sudoeste totalizam 59% da área de estudo, apresentando maiores índices pluviométricos devido as frentes frias recebidas nessas direções no litoral sul fluminense e o efeito orográfico proporcionado pela Serra da Bocaina. Por outro lado, as encostas com sentido norte, nordeste, noroeste e oeste, abarcam 41% da bacia e podem receber menor quantidade de chuvas, apesar do efeito orográfico proporcionado pela Serra.

Ao relacionar a direção das encostas com a declividade, observou-se que a maior parte das encostas orientadas para o norte (10%), nordeste (9%), leste (9%), sudeste (14%) e sul (10%), encontram-se sobre declive entre 20° e 45°. Nesse sentido, as vertentes mais úmidas tendem a ter a velocidade do escoamento aumentada pela declividade acentuada, sobretudo, quando se considera o comprimento da encosta.

No entanto, no que se refere a precipitação, observa-se que as chuvas diminuem com a altitude devido ao desnível topográfico apresentado pela bacia, como demonstram os dados do Plano de Manejo do PNSB (BRASIL, 2002), cabendo realizar estudos mais aprofundados sobre a relação entre a altitude, orientação das encostas e distribuição das chuvas.

As formas da encosta (Figura 3d) predominantes na área de estudo são convexas (47%), favorecendo a dispersão de fluxo e a erosão por salpicamento e laminar (MAFRA, 2012;

RODRIGUES, 2014). Além disso, as partes altas do relevo, constituídas principalmente por encostas convexas com baixa declividade, podem favorecer o armazenamento de água e detonar processos erosivos, como ravinas e voçorocas, caso a água seja liberada rapidamente através do fluxo lateral (FAVIS-MORTLOCK, 2012; GUERRA, 2013).

As encostas côncavas ocupam uma área de 40%, sobretudo nas proximidades dos fundos de vale, elas são marcadas pela concentração de fluxo e pela erosão e deposição de materiais, à medida que há uma desaceleração do escoamento (MAFRA, 2012; RODRIGUES, 2014). E as retilíneas totalizam 13%, ocupando as partes centrais das encostas entre as convexidades e concavidades do terreno. A ferramenta utilizada para o mapeamento também classificou as áreas de planície como retilínea, no entanto são áreas planas a suave onduladas.

Ao cruzar os dados de declividade com a forma das encostas, nota-se que a maior parte das encostas estão concentradas na classe de declividade 20-45°, sendo 29% convexas, 23% côncavas e 9% retilíneas. Indicando maior potencial erosivo devido os efeitos sobre os processos hidrológicos, haja vista as características físico-ambientais da BHRP. No entanto, como ressaltado anteriormente, deve-se considerar a interação entre os atributos do relevo e outros fatores controladores para a compreensão da problemática da erosão dos solos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014; GUERRA, 2013 e 2014; POESEN, 2018).

O predomínio de relevo acidentado na BHRP cria condições ambientais desfavorável ao desenvolvimento de solos profundos e ao acúmulo de MO, conseqüentemente, limita o uso agropecuário, estando a maioria dos solos suscetíveis aos processos erosivos. Todavia, a cobertura vegetal florestal tem papel primordial na proteção do solo e no fornecimento de nutrientes, capaz de minimizar os efeitos dos atributos do relevo e das chuvas com alto potencial erosivo.

Uso e cobertura da terra

Ao analisar o uso e cobertura da terra do ano de 2012 na BHRP (Figura 4), após 41 anos da criação do PNSB, observa-se que 83,37% da área estão cobertos por vegetação natural, sendo representada por remanescentes florestais em diferentes estágios de sucessão. As áreas antrópicas agrícolas são caracterizadas principalmente pela pecuária extensiva e agricultura e ocupam 14,39% da bacia. As áreas com solo exposto ocorrem associadas as atividades agropecuárias em decorrência do sobrepastoreio, desmatamento e queimadas visando a limpeza ou expansão das pastagens e/ou a preparação do solo para o cultivo, tanto na zona de amortecimento como dentro do Parque, totalizando 0,43%. As classes afloramento rochoso e água correspondem, respectivamente, a 0,58% e 0,13%. Já a classe sombra ocupa 1,11% e pode representar áreas de floresta e/ou afloramentos rochosos.

