



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Instituto de Geografia

Henrique Carvalho da Silva Bezerra

**Análise de impacto e degradação dos solos na Trilha da Varginha – Parque
Natural Municipal de Nova Iguaçu - RJ**

Rio de Janeiro

2020

Henrique Carvalho da Silva Bezerra

**Análise de impacto e degradação dos solos na Trilha da Varginha – Parque Natural
Municipal de Nova Iguaçu - RJ**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Gestão e Estruturação do Espaço Geográfico.

Orientadora: Prof.^a Dra. Nadja Maria Castilho da Costa

Rio de Janeiro

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

B574 Bezerra, Henrique Carvalho da Silva.
Análise de impacto e degradação dos solos na Trilha da Varginha – Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu – RJ / Henrique Carvalho da Silva Bezerra. – 2021.
204 f. : il.

Orientador: Nadja Maria Castilho da Costa.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia.

1. Geografia humana – Solos – Rio de Janeiro (Estado) – Teses. 2. Trilhas – Erosão – Parque Nacional da Tijuca (Rio de Janeiro, RJ) – Teses. 3. Solos – Compactação – Teses. 4. Degradação ambiental – Aspectos socioeconômicos – Teses. 5. Ecologia das paisagens – Teses. 6. Solos – Manejo – Teses. I. Costa, Nadja Maria Castilho da. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Geografia. III. Título.

CDU 911.3(815.3)

Bibliotecária responsável: Fernanda Lobo / CRB-7: 5265

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Henrique Carvalho da Silva Bezerra

**Análise de impacto e degradação dos solos na Trilha da Varginha – Parque Natural
Municipal de Nova Iguaçu - RJ**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Gestão e Estruturação do Espaço Geográfico.

Aprovada em 01 de setembro de 2020.

Orientadora: Prof.^a Dra. Nadja Maria Castilho da Costa

Instituto de Geografia – UERJ

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alexander Josef Sá Tobia da Costa
Instituto de Geografia – UERJ

Prof.^a Dra Sarah Lawall
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof.^a Dra. Flávia Lopes Oliveira
Unidade Educacional Gama e Souza

Rio de Janeiro

2020

AGRADECIMENTOS

O período de realização do curso de mestrado que se consagra com a presente dissertação foi de grandes aprendizados tanto em minha vida acadêmica, quanto pessoal. Os desafios impostos sem dúvidas me fizeram ganhar amadurecimento nas mais diversas áreas de minha vida, por isso, agradeço:

A Deus, força maior de nosso universo na minha concepção religiosa, por esta graça alcançada e na superação de todos os desafios até aqui impostos.

A minha mãe, Maria Aparecida Carvalho da Silva (In Memoriam, falecida um mês após a defesa do presente trabalho), a qual sou grato por todo exemplo dado ao longo de minha vida, além de meu irmão, Eduardo Carvalho da Silva Bezerra e minha tia materna Valéria de Carvalho da Silva, junto de minha mãe, por toda palavra de apoio e incentivo, todo suporte de infraestrutura, suporte emocional, suporte logístico, todos fundamentais para a conclusão do presente trabalho.

A minha orientadora Nadja Maria Castilho da Costa, uma profissional ímpar, humana, marcada por seu grande carinho e cuidado com seus orientandos, fornecendo valiosíssimos conhecimentos e aprendizados para a elaboração do presente trabalho, sempre solícita e disposta a ajudar no momento que fosse.

A Coordenação do Programa de Pós Graduação em Geografia da UERJ, sempre aliada aos alunos, solícita, acolhedora e compreensiva em qualquer questão, tornando esta caminhada menos árdua.

A Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UERJ, em todo seu corpo de funcionários, aqui em especial a Abílio Santos, Ana Paula Diniz e Tatiana Moura, por sempre ajudarem a resolver qualquer questão de maneira rápida, com muito acolhimento e carinho com os estudantes.

A Alexander Josef Sá Tobias da Costa, por toda palavra de apoio, motivação e conforto para conclusão do presente trabalho, além de sua ajuda na questão burocrática para usufruto da Bolsa Nota 10 FAPERJ, esta de grande importância para a realização dos trabalhos de campo demandados pela presente pesquisa.

A Andrea Paula de Souza, grande amiga para a vida que a licenciatura em Geografia na FEBF/UERJ me deu, sempre com dicas valiosas para o estudo e análise de solos e, uma vez coordenando o Laboratório de Geografia Física, Estudos Ambientais e Práticas de Ensino-

LABGEOFEAPE - FEBF/UERJ, prontamente autorizou que minhas amostras de solo pudessem ser analisadas neste laboratório, me fornecendo livre acesso quando eu precisasse.

A Raphael Rodrigues Brizzi, grande pesquisador em solos, também por suas valiosas contribuições a este trabalho, sua motivação fornecida e também por prontamente permitir que minhas análises de solo pudessem ser feitas no Laboratório de Ciências Ambientais – LabCAM / IFRJ Arraial do Cabo, RJ.

A Vivian Castilho da Costa, professora querida, por todo conhecimento fornecido e toda paciência ao me ensinar praticamente do zero o domínio de ferramentas de Geoprocessamento, tão importantes na análise ambiental que o presente trabalho propõe.

A Sarah Lawall, professora e também grande amiga que a licenciatura em Geografia na FEBF/UERJ me deu, por todas as dicas e sugestões no exame de qualificação e na defesa da presente dissertação.

A Flávia Lopes Oliveira, professora e igualmente grande amiga feita no período licenciatura em Geografia na FEBF/UERJ, que desde este período da graduação me ambientou na escrita e pesquisa acadêmica, fornecendo para este trabalho valiosíssimos conhecimentos de Geoprocessamento e do Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu - RJ onde se encontra a Trilha da Varginha, em especial nos assuntos de Geologia e Trilhas.

A Wilson Messias dos Santos Júnior por toda paciência, carinho e cuidado ao me ensinar o domínio de ferramentas de Geoprocessamento, como também na elaboração dos mapas presentes no presente trabalho.

A Michele Souza por toda ajuda para a elaboração dos mapas de NDVI e SAVI presentes no presente trabalho, de grande importância e apoio ao estudo ambiental que este trabalho se propõe.

A Eloísa Pereira por toda ajuda e suporte no aprendizado das ferramentas de Geoprocessamento.

A Paulo Walter Freire do Nascimento, grande amigo que esta caminhada no mestrado me deu, por toda parceria em qualquer momento que fosse, toda troca de conhecimento, todas as risadas e, principalmente, também por toda paciência, carinho e cuidado ao me ajudar na elaboração e análise dos mapas temáticos presentes no presente trabalho.

A Luís Eduardo Miguel Pereira e Mercês Lomar da Costa Cabral, grandes amigos feitos à época da licenciatura em Geografia na FEBF/UERJ no Núcleo Interdisciplinar de Estudos da Baixada Fluminense – NIESBF/FEBF-UERJ, por toda ajuda nos trabalhos de campo para análise e coleta de amostras de solo, incansáveis em me ajudar sempre que precisei.

A Gabriel de Lima e Souza, veterano e amigo feito na FEBF/UERJ, por todo aconselhamento e apoio para a elaboração do presente trabalho.

A meus amigos, peças importantes e fundamentais nesta caminhada, sempre fornecendo suporte, apoio, carinhos, trocas e risadas, quer sejam do grupo do Colégio Faria Brito, onde cursei meu ensino fundamental, sendo Vitor Duque, Douglas Quintanilha, Rodrigo Albuquerque, Helena Sant'Anna, Milla Prudêncio, Felipe Alexandre, Ghabriela Oliveira, Felipe Joazeiro, João Victor Souza, Mariana Vidal e Bruno Plácido e do Colégio Miguel Couto, onde cursei meu ensino médio, sendo Raquel Ottoni, Diogo Agra, Beatriz Sá Freire e Julian Fontes.

A Edgar Martins, gestor do Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu – RJ, por ser de uma solicitude ímpar, sempre propiciando e facilitando minha entrada na Unidade com outros pesquisadores e instrumentos de pesquisa e sempre lutando e acreditando pela conservação ambiental do Parque e na importância dos estudos ambientais nele desenvolvidos. O mesmo agradecimento se estende aos funcionários da Unidade onde, geridos por Edgar, também são aliados na luta para a conservação deste patrimônio científico e ambiental no Estado do Rio de Janeiro, em especial para a população da Baixada Fluminense, RJ.

A Charles Martins Hora, Mestre em Estudos Marítimos pelo Programa de Pós Graduação em Estudos Marítimos da Escola Superior de Guerra Naval, pelo auxílio nos trabalhos de campo, dicas e sugestões para a conclusão deste trabalho.

A Cristina Pimenta de Carvalho, psicóloga cujo acompanhamento eu realizo desde Maio de 2019, profissional ética, humana, firme e certa em suas colocações, onde agradeço por todo suporte emocional fornecido neste período para minha vida pessoal e acadêmica.

A Edson Mello, Professor do Departamento de Geologia da UFRJ, pelo auxílio na elaboração do mapa de susceptibilidade erosiva da área de estudo.

A Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ pela concessão da Bolsa Nota 10 que, conforme aqui mencionado, foi de fundamental importância para a realização dos trabalhos de campo demandados por esta pesquisa, bem como dos reagentes químicos necessários para análise de solos aqui proposta.

A todos o meu muito obrigado.

RESUMO

BEZERRA, Henrique Carvalho da Silva. **Análise de impacto e degradação dos solos na Trilha da Varginha – Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu – RJ**. 2020. 204 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

No mundo contemporâneo em que vivemos, é percebido cada vez mais o aumento do número de visitantes em áreas protegidas, que buscam lazer e maior contato com o ambiente natural. Tal fato, embora positivo, deve ser acompanhado de planejamento e monitoramento de modo a atenuar a pressão sobre os ambientes naturais, a exemplo da ocorrência de processos erosivos. Nas áreas protegidas, o acesso dos visitantes aos principais atrativos se dá, em muitas das vezes, através das trilhas, estas podendo ser entendidas como um elo entre o visitante e o ambiente natural. O presente trabalho tem por objetivo analisar o processo de compactação e/ou processos erosivos dos solos provenientes da passagem de visitantes/usuários na Trilha da Varginha, localizada no Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu, Estado do Rio de Janeiro, a partir do estudo das propriedades dos solos nos seus diversos segmentos e de seus condicionantes naturais associados. Para tal foram analisadas variáveis ambientais, como as formas do relevo, o uso e cobertura da terra presente, a cobertura vegetal através dos métodos NDVI e SAVI, a suscetibilidade erosiva da trilha, e as principais propriedades físicas e químicas dos solos, como a densidade aparente, porosidade total, umidade gravimétrica e volumétrica, resistência à penetração e matéria orgânica. A análise geral da trilha permitiu constatar a ocorrência de processos erosivos, com acúmulo de sedimentos nas estruturas de manejo, além da presença de ravinas no leito em alguns pontos. Os resultados das propriedades dos solos analisadas apontam valores elevados de densidade aparente e resistência à penetração, sendo refletidos nos baixos valores de porosidade total e umidade gravimétrica e volumétrica encontrados, apontando para a suscetibilidade erosiva da trilha e a compactação dos solos. O baixo percentual de matéria orgânica em toda a trilha também é um indicativo de sua suscetibilidade erosiva. Com base nos resultados obtidos, foram feitas propostas de manejo e recuperação da trilha, de modo a auxiliar à gestão do Parque na sua correta utilização, cumprindo o seu papel no ordenamento do uso público da área protegida.

Palavras-chave: Trilhas. Compactação do Solo. Processos Erosivos.

ABSTRACT

BEZERRA, Henrique Carvalho da Silva. **Impact analysis and soil degradation in Varginha Trail – Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu – RJ**. 2020. 204 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

In the contemporary world in which we live, the number of visitors to protected areas is increasingly increasing, seeking leisure and greater contact with the natural environment. This fact, although positive, must be accompanied by planning and monitoring in order to alleviate the pressure on natural environments, such as the occurrence of erosion processes. In protected areas, visitors' access to the main attractions is often through trails, which can be understood as a link between the visitor and the natural environment. The present work aims to analyze the compaction process and / or erosive processes of soils from the passage of visitors / users in the Varginha Trail, located in the Municipal Natural Park of Nova Iguaçu, State of Rio de Janeiro, from the study of the properties of soils in their various segments and their associated natural conditions. To this end, environmental variables were analyzed, such as the forms of the relief, the use and cover of the land present, the vegetation cover using the NDVI and SAVI methods, the erosive susceptibility of the trail, and the main physical and chemical properties of the soils, such as bulk density, total porosity, gravimetric and volumetric humidity, resistance to penetration and organic matter. The general analysis of the trail allowed to verify the occurrence of erosive processes, with accumulation of sediments in the management structures, in addition to the presence of ravines in the bed in some points. The results of the analyzed soil properties indicate high values of apparent density and resistance to penetration, being reflected in the low values of total porosity and gravimetric and volumetric humidity found, pointing to the erosive susceptibility of the trail and soil compaction. The low percentage of organic matter throughout the trail is also an indication of its erosive susceptibility. Based on the results obtained, proposals were made for management and recovery of the trail, in order to assist the management of the Park in its correct use, fulfilling its role in ordering the public use of the protected area.

Keywords: Trails. Soil Compactation. Erosive Processes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização do Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu e da Área de Proteção Ambiental de Gericinó-Mendanha.....	20
Figura 2 –	Mapa de Localização do Maciço Mendanha, RJ, e sua divisão geomorfológica.....	27
Figura 3 –	Mapa de Solos evidenciando as classes pertinentes ao PNMNI e a Trilha da Varginha.....	29
Figura 4 –	Localização da Trilha da Varginha.....	32
Figura 5 –	Ordenamento proposto para a Trilha da Varginha – PNMNI.....	37
Figura 6 –	Médias de Visitação ao Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu (2016-2019)	40
Figura 7 –	Arquitetura de Trilha em Matriz Florestal.....	44
Figura 8 –	Caminhada de visitantes pela Trilha da Varginha.....	45
Figura 9 –	Síntese dos possíveis benefícios do uso público em áreas protegidas.....	47
Figura 10 –	Síntese dos impactos negativos de visitação em áreas protegidas.....	48
Figura 11 –	Fluxograma de procedimentos para planejamento e gestão de áreas protegidas.....	49
Figura 12 –	Diagrama esquemático das forças atuantes no processo erosivo.....	72
Figura 13 –	Diagrama esquemático da produção de fluxo superficial hortoniano.....	74
Figura 14 –	Fluxograma Metodológico.....	83
Figura 15 –	Uso do Trado Amostra de Solo na Trilha da Varginha.....	104
Figura 16 –	Amostra de solo coletada em Anel de Kopeck.....	104
Figura 17 –	Pontos de Amostragem selecionados para coletas de Solo.....	105
Figura 18 –	Penetrômetro de Impacto – Stolf.....	107
Figura 19 –	Uso do Penetrômetro na Trilha da Varginha.....	107
Figura 20 –	Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistido (MDT-HC).....	115
Figura 21 –	Mapa de Declividade.....	117
Figura 22 –	Mapa de Orientação de Vertentes.....	118
Figura 23 –	Mapa de Formas do Terreno.....	120
Figura 24 –	Mapa de Localização da Estação Meteorológica selecionada para análise	121
Figura 25 –	NDVI referente a Março de 2008.....	124

Figura 26 – SAVI referente ao mês de Março de 2008.....	125
Figura 27 – NDVI referente ao mês de Agosto de 2008.....	126
Figura 28 – SAVI referente ao mês de Agosto de 2008.....	127
Figura 29 – NDVI referente ao mês de Março de 2018.....	128
Figura 30 – SAVI referente ao mês de Março de 2018.....	129
Figura 31 – NDVI referente ao mês de Julho de 2018.....	130
Figura 32 – SAVI referente ao mês de Julho de 2018.....	131
Figura 33 – Mapa de Uso e Cobertura da Terra.....	132
Figura 34 – Cobertura Vegetal de Classe Floresta Ombrófila Média.....	133
Figura 35 – Cobertura Vegetal presente na área da suposta cratera do Vulcão de Nova Iguaçu - 2016.....	134
Figura 36 – Cobertura Vegetal presente na área da suposta cratera do Vulcão de Nova Iguaçu – 2018.....	135
Figura 37 – Mapa de Suscetibilidade erosiva na área de estudo.....	136
Figura 38 – Queda de árvore na passagem do ponto 1 ao ponto 2 de coleta de amostras de solo.....	137
Figura 39 – Pequeno movimento de massa nas imediações do ponto de coleta 3.....	138
Figura 40 – Degraus destruídos no início da trilha.....	140
Figura 41 – Ponto de amostragem 1.....	140
Figura 42 – Presença de blocos rochosos na trilha, acúmulo de sedimentos e degraus de manejo necessitando de manutenção.....	141
Figura 43 – Ponto de Amostragem 2.....	142
Figura 44 – Afloramento rochoso em meio a Trilha.....	143
Figura 45 – Ponto de Amostragem 3.....	144
Figura 46 – Degraus de manejo destruídos logo após o ponto 3, representando um fator limitante a visitação.....	145
Figura 47 – Ponto 4 de Amostragem.....	146
Figura 48 – Praça do Boi, marco divisório entre as sub-bacias que a Trilha perpassa...	147
Figura 49 – Ponto de Amostragem 5.....	148
Figura 50 – Presença de feições erosivas logo após o Ponto de Amostragem 5.....	148
Figura 51 – Coleta de Amostras no leito do Ponto 5, em uma feição erosiva.....	149
Figura 52 – Ponto de Amostragem 6.....	150
Figura 53 – Ponto de Amostragem 7.....	151

Figura 54 –	Ponto de Amostragem 8.....	152
Figura 55 –	Mirante da Vigné, final da Trilha da Varginha.....	152
Figura 56 –	Trecho da Trilha da Varginha entre os pontos 3 e 4 de amostragem, com presença de capim coloniãõ e barba de bode.....	182
Figura 57 –	Mapa de Síntese dos eventos naturais e necessidades de manejo da Trilha da Varginha.....	184
Figura 58 –	Mapa de Sugestões de Manejo para cada setor da Trilha da Varginha.....	185

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Médias Pluviométricas mensais registradas na Estação Meteorológica TRMM. 1000 Nova Iguaçu.....	122
Gráfico 2 – Valores de Densidade Aparente da Trilha da Varginha.....	154
Gráfico 3 – Densidade de partículas dos pontos de amostragem em g/cm ³	156
Gráfico 4 – Índices de Carbono Orgânico e Matéria Orgânica nos pontos de amostragem da Trilha da Varginha.....	161
Gráfico 5 – Índices Granulométricos por Ponto Amostrado.....	166

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Caracterização da Trilha da Varginha.....	36
Quadro 2 –	Classificação da Declividade.....	86
Quadro 3 –	Escala de valores de Comparação do AHP.....	92
Quadro 4 –	Tabela de Consistência Aleatória.....	94
Quadro 5 –	Notas Utilizadas pelo Método de Análise Multicriterial para Mapa de Suscetibilidade Erosiva.....	99
Quadro 6 –	Matriz de Comparação pareada AHP para Suscetibilidade a Processos Erosivos.....	101
Quadro 7 –	Pesos em Porcentagem utilizados pelo Método de Análise Multicriterial para realização do Mapa de Suscetibilidade Erosiva.....	102
Quadro 8 –	Médias Pluviométricas mensais registradas na Estação Meteorológica TRMM. 1000 Nova Iguaçu.....	122
Quadro 9 –	Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 1.....	169
Quadro 10 –	Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 2.....	170
Quadro 11 –	Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 3.....	171
Quadro 12 –	Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 4.....	172
Quadro 13 –	Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 5.....	173
Quadro 14 –	Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 6.....	174
Quadro 15 –	Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 7.....	175
Quadro 16 –	Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 8.....	176

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Dados de Densidade Aparente dos Pontos Amostrados em g/cm ³	155
Tabela 2 –	Densidade Real dos Pontos Amostrados em g/cm ³	157
Tabela 3 –	Dados de Porosidade Total para os Pontos Amostrados na Trilha da Varginha.....	158
Tabela 4 –	Índices Matéria Orgânica nos Pontos de Amostragem da Trilha da Varginha.....	159
Tabela 5 –	Índices de Carbono Orgânico nos Pontos de Amostragem da Trilha da Varginha.....	160
Tabela 6 –	Índices de Granulometria em g/kg e Classificação Textural do Leito da Trilha da Varginha.....	162
Tabela 7 –	Índices de Granulometria em g/kg e Classificação Textural da Borda da Trilha da Varginha.....	163
Tabela 8 –	Índices de Granulometria em g/kg e Classificação Textural da Área de Vegetação da Trilha da Varginha.....	164
Tabela 9 –	Valores de Umidade Volumétrica para os Pontos de Amostragem da Trilha da Varginha.....	167
Tabela 10 –	Valores de Umidade Gravimétrica para os Pontos de Amostragem da Trilha da Varginha.....	168

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	16
1. ÁREA DE ESTUDO E RECORTE ESPACIAL SELECIONADO.....	20
1.1 Localização do PNMNI e sua caracterização geral.....	20
1.2 A Acessibilidade ao Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu.....	30
1.3 Recorte espacial selecionado: A Trilha da Varginha.....	30
1.4 Análise do Perfil do Visitante do PNMNI – O Recorte para a Trilha da Varginha.....	38
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL.....	42
2.1 Unidades de Conservação (UC's), Trilhas e seus Impactos Associados e Uso Público em Unidades de Conservação.....	42
2.2 Solos: Principais Características Físicas.....	54
2.3 Erosão dos Solos em Trilhas.....	64
2.4 O Uso das Geotecnologias como Aliada na Análise Ambiental.....	75
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	82
3.1 Levantamento Bibliográfico.....	82
3.2 Fluxograma Metodológico.....	82
3.3 Mapeamentos Topográficos.....	83
3.4 Quadro Analítico de Pluviosidade e Mapa de Situação da Estação Meteorológica Escolhida.....	87
3.5 Avaliação da Cobertura Vegetal pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Vegetação por Ajuste do Solo (SAVI).....	88
3.6 Mapa de Uso e Cobertura da Terra.....	90
3.7 Mapa de Susceptibilidade Erosiva – Método AHP.....	91
3.8 Trabalhos de Campo.....	102
3.8.1 Coletas das Amostras de Solo.....	103
3.9 Laboratório.....	105
3.9.1 <u>Análises das Propriedades Físicas e Químicas do Solo.....</u>	105
3.9.2 <u>Análise da Resistência à Penetração do Solo através do Penetrômetro de Impacto.....</u>	106
4. RESULTADOS.....	114

4.1	Mapeamentos Topográficos.....	114
4.2	Quadro Analítico de Pluviosidade.....	121
4.3	Análise da Cobertura Vegetal pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Vegetação por Ajuste do Solo (SAVI).....	124
4.4	Mapa de Uso e Cobertura da Terra.....	131
4.5	Mapa de Suscetibilidade Erosiva.....	135
4.6	Análise das Condições Gerais da Trilha.....	139
4.7	Análise das Propriedades Físicas e Químicas do Solo na Trilha da Varginha..	153
	Síntese das Análises e Proposições de Manejo para a Trilha da Varginha.....	179
	CONCLUSÕES	186
	REFERÊNCIAS.....	189

.....

INTRODUÇÃO

Enquanto ciência que se atém ao estudo das dinâmicas naturais, sociais e da relação entre ambas dimensões, a Geografia vem desenvolvendo seus aportes teórico-metodológicos de modo a permitir a compreensão dos referidos processos e dinâmicas, bem como das consequências de uma relação desarmoniosa com o ambiente circundante. Desta forma, a Ciência Geográfica se apoia em categorias analíticas, dentre elas a de Paisagem. Tal categoria pode ser caracterizada como polissêmica e dinâmica, evoluindo e passando por múltiplas definições ao longo da trajetória Geográfica, recebendo influências das mais diversas correntes de pensamento.

Considerando o fator antrópico como influenciador na dinâmica ambiental, é importante que na relação sociedade-natureza - ainda que a sociedade contemporânea venha, de forma geral, desenvolvendo certa consciência ambiental - a relação com o ambiente se mostra muito aquém do ideal da conservação dos recursos naturais, com sucessivos impactos aos ambientes naturais.

Pontes (1999) e Rua *et al.* (2007), neste cenário, abordam que a concepção de natureza, ao longo da história, foi sendo construída a partir das relações práticas da sociedade com o seu habitat, das quais incluem-se a produção econômica, evidenciando a concepção de natureza como recurso.

Semelhante crítica é discorrida por Bernardes e Ferreira (2003), Bêz e Figueiredo (2011) e Rodrigues e Rodrigues (2014), onde a natureza é concebida como fonte ilimitada de recursos à disposição do homem no sistema econômico citado, surgindo a crença na ausência de fatores limitantes ao crescimento e ao desenvolvimento econômico significando o domínio da natureza, por parte do homem, gerando o abordado desequilíbrio ambiental.

Entretanto, com o passar do tempo, Mello (2008); Figueiredo *et al.* (2010), Bezerra *et al.* (2015) e Oliveira e Bezerra (2016) apontam que, quer seja pela tomada de consciência ambiental por parte da humanidade, como pela valorização da natureza e a busca de espaços de lazer importantes ao equilíbrio da vida humana, a visita a áreas protegidas, as chamadas Unidades de Conservação (UC's) no Brasil, se torna cada vez mais frequente e recorrente, com perceptível aumento do número de visitantes que buscam este contato com o ambiente natural, como fuga da vida acelerada no meio urbano.

Além disto, Mello (2008) aponta que esta mesma busca do contato com as áreas naturais protegidas se dá pelos benefícios proporcionados, quer sejam de ordem psicológicos,

com a colaboração ao bem estar físico e mental, proporcionando tranquilidade, apreciação da beleza cênica, e experiências satisfatórias em relação aos sentidos, bem como mudanças comportamentais, com atitudes positivas ao ambiente, preservação, com a satisfação do usuário ao perceber o ambiente preservado, e a conservação da natureza em si; e sociais, tornando as pessoas menos agressivas, melhorando as relações em sociedade (MELLO, 2008), e também na dimensão da saúde, com o aumento do vigor físico.

No que tange às áreas protegidas na Baixada Fluminense, Estado do Rio de Janeiro, Maia e Richter (2016) evidenciam que a criação de UC's nesta localidade liga-se à política ambiental adotada pelo governo federal frente ao avanço urbano-industrial no local. A mesma, também evidenciado por BV Ambiente (2020), abriga diversos remanescentes florestais da Mata Atlântica, com grande diversidade biológica e colaborando com diversos serviços ambientais à sociedade.

Contudo, o que se percebe ao longo dos anos, é o histórico de impactos ambientais oriundos da ocupação desordenada, onde Maia e Richter (2016) apontam que a pressão antrópica nas UC's da Baixada Fluminense é percebida hoje não apenas pelo avanço da malha urbana, mas também pela presença dos resíduos, muitas vezes deixados pelos visitantes nas áreas protegidas, evidenciando que a degradação ambiental nestas áreas reduz a biodiversidade e a qualidade dos serviços ambientais, apontando para a necessidade de não se negligenciar seus aspectos ambientais.

Nas áreas protegidas, o acesso e deslocamento do visitante ocorrem, em muitas das vezes, através das trilhas, estas possuindo um papel de elo entre o visitante e o ambiente natural, sendo importante estrutura de uma UC no que se refere a oportunizar ao visitante o contato com as áreas protegidas, usufruindo dos benefícios da mesma (MELLO, 2008; COSTA e OLIVEIRA, 2018).