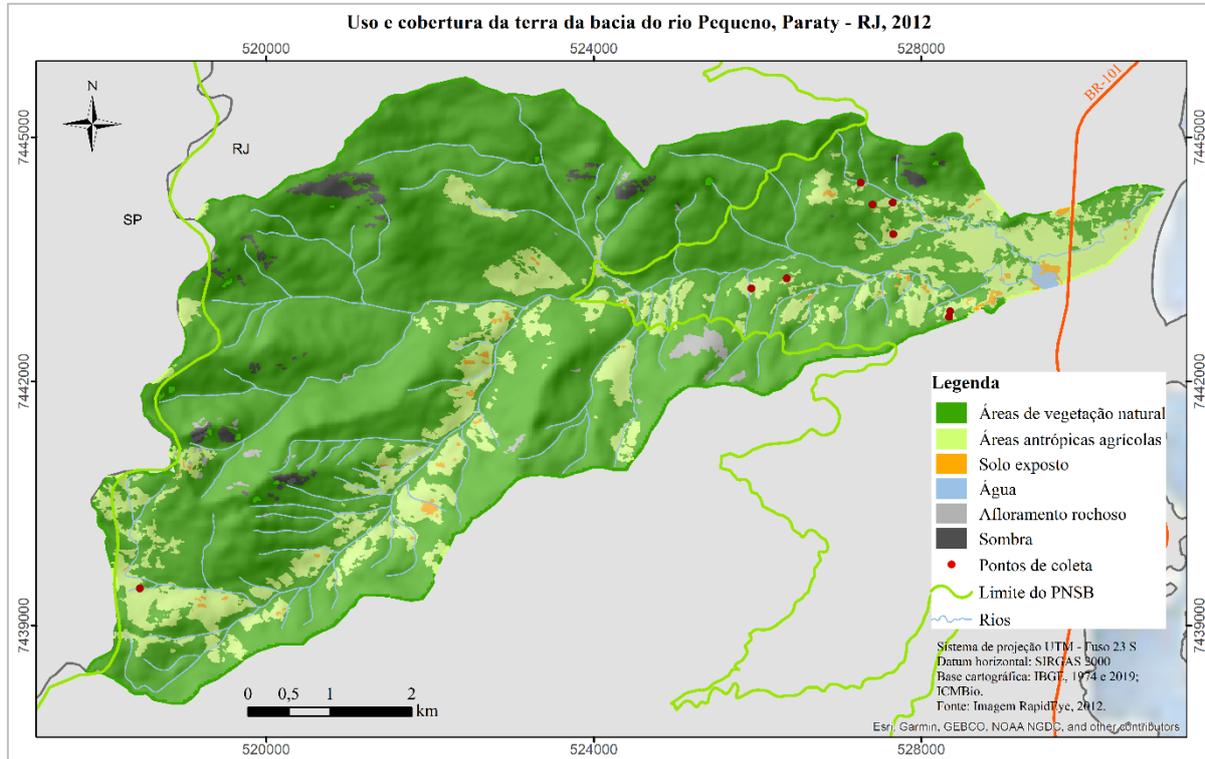
Observa-se que as pressões das atividades agropecuárias ainda ocorrem dentro desta UC de proteção integral. A BHRP possui 36 km² (76%) de sua área dentro do PNSB, desse total, 11,2% corresponde as áreas antrópicas agrícolas, principalmente em encostas com declividades superiores aos 20°. Enquanto, outros 11 km² (24%) compreendem a zona de amortecimento do Parque, onde 26,8% é ocupado com atividades agropecuárias (Figura 5).

O uso da terra na área de estudo reflete a preocupação dos proprietários em consolidar a ocupação, mesmo com as restrições impostas pelos fatores ambientais, principalmente, a baixa fertilidade dos solos e a declividade acentuada, como também as restrições legais que envolvem o PNSB e sua zona de amortecimento. Além disso, todo o município de Paraty está sujeito a restrições de uso, devido seu reconhecimento como Monumento Nacional, objetivando justamente proteger o patrimônio artístico e natural (BRASIL, 2002).

A expansão das áreas destinadas às atividades agropecuárias, sobre encostas íngremes da bacia, ainda hoje é baseada no uso de técnicas rudimentares. Devido ao baixo custo financeiro, os produtores rurais utilizam frequentemente das queimadas para manter o pasto limpo e

renovado, evitando que a vegetação secundária se regenere naturalmente (Figura 5c). Contudo, as queimadas degradam a vegetação e o solo, podendo matar espécies endêmicas e/ou ameaçadas de extinção, impedir a conectividade entre fragmentos florestais ou mesmo avançar sobre as florestas, causando danos ainda mais sérios (GOUDIE e VILES, 2016; RANGEL e GUERRA, 2017; THOMAZ, 2018).

Figura 4 – Uso e cobertura da terra na BHRP, Paraty – RJ, em 2012



Fonte: elaborado pelo autor.

Nesse sentido, os atributos do relevo, os altos índices pluviométricos e os solos rasos, quando associados a retirada da cobertura florestal tendem a criar condições favoráveis aos processos morfogenéticos (Figura 5a e 5d). Com a substituição das florestas por pastagem, agricultura ou solo exposto, a superfície do terreno fica mais desprotegida contra o impacto das gotas de chuva, a oferta de matéria orgânica e a formação de serapilheira tendem a diminuir, principalmente quando são feitas queimadas. Consequentemente, a capacidade de infiltração da água no solo diminui, favorecendo o aumento do escoamento superficial, cuja velocidade pode ser acelerada por conta da declividade, rugosidade e forma da encosta, acelerando a perda de solo (GOUDIE e VILES, 2016; PEREIRA et al., 2016; POESEN, 2018).

A estreita área de planície costeira é utilizada predominantemente para a atividade pecuária. Cultivos temporários ocorrem em pequenas áreas da planície e são voltadas para a subsistência e a comercialização na própria região, nessas áreas verificou-se que os produtores rurais adotam técnicas para melhorar a produtividade. Além disso, existem pequenos remanescentes de vegetação natural (florestas e mangue).

De maneira geral, as áreas com agricultura na bacia são muito pequenas e dispersas pelas encostas próximas ao litoral. Na medida que se avança na direção oeste da bacia, a pecuária é a principal atividade antrópica (Figura 5b). Os pastos ocupam as áreas com declividades menos íngremes nas encostas próximas ao rio principal, geralmente, com blocos rochosos expostos na superfície do solo e sinais de sobrepastoreio. No alto da Serra da Bocaina, extremo oeste da bacia, as pastagens se estendem pelos terrenos declivosos no vale dentro do PNSB.

Em campo, verificou-se o abandono de áreas de cultivo dando lugar a pastagens ou mesmo a recuperação natural da vegetação. As causas desse abandono são diversas, entre elas a improdutividade da terra, as dificuldades financeiras para produção, as dificuldades para a comercialização e os baixos preços dos produtos, tudo isso acaba desestimulando os pequenos proprietários rurais. A pecuária, por outro lado, possui custos muito mais baixos, pode fornecer leite para o consumo das famílias e os animais são mais facilmente comercializados quando necessário. No entanto, há necessidade de áreas mais extensas com pastagem para a criação dos bovinos, resultando quase sempre em pressões sobre as florestas.

Figura 5 – a) Coqueiral com solo exposto e sinais de erosão laminar; b) Pastagem com ocorrência de matacões; c) Ravina em encosta com pastagem submetida a queimada; d) Encosta convergente com ocorrência de ravina na BHRP, Paraty – RJ



Fonte: trabalhos de campo, 2015 e 2016.

O turismo sustentável e a pesquisa científica deveriam ser as principais atividades praticadas na área do PNSB. A Pedra da Macela (1850 m) é o ponto mais alto da área de estudo e um dos principais atrativos turísticos (BRASIL, 2002), o acesso se dá através de uma estrada rural e uma trilha pavimentada, que leva também à antena de micro-ondas de Furnas, porém não existe nenhum controle ou conscientização para os turistas. Além disso, a área da Pedra da Macela foi bastante afetada pelo desmatamento para abertura de pastagens e agricultura, apesar de atualmente isso está diminuindo devido a regeneração da vegetação na área isolada. Já a zona de amortecimento conta com uma pousada de alto padrão construtivo, que explora as belezas naturais para o desenvolvimento do turismo.

Por outro lado, os conflitos relacionados ao uso da terra na área de estudo não envolvem apenas a gestão do PNSB e os produtores rurais, mas também a especulação imobiliária ascendente, as tensões entre os produtores rurais e os índios residentes na bacia, entre outros.

Logo, faz-se necessário um esforço conjunto entre os órgãos competentes e a sociedade civil organizada, na tentativa de efetivar a implementação do PNSB, indenizando e regularizando a situação fundiária dentro do Parque, e traçando estratégias que garantam a população local manter suas atividades em consonância com as diretrizes legais que regem a UC e o município de Paraty, visando a conservação ambiental e qualidade de vida da população.

Indicadores de erodibilidade do solo

A erodibilidade e a suscetibilidade à erosão do solo foram analisados através dos atributos físicos e químicos do solo e sua relação com as demais características ambientais da área. A maioria das amostras foram coletadas em áreas cujo uso da terra está ligado a pecuária, atividade que predomina na bacia (Figura 2).

Os resultados das análises de solo estão sistematizados na Tabela 1. As análises granulométricas indicaram que todas as amostras possuem alto teor de areia, o que pode favorecer a permeabilidade do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014; GUERRA, 2013; MORGAN, 2005). Do total de areia, a areia grossa predominou em todos os pontos (> 59%), fração esta que se mostra resistente ao arraste pelo escoamento. Com relação a areia fina, merecem destaque os pontos A2 e P2 que apresentaram elevado teor dessa fração (> 20%) bastante suscetível ao transporte pela água (MORGAN, 2005). Já os teores de silte não foram muito altos, apenas em cinco amostras os percentuais foram superiores a 30%.