Estando a presente dissertação no âmbito de UC's e focando a conservação de trilhas, reforça-se as potencialidades e limitações destas para a visitação, necessitando de um correto planejamento e manejo. Neste cenário, nas áreas protegidas, nas quais podem haver trilhas, há a necessidade da aplicação dos conhecimentos científicos e tecnológicos onde, promovendo arranjos e rearranjos espaciais, se garanta um adequado ordenamento territorial, respeitando-se as potencialidades naturais e as fragilidades ambientais (ROSS, 2009).

Lechner (2006) aponta que, uma vez a gestão de trilhas sendo caótica e desorganizada, os resultados acarretam no sentimento de frustração dos planejadores e gestores das trilhas, na falta de compromisso e motivação das equipes que nela exercem atividades, em usuários

descontentes, com uma experiência ruim, além de uma série de impactos à integridade física da trilha, como a intensificação dos processos erosivos e a compactação dos solos.

Ao disporem sobre os impactos nas trilhas decorrentes do uso intensivo sem o adequado planejamento e manejo, Rangel e Guerra (2013) apontam que “a intensa utilização de trilhas pode provocar impactos não só na dinâmica do solo do leito da trilha, mas também no ecossistema como um todo (p. 794)”, tal ideia também presente em trabalhos de Costa e Mello (2005) e Costa (2006). Dentre os impactos mais comuns, aponta-se o pisoteio da vegetação, introduzindo e/ou surgindo espécies vegetais exóticas mais resistentes ao pisoteio, denudação e exposição do solo, intensificando os processos erosivos, além de sua compactação como sendo alguns dos mais comuns efeitos decorrentes da intensa utilização das trilhas (FIGUEIREDO *et al.*, 2010; SENA *et al.*, 2013).

Tendo em vista o cenário apresentado, a presente pesquisa visa compreender o processo de degradação (compactação e/ou erosão) dos solos na Trilha da Varginha, Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu (PNMNI) – RJ. Relacionada ao consumo de paisagens, a visitação às áreas protegidas sem o devido planejamento, aliada as condicionantes naturais do local, podem desencadear a mencionada degradação dos solos, intensificando processos erosivos e/ou de compactação, podendo impedir e/ou dificultar o acesso às trilhas, caso os impactos se tornem de grande intensidade, fazendo com que as trilhas deixem de cumprir seu papel dentro de uma UC: promover a visitação com segurança, paralelamente a educação para a conservação ambiental.

Nos municípios em que se situa a área de estudo - a Trilha da Varginha, dentro do PNMNI, onde estão partes de Mesquita e de Nova Iguaçu -, bem como os municípios da Baixada Fluminense, RJ, de forma geral, nota-se a carência de infraestrutura de lazer e áreas ambientais, sendo o Parque, para os visitantes e moradores dos municípios que o cercam, uma das poucas fontes de lazer próximas e gratuitas, bem como de contato com ambientes naturais e seus benefícios elencados nesta dissertação.

Posto este cenário, um dos desafios que o Parque enfrenta, conforme apontado por Mello (2008), é que devido ao crescimento da procura por lazer de natureza e do ecoturismo, em especial pelos moradores da Baixada Fluminense, a Unidade possui dificuldade em gerenciar este aumento da demanda de visitantes, por não possuir alternativas de atrativos oficiais para receber o “novo” visitante, nas palavras de Mello.

Desta forma, a presente dissertação tem como objetivo geral:

Analisar os impactos negativos do pisoteio na Trilha da Varginha em seus dois setores, tomando como base a caracterização das propriedades físicas do solo e o estágio de degradação

relacionadas com o uso, em conjunto com a análise das variáveis ambientais presentes na área da trilha. Os objetivos específicos, são elencados abaixo:

- a) Caracterizar e analisar as propriedades físicas (Densidade Aparente e Real, Porosidade Total, Granulometria, Umidade Gravimétrica e Volumétrica e Resistência à Penetração ao solo) e químicas (Matéria Orgânica e Carbono Orgânico) do solo que conduzam a avaliação do seu estágio de degradação (erosão e/ou compactação) na área da trilha, detectando os trechos com maiores problemas dessa natureza;
- b) Analisar a vegetação nas áreas de trilha e seu entorno próximo através dos métodos NDVI e SAVI, de modo a entender como esta variável se relaciona com os processos erosivos e a compactação do solo na trilha;
- c) Propor de ações de manejo visando mitigar os impactos da visitação na trilha.

Tais objetivos visam, desta forma, fornecer aportes e subsídios à gestão do Parque para monitoramento e manejo da trilha em análise, podendo, inclusive, os conhecimentos aqui gerados, serem de grande valia para o monitoramento e manejo de outras trilhas do Parque, subsidiando estudos futuros das mesmas.

Destaca-se ainda que, de acordo com Oliveira e Bezerra (2016), o uso público do Parque possui grande relação com a natureza, sendo os principais interesses dos visitantes em relação à Unidade, os ligados ao lazer, em especial a função recreativa que as geoformas possuem, sendo a caminhada nas trilhas a segunda principal atividade, ficando atrás apenas da recreação em cachoeiras e demais corpos hídricos.

Nesse cenário, ressalta-se a importância dos estudos da qualidade dos solos nesta trilha onde, bem manejada, e com processos erosivos minimizados, o visitante, ao fazer uso dos elementos ligado às geoformas, como a cachoeira e as trilhas, e ao ter contato com conhecimentos sobre a possibilidade da existência passada do vulcão no Parque, tem a possibilidade de passar por um programa e/ou atividade educativa que lhe propicie maiores conhecimentos, e um senso de conservação ambiental.

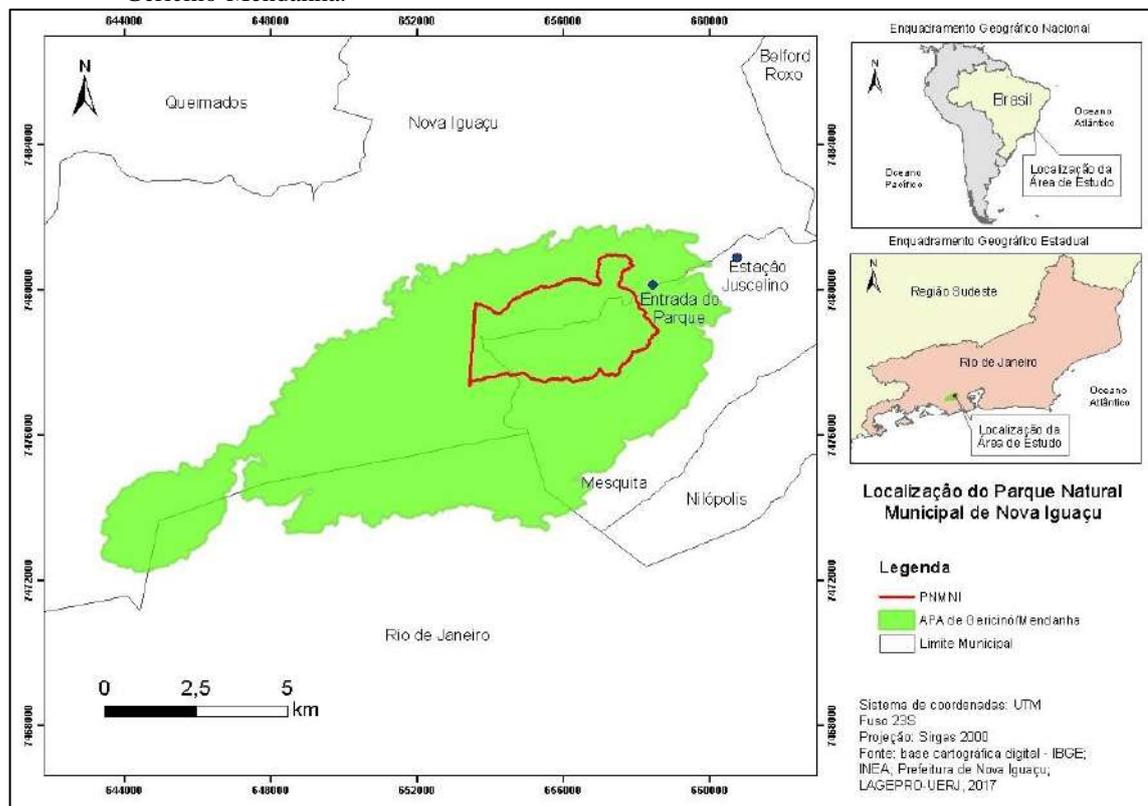
1 ÁREA DE ESTUDO E RECORTE ESPACIAL SELECIONADO

A presente pesquisa tem como área de estudo o PNMNI. É uma UC criada em 05 de Junho de 1998 pelo decreto municipal nº 6001 (SEMUAM, 2001). Neste, foi escolhido como recorte espacial a Trilha da Varginha, que possui diversos atrativos ligados a Geodiversidade.

1.1 Localização do PNMNI e sua caracterização geral.

O Parque (Figura 1) localiza-se na antiga Gleba Modesto Leal, entre as coordenadas UTM 7485/7477 e 650/658, na Baixada Fluminense, entre os municípios de Mesquita e Nova Iguaçu, no Estado do Rio de Janeiro, mais precisamente na Serra de Madureira em sua vertente iguaçuana, localizado no Maciço de Gericinó-Mendanha.

Figura 1 – Localização do Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu e da Área de Proteção Ambiental de Gericinó-Mendanha.



Fonte: OLIVEIRA E COSTA, 2017.

No que tange ao processo histórico de ocupação da área ao entorno do Parque, a Prefeitura da Cidade de Nova Iguaçu (SEMUAM, 2001) nos aponta que desde o final do século XVI parte da superfície das serras de Madureira-Mendanha e regiões vizinhas alocaram cinco diferentes ciclos econômicos, sendo eles, respectivamente: o do feijão, o da cana de açúcar, o do café, nos terrenos elevados, de laranjas e mais recentemente tem-se o ciclo mineral, representado pela exploração das pedreiras existentes nos arredores da UC (SEMUAM, 2001, p.11; SANTOS JÚNIOR, *et al.* 2019).

Destaca-se que tais atividades resultaram em intensa degradação e destruição da vegetação nativa que revestia a serra de Madureira, evidenciando que tal processo de ocupação e destruição não é recente. No século XVII começaram a surgir as primeiras trilhas e caminhos que atravessam, até hoje, a serra “Jericinó” (SEMUAM, 2001, p.11).

Nas proximidades à área do Parque, há também outros vestígios de antigos quilombos. Tendo em vista esta justificativa, ainda de acordo com o plano de manejo do Parque, vários estudiosos consideram importante a necessidade de conservar a área em questão e intensificar as pesquisas desses sítios. Considera-se também o fato da busca da criação de uma área de lazer para os habitantes da Baixada Fluminense, em especial de Nova Iguaçu e Mesquita, vide a ausência desta, conciliando lazer e educação.

No artigo 7 do SNUC (2000), as unidades de conservação dividem-se em dois grupos, a saber: I- Unidades de Proteção Integral ; II- Unidades de Uso sustentável, onde o PNMNI se enquadra na primeira categoria, objetivando, de acordo com o parágrafo primeiro deste artigo, preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos nessa Lei.

De acordo com o artigo 11º, em seu parágrafo 4, as unidades da categoria Parques Nacionais, quando criadas pelo Estado ou Município, serão denominadas, respectivamente, Parque Estadual e Parque Natural Municipal. Sendo assim, caracterizado, o PNMNI atende aos objetivos estabelecidos pela lei, sendo desenvolvidas as atividades instituídas para tal classificação.

O seu Plano de Manejo (SEMUAM, 2001) informa que o Parque possui uma área de 1.100 hectares, com variação altimétrica entre 150 m, na entrada da Unidade, e 956 m no marco sudoeste, próximo ao pico de Geriçinó.

O Maciço do Geriçinó-Mendanha abarca as serras de Madureira, Marapicu, Geriçinó e Mendanha (MELLO, 2008, p.23). Junto com o PNMNI, o maciço integra total ou parcialmente o Parque Natural Municipal da Serra do Mendanha, o Parque Estadual do Mendanha, o Parque Natural Municipal de Mesquita, a Área de Proteção Ambiental de

Gericinó-Mendanha, a Área de Proteção Ambiental do Guandu, a Área de Proteção Ambiental de Mesquita e a Reserva Particular do Patrimônio Natural Bicho Preguiça. O autor supracitado informa que o PNMNI faz parte, da Área de Proteção Ambiental de Gericinó-Mendanha (Figura 1), criada pela Lei Estadual 1.331, de 12 de Julho de 1988, e efetivamente implantada pelo Decreto 38.183, de 5 de Setembro de 2005, sendo esta considerada reserva da Biosfera pela UNESCO desde 1996, abrigando remanescentes da Mata Atlântica.

No que tange a Biodiversidade, o plano de manejo do PNMNI informa que o maciço de Gericinó-Mendanha insere-se no bioma da Mata Atlântica, com sua formação vegetal voltada para o litoral do Oceano Atlântico, e cobertura vegetal classificada como Floresta Ombrófila Densa Montana e Submontana.

O Plano de Manejo (SEMUAM, 2001) faz interessante abordagem sob a perspectiva da cobertura vegetal do local, onde o bioma, embora sendo considerada uma das regiões de maior biodiversidade do planeta, é, antagonicamente, um dos ambientes florestais mais ameaçados do mundo. Soma-se a isso, porém, à grande diversidade biológica, destacada na Floresta Tropical Atlântica com diversificadas formas de endemismo. O mesmo está associado às diversas condições que esta formação proporciona aos processos de especiação, devido, principalmente, a uma geografia que lhe é peculiar, distribuindo-se por uma faixa de latitude extensa (de 5° sul até 30° sul).

Santos *et al.*, (2007) informam que a área apresenta grande riqueza florística, e que as áreas florestais mais preservadas localizam-se nos vales profundos das cabeceiras dos rios e em outros locais de difícil acesso, como nas cotas altimétricas mais elevadas, onde ainda podem ser encontradas florestas em estado primitivo ou clímax. Ressalta-se a influência da topografia sobre o revestimento florestal, onde o mesmo se torna mais denso nos locais em que a geomorfologia proporciona um maior acúmulo de água e nutrientes no solo, o que ajuda-nos a entender o alto grau de riqueza em espécies existentes nestas florestas, conferindo tais características uma composição florística bastante diversificada no PNMNI.

Segundo informações do Plano de Manejo, o maciço Gericinó-Mendanha, localizado na Baixada Fluminense, área que sofreu profundas modificações ao longo de seu processo de ocupação, seu revestimento florestal ainda é bastante significativo, onde 60% das florestas existentes estão em excelente estado de conservação, enquanto os 40% restantes constituem-se por matas secundárias.

Pode-se destacar também que:

Essa região forma com a serra do Tinguá, a serra dos Órgãos e outros maciços costeiros um dos conjuntos de remanescentes florestais mais importantes do Estado

do Rio de Janeiro, que integra a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, homologada pela UNESCO, em 1992. (SEMUAM, 2001, p.32).

Reiterando, assim, a relevância da cobertura vegetal do maciço em apreço, bem como de outras áreas protegidas na Baixada Fluminense.

Ainda no tocante a cobertura vegetal local, o Plano de Manejo indica a ocorrência de três estratos arbóreos pouco definidos, sendo um inferior, com uma altura aproximada de até 9 metros, um intermediário, cujo limite superior situa-se em torno de 18 metros e o superior que se apresenta de maneira descontínua, atingindo o limite superior até 25 metros, sendo constatada ainda, a ocorrência de árvores emergentes que atingiram a altura máxima de 35 metros.

A fauna local se apresenta de maneira igualmente rica. As espécies situam-se em especial em altitudes acima da cota 200 m e nos vales dos cursos d'água (SEMUAM, 2001). Com grande heterogeneidade de habitat e microhabitat, estas áreas abrigam-se animais de preferências alimentares restritas (especialistas), o que aponta ainda mais a necessidade de preservação das mesmas contra possíveis impactos ambientais locais (MELLO LEITÃO, 1937 *apud* SEMUAM, 2001).

Fala-se isto, pois a pressão antrópica pela ocupação e os ciclos econômicos nas bordas do maciço registrados ao longo do tempo, conforme apontado, representam fatores que corroboraram como pressão para as espécies vegetais e animais se situarem em cotas altimétricas cada vez mais elevadas.

O próprio Plano de manejo da Unidade, bem como o trabalho de Bezerra *et al.*, (2015) apontam a presença de caçadores e passarinhos na área do Parque Municipal de Nova Iguaçu. Neste sentido, a própria implantação do Parque e a inserção de mecanismos de fiscalização representam uma diminuição da pressão sobre a biodiversidade local, porém, ainda faz-se necessária a contínua fiscalização, sensibilização e conscientização para que seja proporcionado sentido de pertencimento por parte dos moradores do local, entendendo a função ambiental de cada espécie vegetal e animal, e, assim, não exercendo mais impactos ambientais.

Deste modo, a proteção dos remanescentes florestais do maciço do Gericinó-Mendanha se torna imprescindível para a manutenção da flora e fauna local. O mesmo remanescente florestal representa grande importância no contexto local, influenciando inclusive na amenidade do clima (BEZERRA, *et al.* 2015), podendo ser referido como matriz de proteção e preservação, não só da diversidade biológica como dos mananciais hídricos existentes, apontando-se, assim, mais uma função do ambiente da área para a sociedade, fundamentando a necessidade de sua proteção.

Exemplos da fauna e flora local confirmam esta riqueza da biodiversidade local, a exemplo de: Ipê-amarelo (*Tabebuia* sp), Tiê-preto (*Tachyphonus coronatus*), Beija-flor-de-frente-violeta (*Thalurania glaucopis*), saíra-de-Sete cores (*Tangara seledon*) e Caxinguelê (*Sciurus ingrami*), conforme apontam Semuam, 2001 e Oliveira e Costa (2014).

Sobre o Clima e a Hidrografia local, Santos *et al.*, (2007), nos informam que o clima da área apresenta verões quentes e chuvosos e inverno mais frio e seco, com temperatura média entre 20 °C e 27 °C, podendo ser classificado como Tropical de Altitude nas áreas mais elevadas, e Tropical nas áreas de menor altitude.

Devido ao posicionamento geográfico, o maciço e suas altitudes podem ser caracterizados como frentes de erosão dos solos e de movimentos de massa, sendo este um maciço costeiro. Nesse sentido, pode-se entender que ao receber massas úmidas, em especial no verão, intensificadas pelo relevo local, formam as denominadas chuvas orográficas, que, concentradas neste local, corroboram para que as partículas do solo sejam transportadas de sua camada superior, e podendo desencadear também os movimentos de massa.

Bezerra *et al.*, (2015) nos informam que mesmo nos meses de verão, baixos índices de pluviosidade foram observados na UC, onde este fator além de ser um elemento importante na análise da dinâmica de impactos ambientais locais, a exemplo das queimadas, nos ajuda a entender outros problemas socioambientais, como o fechamento do Parque devido a diminuição do nível de água da represa Epaminondas Ramos, localizada próximo a entrada do Parque. Tal abastecia o bairro Kaonze, em Nova Iguaçu. O fechamento do Parque ocorreu, nessa ocasião, para que as águas que abastecem a localidade não fossem comprometidas.

Oliveira e Costa (2014) nos informam ainda que atualmente, aproximadamente 70% da área da Unidade encontram-se coberta por vegetação em diferentes estágios de conservação, e o restante apresenta áreas com pastagens degradadas e sujeitas a incêndios anuais, o que atrai a invasão de gado, retardando a recuperação por reflorestamento.

Sendo assim, detectados tais dinâmicas no local, faz-se necessário cada vez mais o desenvolvimento de atividades educativas que visem a sensibilização e a construção de atitudes e valores em prol do ambiente (BEZERRA *et al.*, 2015; OLIVEIRA e BEZERRA, 2016).

O Plano de Manejo da Unidade também nos fornece informações relevantes sobre a Hidrologia local, apontando para os rios e córregos que nascem no Maciço Gericinó-Mendanha, onde se insere a Serra de Madureira, e que abastecem famílias residentes nos arredores do Parque.

Devido ao relevo acidentado do local, em alguns trechos, há belas cachoeiras e piscinas naturais, utilizadas pela população como áreas especiais de lazer, sendo essa uma temática

abordada por Oliveira e Bezerra (2016) ao discutirem os principais valores que os visitantes apreçoam ao Parque, e as principais atividades que nele exercem, sendo o lazer a principal.

Dentre outros rios e córregos importantes que existem no maciço, pode-se citar: Guandu do Sapê, Guandu do Sena, da Prata do Mendanha, Cabuçu, Ipiranga e Botas. O mesmo plano de manejo informa que os cinco primeiros deságuam na macrobacia da baía de Sepetiba, enquanto o último, juntamente com o próprio D. Eugênia, é contribuinte para a bacia hidrográfica do complexo Sarapuí/Iguaçu, que deságua na Baía de Guanabara. Nesse sentido, um dos objetivos da criação do Parque é, portanto, o de proteger este sistema hidrológico local.

Quanto à qualidade das águas dos rios e córregos da área observa-se que os problemas mais graves se encontram nas áreas mais povoadas, onde despejos de esgotos e águas servidas são feitos diretamente nos mananciais, na zona de amortecimento do Parque, fato este comprovado ao ver a notória transformação da qualidade da água entre a zona urbanizada e a das proximidades da entrada do Parque.

Outro fato constatado com as visitas a campo é a da criação de animais e produção agrícola em alguns trechos do maciço, em especial na Zona de Amortecimento do Parque, o que pode contribuir para a contaminação da água por dejetos orgânicos e produtos químicos

Além de sua rica biodiversidade, o PNMNI apresenta também uma relevante e significativa geodiversidade, evidenciada através das feições geológicas e geomorfológicas que possuem, aproximadamente, 70 milhões de anos (MOTOKI; MOTOKI, 2011; MOTA *et al.* 2012), indicando a possibilidade da existência de processos vulcânicos e/ou subvulcânicos no local, a exemplo: afloramento de sienito, diques de traquito, bombas vulcânicas e brechas piroclásticas (MANSUR *et al.*, 2004; 2014; OLIVEIRA e COSTA, 2014; OLIVEIRA e BEZERRA, 2016; DRM-RJ, 2020) o que faz desse Parque uma área com geossítios relevantes, atraindo considerável número de visitantes para seus atrativos, inclusive as trilhas reiterando sua importância considerável para as geociências.

De acordo com Gray (2013), a Geodiversidade por ser entendida como:

A variedade natural (diversidade) geológica (rochas, minerais, fósseis), geomorfológica (topografia de relevos, processos físicos), solos e características hidrológicas. Inclui suas montagens, estruturas, sistemas e contribuições para paisagens (GRAY, 2013, p. 26).

Os geossítios, neste cenário, podem ser entendidos como ocorrências geológicas que possuem valor científico, cultural, pedagógico e turístico, por exemplo, se fazendo necessária sua proteção (GRAY, 2013; BRILHA, 2016). Tal proteção aos elementos mencionados se enquadra na discussão do conceito de Geoconservação.

Embora o presente trabalho não se atenha a temática da geodiversidade, é inegável a riqueza da diversidade geológica presente no Parque de Nova Iguaçu, sendo inclusive atrativo para a Trilha da Varginha, conforme será percorrido, além de o próprio solo, enquanto elemento da geodiversidade, deva possuir o adequado manejo, podendo colaborar o presente trabalho para a geoconservação da trilha, de forma ampla, em seus solos e as atividades relacionadas a ele.

Oliveira e Costa (2014) discorrem acerca dos diversos estudos voltados à existência do vulcão de Nova Iguaçu e abordam que ao longo dos anos, a veracidade da existência de atividades vulcânicas na área vem sendo estudada por cientistas, uns confirmando a hipótese da existência do vulcão, outros, sua inexistência, apenas feições subvulcânicas, posteriormente expostas devido ao soerguimento regional, e totalmente erodidas com o passar dos anos.

Mesmo com essa dualidade de interpretações, há que se enfatizar que as mesmas não diminuem a relevância no tocante a geologia do local e sim, reforçam a presença de rochas e feições raras e pouco estudadas face à importância que possuem, além de representarem partes da história da formação do nosso continente.

Outro fator que evidencia a relevância geológica do local é a criação do Projeto Caminhos Geológicos, coordenado pelo Departamento de Recursos Minerais - DRM-RJ, que foi implantado a partir do ano de 2001 (MANSUR e ERTHAL, 2003), visando a transmissão e divulgação do conhecimento geológico e geomorfológico à sociedade em linguagem de fácil compreensão através da implementação de placas explicativas, sendo no PNMNI, em 2004, implantadas seis painéis ao longo da estrada da cachoeira e mais seis no ano de 2013, na Trilha da Varginha, tais por um lado demonstram a ocorrência de processos vulcânicos no local, por outro, visam a valorização e proteção do patrimônio geológico (MELLO, 2011; DRM-RJ, 2020).

Quanto a geomorfologia local, Dantas *et al.*, (2000) e Motoki *et al.*, (2008) nos auxiliam a compreender o enquadramento da área e seus processos associados. Os primeiros autores informam o domínio ao qual a área pertence, sendo este a faixa litorânea, unidade ambiental baixadas, subdomínio Região Metropolitana, Baixada da Guanabara. Das baixadas de Sepetiba, Guanabara e Jacarepaguá, sobressaem-se os maciços montanhosos, a exemplo dos maciços costeiros da Pedra Branca, Tijuca e Região dos Lagos ou os maciços intrusivos alcalinos do Mendanha e de Itaúna.

Informam ainda que os terrenos colinosos de gradientes suaves e baixas amplitudes de relevo, situados à retaguarda dos cordões arenosos e das lagunas costeiras abrangem uma grande extensão da Baixada Fluminense. Depreende-se, ainda, que a localização geográfica do

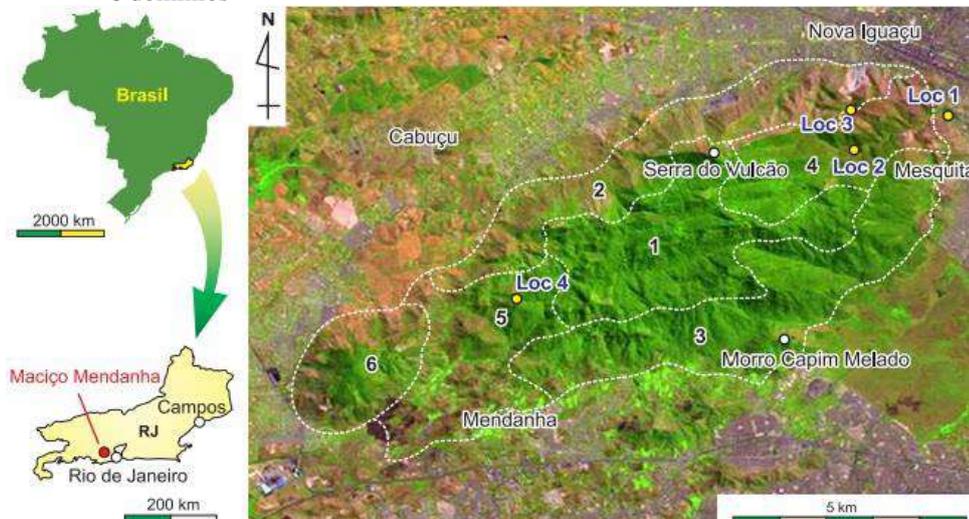
maciço, com suas altitudes, o caracteriza como uma área de frente de erosão dos solos e movimentos de massa, juntamente com os outros maciços costeiros do Estado do Rio de Janeiro, conforme dito anteriormente.

Pode ser assim caracterizado uma vez que recebem, em especial nos meses do verão, massas úmidas de ar do oceano atlântico, devido à entrada de frentes frias, onde as mesmas são intensificadas pelo relevo, acarretando as denominadas chuvas orográficas. Ressalta-se que a concentração das chuvas corrobora para a lavagem do solo, com transporte de seus primeiros centímetros.

Os segundos autores informam que a saliência morfológica do Maciço do Mendanha pode ser atribuída aos movimentos das falhas inferidas nas bordas do maciço (RICCOMINI *et al.*, 2004; ZALÁN; OLIVEIRA, 2005 *apud* MOTOKI, *et al.* 2008), sendo essas compoendo partes das falhas formadoras do Graben da Guanabara (FERRARI, 2001 *apud* MOTOKI, *et al.* 2008). Os autores, porém, afirmam que a origem da saliência morfológica do Maciço Mendanha também é uma questão que ainda está em aberto, à proporção que a existência das falhas inferidas não foi confirmada por trabalhos geológicos.

Motoki *et al.*, (2008) caracterizam geomorfologicamente a área do maciço em 6 domínios geomorfológicos (Figura 2): 1) Planalto Central; 2) Escarpa Cabuçu, a encosta norte do maciço; 3) Escarpa Gericinó e Escarpa Mendanha, a encosta sul; 4) Rampa Dona Eugênia, o flanco oriental; 5) Rampa Guandu do Sapé, o flanco ocidental; 6) Marapicu, o morro presente na extremidade oeste.

Figura 2 – Mapa de Localização do Maciço Mendanha, RJ, e sua divisão geomorfológica em 6 domínios



Legenda: 1) Planalto Central; 2) Escarpa Cabuçu; 3) Escarpa Gericinó e Escarpa Mendanha; 4) Rampa Dona Eugênia; 5) Rampa Guandu do Sapé; 6) Pico do Marapicu.

Fonte: MOTOKI *et al.*, 2008.

Em se tratando o presente trabalho da temática da compactação dos solos em trilhas, é importante também para esta caracterização da UC a classificação de seus solos, onde o conhecimento da dinâmica dos mesmos auxilia no planejamento para os diversos fins de uso, fazendo-se posteriormente o recorte da trilha analisada.

Ainda segundo o Plano de Manejo da UC, as principais unidades de solo que compõem o Maciço do Gericinó-Mendanha são os argissolos vermelho-amarelos eutróficos que ocorrem nas áreas mais elevadas das serranias, onde também são observados os latossolos vermelho-amarelos álicos. No entanto, estes últimos predominam nas superfícies onde o relevo é fortemente ondulado ou montanhoso, embora ocorram, ocasionalmente, em áreas de relevo ondulado (SEMUAM, 2001; IBGE, 2015).

A Embrapa (2020) caracteriza os argissolos como solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B, e satisfazendo, ainda, os seguintes requisitos: a) Horizonte plíntico, se presente, não satisfaz os critérios para Plintossolo; b) Horizonte glei, se presente, não satisfaz os critérios para Gleissolo.

Em sua modalidade vermelho-amarelo eutrófico, ocupa a classe do 3º nível categórico (Grandes grupos), sendo classificado como solos eutróficos (saturação por bases $\geq 50\%$) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA), sendo de alta fertilidade, e, susceptível à erosão (EMBRAPA, 2020).

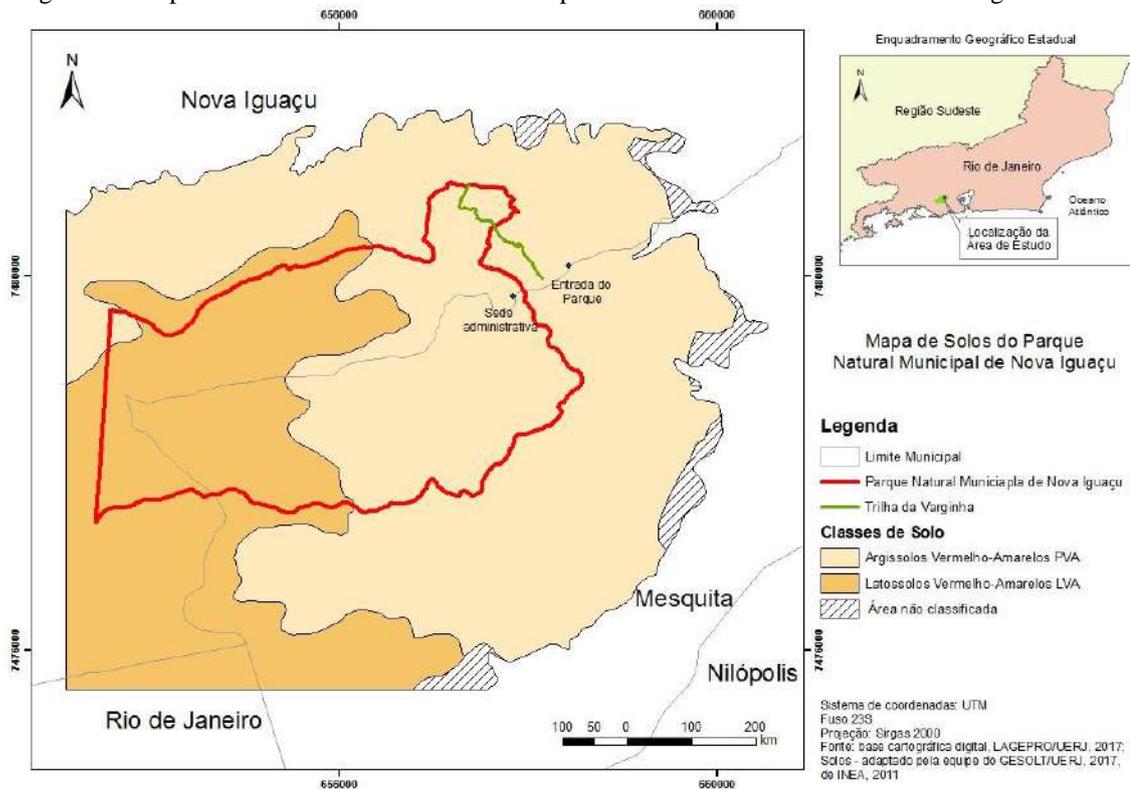
Quanto aos latossolos vermelho-amarelos, o plano de manejo da unidade nos informa que é uma classe de solos minerais não hidromórficos, que apresentam os horizontes principais: A/Bw/C, com A moderado e com B latossólico, de estrutura granular e boa coesão. Associados a rochas alcalinas, desenvolvidos a partir de colúvio. Ocorrem em relevo montanhoso com declividade de 45 - 75%, em altitudes superiores a 300 m (SEMUAM, 2001).

Já a Embrapa (2020), em sua modalidade álica (Alumínio), o caracteriza como do 3º nível categórico (Grandes grupos), possuindo teores muito elevados de alumínio no solo afetando significativamente o desenvolvimento de raízes; atividade de argila menor do que 20 cmolc/kg de argila.

A figura 3 apresenta um mapa de solos da área em que a trilha em análise perpassa, sendo a principal classe os Argissolos Vermelho Amarelos (PVA). Silva e Neto (2019), ao fazer a caracterização do mesmo, o apontam como sendo desenvolvidos de rochas cristalinas ou sob influência das mesmas, apresentando horizonte de acumulação de argila B Textural (Bt), com coloração predominante de vermelho amarelado, devido a presença da mistura dos óxidos de

ferro hematita e goethita. Na carta de Munsell de coloração, situam-se na matiz 5YR, podendo-se, com menor frequência chegar a 7,5YR.

Figura 3 – Mapa de Solos evidenciando as classes pertinentes ao PNMNI e a Trilha da Varginha.



Fonte: Flávia Lopes Oliveira, 2017.

Os autores supracitados complementam informando se tratarem de solos bem estruturados e drenados, apresentando textura em geral média/argilosa, podendo, em menor frequência, apresentar texturas média/média e média/muito argilosa.

No que tange a erodibilidade dos solos, os Argissolos, de maneira geral, de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2014), para os horizontes superficiais e subsuperficiais, é verificado o comportamento de solos com B Textural, presente nesta classificação conforme Embrapa (2020), como mais suscetíveis a erosão, devendo seu manejo, em relação aos latossolos, ser realizado de forma diferente. Embora sejam apresentadas tais características dos solos presentes onde a trilha se estabelece, outras variáveis ambientais serão estudadas de modo a entender os processos erosivos e o de compactação do solo na trilha.

Ressalta-se que as informações aqui elencadas sobre os solos presentes no PNMNI e na Trilha da Varginha são apresentadas a critério de caracterização da dimensão física solo. Entretanto, ainda que a presente pesquisa não se atenha a classificação de solos, serão propostas

análises da propriedade física da textura do solo, podendo também ser identificada sua classificação quanto ao tipo de solo.

1.2 A Acessibilidade ao Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu

No que se refere à acessibilidade a Unidade, observa-se que o principal acesso é feito pela Estrada da Cachoeira, localizada no Bairro da Coréia, Município de Mesquita – RJ, tomada como ponto de referência a Estação Ferroviária de Presidente Juscelino (Coordenadas UTM 660768 / 7480983), na Estrada Feliciano Sodré. A partir do Bairro da Coréia, em uma distância de aproximadamente 3 km, localiza-se a entrada principal (Portão) do Parque (Coordenadas UTM 658426 / 7480099), e desta, após 1,5 km, sua sede administrativa (Coordenadas UTM 657836 / 7479776) – Dados levantados em trabalhos de campo realizados na Unidade através do GPS Garmin, fuso 23 Sul / WGS 84.

Mello (2008), entretanto, nos informa de vários outros acessos informais. Dentre eles, o mais conhecido, utilizado por operadores de rapel na Pedra da Contenda e caminhadas à rampa de Voo Livre, é o Caminho chamado de Tatu-gamela a partir de Nova Iguaçu, conhecido ainda como Estrada da Rampa ou ainda Estrada do Itamar. Esta via é de acesso à Rampa de Voo Livre por seus praticantes.

O mesmo autor supracitado informa também vários outros caminhos e trilhas usados principalmente pelos moradores locais que levam à área do Parque, podendo-se citar:

[...] a trilha do Capitão, via Bairro Kaonze; as trilhas do Mendanha que liga o PNMNI ao parque do Mendanha; Pau da Letra que segue para Campo Grande e trilhas não identificadas que se dirigem a Cabuçu, seguindo pelo alto da Serra de Madureira e as trilhas e suas variantes pelo bairro da Coreia e bairro Fábrica de Pólvora que seguem pela encosta dos morros localizados na área de Mesquita (p. 23).

Demonstrando, desta forma, as mais diversas formas de acesso a referida área protegida e também apontando para os usos realizados pelos visitantes.

1.3 Recorte espacial selecionado: A Trilha da Varginha

O recorte espacial selecionado para a presente dissertação é a Trilha da Varginha. A mesma foi escolhida por possuir diversos exemplos e feições da geodiversidade, em especial

por passar pela suposta cratera do Vulcão de Nova Iguaçu e, em seu final, no Mirante da Vigné, permitindo ao visitante contemplar uma paisagem de grande beleza cênica, além do potencial científico-educativo da trilha como um todo, o que leva o Parque a possuir uma potencialidade geoturística. Desta forma, as observações no local realizadas em trabalho de campo chamam a atenção para os usos estabelecidos na trilha e a relação e efeitos ao solo do referido uso.

Mello (2008) ao dissertar sobre o ordenamento da malha de trilhas como subsídio ao zoneamento ecoturístico e manejo da visitação no PNMNI, faz interessante debate ao abordar o histórico da origem da Trilha da Varginha.

Conforme abordado anteriormente de acordo com seu plano de manejo, o processo histórico de ocupação das áreas próximas ao PNMNI está intimamente ligado às fases econômicas pelas quais tanto o município de mesmo nome, quanto o próprio Brasil passaram em sua fase colonizatória e início da república. Tais reflexos das fases econômicas se refletiram na ocupação de áreas do Parque através de sítios, aos quais os acessos se davam por meio de trilhas elaboradas pelos sitiantes em meio à mata.

Passados os anos e resolvida a questão fundiária da Unidade, outra questão agora presente são os sítios situados na zona de amortecimento do Parque, onde a criação de gado solto nestes locais corrobora para que os mesmos acessem as áreas pela qual a trilha corta. Tal fato colabora para a manutenção dos traçados elaborados em outrora.

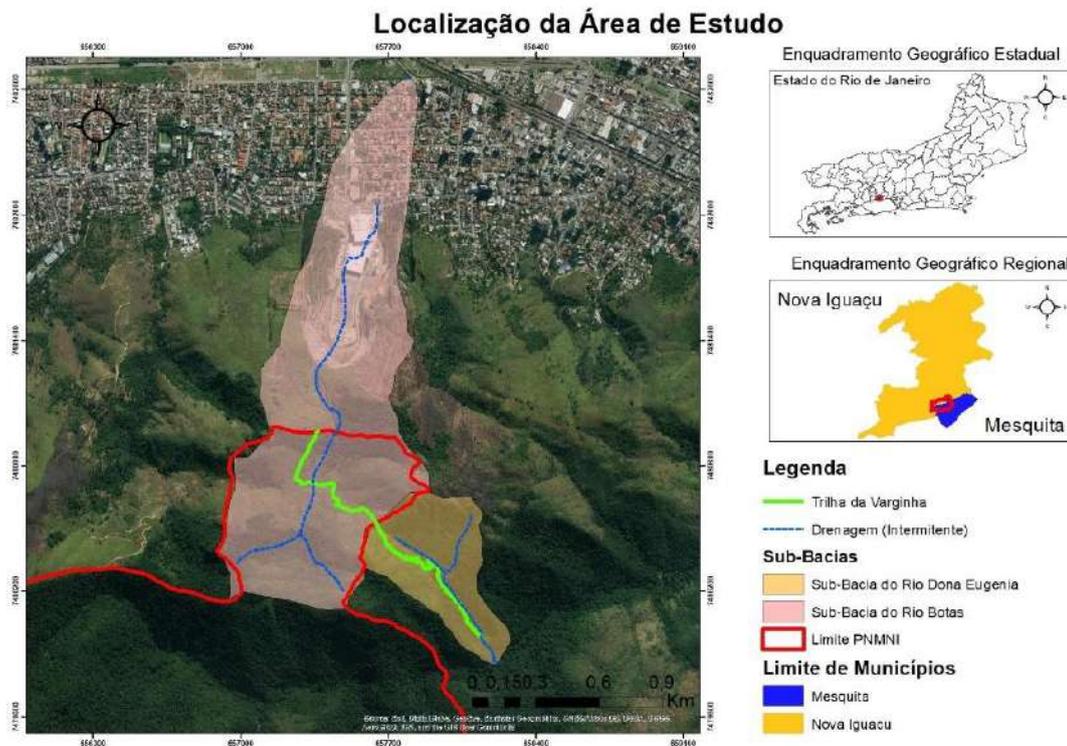
Como o processo de ocupação local implicou em grande desmatamento, a vegetação presente em mais da metade da trilha é composta por Capim Colonião (*Panicum sp.*) e Capim Barba de Bode (*Aristida pallens*), em cerca de 75% de sua extensão, sendo estas áreas muito degradadas (MELLO, 2011) em decorrência do ciclo do fogo presente na Trilha, principalmente nos períodos de inverno. Tais incêndios são frutos muitas vezes das queimadas originadas na referida zona de amortecimento pelos criadores de gado e caçadores de pássaros, onde uma grande queimada à época da elaboração da Trilha, segundo relatos da Gestão e de Mello (2008), revelou vários traçados soltos, cabendo ao ordenamento definir seu traçado final.

Situando-se na Zona de Uso Extensivo da Unidade, de acordo com seu Plano de Manejo (SEMUAM, 2001; OLIVEIRA, 2017), a Trilha da Varginha (Figura 4) tem origem na Pedreira desativada São José, que fica a cerca de 200 metros da guarita da entrada oficial, tendo seu fim no Mirante da Vigné.

Ela atravessa duas Sub-Bacias, onde, em seu início, corta a Sub-Bacia do Rio Dona Eugênia, denominado de Vale do Levi, atravessando, através do divisor topográfico em cotas superiores a 260 metros de altitude, para a Sub-Bacia do Rio Botas, este denominado Vale da Varginha, que possui uma planície em seu fundo que é conhecida como a suposta cratera do

Vulcão de Nova Iguaçu (MELLO, 2010), atraindo visitantes uma vez que tal fato tem capacidade de tocar o imaginário e aguçar a curiosidade do público em geral.

Figura 4 – Localização da Trilha da Varginha.



Fonte: O autor, 2018. Realizado através da base cartográfica LAGEPRO-UERJ e INEA.

O primeiro segmento da Varginha, do início até um de seus atrativos denominado de “Brecha Piroclástica”, apresenta vegetação floresta secundária e mata ciliar ao longo do Córrego do Levi que drena este segmento. Entretanto, subindo a encosta rumo a passagem do divisor topográfico que se apresentam as vegetações de pastagem acima elencadas, responsáveis pelos inúmeros incêndios registrados até hoje no Parque.

Variados são os trabalhos que evidenciam a rica geodiversidade do PNMNI, conforme apresentado. Nesse contexto, Oliveira *et al.* (2013), Oliveira e Costa (2014), Oliveira e Bezerra (2016) e Bezerra e Oliveira (2017) evidenciam, como o principal atrativo do Parque, as cachoeiras e poços superficiais. Tal fato, já percebido por Mello (2008), faz com que, em especial nos meses de verão, grande quantidade de visitantes esteja simultaneamente neste tipo de atrativo, exercendo pressão no mesmo, podendo degrada-lo e desqualifica-lo.

Neste cenário é que se projeta a concepção da Trilha da Varginha. Mello (2008, 2010 e 2011) menciona que a mesma representa mais uma possibilidade ao lazer, conforme apontado, não se limitando ao eixo: guarita de entrada – Casarão, que concentra as cachoeiras e poços,

desafogando-os, possuindo grande potencial educativo-científico, uma vez que seu traçado considerou os atrativos geológicos presentes na trilha, como a falha geológica, as brechas piroclásticas mencionadas, os lapilitos e a suposta cratera do vulcão.

Mello (2010) ressalta que a Varginha também tem como finalidade expor aos pesquisadores, estudantes, bem como a sociedade em geral, os mais diferentes testemunhos geológicos ali presentes, bem como de um suposto vulcão na área, atraindo visitantes e curiosos, às potencialidades das atividades educativas que visem à construção de um senso de pertencimento e conservação ambiental, conforme ressalta Bezerra *et al.* (2015). Ademais, a implantação da Trilha da Varginha contribui a temática do consumo das paisagens através da caminhada em trilhas, este que é uma grande vocação do PNMNI, atrás apenas do banho em cachoeiras e poços (OLIVEIRA e BEZERRA, 2016).

Conforme explicitado, os vales atravessados pela trilha mencionada possuíam uma série de caminhos desconexos, onde o ordenamento proposto por Mello (2008), para a realização do traçado, considerou os atrativos presentes na trilha, seu estado quanto à erosão e a declividade (compreendendo entre 0° – 15°), inserindo-se, na proposta, a possibilidade de se alcançar o Mirante da Vigné, com grande beleza cênica, fornecendo ampla visão do Município de Nova Iguaçu e do Maciço de Tinguá ao fundo.

Mello (2008 e 2011), ao reforçar a importância do ordenamento da Varginha, expõe tal necessidade, uma vez que à época de sua elaboração percebeu-se ali atividades que se desenvolviam à revelia da gestão, inclusive com a presença de caçadores de animais silvestres. Desta forma, integrando-se a Trilha da Varginha com outras presentes nesta área denominada de “Complexo vulcânico”, como a Trilha da Contenda, iniciada na bifurcação presente na Praça do Boi e a rampa de voo livre, objetivou-se fornecer maior controle por parte da gestão, fato este reforçado definindo-se a entrada principal do Parque pela Estrada da Cachoeira.

Mello (2010) nos fornece, então, uma caracterização da Trilha da Varginha, que será aqui resumida em seus pontos principais. O presente trabalho, ao debruçar-se sobre a questão da compactação do solo, se propõe a fazer uma análise da referida trilha de modo a fornecer uma atualização das condições atuais, oferecendo ao leitor da presente dissertação um panorama mais atualizado das condições da trilha.

Assim sendo, o autor supracitado comenta que em seu terço inicial, conforme exposto, a trilha, que corre paralelamente junto ao córrego do Levi, adentra em seu leito em diversos pontos. Salienta-se, porém, ser um córrego temporário, apresentando-se nas épocas do ano de maior precipitação.

Chegando-se a seu terço médio, em cota altimétrica de cerca de 303 Metros e coordenadas 22°46'49,21''S/43°27'33,00''O, conforme Mello (2010), a trilha cruza o córrego do Levi em sua nascente, onde o autor recomenda para tal ponto sua preservação e reflorestamento, servindo tal trecho, com cerca de 180 m apenas como via de serviço à gestão do Parque para acesso mais rápido a Praça do Boi e, por sua vez, a Trilha da Contenda, tendo-se alguns metros antes deste ponto o desvio da trilha por via que dará acesso ao Mirante do Levi. O visitante será beneficiado com mais uma paisagem de grande beleza cênica, e tal espaço de nascente fica preservado, cumprindo sua função ambiental.

Tal acesso ao Mirante do Levi é um trecho em que se recomenda a implantação de núcleos de reflorestamento, promovendo este acesso a requalificação da trilha ao fornecer a visão ao vale do Levi através de mirante de mesmo nome.

Do Mirante do Levi a Praça do Boi, Mello (2010) expõe a continuidade da trilha em cota uniforme, sendo tal trecho, praticamente em sua completude, tomado pela vegetação de pastos, conforme elencado. A Praça do Boi, representando o divisor topográfico entre as sub-bacias e vales que a trilha corta, possui bifurcação à esquerda que dá início à Trilha da Contenda, cabendo ao visitante tomar o caminho à direita, este que inicia no declive em direção ao Vale da Varginha onde se situa a suposta cratera do Vulcão de Nova Iguaçu. Tal trecho, conforme será melhor desenvolvido, atualmente apresenta processos erosivos e evidências das queimadas ocorridas em outrora.

Chegando-se à suposta cratera, realiza-se um traçado semicircular à esquerda, possuindo tal área Mangueiras e Jaqueira, esta que é um ponto referencial para que não se perca o traçado da trilha. Deste ponto, segue-se por um pequeno bosque, em na realidade representa um fragmento florestal que possui recomendação de ser preservado (MELLO, 2008) onde, após este, chega-se a um afloramento rochoso denominado de Mirante da Vigné, fornecendo ampla visão para a localidade de lavra, bem como dos já elencados Município de Nova Iguaçu e Maciço do Tinguá. Se o visitante optar, ao chegar à suposta cratera, por ir à direita, a referência é um ponto chamado “Parada Curralzinho”, onde sua continuidade da acesso ao Mirante da Vigné formando uma trilha circular em volta do vale. Ressalta-se, porém, a pouca utilização deste trajeto.

O Termo de Ajuste de Conduta (TAC), da Pedreira Vigné (MELLO, 2010 e 2011), representou para a Trilha da Varginha melhorias em seu ordenamento bem como da inserção de melhor infraestrutura, percebendo-se neste contexto a inserção do projeto Caminhos Geológicos II. O DRM-RJ (2020) expõe que o conhecimento geológico é imprescindível para

que se mantenha a existência da vida e a conservação do Planeta, este que é o habitat do homem e dos seres vivos, nos dispendo o substrato e o material para nossa existência.

Desta forma, ao trazer os painéis explicativos para a Trilha da Varginha, busca difundir e fornecer maiores conhecimentos geológicos ao visitante local, podendo, como efeito secundário, lhe gerar um senso de conservação ambiental, uma vez entendendo a importância dos aspectos da história da Terra que ali são testemunhados.

Ordenando-se a malha de trilhas, fechando-se os atalhos e recategorizando as trilhas existentes, com interligação de trilhas separadas, objetiva-se a indução indireta de territorializações, consolidando-se lugares de interesse da gestão da UC (MELLO, 2008).

Nesse sentido, ao direcionar o olhar para as trilhas do PNMNI, o mesmo autor supracitado considera que ordenar a malha de trilhas existentes a visitação no Parque se faz necessária pelo melhor desenvolvimento de atividades recreativas, podendo ser possível identificar, segundo Mello (2008), a formação de dois núcleos de atividades diferenciadas:

- a) Núcleo Central: Esta se concentra na Área de Uso Intensivo, sendo composta por usuários que fazem uso dos poços do Rio Dona Eugênia até a localidade do Casarão, com atividades de lazer e também os que têm preferência por caminhadas e contemplação da natureza, sendo a entrada principal a guarita da Estrada da Cachoeira.
- b) Núcleo da Varginha: Concentra-se na área da Pedra da Contenda e na rampa de Voo livre, possuindo atividades de caminhada com maior distância e rapel. O acesso se dá pela estrada do Tatu-Gamela e trilhas a partir do Morro do Cruzeiro e Bairro Kaonze.

Representando, então, a Varginha um elo entre os dois núcleos presentes no Parque e visando desafogar os demais atrativos da Unidade, desenvolvendo com a trilha conhecimentos e atividades educativas e científicas, Mello (2008) aborda que os trabalhos de ordenamento consideraram os vales por onde passam as trilhas, sendo elas as unidades geomorfológicas de referência, elaborando um quadro, na página 152 de sua dissertação, que considera todas as trilhas presentes no Parque, no momento de sua pesquisa, localizando-as, caracterizando-as e apontando seus principais atrativos.

Sendo assim, a Trilha da Varginha, conforme exposto, foi dividida em dois segmentos. O quadro abaixo (1) e a localização da Trilha da Varginha de acordo com o seu ordenamento proposto (Figura 4) foram retirados do trabalho de Mello (2008) de forma literal, devidamente referenciadas abaixo. A Trilha da Varginha possui, então, as seguintes características:

Quadro 1 – Caracterização da Trilha da Varginha.

Localização:	Via:	Características:	Atrativos Principais:
Vale do Levi	Trilha da Varginha 1º Segmento	Trilha Linear da Pedreira desativada São José até a Praça do Boi. Em sua porção final cruza uma nascente e é de acesso que exige cuidados. Possui aproximadamente 1 km de extensão. Para a área de nascente, optou-se por sugerir uma variante que desloca a trilha para uma cota acima, promovendo inclusive maior aporte paisagístico.	Mirantes do Levi e da Mangueira, ambos sugeridos na alteração de traçado que a amplia para 1,8 Km.
Vale da Varginha	Trilha da Varginha 2º Segmento.	Em seu interior e encostas há inúmeras variantes, foi selecionado um traçado linear da Praça do Boi ao cento da Varginha onde segue como uma pequena circular em direção à Parada da Jaqueira, a noroeste, Mirante da Vigné e Parada do Curralzinho, retornando ao centro. Possui aproximadamente 1,4 Km.	Praça do Boi, Mirante da Varginha, Mirante da Vigné, Pedra da Contenda. Dá acesso as trilhas do capitão e Cruzeiro, que se dirigem ao Cruzeiro de Nova Iguaçu e Bairro Kaonze.

Fonte: MELLO, 2008, p.152.

Figura 5 – Ordenamento proposto para a Trilha da Varginha – Parque Natural Municipal Nova Iguaçu.



Fonte: Google Earth – Realizado por: MELLO, 2008, p. 153.