Tabela 1 – Atributos físicos e químicos das amostras da BHRP, Paraty – RJ

Ponto	Prof. (cm)	Granulometria (%) \bar{x}				T*	Ds (g/cm ³) \bar{x}	Pt (%) \bar{x}	MO (%) \bar{x}	pH
		AG	AF	S	A					
F1	0-10	58,38	7,76	24,17	9,70	2	1,21	51,06	7,47	4,4
	10-20	37,99	11,45	33,39	17,17	1	1,19	53,04	4,25	4
A1	0-10	35,52	10,78	31,91	21,78	2	1,31	47,68	4,52	4,9
	10-20	32,03	9,55	22,84	35,59	3	1,35	47,92	2,14	4,6
A2	0-10	33,24	20,48	32,31	13,97	2	1,23	51,03	3,63	5,1
	10-20	29,12	20,18	26,99	23,70	4	1,27	50,35	2,12	4,8
P1	0-10	44,78	13,05	25,57	16,60	2	1,46	42,63	3,85	4,4
	10-20	44,25	12,36	25,01	18,38	2	1,54	39,33	3,18	4,4
P2	0-10	44,83	22,79	29,32	3,06	2	0,85	60,92	14,35	3,6
	10-20	43,33	21,41	30,71	4,54	2	1,21	47,58	8,41	3,6
F2	0-10	50,04	12,69	27,10	10,17	2	1,27	49,1	7,08	4,5
	10-20	45,71	11,49	25,80	17,00	2	1,38	45,38	3,85	4,1
P3	0-10	36,60	10,19	24,45	28,75	4	1,31	48,14	4,79	4,2
	10-20	35,40	7,65	18,70	38,25	3	1,37	44,26	2,04	4,1
P4	0-10	44,80	10,48	29,64	15,08	2	1,08	56,05	5,87	4,7
	10-20	40,26	9,00	26,23	24,51	4	1,14	54,88	3,57	4,5
P5	0-10	35,91	9,48	37,62	17,00	1	1,24	50,59	6,82	4,6
	10-20	50,99	7,74	27,16	14,11	2	1,5	41,42	4,99	4,8
Média		41,29	12,70	27,72	18,30		1,27	48,96	5,2	4,4
D.P.		7,52	4,98	4,42	9,40		0,16	5,36	3,0	0,4
C.V. (%)		18,22	39,19	15,93	51,36		12,63	10,94	57,3	9,4

Fonte: elaborado pelo autor.

\bar{x} : média; AG: areia grossa; AF: areia fina; S: silte; A: argila; D.P.: desvio padrão; C.V.: coeficiente de variação.

*Textura: 1 – Franco; 2 – Franco arenoso; 3- Franco argiloso; 4 - Franco argilo-arenoso.

De maneira geral, as amostras possuem baixa concentração de argila com percentuais inferiores a 25%, com exceção de A1 (10-20 cm) e P3 (0-10 e 10-20 cm) que correspondem a camada de transição com o horizonte B. Ao comparar a granulometria das amostras, as médias do teor de areia representam 54%, o silte 28% e a argila apenas 18%. O teor de areia fina + silte, partículas mais suscetíveis à erosão, obteve percentual médio de 40% entre as amostras, destacando os pontos A2 e P2 que apresentaram os maiores percentuais, em torno de 51%. Além disso, esses dois pontos apresentam baixo teor de argila, especialmente P2 (< 5%), dificultando a formação de agregados estáveis.

A classe textural predominante foi franco arenosa (Tabela 1), em decorrência do baixo teor de argila e elevado teor de areia, indicando alta suscetibilidade à erosão com relação a esta propriedade, sobretudo, quando os teores de silte são elevados (GUERRA, 2013; MORGAN, 2005).

Neves (2015) encontrou predomínio da classe franco argilo-arenoso para a bacia do rio Mateus Nunes em Paraty – RJ, apresentando maiores teores de argila do que os encontrados para a BHRP. Assim como, Pereira et al. (2016) encontraram a classe franco argilo-arenoso para uma área degradada na bacia do rio Maranduba em Ubatuba – SP, conferindo elevada suscetibilidade aos processos erosivos, devido as intervenções antrópicas que degradaram o ambiente, deixando-o sujeito a erosividade das chuvas daquela região, que possui os índices pluviométricos mais elevados do país.

A Ds apresentou resultados que indicam predominância de médio grau de compactação (Tabela 1), com média de 1,22 g/cm³ para a profundidade de 0-10 cm e 1,33 g/cm³ na profundidade de 10-20 cm (BRADY e WEIL, 2008). A Pt apresentou resultados próximos a 50% em quase todos os pontos, correspondendo aos valores médios encontrados para os solos minerais, especialmente, devido ao elevado teor de areia e MO encontrados nas camadas estudadas (BRADY e WEIL, 2008; LEPSH, 2011).

O ponto P2 apresentou o resultado mais baixo de Ds na profundidade de 0-10 cm e, conseqüentemente, a maior Pt. Porém, esses valores diminuem significativamente na profundidade de 10-20 cm. Acredita-se que por se tratar de uma área de pastagem com presença de terracetes, elevada altitude e temperaturas mais baixas, tenha favorecido o acúmulo de MO no topo do solo, reduzindo os efeitos do pisoteio do gado e diminuindo a compactação na camada superficial (BRADY e WEIL, 2008; GUERRA, 2013).