No âmbito do mesmo ordenamento da malha de trilhas proposto por Mello (2008), ao pensar na requalificação turística tanto da trilha em apreço quanto do Parque, com vistas ao ecoturismo, Mello faz a proposta da união das trilhas da Unidade no que denomina de Circular Externa, possuindo cerca de 8 Km (p. 158) e Circular Interna (p.160), possuindo cerca de 4 Km.

Ainda que seja relativo, a distância de dois quilômetros e quarenta e sete metros de extensão, que a Varginha possui é considerado um trajeto curto. O visitante ao realizar, tem acesso aos conhecimentos geológicos presentes e a paisagens com valor cênico, porém, dependendo do público que a realiza, tem sua completude feita de forma relativamente rápida. Assim sendo, ao propor a união das trilhas da Unidade em circulares de tamanhos maiores, tem-se a possibilidade da maximização da experiência do visitante, tendo acesso a outras oportunidades paisagísticas, conhecimentos educativos e atividades a se realizar.

Ressalta-se, porém, que embora tais propostas possuam as relevâncias apontadas acima, as mesmas não se encontram implantadas até o presente momento. O foco do presente trabalho, ainda que perpassa pelas trilhas, atem-se aos solos, material componente da mesma. Deste modo, tal requalificação turística tanto das trilhas compreendidas nas circulares, quanto do Parque em si, tem o potencial de proporcionar um aumento do número de visitantes ao Parque e, por sua vez, nas trilhas compreendidas nas circulares, estando a da Varginha presente nas duas.

Tal ponto é positivo e deve ser incentivado. Entretanto, se atendo ao presente trabalho a avaliação aos impactos negativos e estado de degradação do solo na trilha, faz-se o reforço da necessidade de atividades de manejo e conservação do solo na Varginha de modo a realizar sua manutenção e conservação a curto, médio e longo prazo, de acordo com o aumento da visitação e a consideração de suas variáveis ambientais.

Destaca-se que Mello (2008, 2010 e 2011) deixa evidenciada a necessidade de contínuo manejo na área da Varginha, em seus dois segmentos, dada a presença da vegetação de pasto em grande parte da trilha, bem como de processos erosivos significativos nas encostas de passagem para o segundo setor, apontando o autor para a importância das atividades voluntárias e educativas de replantio de mudas, com vistas a melhoria da qualidade ambiental da trilha e a formação cidadã do visitante voluntário.

Tais atividades são hoje desenvolvidas pela gestão da Unidade, em parceria com as redes municipais de Educação de Mesquita e Nova Iguaçu, além de instituições de ensino superior, a exemplo do Instituto Multidisciplinar de Nova Iguaçu da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – IM / UFRRJ. Destaca-se que a Gestão da Unidade vem desempenhando um importante papel na conservação do PNMNI e sua malha de trilhas.

Desta forma, para a análise dos dados, utilizou-se o ordenamento proposto por Mello (2008) – e atualizado pelo mesmo autor por intermédio da implementação do Projeto Caminhos Geológicos II no PNMNI (DRM-RJ, 2020) – analisando e comparando a trilha em seus dois setores estabelecidos.

1.4 Análise do Perfil do Visitante do PNMNI – O Recorte para a Trilha da Varginha

Em relação a análise do perfil do visitante de uma área protegida, Takahashi (1998) aborda a respeito da importância das informações sobre os usos efetuados nestas áreas e de seus usuários de modo a auxiliar o preparo de um plano de manejo mais concreto para as necessidades da área em estudo, em especial considerando-se os benefícios e ameaças deste uso, onde a gestão da unidade, conhecendo-os, tem a possibilidade de maneja-los com maior eficiência.

Os materiais utilizados nesta análise foram seu Plano de Manejo (PREFEITURA DA CIDADE DE NOVA IGUAÇU, 2000); SEMUAM (2001) e a recente atualização realizada por

Flávia Lopes Oliveira (OLIVEIRA, 2017) ao estudar a geodiversidade do Parque e propor medidas de planejamento ambiental para a geoconservação para a área.

Em comum, ambos os trabalhos expõe que o perfil do visitante se configura em um visitante morador, ou seja, que reside em especial nos municípios de Mesquita e Nova Iguaçu, onde o Parque se situa, além dos municípios próximos da Baixada Fluminense (RJ), 80,52% dos visitantes de acordo com Oliveira (2017) e do próprio Município do Rio de Janeiro, representando uma alternativa de lazer a população periférica, em especial de Mesquita e os bairros adjacentes ao Parque, de acordo com seu Plano de Manejo.

Também em comum encontra-se o lazer como principal motivação a visitar o Parque, possuindo o banho em rios e cachoeiras a principal atividade realizada. Oliveira (2017) dispõe que em relação ao primeiro indicador, 64,93% tem como principais interesses o lazer nas cachoeiras e trilhas da Unidade e, em relação ao segundo indicador, 46,75% tiveram a recreação em rios como principal atividade, seguida de 32,47% que realizaram a caminhada no caminho das águas e 16% que realizaram caminhada em outras trilhas do Parque. Neste cenário, o valor de uso, levantado pela autora, encontra-se em 68,83% dos visitantes entrevistados.

Outros indicadores levantados por Oliveira (2017) que balizam a presente análise são a respeito das principais faixas etárias dos visitantes, sua escolaridade e a frequência anual que comparecem ao Parque de Nova Iguaçu. Desta forma, a autora encontrou como resultados que 29,87% dos entrevistados possuem de 21 a 25 anos e 24,67% dos mesmos possuem de 30 a 35 anos, evidenciando ser um público mais jovem e, também com base nos diversos campos realizados na presente pesquisa, dispostos a realizar mais de uma atividade por dia de visitação, subsidiando medidas educativas para o público.

Um percentual de 93,5% dos visitantes possuem algum grau de escolaridade, compreendendo 40,26% destes como Ensino Médio Completo, 21% com Ensino Superior Incompleto e 17% com Ensino Médio incompleto, onde, conforme citado acima e de acordo com a visão de Oliveira (2017), estes indicadores fornecem subsídios a possibilidade de participação dos visitantes em atividades interpretativas e de conservação que demandem conhecimentos escolares, vide que significativa parcela destes já passou pelo sistema educativo formal ou ainda está nele, de acordo com a autora. A frequência levantada é de 28,57% dos visitantes presentes uma vez ao ano e 23,37% mais de quatro vezes ao ano.

Em relação ao número aproximado de visitantes da Trilha da Varginha, é reconhecida a necessidade de levantamentos mais detalhados, contudo, fatores como a troca de funcionários da guarita do PNMNI em 2019, afetando diretamente na contagem de seus visitantes, além da

pandemia de Covid-19 deflagrada no Brasil em Março de 2020 representaram limitantes cruciais a um detalhamento maior.

A figura 6, fornecida pela gestão do Parque, apresenta um gráfico elaborado pelos mesmos expondo o número médio de visitantes dos últimos quatro anos. Mesmo com a possibilidade de erros na contagem, o gráfico expõe um aumento significativo de visitantes, dado este de importância não somente para a elaboração de práticas educativas, como também para o manejo do solo na Trilha da Varginha

Figura 6 – Médias de Visitação ao Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu (2016-2019).



Fonte: Gestão do Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu, 2019.

Oliveira (2017), através de coleta de dados com a gestão da Unidade e aplicação de questionários, dispõe que o volume anual de visitantes beira a casa dos 22.000, onde as médias nos dias de calor, em especial aos finais de semana, chegam a cerca de 700 usuários por dia. Tais dados se confirmam uma vez que não foi percebida queda no número de visitantes de 2017 para 2020, também de acordo com a gestão, além de tais informações serem constatadas durante o período de realização das coletas de amostras de solo da presente pesquisa.

Outras informações importantes fornecidas pela gestão do Parque, porém, é de que os objetivos dos visitantes em realizar a Trilha da Varginha é a de conhecer a suposta cratera do Vulcão de Nova Iguaçu, a Pedra da Contenda, onde esta servia de esconderijo de escravos no período da escravidão no Brasil, e o Mirante da Vigné, ao final da trilha. Ressalta-se, porém, que a Pedra da Contenda é atingida através de uma trilha própria que se inicia na Praça do Boi, divisor topográfico entre o Vale do Rio Dona Eugênia e o Vale da Varginha, além da vista da suposta cratera também ser apreciada nesta trilha, não sendo todos os visitantes que concluem a Varginha até seu final no Mirante da Vigné. Tais visitantes, contabilizados pela gestão antes dos problemas expostos, era de cerca de 7% do total de visitantes totais em todo o ano.

Seu período de maior visitação, também de acordo com a gestão vai de meados do mês de Maio até Agosto, compreendendo o final do Outono e todo o período de Inverno em especial, devido ao fato da menor temperatura da água nos rios e cachoeiras.

Desta forma, confirma-se a significativa utilização da Trilha da Varginha, inclusive com atividades educativas de replantio de mudas, conforme observado durante a realização dos trabalhos de campo, demandando manejo e melhorias para sua melhor manutenção.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL

Abordando o presente trabalho a temática do estágio de degradação do solo relacionado a seu uso através do estudo de suas propriedades físicas, a sessão a seguir discorrerá a respeito dos conceitos de Unidades de Conservação, Uso Público e Trilhas, com seus impactos associados. Além disto, as temáticas das propriedades físicas do solo, os processos erosivos, associados ao processo de compactação do solo, e a importância do Geoprocessamento nos estudos ambientais também embasam as análises propostas para a presente pesquisa.

2.1 Unidades de Conservação (UC's), Trilhas e seus Impactos Associados e Uso Público em Unidades de Conservação

O Eco (2020) nos informa que dentre as funções de uma UC, encontra-se a de “...salvaguardar a representatividade de porções significativas e ecologicamente viáveis das diferentes populações, habitats e ecossistemas do território nacional e das águas jurisdicionais, preservando o patrimônio biológico existente”, onde, para além, buscam garantir “...às populações tradicionais o uso sustentável dos recursos naturais de forma racional e ainda propiciam às comunidades do entorno o desenvolvimento de atividades econômicas sustentáveis.”

Triane (2008) dispõe que com o passar do tempo, foi-se percebendo que além da beleza cênica, as áreas naturais exerciam funções fundamentais na manutenção do ecossistema e do equilíbrio ecológico e por isso necessitavam ser conservadas.

Neste cenário, existe no Brasil desde o ano 2000 o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), que foi instituído pela Lei N° 9.985, tendo por finalidade ordenar as áreas protegidas nos níveis federal, estadual e municipal, onde, dentre os vários objetivos que possui, pode-se elencar:

[...] III - contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais; VII - proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural; VIII - proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos; XII - favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico (BRASIL, Lei no 9.985/2000. Art 4º. Parágrafos III; VII; VIII; e XII).

Costa e Oliveira (2018) abordam que a cada dia, tanto no Brasil quanto no mundo, aumenta o interesse pela visitação em áreas naturais, com suas mais diversas possibilidades de lazer e ganho de conhecimento e aprendizado, sendo as trilhas, muitas vezes, o meio de acesso a tais áreas protegidas. As trilhas possuem suma importância, uma vez que representam o elo entre os seres humanos e o ambiente natural, quando as mesmas não são o próprio motivo da visitação a áreas protegidas, conforme apontam Oliveira e Bezerra (2016).

Segundo Costa (2006) o termo “trilha” foi utilizado pela primeira vez no Brasil na década de 1970 e foi adaptado da palavra inglesa “trail”, que significa caminho, rastro ou picada. Para o presente trabalho, consideramos as trilhas como:

[...] caminhos existentes ou estabelecidos, com diferentes formas, comprimentos e larguras, possuindo o objetivo de aproximar o visitante ao ambiente natural, ou conduzi-lo a um atrativo específico possibilitando seu entretenimento ou educação, através de sinalizações ou de recursos interpretativos (SALVATI, 2003 *apud* COSTA, 2006 p.14).

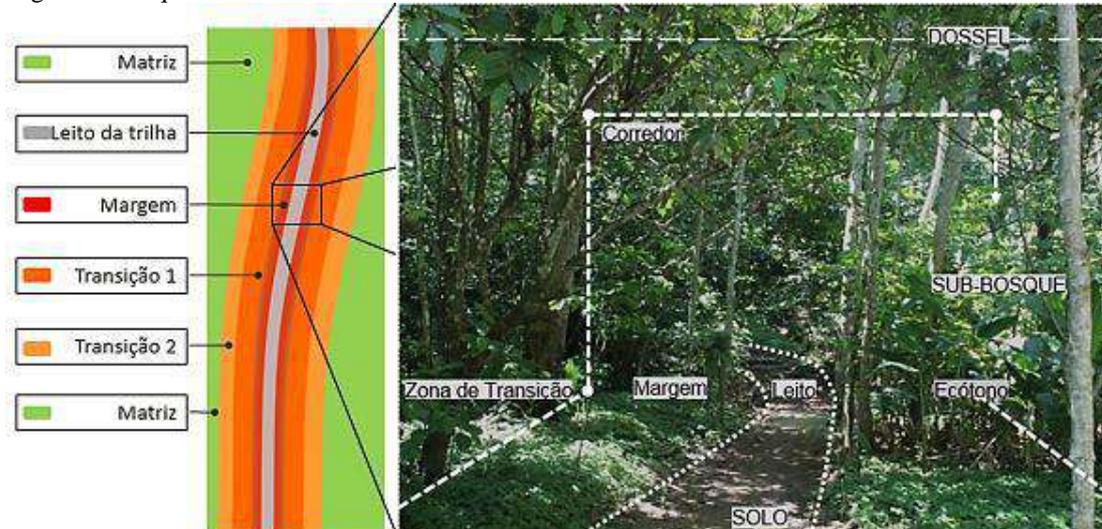
Costa e Oliveira (2018) dispõe que, historicamente, as trilhas são resultados de a es exploratórias, em especial em ambientes florestais, representando a necessidade de deslocamento do homem sobre o espaço para os mais diversos fins e, hoje, atentando-se a importância turística das trilhas, em especial no que tange ao ecoturismo e mais recentemente também o Geoturismo, conceito este que pode ser entendido como o tipo de turismo baseado na valorização dos aspectos geológicos e geomorfológicos dos exemplares da geodiversidade para apreciação dos visitantes (HOSE, 2012).

Costa e Oliveira (2018) estão em consonância com Andrade (2003), abordando este a função de suprir a necessidade de deslocamento, porém, com o passar do tempo constatando-se a mudana de valores em relaa   elas, levando as mesmas a um maior contato com a natureza. Reitera-se que além da função básica de deslocamento, a trilha motiva oportunidades de recreaa  o aos visitantes, tornando-se um novo meio de aproximaa  o com a natureza, contribuindo com a protea  o dos recursos naturais, incorporando uma nova característica e passando a ter um significado próprio (PASSOLD, 2002 *apud* COSTA, 2006); (ANDRADE, 2005; RANGEL *et al.*, 2013).

Costa (2006) e Mello (2008) abordam que as trilhas podem ser de diferentes tipos, sendo classificadas de acordo com suas formas, comprimentos, larguras e graus de declividade. Costa e Oliveira (2018), neste cenário, expõe que não se deve imaginar a trilha de forma homog nea em todo o seu percurso, bem como que ela não sofrerá transformaes socioambientais, em se considerando a ocupaa  o humana nos ambientes naturais, uma vez que a própria natureza se

encarrega de realizar as modificações, favorecendo ou limitando sua utilização. A figura 7 ilustra uma arquitetura de trilha em matriz florestal, evidenciando a diversidade de microambientes possíveis de se encontrar em uma trilha.

Figura 7 – Arquitetura de Trilha em Matriz Florestal.



Fonte: MELLO, 2016, com base em Eisenlohr *et. al.*, 2013.

Mello (2008) complementa tal debate, dispondo, nesse sentido, que as trilhas vão para muito além do elo entre o visitante e o atrativo, onde uma vez bem planejadas e manejadas, se tornam potenciais ferramentas de gestão, primordiais para que as referidas UC's realizem seu papel de conservação e preservação do patrimônio natural, dentro dos padrões de sustentabilidade, bem como propiciar a contemplação e qualidade da visitação por seus diferentes usuários, podendo-se acrescer, ainda, sua potencialidade a educação e interpretação ambiental aos visitantes que realizam atividades em trilhas.

Costa e Oliveira (2018) expõe também o consenso entre os ambientalistas a respeito da consideração da abertura e preparo da trilha como passo inicial no processo de organização das atividades turísticas em ambientes naturais, uma vez que conduzem o visitante aos atrativos, destacando este como o principal propósito da trilha, o de aproximar o visitante de tudo o que a trilha possa oferecer em potencial, tanto o lazer, quanto o aprendizado e a conservação.

As autoras jogam luz, porém, a importância da tomada de medidas que motivem um olhar diferenciado, com mudança de conduta por parte dos visitantes em relação aos componentes da biodiversidade e também dos elementos físicos do ambiente (geodiversidade), como seu relevo, geologia e solos, ligando-se tal debate à importância da construção do senso de pertencimento do visitante a área protegida, debate este também realizado por Bezerra *et al.* (2015).

Sendo, então, destinadas as mais diversas finalidades, como caminhadas, visita aos atrativos da unidade, banho, as mesmas servem também como meio de acesso às localidades mais isoladas das áreas protegidas por visitantes que desejam praticar estas atividades (Figura 8), onde o trânsito de pessoas em tais áreas se dá nos trajetos de trilhas, destinados para essa finalidade (SENA, *et al.* 2013), representando as mesmas trilhas um elo entre as pessoas e a natureza (FIGUEIREDO, *et al.* 2010; SENA, *et al.* 2013).

Figura 8 – Caminhada de visitantes pela Trilha da Varginha – Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu.



Nota: Evento realizado pela gestão da Parque em comemoração ao aniversário de criação da Unidade.
Fonte: Flávia Lopes Oliveira, 2015.

Rangel *et al.* (2013) e Silva (2017) apontam para o grande número de trabalhos sobre o conceito de trilhas tanto no Brasil, quanto em outros países, mencionando a pertinência do tema no que tange aos impactos relacionados às trilhas em áreas protegidas, uma vez que essas são os principais acessos para o interior dessas áreas e aos seus benefícios e atrativos, além da controvérsia que elas causam em UC's, pois seu uso aproxima pessoas das áreas silvestres, podendo, porém, deflagrar diversos impactos (KROEFF, 2010; EISENLOHR *et al.* 2013; RANGEL, 2014).

Mello, 2008, Figueiredo, *et al.* 2010 e Sena, *et al.* 2013 dispõe que a crescente entronização de conscientização, sensibilização, valores e atitudes pró ambiente por parte da humanidade tem se refletido em um número cada vez maior de visitantes a áreas protegidas, conforme mencionado anteriormente, o que, de fato, é um ponto positivo no que tange à divulgação do patrimônio natural, como também à contínua sensibilização por parte da

população. Contudo, este mesmo aumento de pessoas nas trilhas em áreas protegidas deve ser acompanhado de um planejamento e gerenciamento, pois não havendo os mesmos, podem ser desencadeados impactos nas trilhas.

Dessa forma, tendo-se em vista o aumento do quantitativo de visitantes em áreas protegidas, destaca-se o conceito de uso público, estando sua definição atual associada:

[...]ao processo de visitação das áreas protegidas, podendo se manifestar como atividades educativas, de lazer, esportivas, recreativas, científicas e de interpretação ambiental, que proporcionam ao visitante a oportunidade de conhecer, entender e valorizar os recursos naturais e culturais existentes (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2005).

Queiróz (2018) aborda acerca do conceito de Uso Público, ligando-o, na Geografia, a concepção de espaço público. Nesse sentido, a autora discorre desta importante temática ao mencionar que em se tratando de áreas protegidas, não se fala a respeito de qualquer uso público, mas sim no uso público vinculado à natureza do espaço protegido, devendo-se ter em vista a noção de patrimônio coletivo, bem como ao regime de propriedade e aos serviços que protege, segundo temática proposta por Rodrigues e Irving (2015).

Por esta perspectiva, no âmbito das áreas protegidas, Pimentel (2013) aborda que o conceito de Uso Público vincula-se ao uso indireto dos recursos ambientais, este ocorrendo de acordo com as diferentes formas de visitação a uma unidade de conservação. Portanto, para o autor, o uso feito nas UC's deve possuir orientação com vistas aos preceitos de sustentabilidade e mitigação de seus impactos.

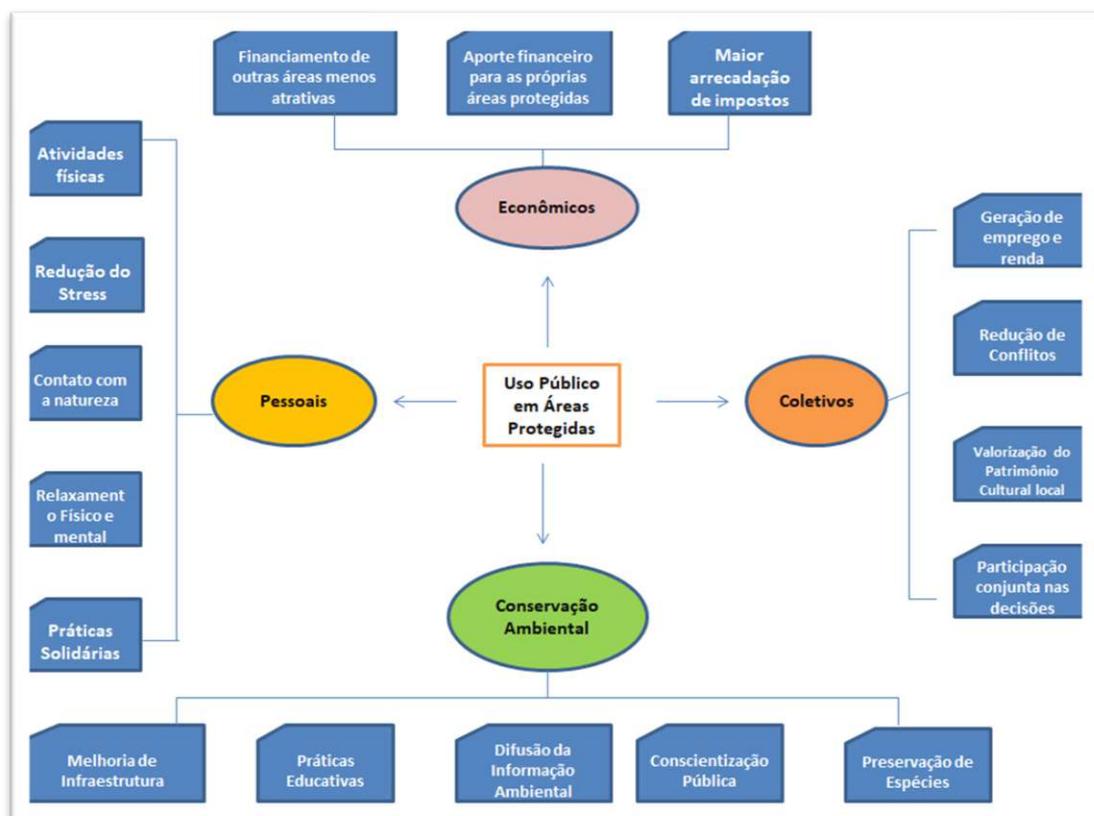
De modo a exemplificar o presente exposto, Oliveira e Bezerra (2016) ao identificarem os principais interesses dos visitantes no PNMNI, bem como das principais atividades praticadas pelos mesmos, apontam que o uso público do Parque tem grande relação com a natureza, em particular de sua geodiversidade no que tange à geomorfologia, uma vez que o principal interesse dos visitantes na Unidade é o lazer, sendo a principal atividade a recreação em cursos hídricos, sobretudo, em poços superficiais e quedas d'água.

Assim sendo, para melhor gestão do Uso Público em Áreas Protegidas, Pimentel (2013), Vallejo (2013), Oliveira e Bezerra (2016) e Queiróz (2018) entendem que a identificação das motivações e hábitos dos visitantes pode subsidiar ações e práticas para a área protegida, permitindo ao visitante passar, por exemplo, por uma atividade de educação ambiental para a geoconservação, lhe gerando maiores conhecimentos, e um senso de conservação ambiental.

Nesta temática, Pimentel (2013), Vallejo (2013) e Queiróz (2018) estabelecem o vínculo do Uso Público com os conhecimentos educativos, onde a educação ambiental se projeta como grande aliada no mesmo a médio e longo prazo, contribuindo para que se possa efetivar práticas sustentáveis, além do ordenamento territorial.

Vallejo (2013) nos fala dos benefícios do uso público em áreas protegidas, podendo este trazer benefícios que se refletem nas condições operacionais de gestão territorial e para a sociedade, em geral. A figura 9 procura sintetizar, de maneira geral, os benefícios ligados ao uso público em áreas protegidas.

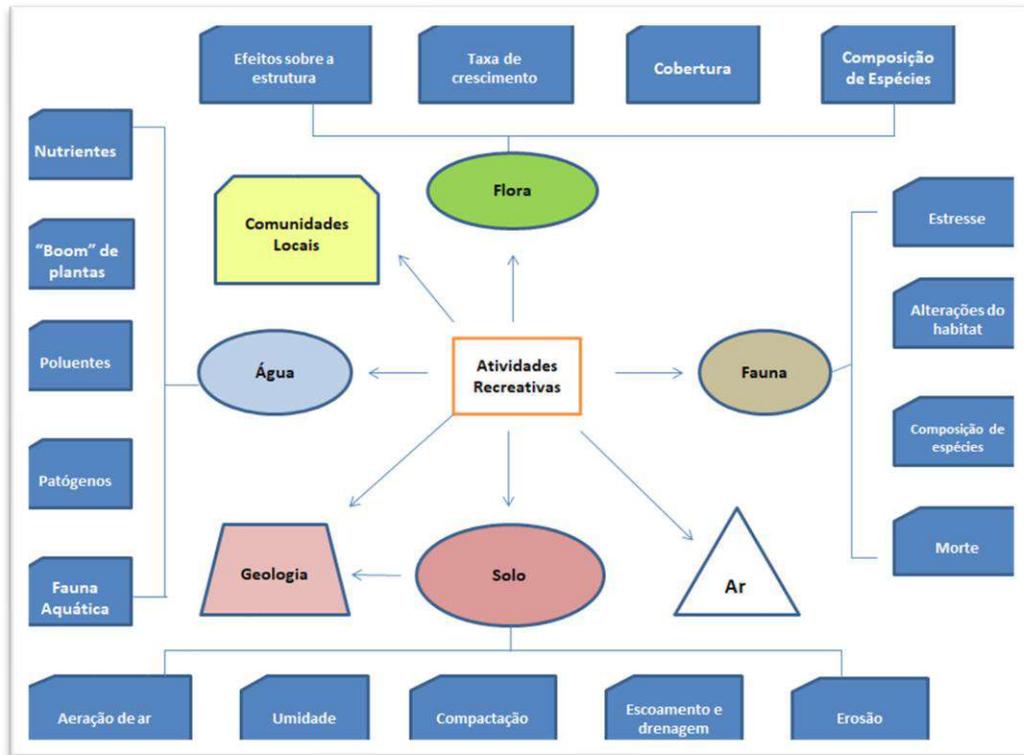
Figura 9 – Síntese dos possíveis benefícios do uso público em áreas protegidas.



Fonte: Adaptado de VALLEJO, 2013.

Entretanto, conforme exposto, o aumento do número de visitantes em uma área protegida desacompanhando do planejamento e gerenciamento pode trazer impactos significativos para a mesma, onde Vallejo (2013) aponta que as ações com impactos potenciais têm relação direta com o volume e a frequência de visitação, além da natureza das atividades e que os mesmos impactos podem repercutir sobre a qualidade da conservação ambiental e sobre o próprio uso, quando os efeitos da degradação acabam por desestimular a visitação. Na figura 10, Vallejo (2013) sintetiza alguns dos principais impactos negativos em áreas protegidas.

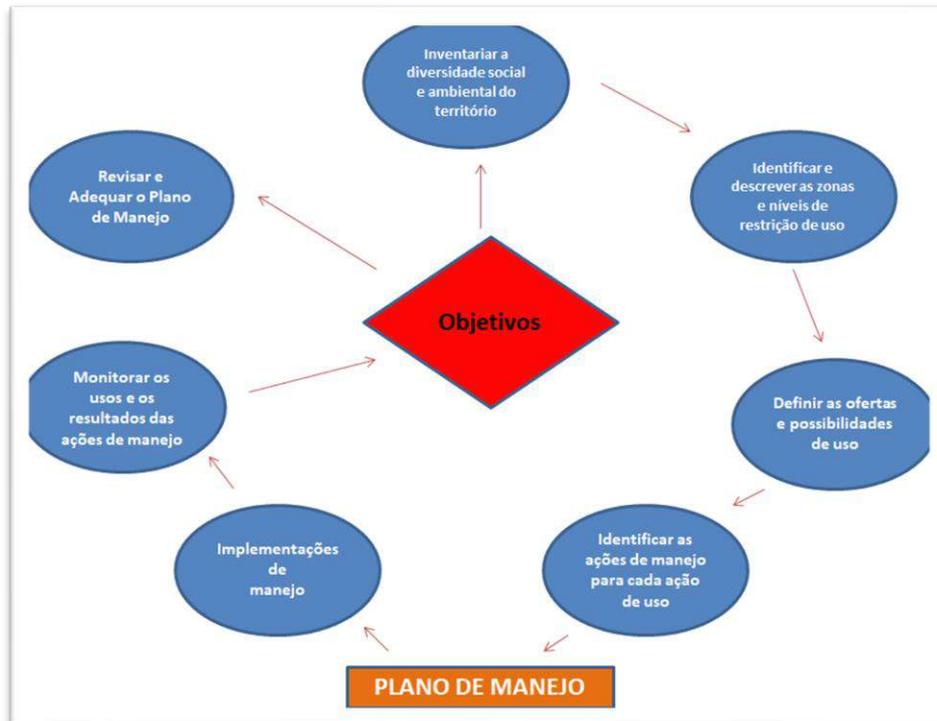
Figura 10 – Síntese dos impactos negativos de visitação em áreas protegidas.



Fonte: VALLEJO, 2013, adaptado de HAMMITT e COLE, 1998.

Assim sendo, Vallejo (2013) nos fala que considerando os argumentos propostos, o estabelecimento de planos e estratégias de gestão de uso das áreas protegidas é condição de grande importância, com a finalidade de evitar os eventuais impactos negativos gerados pela visitação e exploração comercial. Na figura 11 o autor expõe uma proposta de planejamento e gestão para áreas protegidas.

Figura 11 – Fluxograma de procedimentos para planejamento e gestão de áreas protegidas.



Fonte: Adaptado de VALLEJO, 2013.

No que tange aos impactos ambientais nas trilhas, primeiramente classificam-se os impactos aqui abordados como negativos, onde Sánchez (2006) expõe que uma vez sendo negativo o impacto, este tem potencialidade de degradação do ambiente, reduzindo a qualidade ambiental e as condições do ambiente que se analisa e se projetando como limitadores e limitantes do uso público em UC's.

Guerra e Marçal (2006) nos ajudam a compreender este debate dos impactos nas trilhas situadas em unidades de conservação, ao falar da contribuição do conhecimento geomorfológico para melhor uso das UC's, uma vez que as atividades desenvolvidas estão sob alguma forma de relevo e sob algum tipo de solo, conduzindo a diferentes respostas conforme o tipo de intervenção antrópica, podendo gerar impactos como desenvolvimento de ravinas, voçorocas, e deslizamentos, com a possibilidade de inviabilizar o uso das trilhas.

Desta forma, os autores apontam para a necessidade de se compreender o contexto socioeconômico, cultural e político onde a UC se encontra, com a necessidade de conhecer a dinâmica da ação antrópica e da própria natureza, de modo a proporcionar um uso menos impactante dos recursos presentes nestas áreas protegidas, gerando um melhor aproveitamento dos mesmos recursos e das atividades ali desenvolvidas.

Rangel *et al.* (2013) destacam que: "... as trilhas também contribuem para a educação ambiental aproximando pessoas dos atributos naturais das áreas protegidas e o problema

acontece quando não existem medidas de gestão do uso, monitoramento e recuperação” (p. 247), reiterando os múltiplos serviços que podem se desprender das trilhas, como o entretenimento e a educação através de sinalizações ou de demais recursos interpretativos e os impactos oriundos do seu uso intensivo sem planejamento e gestão. Kroeff (2010) complementa este debate apontando que:

Em todos os estudos feitos sobre trilhas, percebe-se a procura cada vez maior por áreas naturais, o que ameaça a conservação dessas e preconiza a necessidade de se combater ou atenuar os impactos causados pelas trilhas e por seus usuários (p.11).

Costa e Mello (2005) apontam que como em toda infraestrutura, os impactos oriundos de seu uso rapidamente são percebidos com o passar do tempo, sendo um dos aspectos mais relevantes a descaracterização de sua paisagem ou até perda dos atrativos para onde conduzem.

Costa e Oliveira (2018) complementam tal ideia ao mencionar que em verdade, tanto a trilha em si quanto o uso atribuído a ela são dinâmicos e apresentam mudanças com o tempo relacionadas aos interesses existentes e como são manejados, onde tal dinâmica afeta a biodiversidade e a geodiversidade, evoluindo com base em processos ambientais, por vezes potencializados pela ação do homem.

Mello (2008) expõe que a abertura de uma trilha em si já representa um impacto significativo e em trilhas existentes, o impacto que mais diretamente se relaciona com o uso das trilhas relaciona-se ao pisoteio, este responsável pela compactação do solo e aceleração dos processos erosivos.

Neste mesmo cenário, Lechner (2006) aborda os impactos que podem ser observados na trilha, onde, a respeito dos impactos biofísicos em potencial apresentam-se a erosão e transporte de solo, contaminação e sedimentação de rios e outros corpos d’água, podendo causar um problema não apenas pontual, mas difuso, o que pode afetar toda uma região (REICHERT *et al.*, 2007). Além da perda da vegetação no corredor da trilha e o aumento de espécies predadoras indesejáveis (LECHNER, 2003, p.79).

Sendo assim, Rangel e Guerra (2013) comentam acerca dos impactos nas trilhas decorrentes do uso intensivo, mencionando que “a intensa utilização de trilhas pode provocar impactos não só na dinâmica do solo do leito da trilha, mas também no ecossistema como um todo (p. 794)”.

Takahashi (1998) aborda importantes fatores de alteração do solo decorrentes da utilização de trilhas, como a compactação e a erosão, esta ocorrendo devido à redução de infiltração de água. Quanto a estes conceitos, Curi (1993) aponta que a compactação do solo

pode ser entendida como: “diminuição do volume do solo ocasionado por compressão, causando um rearranjo mais denso das partículas do solo e conseqüente redução da porosidade”.

Quanto à erosão, Bertoni e Lombardi Neto (2014) abordam que esta pode ser entendida como a realização de uma quantidade de trabalho no desprendimento e transporte do material do solo, sendo para tal necessário à ação da chuva sobre o solo. Guerra (2015) completa este conceito, nos ajudando a compreender o mesmo com a dimensão de ser um processo natural que envolve três mecanismos: o de desagregação, de transporte e de deposição de materiais oriundos de rochas e solos, ocorrendo a partir do momento em que as forças que removem e transportam materiais excedem aquelas que tendem a resistir a remoção, podendo ser acelerado pela ação antrópica.

Quanto a estes dois principais impactos, Takahashi (1998) e Salesa e Cerdà (2020) aborda que a compactação tem desdobramentos, pois afeta o desenvolvimento de raízes vegetais, interfere nas taxas de infiltração hídrica, favorecendo, assim processos erosivos, onde a intensificação de tais fenômenos passam a ser um sério problema gerencial para os administradores das áreas protegidas.

Sena *et al.* (2013) abordam ainda no que se refere à compactação do solo, que este processo:

[...] faz com que o solo fique mais vulnerável a outros tipos de processos. Por consequência da diminuição das taxas de infiltração, o excedente hídrico, não infiltrado, potencializa o escoamento superficial, intensifica a drenagem pluvial que, ao ser interceptada pelo leito da trilha, esta se transforma num caminho preferencial, concentrando o escoamento, e resultando, conseqüentemente, no aumento da quantidade de sedimentos nas zonas de deposição (p. 767).

E que:

A retirada da vegetação acompanhado do pisoteio (por pessoas, animais de montaria e de criação, bicicletas e motocicletas off-road) dos horizontes superficiais do solo, são os principais vetores para a intensificação dos processos erosivos no leito da trilha (p. 767).

Também quanto ao processo de compactação do solo, Takahashi (1998), afirma que pisoteio das trilhas compacta os solos, ocorrendo a alteração de sua porosidade em razão da redução do volume de macroporos. Tal aumento na compactação eleva a resistência mecânica do solo à penetração de raízes e à infiltração de água, reduzindo a regeneração natural.

Sá e Júnior (2006) também completam este debate, mencionando que a compactação altera uma série de fatores que afetam o crescimento radicular, a exemplo da aeração, retenção de água, resistência à penetração de raízes, onde este processo pode, inclusive, aumentar a susceptibilidade do solo à erosão, além da perda de matéria orgânica (SALESA e CERDÀ,

2020), temática esta que será discutida a frente. Costa (2006), quanto a erosão, comenta que a mesma pode gerar trilhas com elevado grau de dificuldade, podendo criar problemas de assoreamento em rios e em corpos d'água, e até mesmo inviabilizar o uso da própria trilha, de acordo com a magnitude do processo erosivo.

A mesma autora supracitada aponta ainda que as alterações nas trilhas mais perceptíveis para visitantes e gestores são o alargamento das mesmas, acidentes erosivos e talvez a composição diferenciada de flora. Dessa forma, a intensidade dos efeitos do uso estaria condicionada ao tipo de atividade praticada, ao comportamento dos visitantes e à resiliência local, por exemplo.

O visitante, que possui emoções e faz uso da paisagem e de seus recursos, muitas vezes não percebe as alterações na paisagem, mesmo estas alterações afetando o patrimônio ambiental local. Destaca-se que não apenas o planejamento e o manejo das trilhas e visitantes podem ser interferências no mesmo patrimônio e sua valoração, mas incluso neste cenário estão as estratégias de recuperação, onde condutas pouco criteriosas afetariam a oferta dos serviços ambientais que a UC oferece (COSTA, 2006).

Mencionados anteriormente, autores como Costa (2006) e Rangel *et al.* (2013) apontam a educação ambiental como conhecimento de grande relevância para a redução dos impactos nas trilhas, e Costa (2006) ressalta o papel das mesmas como veículo de educação ambiental para visitantes de UC's e a comunidade do entorno, e entende que a recreação pode ser desenvolvida em áreas naturais, com o uso de seus recursos, temática esta também abordada por Oliveira e Bezerra (2016).

Porém, a referida recreação nestas áreas protegidas deve ocorrer associada a programas integrados de educação ambiental, onde esta deve ter como um de seus objetivos proporcionar oportunidade de obtenção de conhecimento sobre os mais diversos recursos naturais, relação esta feita em Oliveira e Bezerra (2016), à proporção que estes apresentam os mesmos conhecimentos, atrelados a recreação dos visitantes, a médio e longo prazo, podem acarretar em uma maior sensibilização para conservação ambiental, havendo mudanças de atitude pró-ambiente.

Costa (2006) completa este debate ressaltando a importância da interpretação ambiental como estratégia para a educação ambiental em UC's, pois dando a atividade significado para os recursos e de seus aspectos originais, através de métodos que busquem a experiência do visitante ou por meios ilustrativos, e havendo uma boa parceria entre a modalidade de turismo praticada, a interpretação através das trilhas e a educação ambiental, haverá um melhor aproveitamento das atividades praticadas, podendo contemplar de maneira

simultânea: “... o conhecimento científico, a apreciação dos recursos naturais e a redução dos impactos sócio ambientais (p.31).”

Costa (2006) também faz suas contribuições acerca dos impactos nas trilhas. A autora, ao analisar os impactos nas trilhas, enfatiza as consequências sobre um de seus componentes, que é o solo. Comenta das fragilidades dos ecossistemas naturais, estes muitas vezes não comportando um número elevado de visitantes, tampouco o tráfego excessivo de veículos pesados, além de atentar às infraestruturas necessárias, onde estas, se não atendidas as normas pré-estabelecidas, podem comprometer de maneira significativa o meio ambiente, com alterações: “...na paisagem, na topografia, no sistema hídrico e na conservação dos recursos naturais, florísticos e faunísticos” (p.34).

Sendo assim, Costa (2006) dispõe alguns impactos, sendo os de ordem biofísica potenciais nas trilhas: erosão e transporte de solo, perda de vegetação ao longo do corredor da trilha, introdução de espécies invasoras ao longo do corredor da trilha, aumento do acesso à área por espécies predadoras e indesejáveis, havendo mudança na composição das espécies, perturbação e deslocamento da vida selvagem. Com exceção do último, estes impactos são também mencionados nos trabalhos anteriormente citados.

Com relação aos impactos sociais potenciais nas trilhas, pode-se elencar o conflito de visitantes, presença de lixo, uso das trilhas para atividades ilegais como a caça predatória de espécies da fauna e da flora, alargamento da trilha para evitar lamaçais, ou por andar lado a lado, ou ainda por obstáculos presentes (Árvores caídas ou blocos de rocha soltos), vandalismo, com pichações em árvores e placas interpretativas, bem como da infraestrutura diversa presente, e possíveis áreas de riscos aos visitantes.

Relacionados aos impactos ambientais potenciais ou de uso sobre as condições nas trilhas, pode-se elencar o alargamento e inundação do corredor e do piso da trilha, usos múltiplos, com possibilidade de sobreposição de usos, aprofundamento do leito da trilha, com perda de drenagem, entupimento por sedimentos em drenos, resíduos ou entulho nas trilhas, falta, perda ou deterioração de sinalização de orientação, degraus e paredes de pedra.

No que se refere ao processo de compactação do solo, tal processo tem relevância nos estudos ambientais frente a seu potencial de transformação da paisagem a partir das influências que exerce no solo. Por um olhar da engenharia civil, Trindade *et al.* (2008) definem tal processo como a “... ação mecânica por meio da qual se impõe ao solo uma redução de seu índice de vazios, decorrente da expulsão de ar contido em seu meio, quando submetido a um esforço de compressão (p.14)”.

Pelo olhar da agronomia, tem-se o conceito definido por Curi (1993), exposto nesta seção. Reichert *et al.* (2007) ao abordar a dupla abordagem do processo de compactação pela engenharia civil e pela agronomia, expõe a primeira visão como sendo um processo de adensamento dos solos a partir da aplicação de uma energia mecânica, adotando, para a segunda visão, o conceito de Curi (1993).

Nesse sentido, embora Reichert *et al.* (2007) discorram a partir do olhar da agronomia, bem como os demais autores ao abordarmos as propriedades físicas do solo na seção seguinte, tal visão encaixa-se ao olharmos para a trilha, uma vez que tanto para o uso agrícola quanto para o de caminhadas, a dinâmica ambiental dos processos erosivos a partir do escoamento superficial da água são os mesmos.

Assim sendo, os autores supracitados expõem a compactação como um problema antigo, intensificado pelo uso de pesadas máquinas agrícolas. Além desta ação, um solo, através da ação antrópica, pode também tornar-se compacto pelo pisoteio de animais, fato este também exposto por Triane (2008). Entretanto, de forma natural, um solo pode tornar-se compacto como consequência de sua exposição às ações das gotas de chuva, impactando-o e gerando sua dispersão, ocorrendo posteriormente a secagem e endurecimento da camada superficial, formando uma crosta na superfície do solo.

Além disto, conforme apontado, o processo de compactação, uma vez realizando o rearranjo das partículas de solo, torna-se mais denso, dificultando a infiltração de água em seu interior, gerando escoamento superficial e gerando processos erosivos, uma vez que o solo desprotegido fica susceptível ao impacto realizado pelas gotas de chuva.

Desta forma, Reichert *et al.* (2007) apontam também a estreita relação do solo com algumas propriedades físicas e mecânicas deste, em especial as que dispõem a respeito da relação massa/volume, uma vez sendo o processo de compactação justamente a redução do espaço poroso do solo para determinado volume do mesmo. Para tal, o tópico seguinte irá discorrer sobre as principais características do solo, onde procura-se fazer ligações com o processo de compactação do solo.

2.2 Solos: Principais Características Físicas

A presente pesquisa procura dar ênfase nas consequências da relação entre o uso de trilhas e mudanças nas propriedades físicas do solo. Sendo assim, a caracterização de suas

principais propriedades físicas se faz importante, uma vez que o estudo dessas, em conjunto com outros fatores nos auxiliam a compreender porque determinados solos são mais suscetíveis a erosão que outros, e porque uns possuem mais impactos que outros (GUERRA, 2015).

Neste cenário, Verdade (1972) declara que ao longo da história, o solo tem sido um elemento familiar ao homem e sua vida, sempre dependendo este daquele para a satisfação de suas necessidades básicas como a locomoção, abrigo e alimentação. Lepsch (2010) e Brady (2013) complementam este debate, nos falando que entre os recursos naturais de nosso planeta, o solo possui importante relevância pois grande parte de nossos alimentos, direta ou indiretamente, provêm dos campos de cultivo e de pastagem, e, além disso, o solo recebe a água das chuvas, que posteriormente emergem nas nascentes e mananciais, sustentando a biodiversidade das florestas, campos e cerrados.

Os solos, segundo Lepsch (2010) e Brady (2013), funciona como um alicerce da vida dos ecossistemas terrestres, onde plantas clorofiladas precisam de energia solar, gás carbônico, água e nutrientes minerais para sua sobrevivência. Com raras exceções, tanto a água como os nutrientes somente podem ser fornecidos através do solo, este funcionando como mediador entre hidrosfera, litosfera, biosfera e atmosfera.

A este propósito, inclusive, vasta é a literatura acadêmica que demonstra a importância do solo para a vida e a sobrevivência desta na Terra, situando o solo como importante agente que propicia a evolução dos seres, além de suas diversas funções mantenedoras da vida em nosso Planeta (AZEVEDO *et al.* 2007).

Dada a importância do solo, Guerra (2015) declara que apesar da importância que os solos têm para a sobrevivência da espécie humana, dos vegetais e animais, parece que o homem tem dado pouca atenção a este recurso, ao menos no que tange à sua utilização, conservação, e podemos mencionar a dimensão do manejo também. O mesmo homem utiliza o solo para os mais diversos fins, neste caso, também para caminhada nas trilhas, sem se preocupar com eventuais impactos, e com o tempo de recuperação dos mesmos, acreditando que vá durar para sempre.

Bertoni e Lombardi Neto (2014) e Guerra (2015) compartilham da ideia de que o entendimento das propriedades físicas do solo é importante, uma vez que afetam a erosão dos solos e orientam seu manejo e controle contra o referido processo. Para a presente pesquisa, foram escolhidas para análise as propriedades da granulometria, densidade aparente e densidade real, porosidade, umidade e resistência à penetração, contudo, a critério de enriquecimento deste trabalho, serão debatidas as principais propriedades físicas do solo.

No que se refere à textura, Bertoni e Lombardi Neto (2014) a definem como a distribuição quantitativa das classes de tamanho de partículas de que se compõe o solo, sendo consideradas partículas as pedras, os seixos, cascalhos, areia, limo (ou silte) e a argila. Os autores completam que as partículas menores que 2 mm de diâmetro, respectivamente a areia, silte e argila são as de maior importância, uma vez que muitas propriedades físicas e químicas da porção mineral do solo dependem da proporção que contém dessas partículas de tamanho pequeno. Se verificando principalmente na superfície das partículas as reações físicas e químicas nos solos, tem-se aí a razão do maior interesse nas frações menores, tendo estas, proporcionalmente, uma maior superfície.

Neste cenário, Poesen (1981) aborda a importância da textura, pois algumas frações granulométricas são mais facilmente removidas do que outras. Este autor, mencionado por Guerra (2015), aborda que as areias apresentam os maiores índices de erodibilidade, bem como o teor de silte também afeta o mesmo processo. Abordando uma gama de pesquisadores e seus estudos sobre esta temática, comenta que:

[...] quanto maior o teor de silte, maior a susceptibilidade dos solos em serem erodidos. As argilas, se por um lado podem, por vezes, dificultar a infiltração das águas, por outro lado são mais difíceis de serem removidas, especialmente quando se apresentam em agregados. Apesar do reconhecimento da importância da textura na erodibilidade dos solos, as porcentagens de areia, silte e argila devem ser levadas em consideração em conjunto com outras propriedades, porque a agregação dessas frações granulométricas é afetada por outros elementos, como o teor de matéria orgânica (p.155-156).

Neste sentido, aponta-se que: “Nenhum solo é composto exclusivamente de uma única fração, há sempre uma mistura das três, e as porcentagens das diversas frações é que diferenciam os tipos de textura” (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014, p. 41), mostrando, assim, as diferentes nomenclaturas que um solo pode ter, de acordo com uma maior porcentagem de um ou outro componente. Outra informação importante mencionada pelos autores, é que a textura é uma propriedade permanente do solo, e depende das características do material originário, bem como dos agentes naturais de formação do solo.

Os solos arenosos indicam a importância do teor de areia na remoção de sedimentos, ao se correlacionar com as perdas de solo, abordando que as areias apresentam maiores índices de erodibilidade (POESEN, 1981 *apud* GUERRA, 2015). Bertoni e Lombardi Neto (2014) complementam mencionando que os mesmos são, em geral, soltos, não oferecendo resistência à penetração de raízes, porém os muito arenosos, possuindo baixa porcentagem de argila, são, não raro, pobres em fertilidade, com reduzida capacidade de retenção da umidade.

Bertoni e Lombardi Neto (2014) comentam, por fim, que a textura é, talvez, um dos fatores mais importantes ao se determinar os usos a serem empregados no solo, apontando que solos com muita argila podem ter alta capacidade de reter umidade, e pouca aeração, prejudicando a produtividade, porém solos bastante argilosos, com boa agregação e espaços porosos podem ser produtivos. Trazendo esta temática para o uso das trilhas, pode-se entender que solos com boa drenagem, com boa porosidade, tem melhor possibilidade de percolação da água das chuvas, reduzindo o escoamento superficial, e, por sua vez, os processos de remoção, transporte e sedimentação de partículas, que são os processos erosivos.

Guerra (2015) também faz considerações acerca da estabilidade de agregados (estrutura do solo), apontando a importante relação desta propriedade do solo com outra, que é a matéria orgânica, nos falando que o aumento da capacidade de infiltração, à proporção que o teor de matéria orgânica aumenta e ocorre o aumento do teor de agregados, há, consequentemente, maior resistência destes agregados à dispersão, evidenciando a importância destes no que tange aos processos erosivos e perdas de solo.

Sendo influenciada pela matéria orgânica, e agindo sobre a estrutura dos solos, as taxas de erodibilidade ligam-se a estes dois fatores, que por sua vez possui influência na ruptura dos agregados, podendo formar crostas no solo, e dificultar a infiltração, aumentando o escoamento superficial. Novamente abordando a importância da matéria orgânica, o autor afirma que esta é o melhor agente agregador do solo e aumenta a estabilidade dos agregados, proporcionando mais estabilidade que as argilas (GUERRA, 2015).

A estabilidade dos agregados é um importante fator controlador da hidrologia do topo do solo, na erodibilidade, dificultando a formação de crostas na superfície do solo (LEPSCH, 2011). Logo a alta estabilidade de agregados no solo reduz sua erodibilidade, uma vez que possibilita a existência de elevado índice de porosidade, com aumento das taxas de infiltração, reduzindo o runoff (fluxo superficial), além de proporcionar maior resistência ao impacto das gotas de chuva, diminuindo a erosão por splash (salpicamento, desagregando os elementos componentes do solo).

Bertoni e Lombardi Neto (2014) definem a propriedade da estrutura como sendo:

[...] a forma como se arranjam as partículas elementares do solo. A estrutura determina a maior ou menor facilidade de trabalho das terras, e permeabilidade à água, a resistência a erosão e as condições ao desenvolvimento das raízes das plantas. Ela é importante porque tem relação com o preparo do solo para o cultivo, com a erosão, com a aeração e com a absorção de água (p. 42).

Destaca-se, ainda, a importância de uma adequada estrutura, sendo esta a que tem poros e espaços porosos e volumosos para a aeração, infiltração, desenvolvimento radicular das

plantas, e agregados densos e coesos, sendo tais fatores de grande importância para que a água possa penetrar no solo, evitando o transporte e perdas do mesmo.

Referente a este debate, os próprios autores evidenciam que: “Agregados estáveis em água permitem maior infiltração e maior resistência à erosão, porém agregados não estáveis tendem a desaparecer e dispersar. Sob o impacto das gotas de chuva, os agregados são sujeitos a se dispersarem” (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014, p.43), evidenciando a importância de agregados estáveis para que não ocorra a erosão por splash.

Kiehl (1979) destaca, a estrutura como propriedade que atua como importante fator na aeração, e também, como consequência de uma boa estruturação dos solos, ter-se uma resistência maior do solo às perdas por processos erosivos, devido aos agregados que se formam e à maior capacidade de infiltração das águas das chuvas, com a diminuição do deflúvio superficial.

Quanto à compactação dos solos em trilhas, esta propriedade se projeta com relevância, pois os próprios autores mencionam que solos que possuem uma camada adensada têm sérios problemas em seu manejo, pois a absorção da água da chuva é lenta, a penetração de raízes, que fixam o solo é limitada pela falta de oxigênio, favorecendo assim a ocorrência de fluxos superficiais que levam aos processos erosivos. Reichert *et al.* (2007) apontam que a ação compressiva da compactação, por causar um rearranjo das partículas no solo, leva a redução em especial dos macroporos, colaborando para o escoamento superficial mencionado por Kiehl (1979).

Solos com elevado teor de areia, alta permeabilidade, porosidade e supostamente elevada capacidade de infiltração, com presença de sedimentos finos, em associação com o baixo teor de matéria orgânica, pode produzir crostas na superfície do solo de baixa porosidade, que por sua vez acarretam no aumento das taxas de runoff. Solos ricos em argila, por vezes apontados como de baixa porosidade, podem, por sua vez, facilitar a infiltração de água, destacando o autor a formação de fendas em solos argilosos, onde a água pode infiltrar-se com maior facilidade.

Bertoni e Lombardi Neto (2014) apontam que a porosidade: “Refere-se à proporção de espaços ocupados pelos líquidos e gases em relação ao espaço ocupado pela massa de solo” (p.43). Estes autores mostram que o volume dos poros, em condições médias, representa a metade do volume do solo, e que, geralmente, solos com textura mais fina possuem maior porosidade, contudo, necessitam de maiores cuidados no que tange a manutenção da aeração. Solos arenosos têm menor porcentagem de poros e quase constante aeração.

Os autores supracitados complementam mencionando que:

A perda da porosidade está associada à redução do teor de matéria orgânica, à compactação e ao efeito do impacto das gotas de chuva, fatores esses que, causando uma diminuição no tamanho dos agregados maiores, reduzem, em consequência, o tamanho dos poros (p.44).