As amostras de floresta apresentaram resultados médios de Ds, uma explicação é a elevada ocorrência de frações minerais mais grosseiras e baixo teor de argila (BRADY e WEIL, 2008; LEPSH, 2011). Neves (2015) encontrou valores próximos em área de floresta em outra bacia hidrográfica do município de Paraty, com Ds de 1,25 a 1,41 g/cm³ e Pt de 45,8% a 51,9%.

Os pontos P1 e P5 apresentaram os valores mais altos de Ds e baixa Pt na camada de 10-20 cm, indicando grau de compactação do solo que pode prejudicar o desenvolvimento das plantas e a infiltração de água (GUERRA, 2013; LEPSH, 2011). Essas áreas de pastagens são utilizadas a muitos anos sem um manejo adequado que vise a conservação do solo, isso contribui para a perda da qualidade do solo e aumento da suscetibilidade à erosão. Neves (2015) encontrou valores de Ds de 1,69 g/cm³ e Pt de 33,7% em áreas com pastagem em Paraty, indicando alto grau de compactação. Já Loureiro (2013), no município de Macaé/RJ, obteve em uma área de pasto sobre encosta íngreme e com feições erosivas resultados de Ds variando entre 1,39 g/cm³ a 1,60 g/cm³ e Pt de 33,7% a 44,8%. Ambos os dados evidenciam os efeitos do manejo inadequado sobre o solo.

Segundo Thomaz e Dias (2009), em áreas de pastagem o pisoteio excessivo do gado é o principal responsável pela compactação do solo, sendo que em um terreno plano uma vaca (530 kg) exerce em média uma força de 250 kPa sobre o solo, em terrenos íngremes essa força pode ser muito maior devido o esforço do animal caminhando encosta acima. Além disso, os animais criam terracetes e caminhos preferenciais pelo pasto, esses caminhos acabam coletando o escoamento superficial e se tornando caminhos preferenciais para a água, transportando sedimentos encosta abaixo, obtendo taxas de perda de solo próximas a de áreas degradadas e áreas de agricultura sem manejo conservacionista (ANTONELI et al., 2019; GOUDIE e VILES, 2016; THOMAZ e DIAS, 2009).

Assim, o manejo das áreas de pasto é um dos fatores mais relevantes para a compreensão dessas variações, ele deve ser desenvolvido de forma adequada ao ambiente em questão, buscando minimizar e/ou evitar a compactação dos solos e, conseqüentemente, reduzindo o risco de erosão.

Os solos estudados possuem pH ácido, com valores abaixo de 5,1 para todos os pontos, apresentando tendência a aumentar a acidez com a profundidade (Tabela 1). A acidez elevada é uma das características dos solos da região, estando associada aos altos índices pluviométricos e clima tropical que aceleram o intemperismo químico e a lixiviação das bases trocáveis, além da MO ácida fornecida pela vegetação (LEPSH, 2011; OSMAN, 2014).

Devido ao baixo teor de argila das amostras analisadas, o conteúdo de MO do solo é uma propriedade fundamental para a estabilidade de agregados. Morgan (2005) destaca que teores de MO menores que 3,5% conferem ao solo maior suscetibilidade à erosão. As amostras de floresta (F1 e F2) e de pastagem (P2, P4 e P5) apresentaram teores de MO superiores aos limites mínimos para uma boa estrutura e resistência do solo ao arraste, eles são maiores na camada de 0-10 cm e diminuem na camada de 10-20 cm (Tabela 1). Nos pontos de agricultura (A1 e A2) e pastagem (P1 e P3), o teor de MO também foi maior na camada de 0-10 cm e diminuiu para valores muito baixos com a profundidade, demonstrando que as características da encosta, a cobertura vegetal e, principalmente, o uso e manejo do solo tem contribuído para a diminuição do aporte de MO dessas áreas.

Outros autores também encontraram resultados críticos de MO em solos da região. Como Neves (2015), que encontrou solos com até 2,1% de MO em área agrícola e 3,0% em pastagem, demonstrando sinais de degradação, sendo que na agricultura e pastagem os maiores percentuais foram, respectivamente, de 4,1% e 4,9%. Já Loureiro (2013), encontrou resultados de MO muito baixos em encosta com pastagem degradada, variando entre 0,87% e 2,56%. Todos esses resultados demonstram o futuro dos solos da região, caso o manejo inadequado dos mesmos persista, haja vista a importância do teor de MO, naturalmente limitado a poucos centímetros na camada superficial dos solos distróficos que revestem a maior parte do relevo montanhoso no litoral sul fluminense (GUERRA et al., 2013).