Evidenciando, assim, a importância desta propriedade no que tange a infiltração de água no solo, evitando a aceleração dos processos erosivos pela intensificação dos fluxos superficiais, destacando os autores a importância da aeração do solo neste sentido, bem como da manutenção da matéria orgânica, podendo propiciar a manutenção dos solos das trilhas.

Kiehl (1979) aponta que o volume e a natureza da porosidade de um solo estão relacionados com outras propriedades, a exemplo da textura, estrutura, densidade aparente e a umidade, com influência direta ou indireta na infiltração, na permeabilidade ao ar e à água, temperatura, na retenção de água e no crescimento de plantas.

A porosidade é uma propriedade que segundo Guerra (2015), está relacionada de maneira inversa com a densidade aparente, onde à proporção que a densidade aparente de um solo aumenta, a porosidade diminui, tendo-se por consequência a redução da infiltração de água no solo. Dependendo-se do volume de poros, liga-se a densidade aparente e a resistência a qual o terreno oferece. Para um mesmo solo, quanto mais compacto ou menos poroso ele for, maior será a sua resistência mecânica (ISASA, 1949 *apud* KIEHL, 1979; REICHERT *et al.*, 2007), e este ponto nos interessa nesta pesquisa, uma vez que na trilha em questão será medida a resistência à penetração, nos apontando a compactação do solo, e os processos erosivos associados que, dependendo do grau e magnitude, podem inviabilizar o uso da trilha, conforme já apontado.

Kiehl (1979) complementa, também, informando que um solo ideal tem sido mencionado como o que apresenta a divisão 50% de macroporosidade e 50% de microporosidade. Contudo, considerando-se que raízes podem se desenvolver com porosidade de aeração acima de 10%, e que a quantidade de água armazenada deve ser maior que as quantidades de ar, o solo ideal, segundo o referido autor, passa a ser o que apresenta um terço de macroporos para dois terços de microporos, garantindo, assim, boa aeração, permeabilidade e capacidade de reter água.

Quanto à compactação do solo, Reichert *et al.* (2007) acrescentam que esta propriedade, junto com a densidade, relaciona-se com a compactação, uma vez havendo alteração no volume do solo. Desta forma, apontam que com a compactação ocorre a redução de macroporos, responsáveis pela infiltração de água e aeração do solo. Estes, uma vez

apresentando menor resistência, se deformam e dão origem a poros com menor diâmetro, que são mais resistentes e suportam pressões superiores.

Outra propriedade do solo importante de ser estudada é a densidade aparente. Segundo Guerra (2015), esta propriedade é outro fator controlador que deve ser considerado na compreensão dos processos erosivos, uma vez que se refere a maior ou menor compactação dos solos. O maior ou menor teor de matéria orgânica relaciona-se neste sentido, onde à proporção que o teor de matéria orgânica diminui, aumenta-se a ruptura dos agregados, crostas se formam na superfície do solo, aumentando sua compactação.

Para Kiehl (1979), a densidade aparente pode ser definida como: "... a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca a 110 °C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros" (p.76), dependendo da natureza, das dimensões e da forma como estão dispostas as partículas do solo, onde geralmente, esta propriedade aumenta com a profundidade do perfil, porque as pressões que são exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes, provocam o fenômeno da compactação, o que reduz a porosidade. O movimento de material fino dos horizontes superiores para os inferiores, através do processo de eluviação, corrobora na redução de espaços porosos, aumentando a densidade destas camadas.

Conforme seu valor varia, a densidade aparente para um mesmo solo é alterada de acordo com a estruturação. Quando manejado de maneira incorreta, pode-se provocar a compactação do solo, alterando sua estrutura, e por consequência, sua densidade aparente.

Já Lepsch (2011) afirma que a densidade aparente é mais útil às aplicações práticas do solo, uma vez que inclui os espaços porosos, que correspondem à massa de solo seco pelo volume. A densidade aparente se baseia no volume do solo ao natural, podendo estar ocupados também pelas frações ar e água. Neste sentido, ao contrário da densidade real, a densidade aparente pode variar em um mesmo horizonte de determinado solo, pois depende de sua estrutura e da compactação.

Como exemplo, Lepsch cita um horizonte A de um solo, por onde frequentemente passa o piso de um arado, ou, no caso da presente pesquisa, os calçados dos praticantes de trilha. Tanto antes como depois da aração, ou do pisoteio pelo visitante, a densidade real será a mesma, porém a densidade aparente maior.

Kiehl (1979) define a propriedade da densidade real como o:

[...] volume de sólidos de uma amostra de terra, sem considerar a porosidade. Por definição, entende-se a densidade real como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas (p.89).

Também designada como a densidade das partículas, peso do volume de sólidos, massa específica real ou peso específico real, um fato importante é que o resultado que se obtém ao determinar a densidade real de um solo, representa a média ponderada da densidade real de todos os seus componentes minerais e orgânicos. Neste sentido, ao se determinar a densidade real de um solo, indefere partir de amostras secas ao ar ou secas em estufas.

Lepsch (2011) versa que ao contrário da densidade aparente, a densidade real independe da estrutura ou da compactação do solo, porque é função unicamente do tipo de partículas sólidas do solo. Assim sendo, normalmente um solo mineral tem densidade maior que um orgânico, pois determinado volume de matéria orgânica pesa consideravelmente menos que o mesmo volume de material mineral, deixando claro, desta forma, que os valores da densidade real estão intimamente relacionados com o tipo e a quantidade de componentes minerais e orgânicos.

A densidade real é útil indiretamente, pois a mesma é utilizada no cálculo da porosidade e indicadora da compactação, com indicações sobre a facilidade de penetração de raízes e armazenamento de água, o que, transpondo para a temática das trilhas, nos auxilia a compreender o processo de compactação e erosão do solo vide a relação entre a densidade e a porosidade.

Desta forma, conforme Kiehl (1979) aponta a densidade real como importante informação no auxílio a identificação dos minerais do solo, onde, de acordo com a densidade, os minerais podem ser classificados em leves, se a densidade real for menor que $2,85 \text{ g/cm}^3$, e pesados, se acima deste valor. Quanto a matéria orgânica, sua densidade real varia entre 0,6 a $1,0 \text{ g/cm}^3$, e, conseqüentemente, a presença desta no solo faz baixar de maneira considerável a sua densidade real, em especial quando o teor de material húmico é superior a 3%.

Segundo Kiehl (1979), esta propriedade tem relação indireta com as plantas, pois os valores altos ou baixos encontrados ligam-se à presença de certos componentes minerais ou orgânicos, os quais podem exercer influência de maneira mais direta no comportamento das plantas.

Em relação a compactação, Reichert *et al.* (2007) acrescentam que dentre as propriedades observadas na avaliação da compactação no solo, a densidade seria uma das mais seguras, uma vez apresentando pouca ou nenhuma dependência da umidade, esta, que será vista em seguida. Os autores também ressaltam a relação inversa com a porosidade, onde o aumento na densidade do solo afeta os macroporos, formando-se microporos, mais resistentes a compactação.

No que tange a propriedade da umidade, água do solo, Medina (1972) evidencia a importância da água já na origem do solo, sendo a mesma um dos agentes mais ativos na destruição e desagregação das rochas e minerais. Ele aponta a presença obrigatória da água em todas as reações de metabolismo das plantas, além de funcionar como meio de transporte dos elementos nutritivos, bem como dos componentes que se formam durante o metabolismo da planta, e entre a planta e o solo.

Lepsch (2011), com debate semelhante, comenta que a importância da relação “solo-água-planta” vem sendo destacada há muito tempo, onde a água, ecologicamente falando, é importante por carregar nutrientes que alimentam organismos vivos, e pedologicamente, é um fator imprescindível em certos processos pedogenéticos, como o intemperismo, a formação do húmus, mobilização e transporte de substâncias, por exemplo.

Neste cenário, Medina (1972) nos fala que, pode-se considerar como única fonte real de água para as plantas, aquela que se encontra armazenada no solo, sendo este fornecimento natural realizado através das chuvas que, ao se precipitar, pode escoar pela superfície ou infiltrar-se no solo.

Kiehl (1979) também faz suas considerações sobre a água do solo, onde, de maneira semelhante a Medina (1972) e Lepsch (2011), dispõe que a água é um dos principais componentes do solo, não sendo possível a vida vegetal ou animal na sua ausência. Ela ocupa junto ao ar todo o espaço poroso existente, sendo ela quem governa grande parte das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Em relação à compactação do solo, Reichert *et al.* (2007) destacam que a umidade é um fator importante que influencia na compactação, uma vez que atua como um lubrificante que facilita o rearranjo das partículas do solo quando estas são submetidas a compressões. A água forma uma película nas partículas sólidas onde, atuando como lubrificante, permitindo o deslocamento das partículas nos vazios do solo, gerando o rearranjo das partículas.

Além disto, no que se refere à resistência à penetração, relacionado com a compactação, segundo os autores supracitados, um aumento no teor de água geraria uma maior tolerância no solo à resistência à penetração. Indica-se, assim, que a umidade permite ao solo aguentar uma maior compressão, onde a redução da umidade e aumento de sua densidade acarreta no aumento da resistência à penetração, enquanto que o aumento da umidade gera exatamente o efeito contrário.

Os autores chamam atenção, porém, que a relação entre a umidade e a compactação dependerá do tipo de solo, onde deve-se haver maior atenção aos solos argilosos devido às suas características que dificultam a infiltração de água a partir da redução de macroporos. A

importância da propriedade física da umidade será melhor discorrida e relacionada na seção de água no solo, que virá a seguir.

No que tange a matéria orgânica, Guerra (2015) comenta que o processo de formação desta no solo depende da flora e da fauna que vive sobre ou dentro do solo e que atividades humanas, citando o autor a agricultura como exemplo, tendem a gerar mudanças no teor de matéria orgânica do solo. Um ponto importante sobre a matéria orgânica é sua possibilidade de provocar mudanças em outras propriedades do solo quando de sua alteração, conforme visto em todas as propriedades aqui trabalhadas.

A matéria orgânica tem uma parte considerável formada por raízes e microrganismos e, neste cenário, os minerais são também importantes na formação do húmus, uma vez que os efeitos químicos destes podem reagir com as substâncias minerais e formar o complexo chamado húmus-argila (GUERRA, 2015).

De acordo com Guerra (2015), o teor desta propriedade afeta de diversas maneiras a erosão dos solos, dependendo de propriedades, por exemplo, como a textura. Mencionando Wischmeier e Mannering (1969), Guerra aponta que estes autores encontraram correlação inversa entre erodibilidade e matéria orgânica em solos com alto teor de silte e areia, decrescendo esta correlação, porém, para solos argilosos.

Guerra (2015) destaca, ainda, que o decréscimo de matéria orgânica, citando o exemplo da agricultura, possui implicações nos processos mecânicos de erosão, onde a correlação entre solos com menos de 3,5% de matéria orgânica, em conjunto com a utilização de um maior comprimento da encosta e com solos arenosos-siltosos, vem provocando significativas perdas de solo.

Kiehl (1979) define a matéria orgânica como sendo: “...os materiais vegetais e animais crús ou em fase de decomposição ou humificados (p.231).”, e o húmus do solo como sendo:

[...] todos os detritos vegetais e animais que sofreram um processo de decomposição biológica por influência de microrganismos, encontrando-se em uma forma resistente a novos e intensos ataques microbianos, formando-se acumulativamente no solo por permanecer algum tempo sem se decompor (p.231).

Em relação aos processos erosivos, Salomão (2010) dispõe que a matéria orgânica incorporada permite ao solo permite a este maior agregação e coesão entre suas partículas, tornando-o com maior estabilidade na presença da água, com maior porosidade e, por sua vez, com maior potencial de retenção da água.

Quanto ao uso das trilhas, reitera-se o que vem sendo abordado nesta pesquisa, onde a matéria orgânica colabora e tem relação em várias propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, servindo, em um primeiro momento, como um amortecimento do pisoteio pelo visitante que faz uso da trilha, posteriormente atuando como agente cimentante das partículas do solo, fornecendo agregados estáveis, expande seu volume quando na presença de água, retendo esta em episódios de precipitação, onde a absorção de água diminui a intensidade da erosão, e também reduzindo a densidade do solo, aumentando sua porosidade, reduzindo processos erosivos.

Reichert *et al.* (2007) reiteram que a matéria orgânica, além da umidade, são propriedades do solo que interferem em sua compactabilidade, onde a compreensão integrada das propriedades se projeta como importante na definição de estratégias de manejo do solo, visando sua qualidade.

2.3 Erosão dos Solos em Trilhas

É notório que estudos da dinâmica da água, em países tropicais como o Brasil tornam-se mais fundamentais, uma vez que em regiões como o Sudeste têm, em geral, a atuação do clima juntamente a uma geomorfologia de encosta acentuada, isto é, de elevadas declividades, pois tal acarreta na erosão e mudanças na morfologia do terreno. Desta forma, os processos hidrológicos superficiais e subsuperficiais influenciam nos processos erosivos, os quais variam tanto no espaço como no tempo, e respondem aos fatores controladores da infiltração e do escoamento superficial.

Fatores estes que são influenciados pelo uso do solo, sejam em áreas agrícolas, urbanizadas e impermeabilizadas, sejam pelo uso das trilhas nos diferentes parques. Sendo assim, de modo a enriquecer o presente trabalho, será realizada uma breve discussão do fluxo superficial e da infiltração.

Estando o presente trabalho relacionado a uma trilha, Kiehl (1979) aborda que a água do solo provém das chuvas, sendo assimilada pelas plantas em especial pelas raízes. São as entradas de chuvas, com o volume precipitado, distribuição temporal e suas intensidades (relação volume/duração) características que afetam a natureza e a magnitude do trabalho geomorfológico em bacias de drenagem e devem ser consideradas também no planejamento e ocupação de áreas para os mais diversos fins.

A interceptação das chuvas pela vegetação tem o papel de armazenamento de água nas copas das árvores ou arbustos, que posteriormente é perdida para a atmosfera na forma de evapotranspiração durante a chuva e após a mesma. Entretanto, ao ser excedida a água atinge o solo, por atravessamento e/ou pelo escoamento pelos troncos, sendo armazenada no solo, via serrapilheira (COELHO NETTO, 2015).

Outro papel importante é o das raízes como influenciadoras da estruturação do solo, pois podem se distribuir horizontal e verticalmente, permitindo uma maior injeção de água nos solos, pouco tempo após o atravessamento da água pelo dossel e antes ainda do preenchimento do déficit hídrico da serrapilheira. Já na ausência da vegetação processos erosivos acabam por se acentuar, agravando a degradação dos solos (COELHO NETTO, 2015).

Para o presente trabalho, o conhecimento da movimentação da água no solo se faz importante vide sua relação com as propriedades físicas do solo e os processos erosivos. Em conjunto com a parte sólida (partículas) e o ar, a água representa outra fase do solo e pode ocupar boa parte de seu volume. Entendemos que uma vez a água penetrando no solo, movimenta-se em todas as direções carregando nutrientes para as plantas, além de ser um importante fator pedogenético, quer seja pelo intemperismo, a formação de húmus e o mencionado transporte de nutrientes a vegetação (BRADY, 1979; REICHARDT, 1990, LEPSCH, 2011).

Sob a forma de chuva ou irrigação, Lepsch (2011) aborda que a água tem um comportamento diferente que dependerá de sua quantidade, bem como do tipo de solo o qual se infiltra. Uma vez infiltrada, sua retenção e movimento no solo dependerá de propriedades como a textura, estrutura e quantidades de poros (MEDINA, 1972; COELHO NETTO, 2015; LIBARDI, 2016).

A infiltração é definida como o processo de entrada de água no solo através de sua superfície ou o fluxo vertical desta no interior do solo (COELHO NETTO, 2015). E diversas são as variáveis controladoras da infiltração, desde as características da precipitação, da cobertura, assim como as propriedades físicas do solo (fundamentalmente as associadas ao espaço de poros), seus usos e manejos, que acabam por compactar e selar sua superfície interferindo diretamente na capacidade de infiltração e na geração do escoamento superficial.

Assim sendo, para entender a movimentação da água no solo, de início faz-se necessária a compreensão da estruturação de sua molécula, H-O-H, onde as ligações de hidrogênio são importantes para o entendimento de como os solos retêm e distribuem a água no solo. Tais retenções e distribuições da água no solo, uma vez envolvendo trocas de energia,

se constitui no chamado potencial matricial, também chamado de tensão da água no solo (MEDINA, 1972; BRADY, 1979; REICHARDT, 1990; LEPSCH, 2011; LIBARDI, 2016).

Uma vez penetrando no solo, as moléculas de água estarão sujeitas a retenções por diferentes tensões, apresentando-se as forças de coesão e adesão, onde a primeira representa a atração que substâncias iguais mantêm entre si, a exemplo da ligação de uma partícula de água com outra e a segunda a atração molecular mantida entre substâncias diferentes, a exemplo da adesão da molécula de água em uma argila (LIBARDI, 2016).

Desta forma, como exemplo, se uma partícula de argila for envolta por uma molécula de água, as camadas mais próximas da argila encontrar-se-ão retidas por adesão a uma tensão elevada e conforme ocorre o afastamento da superfície desta argila, as forças das ligações de hidrogênio diminuem de modo que a determinada distância, a força da gravidade torna-se superior as forças de adesão e a água não é mais retida, explicando Lepsch (2011) que, por esta razão, se um solo está próximo de sua saturação com água, a remoção de seu excesso é facilitada, bem como ocorrendo a diminuição da umidade do solo, aumenta a dificuldade de seu movimento e/ou remoção pelas raízes.

Lepsch (2011) também expõe em relação a retenção de moléculas de água por adesão e coesão que, tomando por exemplo um solo seco, a proporção que se adiciona água, tanto por irrigação, quanto por chuva, aos poucos a mesma penetra nos poros, aderindo-se a matriz do solo (Fase sólida do solo, referindo-se a seu sistema poroso inserido nos agregados), de maneira que o espaçamento entre suas moléculas e as partículas sólidas vão aumentando. Logo, quanto mais distantes as moléculas de água estiverem da superfície das partículas, menos energia estará envolvida na retenção entre elas.

Por conseguinte, adicionando-se água de maneira constante ao solo seco, esta água será aderida com cada vez menos energia de forma que somente até o ponto em que o distanciamento entre as moléculas inseridas e a superfície do solo for tamanha, permitindo ainda alguma atração entre elas. Nesse sentido, a proporção que tem-se o aumento da distância das moléculas de água e sua matriz, a ação da gravidade aumenta até haver a superação da força de adesão e coesão onde, neste momento, a água pode percolar solo abaixo pela força da gravidade.

Com o presente exposto até o momento sobre a movimentação da água no solo, podemos perceber a diferença do comportamento estando ele previamente úmido ou seco. Lepsch (2011), ao apontar a relação do movimento da água no solo com sua textura, nos expõe que o teor de argila possui relação com a retenção da água no solo. As cargas da molécula de água interagem com a superfície das argilas e humus, sendo estes os componentes quimicamente mais ativos da fase sólida, ocorrendo a adesão. Tal adesão é primordial para a

retenção da água no solo, submetida a uma determinada tensão, onde a água seja capaz de circular sob velocidade lenta, tornando-se disponível aos poucos aos vegetais.

Na condição da ausência deste equilíbrio, ocorreria a circulação da água em velocidades maiores nos poros, diminuindo significativamente sua disponibilidade aos vegetais e outros organismos, comprometendo, desta forma, as funções da pedosfera no ciclo hidrológico (MEDINA, 1972; REICHARDT, 1990; LEPSCH, 2011).

Em relação ao equilíbrio da quantidade de água no solo, a literatura sobre o assunto expõe o conceito denominado de Capacidade de Campo. Tal termo designa a propriedade que os solos possuem de armazenar e manter certa quantidade de água distribuída em seus poros, estabelecendo uma relação de equilíbrio com a força da gravidade (LEPSCH, 2011).

A este propósito, o autor supracitado faz considerações sobre a água disponível no solo e expõe que tal água varia não apenas em função da quantidade de argilas, mas do tipo e qualidade de argila presente, além da quantidade da matéria orgânica e da concentração de sais. Ele cita a argila esmectita como exemplo, onde esta tem a capacidade de adsorver água a tal ponto de expandirem-se uma vez molhadas e, quando secas, fendilharem-se. O mesmo caso, em relação a quantidade de humus é importante na retenção da água, pois uma vez possuindo matéria orgânica em boa quantidade, a retenção da água relaciona-se com a superfície específica das partículas, onde sendo maior a superfície desta matéria orgânica, mais água reterá (MEDINA, 1972; BRADY, 1979). Em relação a concentração de sais, Lepsch (2011) chama atenção a movimentação da água onde há mais concentração destes, devido a pressão osmótica, onde a água movimenta-se para onde há maior concentração salina.

Lepsch (2011) também faz o comparativo da retenção da água no solo comparando solos arenosos com argilosos. Como nos primeiros há menos partículas de argila, e o tamanho dos poros são maiores, fazendo as moléculas de água circularem mais rapidamente, diminui-se a interação entre as moléculas de água e a fase sólida do solo, onde este, de forma rápida, atinge seu ponto máximo de retenção após a circulação da água gravitacional sob uma tensão menor, uma vez que há menos argilas.

Feito um breve panorama das forças e fatores atuantes nos movimentos das moléculas da água no solo, aborda-se a forma que ocorrem estes movimentos pois, lembrando o ciclo hidrológico, a água, para que se mantenha um estado de equilíbrio nos solos, também precisa se mover para fora dele e dar continuidade ao ciclo, evidenciando a importância e o impacto que a movimentação da água no solo possui sobre nossas vidas e a do planeta.

Lepsch (2011) expõe que o movimento em sua grande maioria ocorre com a água na forma líquida e apenas pequena parte na forma de vapor. Tais fluxos deste líquido poderiam

ocorrer através percolação da água em forma livre, como resposta às forças de gravidade, sendo o fluxo saturado, ou a água retida através da adesão, sendo o fluxo não saturado.

Desta forma, a força da gravidade exerce sua influência fazendo a água movimentar-se verticalmente e lateralmente de uma parte mais elevada para uma parte menos elevada, onde as forças de sucção movimentam a água em resposta aos diferentes potenciais matriciais (diferença entre a energia da água no solo e a água pura e livre, a mesma temperatura (LEPSCH, 2011. p. 148).

Uma vez a chuva atingindo o solo seco, a água, sendo primeiramente absorvida, deixa parte do interior do solo a níveis próximos da capacidade de campo, até poucos centímetros de profundidade, formando a chamada frente de umedecimento. No caso de haver a continuidade da chuva, tal frente continua se movendo para horizontes mais profundos. Destaca-se que em teores de água acima da capacidade de campo, a percolação ocorre de forma mais lenta ao atravessar microporos (estes em torno de 0,1 mm) e flui de maneira mais rápida nos macroporos (estes maiores que 0,1 mm),

Sobre a permeabilidade do solo, quando os poros maiores do solo estão completamente preenchidos de água, ocorre o fluxo saturado. Tal corresponde a água que primeiramente move-se no solo depois deste estar saturado, o que depende, por sua vez, mais da força da gravidade que da tensão matricial.

À proporção que o solo vai secando, primeiramente esvaziam-se os poros maiores, ficando o movimento da água restrito aos poros menores. Presentes tais condições, determina-se a condutividade de água não saturada, ocorrendo a pressão de sucção ou potencial matricial.

É importante aqui mencionar que para solos não saturados, a força gravitacional não é significativa para realização de movimentos da água, pois não há quantidade de água suficiente para preenchimento de poros. O processo que ocorre neste caso é chamado de difusão, onde a água é adsorvida pelas partículas de solo, passando também de partícula para partícula.

Outro movimento da água que ocorre no solo é o da sucção pelas raízes. Lepsch (2011) aborda que as raízes ao absorverem água do solo, em média com pressões de 15 atm, criam pequenos gradientes de potencial. Nesse cenário, as áreas ao redor da absorção das raízes criam potenciais matriciais baixos, de maneira que a água capilar (água que permanece no solo retida nos poros após a drenagem da água gravitacional) ao redor destas áreas, que possuem potenciais mais elevados, se movimentam em função da diferença destes potenciais (REICHARDT, 1990; LIBARDI, 2016).

Cria-se assim um lento fluxo de água capilar, importante para a compreensão do movimento da água no solo em diferentes sentidos se comparada a água gravitacional, fornecendo garantia que a água armazenada seja absorvida pelos vegetais.

No que tange sua importância e relação com o solo e as plantas, Kiehl (1979) comenta da importância da matéria orgânica como colaboradora da manutenção da umidade do solo, uma vez que este material possui grande superfície específica, devido a elevada capacidade de retenção do húmus, capaz de armazenar boa quantidade de água, e que a elevação deste teor gera um aumento das diversas águas do solo, com efeito mais notório nos de textura mais grosseira.

Assim sendo, embora a literatura de água no solo consultada possua um enfoque ao crescimento de plantas e na relação solo-água-planta, tais conhecimentos do comportamento da água no solo nos fornecem um panorama em relação aos processos erosivos, conforme apontados, auxiliando na compreensão dos processos que se desprendem com a erosão, uma vez que a água é um dos principais agentes que desencadeiam os processos erosivos (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2009).

Nesse sentido, abordando o presente trabalho a compactação do solo e os processos erosivos associados, aponta-se para grande possibilidade da diferença deste comportamento em um solo com cobertura vegetal e um solo compactado. Reichardt (1990), ao propósito da compactação do solo, ao nos expor a ligação indireta de tal processo à estrutura do solo e apontando a constituição do solo enquanto um material poroso, a compressão imposta pela compactação ao realizar o mencionado rearranjo dos poros, seu volume e sua estrutura, afeta também suas características de retenção de água.

Entretanto, compreendemos a necessidade de aferição e comprovação científica para a trilha em análise, através da utilização de tensiômetros e infiltrômetros para a trilha da Varginha, tal fato este abrindo possibilidades para futuros estudos, contudo, trabalhos como o de Reichert *et al.* (2007), em consonância com Reichardt (1990) acima supracitado, afirmam tal diferença da condutividade hidráulica, infiltração e armazenamento de água no solo, onde a deformação no solo, alterando seu volume e diâmetro dos poros, acarreta na diminuição dos fluxos de água e gás no solo .

Revelando a literatura a importância da cobertura vegetal para a infiltração da água no solo e a compactação como criadora de uma selagem na camada superficial do mesmo, acarretando no escoamento superficial, consegue-se visualizar a possível diferença de comportamentos em ambos os casos, fornecendo também subsídios para eventuais intervenções em relação aos processos erosivos.

Caracterizados os movimentos da água no solo, podemos entender melhor os processos erosivos nas encostas, suas causas e consequências. O referido conceito já foi abordado no início desta seção por Bertoni e Lombardi Neto (2014) e Guerra (2015), porém, reiteramos a visão do primeiro, que considera a erosão como um processo natural que envolve três mecanismos, sendo eles o de desagregação, de transporte e de deposição de materiais oriundos de rochas e solos, que geralmente pode ser acelerado pela ação antrópica, desencadeando o processo a partir do momento em que há energia suficiente para movimentar as partículas do solo, e o segundo, considerando a erosão como o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento.

Guerra (2010) dispõe que o processo erosivo causado pela água das chuvas possui abrangência em grande parte da superfície terrestre, tendendo o processo a se intensificar nas áreas em que o solo se encontra mais desprotegido, onde Salomão (2010) complementa informando-nos que o entendimento correto dos processos que se relacionam com o funcionamento da água sobre o terreno encaminha a adoção de corretas medidas efetivas para controle preventivo e corretivo da erosão.

Assim sendo, Salomão (2010) aborda que a partir de tal entendimento, se destacam dois importantes eventos que dão início a erosão, que envolvem o impacto das gotas de chuva, em especial no solo desprotegido, conforme acima citado, desagregando e liberando suas partículas e o escoamento superficial das águas, transportando as partículas.

Desta forma, a partir do escoamento superficial, podem se desprender a erosão laminar ou em lençol, uma vez ocorrendo o escoamento difuso da água da chuva, acarretando na progressiva remoção do horizonte superficial, além da possibilidade da erosão em sulcos, caso a água se concentre em linhas de fluxo, causando pequenas incisões na superfície do terreno, estas que podem evoluir, se aprofundando, a ravinas (SALOMÃO, 2010)

Entretanto, para que ocorra o processo erosivo, é importante a compreensão dos fatores controladores, visto que estes determinam as variações das taxas de erosão. Dentre eles, de acordo com Araújo *et al.* (2007), Guerra (2010 e 2015); Oliveira (2010) e Salomão (2010), podemos elencar a erosividade da chuva, as propriedades do solo, a cobertura vegetal e as características das encostas.

Hudson, (1961 *apud* GUERRA, 2015) define a erosividade da chuva como sendo a “... habilidade da chuva em causar a erosão”. Bertoni e Lombardi Neto (2014) comentam que é um dos fatores climáticos de maior relevância na erosão. Entretanto, a ação erosiva da água da chuva sobre o solo através do impacto das gotas não é algo simples, dependendo da correlação de fatores como o total de chuva, a intensidade da mesma, o momento (Produto entre a massa

e a velocidade da gota) e a energia cinética (Energia de movimento da gota). Ressalta-se que dentre os fatores pluviométricos elencados, Bertoni e Lombardi Neto (2014) consideram a intensidade o mais importante na erosão, apontando que quanto maior a intensidade da chuva, maior é a perda por erosão. Tal visão também é compartilhada por Araújo *et al.* (2007) e Guerra (2010 e 2015).

As propriedades do solo são outro fator importante na erosão dos solos, sendo as mesmas já trabalhadas nesta sessão. Entretanto, reitera-se que a erosão não é igual em todos os solos, onde sua erodibilidade, definida Araújo *et al.* (2007) como a “susceptibilidade de um solo à erosão” (p.83), varia de acordo com suas propriedades, sendo para ambos os autores mencionados a textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica e a estabilidade dos agregados importantes propriedades físicas que afetam a erosão dos solos, além das demais características químicas e biológicas do mesmo.

No que tange a cobertura vegetal, Guerra (2015) comenta dos fatores correlacionados a mesma que podem ter influência nos processos erosivos, sendo eles através da espacialidade da cobertura vegetal, nos efeitos da energia cinética da chuva, além da vegetação na formação de matéria orgânica, influenciadora na estabilidade e teor dos agregados.

Este autor destaca a densidade da cobertura vegetal como importante fator na remoção de sedimentos, escoamento superficial e perda de solos. Neste cenário, ela pode também reduzir a quantidade de energia que chega ao solo durante a chuva, com a minimização do impacto das gotas, reduzindo a erosão, proporcionando maior proteção em áreas com chuva de maior intensidade, fato este também compartilhado por Araújo *et al.* (2009).

Além disso, aponta-se também a cobertura vegetal como produtora direta de matéria orgânica, esta atuando na agregação das partículas do solo. As raízes podem se ramificar no solo, permitindo também a formação dos agregados, e da melhor infiltração de água. A estabilidade dos agregados, conforme exposto, pode reduzir as taxas de erosão, pois estando as partículas do solo mantidas juntas, há maior resistência a ação erosiva da água.

Bertoni e Lombardi Neto (2014) afirmam a cobertura vegetal como sendo uma defesa natural do terreno contra a erosão, onde além do exposto por Guerra, acrescentam o efeito da cobertura vegetal na dispersão da água, com sua interceptação e evaporação antes que atinja o solo, reduzindo o efeito das gotas de chuva no solo, e, por sua vez, os processos erosivos.

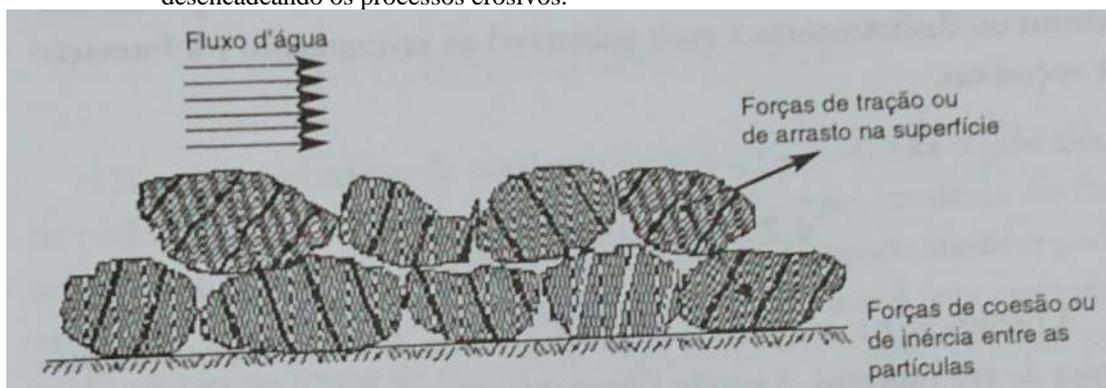
As características das encostas são mais um fator apontado por Araújo *et al.* (2007), Bertoni e Lombardi Neto (2014) e Guerra (2015), onde fatores como a declividade, forma e comprimento das encostas podem afetar a erodibilidade dos solos. Ambos os autores estão de acordo sobre a influência da declividade das encostas, pois a perda de solo pode ser entendida

como fruto entre a erosão por ravinamento e o impacto das gotas de chuva, devido ao efeito na velocidade do escoamento.

Bertoni e Lombardi Neto (2014) acrescentam que o tamanho e a quantidade do material em suspensão levado pela água dependem da velocidade com que ela escorre, sendo esta velocidade uma resultante do comprimento do lançante e do grau de declividade do terreno, e que da declividade dependem o volume e a velocidade das enxurradas que sobre ele escorrem. Guerra (2015) destaca a importância deste fator como até maior que a declividade.

Entendido como se processa a interação entre os fatores influenciadores da erosão, podemos compreender como se desencadeiam os processos erosivos, reiterando-se as já mencionadas três fases do processo erosivo proposto por Guerra (2015) e evidenciados na figura 12.

Figura 12 – Diagrama esquemático das forças que agem sobre as partículas na superfície do solo, desencadeando os processos erosivos.



Fonte: ARAUJO *et. al.*, 2007, p.82.

Neste cenário, Bertoni e Lombardi Neto (2014) destacam que, fazendo-se abstração da erosão eólica, toda remoção de solo exige a presença de água, cuja fonte, no caso das trilhas, seria a chuva.

Guerra (2010 e 2015) comenta que o ciclo hidrológico, também já exposto nesta sessão, é o ponto de partida do processo erosivo, onde a água, atingindo o solo, gera o efeito Splash, também chamado de Salpicamento, desagregando partículas e preparando-as para o transporte através do escoamento superficial. Tal preparação ocorre tanto pela ruptura dos agregados como pela ação de transporte que o próprio Splash realiza com as partículas.

Ao propósito da ruptura dos agregados, relembramos suas relações com as propriedades do solo e os fatores que geram a erosão dos solos trabalhadas nesta seção, onde Guerra (2010 e 2015) chama atenção a importância da matéria orgânica, ocorrendo um aumento na instabilização dos agregados na diminuição da primeira.

Rompendo-se os agregados, crostas são formadas no solo onde estas muitas vezes geram a selagem da camada superficial do solo, sendo tal processo importante, uma vez gerando a diminuição da infiltração e aumento do escoamento superficial, sendo uma etapa que antecede ao escoamento.

Desta forma, o solo não conseguindo mais absorver a água precipitada, o excesso começa a se movimentar em superfície e/ou em subsuperfície, podendo provocar a erosão pelo escoamento das águas. A taxa de infiltração, já exposta através da contribuição de Coelho Netto (2015), é importante no escoamento superficial, medindo a velocidade com que a água infiltra no solo. A mesma varia ao longo de um evento chuvoso, bem como de características do solo, de intensidade da chuva, agregação de partículas, porosidade, umidade antecedente e do grau de compactação do solo.

Nesse cenário, Salomão (2010) e Bertoni e Lombardi Neto (2014) abordam que o escoamento superficial torna-se mais intenso à proporção que menor for a infiltração da água da chuva, se relacionando esta à permeabilidade do terreno, podendo variar pelo efeito da compactação, uso e ocupação do solo, intensidade e frequência das chuvas, natureza e propriedades do solo, além da geometria e comprimento das vertentes.

Também mencionando o trabalho de Horton (1945), Guerra (2015) expõe que se a intensidade da chuva exceder a capacidade de infiltração, ocorrerá o escoamento. A água começa a se acumular na superfície, sendo retida em pequenas depressões, sendo iniciado o escoamento quando a capacidade de armazenamento for saturada, não absorvendo o solo mais água.

A água não se infiltrando mais, gerando o escoamento, as poças (pounds) formadas pela ocupação da água nas irregularidades existentes no solo começam a se conectar, iniciando neste momento o escoamento superficial, este, a priori, difuso, porém podendo tornar-se concentrado de acordo com a continuidade espacial e temporal do evento chuvoso. Procura-se deixar evidenciada a importância da microtopografia no que se refere aos processos erosivos.

Assim sendo, o material do solo primeiro deve ser deslocado de sua posição na superfície, para posteriormente ser transportado na suspensão ao longo da superfície do terreno, sendo as partículas removidas pela força de cisalhamento, para, por fim ser depositado. Guerra (2010 e 2015) aborda, ainda, que a erosão é máxima a partir do momento que a enxurrada contém quantidade suficiente de material abrasivo para desprender a maior quantidade possível que a enxurrada seja capaz de transportar.

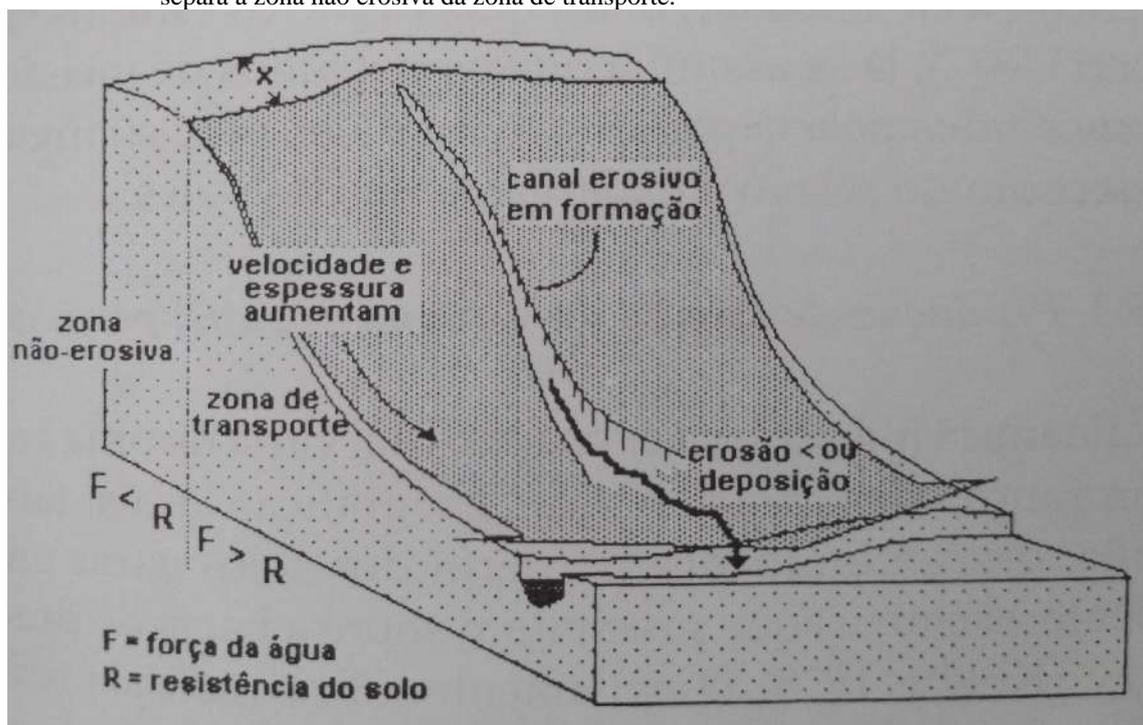
A água acumula e escoando desce a encosta através de um lençol, a princípio difuso, conforme mencionado, também conhecido como fluxo laminar, aumentando a concentração e velocidade dos sedimentos à proporção da descida do fluxo na encosta.

A erosão em lençol ou laminar é assim denominada, pois o escoamento superficial se distribui pelas encostas de maneira dispersa, não se concentrando em canais, formando uma espécie de lâmina superficial sobre as encostas. Bertoni e Lombardi Neto (2014) acrescentam mencionando que a erosão laminar é a lavagem da superfície do solo, sendo o solo removido uniformemente por uma fina lâmina de água. Este tipo de erosão arrasta primeiramente as partículas mais leves do solo, podendo inclusive afetar a fertilidade do mesmo no caso de uso para fins agrícolas.

O atrito gerado e intensificado dá início à formação das ravinas, pequenos canais realizados pela concentração dos fluxos pela turbulência gerada, podendo-se ampliar com o tempo que aumenta o seu volume, tornando a turbulência cada vez maior (GUERRA, 2010 e 2015), conforme evidenciado na figura 13.

O debate realizado até agora deixa evidenciado a ação da água como importante agente erosivo, devendo ser compreendida a complexidade de sua ação. No que tange as trilhas, é importante a compreensão da erosão em lençol e da erosão em ravinas.

Figura 13 – Diagrama esquemático da produção de fluxo superficial hortoniano e consequente trabalho erosivo, incluindo a formação de canal. Na figura, o ponto “x” aponta a distância crítica que separa a zona não erosiva da zona de transporte.



Fonte: COELHO NETTO, 2015, p.137.

Salomão (2010), Bertoni e Lombardi Neto (2014) e Guerra (2010 e 2015) dispõem que uma vez sendo permanente uma ravina em um mesmo local por períodos prolongados de tempo, em geral estas evoluem para voçorocas encosta abaixo, com a possibilidade de formar os estágios iniciais de evolução de redes de drenagem. Tal processo, embora não ocorra na Trilha da Varginha até o presente momento, contudo, o ressalta-se a importância de medidas que mitiguem o surgimento de ravinas para, conseqüentemente, evitar o surgimento de voçorocas.

Apresentado o processo de erosão dos solos, destaca-se a importância dos estudos e pesquisas desta temática não apenas no uso agrícola, com perda de matéria orgânica e nutrientes do solo, mas também pelo material erodido em uma bacia hidrográfica poder causar o assoreamento de rios e reservatórios, além de poder provocar o desaparecimento de mananciais e acentuando os efeitos de inundações, conforme já apontado nesta sessão.

Posto este cenário, reiteramos a importância dos estudos de solo e de seus processos associados no relevo terrestre, nos valendo da ideia de Guerra (2015), onde expõe que os solos deveriam ser melhor utilizados, pois além de proporcionar a produção agrícola e animal, são um importante componente da biosfera, onde grande parte da vida vegetal e animal da superfície terrestre depende e se desenvolve nos solos, e os problemas ambientais decorrentes de sua degradação tem repercussões, por vezes, irreversíveis.

Logo, aplicando-se a temática da presente pesquisa, destaca-se novamente a importância da visitação a áreas protegidas, quer seja por seu potencial paisagístico, mas em especial por seu potencial educativo e científico, com vistas a um uso da terra mais racional e menos impactante, de modo a haver a manutenção da trilha como atrativo em si, e como elo a outros atrativos em potenciais que o PNMNI oferece.

2.4 O Uso das Geotecnologias como Aliada na Análise Ambiental

Uma vez expostas tais dinâmicas e processos ambientais, faz-se necessária a compreensão que iniciar o estudo de um ambiente expressa perceber as entidades e eventos (estes últimos fenômenos sendo considerados ou se constituindo em processos) com os quais considera-se possível construir representações úteis da realidade ambiental percebida.

Neste cenário, o geoprocessamento, enquanto ferramenta de análise espacial, muito tem a contribuir para melhor compreensão do funcionamento das dinâmicas ambientais uma vez que possui a capacidade de espacializar dinâmicas ambientais, permitindo representar a

territorialidade e a inspeção de possíveis relacionamentos entre as entidades ambientais que neles estão envolvidas, com representações computacionais do ambiente úteis e aplicáveis.

Xavier da Silva (2001) o define como: “...um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para os transformar em informação (que é um acréscimo de conhecimento) relevante...” (p.12-13).

Uma outra definição para Geoprocessamento, de forma mais ampliada, pode ser concebida como:

[...] um conjunto de conceitos, métodos e técnicas que, atuando sobre bases de dados georreferenciados, por computação eletrônica, propicia a geração de análises e sínteses que consideram, conjugadamente, as propriedades intrínsecas e geotopológicas dos eventos e entidades identificados, criando informação relevante para apoio à decisão quanto aos recursos ambientais.” (XAVIER-DA-SILVA, 2009, p.42).

Na literatura sobre o tema, torna-se clara as mais diversas aplicações do Geoprocessamento, quer seja na análise do relevo em relação à atuação dos processos exógenos, a exemplo da erosão dos solos (FLORENZANO, 2008 ; VALERIANO, 2008), na caracterização e monitoramento da cobertura vegetal em bacias hidrográficas (BORATTO e GOMIDE, 2013), ou ainda no uso da geoinformação para medidas preventivas a eventos climáticos naturais (MARCELINO *et al.*, 2007), além de seu potencial ao subsídio de políticas públicas à ocupação urbana (FANTIN *et al.*, 2007).

Florenzano (2008) aponta que as imagens obtidas por satélites têm a possibilidade de fornecer uma visão holística e dinâmica de vastas áreas da superfície terrestre onde, deste modo, ao permitirem uma abrangente visão, facilitam a obtenção e o processamento de informações que dificilmente seriam adquiridos sem elas e levantadas em campo. Já Boratto e Gomide (2013) complementam tal debate expondo-nos que o registro de imagens propicia a análise da relação entre a localização espacial de um determinado alvo no ambiente e suas relações intrínsecas, havendo facilidade na obtenção de um resultado dinâmico do que se pretende analisar, bem como da atualização dos dados existentes.

Xavier da Silva (2007) aponta, ainda, que a identificação e análise das entidades e fluxos relevantes (processos) em diversas situações ambientais referentes a um sistema ambiental podem conduzir a uma construção documentada de modelos do ambiente, ou seja, o geoprocessamento, em sua capacidade analítica e avaliativa da atuação conjunta de fatores ambientais, junto com dados topográficos como declividade e formas do terreno, que serão apresentadas no presente trabalho, munido da visão geossistêmica do ambiente, conduz a elaboração de modelos da realidade ambiental, subsidiando a tomada de decisões ambientais.

O geoprocessamento aplicado a análise do ambiente, em conjunto com sua visão geossistêmica, possui, então, a capacidade de integrar e espacializar as informações sobre os sistemas ambientais terrestres, tornando visível tais dinâmicas e fenômenos através dos mapas e modelos de previsão de maneira eficiente, com rapidez e qualidade, sintetizando informações e tornando de maneira mais acessível e compreensível tais fenômenos e dinâmicas, subsidiando, assim, tomadas de decisões, prognoses e diagnósticos para melhor gestão do ambiente.

Nesse sentido, usando-se as informações ferramentas dos Sistemas de Informações Geográficas e de Geoprocessamento, o presente trabalho apresenta os mapeamentos topográficos na Trilha da Varginha, além da análise de sua cobertura vegetal através do índice da vegetação por diferença normalizada (NDVI) e do índice de vegetação por ajuste do solo (SAVI), entendendo as interrelações ambientais presentes onde a trilha se insere, a íntima relação das formas de relevo com os processos erosivos e movimentos de massa em potencial que podem ocorrer na trilha, também ligados ao processo compactação do solo e, desta forma subsidiando a tomada de decisão para o manejo da mesma, colaborando, assim, para a manutenção de sua função tanto ambiental, quanto de elo entre o visitante e o ambiente natural que a trilha representa, além de seu potencial turístico e educativo.

No que tange a análise de dados topográficos, Valeriano (2008) nos fornece uma visão da importância do levantamento destes em meio digital para a análise do relevo, onde tais dados fornecem importantes variáveis em análises ambientais, corroborando na identificação de formas do terreno e de suas variáveis, integrando com dados de outros aspectos de modo a gerar uma informação útil à análise do ambiente, conduzindo a se estabelecer unidades de mapeamento as quais sejam úteis à caracterização do terreno de acordo com a escala e objetivos do mapeamento que se deseja.

Segundo o autor, embora perceba-se a pouca tradição no uso de informações do relevo para importantes assuntos, a exemplo da análise ambiental, continuamente vem sendo notado o uso cada vez maior dos mapeamentos topográficos para as mais diversas finalidades. Desse modo, é importante expor o potencial e os benefícios advindos do uso de tais informações topográficas em meio digital no que tange o ganho de conhecimento sobre um território que se analisa, com o fornecimento de informações da dinâmica ambiental do local em que se analisa de forma mais ágil, padronizada e com qualidade ambiental relativamente aceitável (VALERIANO, 2008).

Tais avanços nas informações em meio digital, em ambiente SIG também são observados na análise da cobertura vegetal. Neste cenário, Velasco *et al.* (2007) e Lobato *et al.* (2010) abordam a importância do emprego das imagens de satélites para estudos de vegetação

em ambiente urbano, em especial nas regiões em que se percebe a carência de um planejamento urbano adequado que tem como consequência o crescimento desordenado, fato este tão presente no crescimento urbano Brasileiro, onde tais imagens de satélites, uma vez colaborando no monitoramento ambiental da cobertura vegetal, torna-se uma importante ferramenta aliada nas medidas de conservação dos remanescentes ambientais de áreas protegidas.

E aborda-se tal temática na presente pesquisa, pois conforme exposto na caracterização da área de estudo, a mesma, no passado, sofreu com as mais diversas fases agrícolas presentes no Município de Nova Iguaçu, RJ, além de, nos dias atuais, sofrer com a pressão urbana em sua zona de amortecimento, inclusive no que tange às queimadas nesta área, se convertendo em incêndios de grandes proporções que geram grandes perdas ambientais para o Parque, em especial na vertente voltada ao município de Nova Iguaçu.

Embora a gestão do Parque venha desenvolvendo intenso trabalho de conscientização através de medidas educativas e de replantio da vegetação, com frequência, nos meses mais secos de inverno ocorrem queimadas na zona de amortecimento que invadem o Parque, inclusive a Sub-bacia do Rio Botas onde a trilha em questão analisada no presente trabalho corta, reiterando, deste modo, a relevância do emprego das imagens de satélite para controle e monitoramento ambiental de áreas protegidas de forma contínua.

Ademais, ainda que já tenha sido abordada a importância da cobertura vegetal no presente trabalho, destaca-se que na literatura envolvendo a análise da cobertura vegetal em ambiente SIG, é reiterada a relevância da mesma em estudos de variáveis ambientais no que tange a indicadores de sustentabilidade, com a garantia de áreas permeáveis a precipitação, redução da poluição atmosférica, regulação do microclima urbano, este relatado pela própria gestão do Parque (BEZERRA *et al.*, 2015).

Além destes, tem-se o aumento da circulação do ar, a fauna e a flora são asseguradas no local, manutenção de corpos hídricos superficiais e sub superficiais, além de, conforme exposto, sendo bem planejada, podem se constituir em espaços de lazer com potencialidades a educação ambiental (PARANAGUÁ, 2003; VELASCO *et al.*, 2007; LOBATO *et al.*; 2010; RÊGO *et al.*, 2012; BORATTO e GOMIDE, 2013).

Como formas de se analisar a cobertura vegetal por sensores remotos, apresentam-se os índices de vegetação. Rosembach *et al.* (2005), Lobato *et al.* (2010) e Rêgo *et al.* (2012) abordam o emprego dos índices de vegetação como indicadores quantitativos e qualitativos da vegetação. Os autores explicam que os índices de vegetação são modelos que resultam da combinação dos níveis de reflectância de imagens de satélites envolvendo as bandas do vermelho e infra vermelho próximo. Para o presente trabalho, de modo a analisar a cobertura

vegetal, utilizaram-se o *Normalized Difference Vegetation Index*, tendo sua livre tradução para o Português significando Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o *Soil Adjusted Vegetation Index*, representando o índice de Vegetação por Ajuste do Solo (SAVI).

O primeiro, proposto por Rouse (1973), visa produzir um índice de vegetação espectral objetivando separar a vegetação verde do brilho do sol (RÊGO *et al.* 2012), sendo calculado baseando-se nos valores de reflectância das bandas do vermelho e infra vermelha próximas (LOBATO *et al.*, 2010), fornecendo interpretações quantitativas e qualitativas da vegetação (SILVA e GALVÍNIO, 2012).

Já o SAVI, proposto por Huete (1988), representa uma adaptação do NDVI, possuindo como especificidade a minimização dos efeitos de solo de fundo no sinal da vegetação, uma vez incorporando uma constante de ajuste do solo, denominado de fator L, na equação do NDVI (SILVA e GALVÍNIO, 2012; RÊGO *et al.*, 2012).

Desta forma, destaca-se o avanço técnico e tecnológico nos Sistemas de Informação Geográficas onde o uso cada vez mais presente de metodologias de controle e monitoramento como os índices de vegetação se mostram como importantes aliados à compreensão do estado do ambiente, se projetando como importantes indicadores da qualidade ambiental do local analisado, servindo de subsídios a estratégias de conservação por parte de Unidades de Conservação e à elaboração de políticas públicas por parte de órgãos públicos visando igualmente a conservação do ambiente em suas funções naturais.

Uma importante ferramenta de análise ambiental presente neste trabalho é a análise da suscetibilidade da trilha pelo método AHP. Desenvolvido na década de 1970 por Thomas Saaty, o método AHP é “...uma ferramenta de tomada de decisões, que pode auxiliar no ajuste de prioridades e torna a decisão racional e não intuitiva e subjetiva” (MARTINS e COELHO, 2012, p.71).

O modelo é concebido na criação de uma hierarquia de decisão, onde a mesma é composta por níveis hierárquicos, os quais permitem uma visão geral das relações presentes no processo (SILVA e NUNES, 2009). Faria e Augusto Filho (2013) expõe que a teoria baseia-se no funcionamento da mente humana, em sua capacidade de utilização da informação e a experiência para se estimar magnitudes relativas, com um procedimento compreensivo e racional para se modelar um problema de decisão.

Silva e Nunes (2009) apontam ainda que de modo a estabelecer a importância relativa a cada fator da hierarquia, realiza-se a elaboração de matrizes de comparação de cada nível, sendo os resultados das matrizes ponderados entre si. Tal modelo baseia-se na lógica de comparação par a par, na qual a influência de diferentes fatores na tomada de decisão é

organizada em hierarquia, comparados entre si e um valor de importância relativa (peso) é atribuído a relação de tais fatores, de acordo com uma escala pré-definida, a qual expressa a intensidade com que um fator predomina sobre o outro, auxiliando na tomada de decisão.