Os resultados para a estabilidade de agregados demonstram boa resistência aos processos erosivos na camada superficial do solo (Tabela 2), diminuindo as possibilidades de formação de crosta e favorecendo a interligação entre os poros, aumentando a capacidade de infiltração e redução/retardamento do escoamento superficial (GUERRA, 2013; POESEN, 2018). Apesar dos baixos teores de argila, o conteúdo de MO na camada superficial do solo é alta, contribuindo para a estabilidade dos agregados.

Tabela 2 – Estabilidade de agregados das amostras da BHRP, Paraty – RJ.

Ponto	DMP	DMG	IEA	Agregados > 2mm	MA	MI
	mm	mm	%	%	%	%
F1	2,92	2,83	98,88	95,98	99,45	0,55
A1	2,46	2,12	94,21	71,87	95,16	4,84
A2	2,59	2,29	94,99	78,77	95,62	4,38
P1	2,07	1,57	86,13	55,14	87,98	12,02
P2	2,77	2,47	96,04	88,58	98,97	1,03
F2	2,48	2,12	93,20	74,44	94,15	5,85
P3	2,60	2,31	95,31	79,31	96,03	3,97
P4	2,79	2,61	97,34	89,02	97,75	2,25
P5	2,75	2,46	95,85	87,81	98,07	1,93
Média	2,60	2,31	94,66	80,10	95,91	4,09
D.P.	0,25	0,36	3,60	12,19	3,47	3,47
C.V. (%)	9,65	15,53	3,81	15,21	3,62	84,91

Fonte: elaborado pelo autor.

DMP: Diâmetro Médio Ponderado; DMG: Diâmetro Médio Geométrico; IEA: Índice de Estabilidade dos Agregados; MA: Macroagregados; MI: Microagregados; D.P.: desvio padrão; C.V.: coeficiente de variação.

O DMP está relacionado ao percentual de agregados maiores, em todos os pontos o resultado foi superior a 2 mm, indicando a predominância de macroagregados que favorecem a presença de poros no solo e o processo de infiltração. O DMG indica uma estimativa da classe de agregados com maior ocorrência, os resultados variaram de 1,57 mm (P1) a 2,83 mm (F1), obtendo a média de 2,31 mm. E o IEA representa a medida de agregação total, sendo que quanto menor a presença de microagregados (agregados < 0,25 mm), maior será o IEA. Dessa forma, obteve-se elevados IEA em todas as amostras (CASTRO FILHO et al., 1998; RANGEL e GUERRA, 2017).

Em áreas de agricultura e pastagem em Paraty, Neves (2015) encontrou valores de DMP bem mais baixos, entre 0,90 mm a 2,49 mm, e IEA de 70% a 95,8%, demonstrando que o uso e manejo inadequado do solo tem contribuído para sua degradação. Assim como, Rangel e Guerra (2017), em um Cambissolo Háplico na bacia do Córrego dos Micos em Paraty – RJ, observaram que os parâmetros de estabilidade dos agregados decresceram no sentido floresta-pastagem-cultivo temporário, respectivamente, com DMP de 2,71, 2,48 e 1,99 mm, DMG de 2,4, 1,98 e 1,3 mm e IEA de 96,89, 93,07 e 88,4%.

Em áreas de agricultura a estabilidade dos agregados pode ser afetada pela preparação do solo, que acaba rompendo com os agregados e acelerando a oxidação e perda do carbono orgânico (CASTRO FILHO et al., 1998). Já em áreas de pastagem, as gramíneas favorecem a estabilidade de agregados, devido ao seu sistema radicular, favorecendo a oferta de MO. Além disso, as áreas de pastagens tendem a não ter o solo revolvido (PEREIRA e THOMAZ, 2015). O maior problema relacionado às pastagens é o manejo inadequado que provoca o sobrepastoreio, responsável pela compactação do solo e diminuição de sua porosidade, consequentemente, dificultando a infiltração e aporte de MO, reduzindo a capacidade de penetração das raízes e a biodiversidade do solo, favorecendo o escoamento superficial e a erosão (ANTONELI et al., 2019; GOUDIE e VILES, 2016; LEPSH, 2011; OSMAN, 2014; THOMAZ e DIAS, 2009).

Por outro lado, apesar da presença de macroagregados estáveis reduzirem o potencial erosivo, eles favorecem o processo de infiltração e podem aumentar os riscos de movimentos de massa em eventos extremos em regiões com relevo movimentado, solos rasos e altos índices pluviométricos (RANGEL e GUERRA, 2017).

Na maioria dos pontos de coleta foi verificado a ocorrência de erosão laminar (Figura 5a e 5b). Cabendo a tomada de medidas conservacionistas que visem diminuir a sua incidência, haja vista que apesar da sua atuação lenta, ela é responsável pela maior taxa de perda de solos no Brasil (LEPSCH, 2011).

Ravinas foram observadas em encostas convergentes cobertas com pastagem, usualmente submetidas a queimadas e com presença de terracetes (Figura 5c e 5d). Acredita-se que essas feições erosivas foram formadas devido as condições criadas pela concentração de fluxo, a declividade acentuada da encosta e o manejo do solo (GOUDIE e VILES, 2016; GUERRA et al., 2017). A figura 5d mostra uma ravina com “degraus” em uma encosta íngreme, sendo encontrado no seu interior serapilheira transportada pelo escoamento superficial, além disso, o horizonte A foi quase totalmente perdido.

Logo, a atuação de processos erosivos na BHRP aumenta as possibilidades de degradação dos solos e do ambiente, afetando tanto a área de amortecimento, como o interior do PNSB. Encostas convergentes e com declividade acentuada, quando têm sua cobertura vegetal natural substituída por pastagens e agricultura é comum a diminuição no teor de MO. Porém, associado a isso, o solo acaba ficando mais exposto à ação das chuvas e, geralmente, tem seu grau de erodibilidade aumentado, devido a alterações em seus atributos físicos e químicos decorrentes das mudanças no uso e cobertura. As pastagens dentro do PNSB, por exemplo, são desenvolvidas sobre solos rasos e pedregosos e, para agravar ainda mais a situação, o

sobrepastoreio associado à erosão expõe o solo onde a vegetação de gramíneas acaba ficando mais rala, aumentando o risco de erosão laminar e formação de feições erosivas, como ravinas e voçorocas.

CONCLUSÃO

Os mapeamentos elaborados a partir do MDE, derivado das cartas topográficas do IBGE na escala de 1:50.000, permitiram fazer observações sobre as características do relevo e a erosão dos solos na BHRP, apontando para a aceleração do escoamento superficial, principalmente com a retirada da cobertura vegetal de floresta. Contudo, faz-se necessário materiais cartográficos de maior detalhe para inferir com maior precisão sobre os atributos do relevo e sua relação com os processos erosivos.

Apesar de apresentarem limitações ao uso relacionadas principalmente a declividade acentuada, a textura arenosa e a baixa fertilidade, os solos se mostraram com baixa erodibilidade de acordo com os atributos analisados, decorrente sobretudo da alta concentração de MO e estabilidade de agregados na camada superficial.

No entanto, as mudanças na cobertura vegetal e o uso e manejo inadequado têm influência direta no aporte de MO do solo, podendo afetar seus atributos e aumentar sua erodibilidade ao longo do tempo. Haja vista que essa propriedade, responsável por fornecer nutrientes ao solo e aumentar a estabilidade de agregados e resistência à erosão, está concentrado no horizonte superficial e depende diretamente da retroalimentação proporcionada pela cobertura vegetal.

Desse modo, as atividades agropecuárias desenvolvidas na bacia demonstram-se incoerentes com os interesses do PNSB, acarretando em pressões negativas sobre o mesmo. Logo, é necessário incentivar usos conservacionistas que garantam a qualidade dos solos e da biodiversidade, além de proporcionar renda para a população local. Nesse sentido, o Plano de Manejo se mostra como um caminho a ser implementado visando um convívio mais harmonioso entre a população local e a UC.

Portanto, os conflitos entre a conservação e o uso da terra são evidentes, ainda existe ausência de diálogo entre as esferas de poder e suas ações, o que acaba intensificando os problemas. Para buscar soluções que minimizem os conflitos, faz-se necessário uma gestão integrada que envolva as diferentes esferas do governo, as ONGs e a população local, visando a conservação ambiental e o desenvolvimento em bases sustentáveis do município de Paraty.

A adoção de medidas conservacionistas que busquem proteger, especialmente a camada superficial do solo rica em MO, são imprescindíveis para a continuidade das atividades agropecuárias na zona de amortecimento do Parque. Todavia, a intervenção de políticas públicas que visem fornecer assistência técnica aos produtores rurais é de fundamental importância, devendo considerar a combinação de questões científicas, socioeconômicas e políticas, além de criar e fortalecer canais de diálogo entre a população local e a gestão do PNSB para o sucesso das medidas implementadas.

REFERÊNCIAS

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de Informações Hidrológicas**: hidro web. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: março de 2016.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L.; BEDNARZ, J. A. The Faxinal System: Forest fragmentation and soil degradation on the comunal grazing land. **Singapore Journal of Tropical Geography**, Singapura, v. 40, p. 34–49, 2019. <https://doi.org/10.1111/sjtg.12258>

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 9. ed. São Paulo: Ícone, 2014.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14. ed. Nova York: Prentice-Hall, 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/IBAMA/DIREC. **Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra da Bocaina**: Brasília: FEC/UNICAMP, 2002.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.
<https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000300019>

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. p. 93-148.

DANTAS, M. E. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM, 2000.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

FAVIS-MORTLOCK, D. T. Erosion by Water: Accelerated. In: JORGENSEN, S. E. (Ed.) **Encyclopedia of Environmental Management**. CRC Press, 2012.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem Complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

GOUDIE, A. **The Changing Earth: rates of geomorphological processes**. Oxford: Blackwell, 1995.

GOUDIE, A.; VILES, H. **Geomorphology in the Anthropocene**. Cambridge, United Kingdom; New York: Cambridge University Press, 2016

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. p. 149-209.

_____. Degradação dos solos: conceitos e temas. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs.). **Degradação dos Solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 15-50.

_____. Encostas e a Questão Ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **A Questão Ambiental: diferentes abordagens**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 191-218.

GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; JORGE, M. C. O.; FULLEN, M. A. The geomorphology of Angra dos Reis and Paraty Municipalities, Southern Rio de Janeiro State. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 9, n. 1, p. 1-21, 2013.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R. Slope Processes, Mass Movements and Soil Erosion: a review. **Pedosphere**, China, v. 27, p. 27-41, 2017.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

_____. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis - Part I: Physical and mineralogical methods**. Wisconsin: Madison, 1986. p. 425-442.

KONDOLF, M.; PIÉGAY, H. Geomorphology and Society. In: GREGORY, K. J.; GOUDIE, A. S. (Eds.). **The Sage Handbook of Geomorphology**. London: SAGE, 2011. p. 105-117.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Texto, 2011.

LOUREIRO, H. A. S. **Monitoramento e diagnóstico de áreas degradadas na bacia hidrográfica do rio São Pedro (RJ): estudos experimentais em voçoroca e utilização de geotêxteis de fibra de bananeira**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências/UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.

MAFRA, N. M. C. Erosão e Planificação de Uso do Solo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. p. 301-322.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. 3. ed. England: Blackwell, 2005.

NEVES, S. R. A. **Análise prognóstica de processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Mateus Nunes**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências/UFRJ, Rio de Janeiro, 2015.

NOGUEIRA, P. M. **Influência de variáveis ambientais no processo de regeneração natural da mata atlântica no Vale do Paraíba do Sul**. Monografia (Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

OSMAN, K. T. **Soil Degradation, Conservation and Remediation**. Dordrecht: Springer, 2014

PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. Parâmetros físicos do solo em diferentes sistemas de manejo convencional, município de Reserva – PR. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 30, p. 65-76, 2015. <https://doi.org/10.11606/rdg.v30i0.98625>

PEREIRA, L. S.; RODRIGUES, A. M.; JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A. Processos hidro-erosivos em solos degradados em relevo de baixa declividade. **Revista**

Brasileira de Geomorfologia, Brasília, v. 17, n. 2, p. 299-316, 2016.
<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i2.877>

POESEN, J. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 43, p. 64–84, 2018. <https://doi.org/10.1002/esp.4250>

RANGEL, L. A.; GUERRA, A. J. T. Qualidade física de um Cambissolo Háplico sob diferentes usos na bacia do Córrego dos Micos, Paraty-RJ. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 91-105, 2017. <https://doi.org/10.5216/bgg.v37i1.46245>

RODRIGUES, S. C. Degradação dos Solos no Cerrado. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs.). **Degradação dos Solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 51-85.

ROSS, J. L.; FIERZ, M. S. M. A Serra do Mar e a Planície Costeira em São Paulo: morfogênese, morfodinâmica e as suas fragilidades. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 100, p. 17-38, 2018.

ROVANI, F. F. M.; CASSOL, R. Cartografia Temática: uma contribuição na análise geográfica do município de Barão de Cotegipe/RS. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 6, n. 2, p. 33-54, 2012. <https://doi.org/10.5216/ag.v6i2.13979>

SATHLER, R. **Influência da orientação, declividade e morfologia de encostas nos conteúdos de matéria orgânica de solos da bacia do rio Bonito (Posse, Petrópolis, RJ)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, L. F. T. C; MARTINS, M. B.; GUERRA, A. T. J. Caracterização Pluviométrica do Litoral Sul Fluminense e Norte Paulista (Brasil). In: XIV Encontro de Geógrafos da América Latina. **Anais...** Lima, Peru. 8 a 12 de abril de 2013.

SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T. Análise digital do relevo aplicada à cartografia geomorfológica da porção central da Serra do Mar paranaense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 17, n. 4, p. 615-629, 2016.
<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i4.1063>

THOMAZ, E. L. Dynamics of aggregate stability in slash-and-burn system: Relaxation time, decay, and resilience. **Soil and Tillage Research**, v. 178, p. 50-54, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2017.12.017>

THOMAZ, E. L.; DIAS, W. A. Bioerosão – evolução do rebanho bovino brasileiro e implicações nos processos geomorfológicos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 10, n. 2, p. 3-11, 2009. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v10i2.125>

VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FAPERJ pelo auxílio financeiro, a parceria CAPES/EMBRAPA pela concessão de bolsa de pós-graduação ao primeiro autor e ao ICMBio pela autorização da pesquisa no Parna Serra da Bocaina.