Outra importante análise permitida pelas ferramentas de Geoprocessamento é a respeito dos riscos e susceptibilidades a eventos naturais pelas quais os ambientes podem passar. No que tange aos impactos e estágio de degradação dos solos em trilhas, é importante mencionar que as atividades antrópicas são responsáveis por diversas transformações do espaço físico natural, necessitando de controle e atenção, conforme apontado, quando levamos em consideração o seu potencial de impacto (GIRÃO, *et al.* 2018).

Nesse sentido, no âmbito do uso dos espaços naturais pela sociedade, que é importante, devendo, porém, ser realizado de forma planejada, os riscos se projetam como inerente à existência da sociedade. Veyret (2007) o conceitua como a: “Percepção de um perigo possível, mais ou menos previsível por um grupo social ou por um indivíduo que tenha sido exposto a ele” (p.25), deixando claro que não há riscos sem uma população ou grupo de indivíduos que o perceba, bem como poderia sofrer seus efeitos, sendo, então, o risco a tradução de uma ameaça, de um perigo para aquele que está sujeito a ele e o percebe como tal.

Além do presente exposto, Girão (*et al.*, 2018) complementam que os riscos são existentes quando existem um conjunto de variáveis naturais e sociais, os quais culminam na ocupação irregular, inclusive aos usos diversos em ambientes cujas condições físico naturais tendem ao frágil.

Os mesmos autores supracitados abordam também sobre o conceito de suscetibilidade, sendo este “...o quão provável um determinado fenômeno pode ocorrer independente dos fatores sociais, mas tendo a sociedade como elemento de interferência que acelera ou retarda” (p.73). Continuam abordando que a ação humana atua como ferramenta de modificação da dinâmica natural, acelerando-a ou retardando-a. Um outro ponto é que a suscetibilidade é específica a um fenômeno. Desta maneira, as características do meio podem o tornar mais vulnerável aos movimentos de massa e menos a outras dinâmicas ambientais como as inundações, por exemplo.

Ao analisarmos qualquer área de estudo, esta necessariamente possui características naturais que refletem os elementos dominantes no ato de sua gênese, ou equivalente ao processo de sua formação, modelagem e transformação (GIRÃO, 2017). Em um cenário de discussão ambiental, diagnosticar uma área expressa descrever suas particularidades, compreendendo o processo que resultou as mesmas. Saber diferenciar os ambientes naturais possibilita comparar e estipular quais são mais frágeis e/ou instáveis que outros (GIRÃO, *et al.* 2018).

Isto posto, a suscetibilidade é um importante conceito de discussão. Ao tratar-se de meio ambiente, significa dirigir-se ao erro separar a dimensão humana do natural. A sociedade, enquanto principal agente transformador da natureza, tem a capacidade de produzir condições diversas de instabilidade e fragilidade, o que gera risco, na possibilidade de alguém ser afetado. Ao considerar que a instabilidade do meio pode existir independente do uso humano, refletimos que o uso e ocupação antrópica é capaz de acentuar e gerar maior suscetibilidade e o consequente risco (GIRÃO, *et al.* 2018).

Desta maneira, o presente trabalho, ao propor mapeamentos de cobertura vegetal, mapeamentos geomorfológicos e de suscetibilidade erosiva, compreende a suscetibilidade natural dos ambientes, intensificada com o uso antrópico visando fornecer mais um subsídio à gestão da unidade, de modo a realizar um correto manejo a trilha e que esta continue a exercer suas funções ambientais, sendo elo entre o visitante e o ambiente natural, propiciando lazer e sendo uma potencialidade a educação ambiental com vistas a conservação ambiental.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo compreende os procedimentos metodológicos da pesquisa, de modo a se alcançar os objetivos definidos. Apresenta-se também o fluxograma que mostra as etapas realizadas, apontando para o objetivo final do trabalho.

3.1 Levantamento Bibliográfico

Para a presente dissertação, foram levantados dados pré-existentes em órgãos governamentais, relatórios, legislações, periódicos especializados, anais de eventos, monografias, dissertações, teses e livros sobre o tema da dissertação de Mestrado, com vistas ao levantamento bibliográfico relacionado à temática da degradação do solo em trilhas relacionados com seu uso, caracterizando suas propriedades físicas.

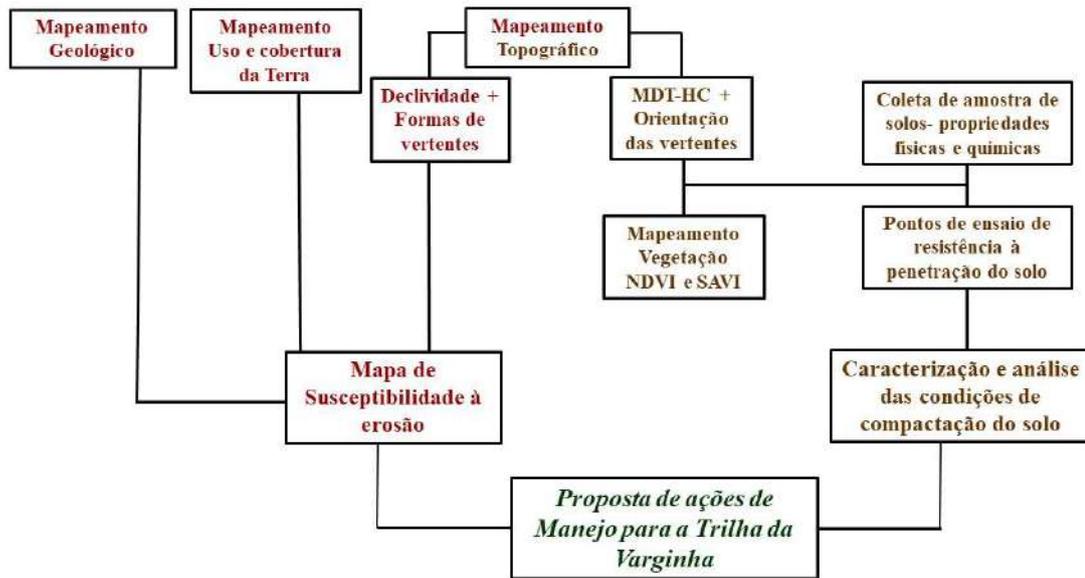
Desta forma, os temas pesquisados foram: Unidades de Conservação, Trilhas e seus impactos associados ao uso, Solos e suas propriedades físicas e Erosão dos solos.

3.2 Fluxograma Metodológico

A seguir, é apresentado o fluxograma metodológico da presente pesquisa (Figura 5), compreendendo as etapas para sua completa realização. Destaca-se que os mapeamentos topográficos realizados, os de análise da vegetação por NDVI e SAVI, Uso e Cobertura do Solo, representam importante análise ambiental, subsidiando o Mapa de Suscetibilidade Erosiva.

Para a área de estudo e seu recorte especial, há uma proposta inicial de mapeamento de suscetibilidade erosiva realizada por Oliveira *et al.* (2014), na qual aponta a Trilha da Varginha como área sujeita a tais processos. Entretanto, de modo a atualizar, de forma mais detalhada, o trabalho mencionado, foi realizado um novo mapeamento, com base no método A.H.P., que atribui pesos e medidas às variáveis ambientais, fornecendo mais um aporte ao entendimento dos processos erosivos da área de estudo em análise.

Figura 14 – Fluxograma Metodológico.



Fonte: O autor, 2020.

3.3 Mapeamentos Topográficos

Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistido

Para melhor compreensão da geomorfologia da área de estudo e seus processos associados, foram gerados e analisados mapeamentos de modo a fornecer suporte para o presente estudo. Estes consistem na localização da área de estudo (Trilha da Varginha), bem como dos mapas de Declividade e Orientação de vertentes, subprodutos da elaboração do Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistido (MDT-HC) e o mapa das Formas do terreno.

Para tal, os arquivos shapefile utilizados na elaboração dos referidos mapas foram: Pontos cotados, Curvas de Nível e Drenagem do Maciço Gericinó-Mendanha, além do Estado do Rio de Janeiro, selecionando-se os municípios de Nova Iguaçu e Mesquita, e exportando-os como arquivo shapefile, todos extraídos da base cartográfica do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), com escala 1:25.000.

O mapa de formas do terreno foi realizado a partir do cruzamento entre os mapas de curvatura horizontal e curvatura vertical, também extraídas da base cartográfica do INEA,

escala 1:25.000, conforme metodologia proposta por Valeriano (2008), sendo o shapefile, com as formas do terreno do Maciço Gericinó-Mendanha gentilmente cedido por Wilson Messias dos Santos Junior, que realizou este mapeamento do maciço, em sua tese de Doutorado realizada em 2019.

Os shapefiles dos limites do PNMNI e da Trilha da Varginha foram extraídos da base cartográfica do Laboratório de Geoprocessamento da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – LAGEPRO/UERJ, também na escala de 1:25.000. O software onde foram realizados os referidos mapeamentos foi o ArcGis versão 10.4, sob licença concedida ao referido laboratório acima citado. Todas as bases mencionadas anteriormente já se encontravam reprojatadas para SIRGAS 2000, fuso 23 S. Os mapeamentos propostos, bem como suas aplicações, foram analisados a partir da metodologia proposta por Embrapa (1979), Valeriano (2008), Guerra (2015) e Marques (2016).

Mapa de Localização da Área de Estudo e do Recorte Espacial Selecionado

De modo a reforçar a importância da visão sistêmica mencionada neste trabalho, este mapa procurou situar a trilha em análise dentro das sub-bacias das quais se encontra. Porém, antes da delimitação das sub-bacias da área de estudo, fez-se necessária a elaboração de seu MDT-HC como primeiro passo. Este pode ser entendido como uma ferramenta de predição hidrológica, que é formada a partir de informações no que tange a características da superfície terrestre em ambiente computacional (MARQUES, 2016), onde a finalidade da garantia de que o escoamento superficial tenda à convergir para a rede de drenagem é objetivo deste modelo, visando garantir um formato mais fiel a realidade (BAENA *et al.*, 2004).

Nesse sentido, para a elaboração do MDT-HC da área de estudo, utilizou-se os pontos cotados, as curvas de nível, a drenagem, o limite do PNMNI e a trilha da varginha para sua elaboração.

Um ponto importante a ser mencionado é que o shapefile do limite do PNMNI representa os limites da data de sua criação, em 1998. Porém, passando-se o tempo e até mesmo com a emancipação de Mesquita enquanto distrito de Nova Iguaçu, tornando-se um município a parte, o Parque teve sua área aumentada, onde este limite não representa os acréscimos feitos com o passar dos anos e ainda não há uma versão atualizada dos limites do PNMNI.

Tal justificativa se evidencia quando, ao olhar o mapa apresentado por Oliveira e Costa (2017) (Figura 1), percebe-se que a entrada principal do Parque, pelo Bairro Coréia, em Mesquita, apresenta-se fora de seus limites oficiais. O mesmo ocorre com a Trilha da Varginha, apresentado neste trabalho, onde é possível perceber que a mesma extrapola os limites oficiais do Parque, de 1998, sendo a criação do traçado da trilha datando de 2008.

Por este motivo, realizou-se um buffer de um quilômetro e meio (1,5 km) a partir dos limites oficiais do Parque, de modo a poder abarcar a totalidade da trilha em estudo e sua situação em suas sub-bacias. Posteriormente, foram clipados para dentro da área do buffer gerado as informações da drenagem, dos pontos cotados e das curvas de nível, uma vez sendo estas de todo o Maciço. Assim sendo, através do caminho no ArcGis 10.4: Arctoolbox/ 3D Analyst Tools/ Raster Interpolation/ Topo to Raster, foi gerado o MDT-HC da área de estudo com a extensão .tif.

Tendo-se elaborado o MDT-HC, através do caminho Arctoolbox/ Spatial Analyst Tools/ Hydrology/ Basin, foram geradas, semiautomaticamente, os limites das sub-bacias das quais a área de estudo está presente, também com a extensão tif. De modo a poder trabalhar melhor com as bacias presentes na área de estudo, converteu-se esse dado, do formato raster para vetor, usando-se o caminho na Arctoolbox/ Conversion tools/ From raster/ Raster to Polygon. Estabelecidas as sub-bacias, estas foram delimitadas semi automaticamente, através do uso das curvas de nível, sendo visualmente observadas as áreas de linhas côncavas na carta topográfica, em especial a sub-bacia do Rio Botas, uma vez que a drenagem apresentada se mostra incompleta, justificado pelo tamponamento dos rios devido a urbanização.

Assim sendo, delimitou-se a sub-bacia do Rio Botas com base em ortofotos e no relato da gestão da Unidade, que confirma o tamponamento dos rios, aparecendo em linhas de drenagem que correspondem a trechos destes em superfície mais a jusante, já conduzindo águas de má qualidade. Destaca-se que muitos dos rios, inclusive os que drenam a sub-bacia do Rio Botas são temporários, tornando-se evidentes no período das chuvas mais intensas. No caso da sub-bacia do Rio Dona Eugênia, por estar situado dentro do Parque, possui sua drenagem mais completa e evidenciada, o que facilitou sua delimitação semi automática.

Situada a trilha e delimitadas as sub-bacias, todos os mapeamentos que se seguem foram clipados para dentro das sub-bacias onde a Trilha da Varginha estabelece seu curso.

Para a finalização do mapa de localização, foram criadas duas layers, de modo a uma evidenciar a área de delimitação do Parque em seu enquadramento Estadual e a outra situar a UC no contexto regional, entre os municípios de Nova Iguaçu e Mesquita.

Mapa de Declividade

Tomando por base o MDT-HC da área de estudo, utilizou-se o caminho: Arctoolbox/ 3D Analyst Tools/ Raster Surface/ Slope para se gerar a declividade. A mesma foi estabelecida em graus tomando-se por base a metodologia proposta por EMBRAPA (1979), onde, a partir das seis classes de declividade, é possível não apenas compreender a morfologia do terreno, como também prováveis áreas de classes de solos.

Clicando-se com o botão direito neste raster criado, a função “properties” nos conduzirá a configuração para o estabelecimento das seis classes. Em “Symbology” definem-se as classes, utilizando-se o item “Classified”, onde aparecerá a tabela para definição das classes, sendo elas, em graus. No item “Classes” colocou-se o número seis e em Classify, usou-se estes valores que estão de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1979). Em Label, foram colocadas as seguintes classes: 0 – 3; 3 – 8; 8 – 20; 20 – 45; 45 – 56; e 56 – 58. A EMBRAPA (1979) (Quadro 2), define suas duas últimas classes como 45 – 75 e > 75, ambas também em graus.

Destaca-se que foi realizada uma adaptação, uma vez que a maior declividade na área de estudo não ultrapassou os 57°. Desta forma, colocou-se a última classe compreendendo entre 56° e 58°, procurando adaptar de acordo com a realidade da área da trilha, sem perder o rigor metodológico, uma vez que tais classes, embora presentes na sub-bacia do Rio Botas, não abarcam a área da trilha e sim da pedreira desativada Vigné onde hoje funciona o Shopping de Nova Iguaçu.

Quadro 2 – Classificação da declividade.

Classificação da Declividade segundo a Embrapa (1979)	
Declividade	Discriminação
0 – 3	Relevo Plano
3 – 8	Relevo Suavemente Ondulado
8 – 20	Relevo Ondulado
20 – 45	Relevo Fortemente Ondulado
45 – 75	Relevo Montanhoso
> 75	Relevo Fortemente Montanhoso

Fonte: Embrapa, 1979.

Mapa de Orientação de Vertentes

Tomando-se por base o MDT-HC, o caminho é bastante similar ao anterior, contudo, utilizando a ferramenta Aspect. Tem-se, então, a sequência: Arctoolbox/ 3D Analyst Tools/ Raster Surface/ Aspect.

Mapa de Formas do Terreno

Tal mapeamento foi realizado através do cruzamento das linhas vertical e horizontal, contidas em shapefile, gentilmente cedido por Wilson Messias dos Santos Júnior, em sua pesquisa de análise no maciço Gericinó-Mendanha (INEA, escala 1:25.000). A escala de cores de representação segue a metodologia proposta por Valeriano (2008).

Destaca-se que embora as informações das formas de terreno cubram todo o limite da Sub-Bacia do Rio Dona Eugênia e praticamente toda a Sub-Bacia do Rio Botas, o limite do Parque corta a trilha exatamente em sua metade, na passagem de sub-bacias, fornecendo, desta forma, ao leitor, a situação de onde ocorrem as classes de formas do terreno.

3.4 Quadro Analítico de Pluviosidade e Mapa de Situação da Estação Meteorológica selecionada

O presente trabalho, em seu embasamento teórico, buscou deixar evidente a relação entre a precipitação e os processos erosivos. Desta forma, buscou-se analisar a precipitação média ocorrente na área da Trilha da Varginha. Para tal, buscou-se as estações pluviométricas mais próximas do PNMNI.

Pela maior proximidade, a estação escolhida para análise pluviométrica foi a monitorada pela Agritempo-EMBRAPA, denominada pelo órgão de Estação TRRM. 1000 (<<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estacao/index.jsp?siglaUF=RJ>>, latitude - 22,75 (S) e longitude -43,50 (O)), situada em Comendador Soares, Nova Iguaçu, tendo seu

início de operação em 01 de Março de 2000 até o presente momento, sendo coletados dados de pluviosidade compreendendo o período de 01 de Janeiro de 2008 a 31 de Dezembro de 2018, de modo a poder comparar tais dados de pluviosidade com o NDVI e SAVI gerados no presente trabalho. Além do quadro com os dados mensais de pluviosidade, feito no software Excel do Windows, realizou-se um gráfico, no mesmo software, das médias pluviométricas anuais de precipitação, de modo a permitir a análise anual dos dados levantados.

3.5 Avaliação da Cobertura Vegetal pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Vegetação por Ajuste do Solo (SAVI)

Para a presente pesquisa, a metodologia utilizada para a análise da cobertura vegetal foi a do Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação por Ajuste de Solo (SAVI). O primeiro foi escolhido devido a ser um dos índices mais comumente usados em análises e estudos de vegetação, fornecendo informações com relativa facilidade de interpretação e qualidade. Já o SAVI, contendo uma constante de ajuste do solo, foi escolhido de modo a fornecer um maior refinamento aos mapas de NDVI propostos.

A escolha pela utilização do SAVI também se justifica, pois na sub bacia do Rio Botas, além de possuir uma vegetação com maior predominância de pastos (Capim Colonião), a área, em especial nos meses de inverno, sendo estes mais secos, está sujeita a incêndios oriundos de queimadas realizadas na zona de amortecimento do Parque, conforme registro e relatos da gestão da Unidade (BEZERRA *et al.*, 2015) deixando a vegetação nesta Sub Bacia, de forma geral, com um porte ainda menor, quando não deixando o solo totalmente exposto.

Assim sendo, como a Sub Bacia do Rio Dona Eugênia possui um porte vegetativo, arbóreo/arbustivo, diminuindo o porte (passando a herbáceo), conforme se eleva a altitude e se aproxima do divisor topográfico, com a Sub Bacia do Rio Botas. Neste trecho, o capim colonião se faz presente de forma mais intensa, neste caso, optou-se por utilizar a constante L do SAVI no valor de 0,5, onde Silva e Galvêncio (2012) apontam tal valor para vegetação intermediária, uma vez que a trilha corta duas Sub Bacias com portes vegetativos diferentes.

Para a realização dos mapeamentos propostos foram utilizadas imagens do Sensor TM do satélite LANDSAT-5 e OLI-TIRS do satélite LANDSAT-8. Para o primeiro, foram usadas as bandas 3 (Red) e 4 (Infrared) e para o segundo, as bandas 4 (Red) e 5 (Infrared), ambos do ponto 217/076. As imagens do satélite Landsat 5 datam dos meses de Março e Agosto de 2008

e do Landsat 8 de Março e Julho de 2018, estas obtidas gratuitamente no catálogo da plataforma USGS (United States Geological Survey) após breve cadastramento.

A escolha das imagens em suas datas correspondentes visa a comparação entre os meses de verão, mais chuvosos, com os de inverno, mais secos, conforme o clima da área e as comparações feitas em geral com o uso do NDVI e SAVI para controle e monitoramento da cobertura vegetal.

Uma vez adquiridas as bandas, realizou-se um tratamento nas mesmas que consistiu na transformação dos níveis de cinza em reflectância, além de correções atmosféricas no software gratuito Quantum Gis® 2.18 por meio do plugin denominado Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) onde, através da ferramenta DOS1 Correction, realizaram-se as correções atmosféricas das imagens subtraindo-se os objetos escuros. Tal plugin, desenvolvido por Congedo (2016), tem a possibilidade de melhoria na estimativa da reflectância da superfície terrestre, sendo de grande utilidade uma vez não disponíveis outros tipos de correções atmosféricas, segundo este autor.

A etapa seguinte consistiu, novamente, na utilização do software ArcGis 10.4, reprojetoando as coordenadas das bandas das imagens adquiridas de ambos os satélites para SIRGAS 2000. O caminho utilizado para a conversão consistiu na ferramenta Project Raster, localizada em Arctoolbox.

Realizada a correção atmosférica e a reprojeção das imagens, o passo seguinte consistiu em fazer um buffer de 1,5 km da trilha, devido a mesma não se situar totalmente nos limites do Parque, conforme explicitado, de modo a toda a área da mesma ser contemplada (Leiro, Borda e Área sem pisoteio) com a análise dos índices de vegetação para, em seguida, realizar o “clip” das imagens de satélite nos limites do buffer de 1,5 Km gerado para a trilha.

Os valores de análise da cobertura vegetal variam entre -1 e 1, sendo a maior proximidade de 1 indicando a maior densidade da cobertura vegetal e os valores próximos a zero a ausência da cobertura vegetal. Silva e Galvínio (2012) apontam que este índice pode alcançar valores negativos dependendo do tipo de solo.

Com base no exposto anteriormente, é importante aqui se destacar que o NDVI e o SAVI não diferenciam tipos vegetativos. Uma vez seus resultados indicando valores próximos de 1, apontam que no local analisado há maior densidade dada pela reflectância das folhas. Entretanto, Silva e Galvínio (2012), destacam que, no que tange as coberturas vegetadas, os valores positivos entre 0.5 e 1.0 podem indicar vegetação densa, típica de florestas temperadas e tropicais. Valores entre 0,2 e 0,5 podem indicar vegetação de gramíneas, de pequeno porte ou arbustiva e vegetação esparsa, e valores entre 0,1 e 0,2 para solos. A interpretação dos dados na

literatura consultada, porém, não necessariamente e nem sempre considera o acima exposto, classificando os índices encontrados de acordo com sua densidade, conforme explicitado.

A equação utilizada para o NDVI consiste em:

$$\text{NDVI} = (\text{pIVP} - \text{pV}) / (\text{pIVP} + \text{pV}) \quad (1)$$

Sendo:

pIVP = valor de reflectância da banda infravermelho próximo;

pV= valor de reflectância da banda vermelho

Possuindo o NDVI problemas e limitações no que tange aos sinais saturados da biomassa, efeitos da radiação atmosférica e grande influência do brilho e efeito espectral do solo (HUETE *et al.*, 2002), o mesmo, conforme informado, foi utilizado na presente pesquisa objetivando um resultado mais fiel a análise da cobertura vegetal pretendida.

Para o SAVI, a equação utilizada consiste em: $\text{SAVI} = \text{NIR} - \text{RED} / \text{NIR} + \text{RED} + L * (1+L)$. Silva e Galvêncio (2012) expõem que, de acordo com a densidade da cobertura vegetal analisada, os valores da constante L podem variar entre 0 e 1, sendo 1 empregado em áreas que apresentam baixa densidade de vegetação; o valor 0,5 para uma densidade intermediária de vegetação; e 0,25 empregados em áreas com grande densidade vegetativa. Uma vez o fator L sendo igual 0, o índice SAVI torna-se igual ao NDVI.

Conforme explicitado, a escolha do valor 0,5 da constante L para a Trilha da Varginha motivou-se devido a mesma possuir cobertura vegetal em diferentes estágios sucessionais, com grande presença do capim colônia na transição entre as sub bacias e solos expostos na sub bacia do rio Botas, na suposta cratera do vulcão de Nova Iguaçu.

3.6 Mapa de Uso e Cobertura da Terra

O mapa de Uso e Cobertura da Terra proposto no presente trabalho objetiva fornecer um panorama atual da cobertura presente no solo, de modo a fornecer informações úteis ao planejamento e gestão a partir do entendimento das classes presentes na área de estudo. Desta forma, o Shapefile de Uso e Cobertura da área de estudo também foi gentilmente cedido por Wilson Messias dos Santos Junior em pesquisa mencionada no Maciço Gericinó-Mendanha onde, para geração de tal informação, o autor adquiriu uma imagem da área do satélite Sentinel-

2 (Composição 432-Multiespectral) de resolução 10 metros em Junho 2016 (SANTOS JUNIOR e COSTA, 2017), onde a imagem foi classificada de forma semi automática, possuindo escala de semi detalhe, em 1:10.000.

Assim sendo, bastou-se realizar o “Clip” das informações de Uso e Cobertura para dentro da área das sub-bacias pelas quais a trilha em apreço perpassa e será analisado com base no trabalho proposto em 2017.

3.7 Mapa de Susceptibilidade Erosiva – Método AHP

De modo a fornecer mais um subsídio para a análise da dinâmica ambiental na trilha em estudo, foi realizado um mapa de susceptibilidade erosiva, sendo utilizado o método da Análise Hierárquica de Processos (Analytic Hierarchy Process, AHP), metodologia esta que fornece subsídios à tomada de decisão multicritério, sendo aplicada, neste contexto, para a análise das áreas mais suscetíveis à erosão na Trilha da Varginha a partir da análise integrada das variáveis selecionadas.

Para tal, foram utilizadas quatro categorias analíticas para cruzamento, sendo elas: Declividade (O AUTOR, Inédito, 2020); Uso da terra e cobertura vegetal (SANTOS-JUNIOR; COSTA, 2017), Formas do terreno (SANTOS-JUNIOR, 2019) e Geologia (VALENTE; MELLO; PALERMO, 2005).

O procedimento constituiu-se primeiramente na construção da base de dados, padronizando os shapefiles a serem utilizados para a elaboração do mapa de susceptibilidade erosiva.

O próximo passo foi a elaboração dos mapas temáticos ou de fatores, convertendo os shapefiles em vetores para raster através do arctool box/ spatial analysis/ conversion tools / from raster / feature to raster. Após isto, com todos os mapas convertidos em raster, realizou-se a reclassificação destes utilizando a ferramenta reclassify, atribuindo-se neste momento as notas de cada classe presente nos mapas.

Após a atribuição das notas, definiram-se os pesos a partir do plugin da AHP, realizando-se a hierarquia, a matriz e o cálculo da consistência, de modo a conferir se os valores estavam superestimados. Em seguida realizou-se a álgebra de mapas, cruzando-se os mapas com os pesos e notas atribuídas através da raster calculator, obtendo-se o resultado do mapeamento.

Por fim, realizou-se a reclassificação, reagrupando os valores obtidos de acordo com as classes para o mapa de susceptibilidade erosiva, sendo quatro classes (Muito alta, Alta, Média e Baixa).

Destaca-se que os dados apresentados possuem diferentes escalas, sendo o Uso e Cobertura em escala 1:10000, Declividade e Formas do Terreno em escala 1:25000 e o Geologia em escala 1:50000, portanto o mapa final caracteriza-se por ser multiescalar.

No caso da presente pesquisa, a identificação das áreas mais propensas aos processos erosivos forneceu subsídio, não apenas à indicação das áreas com solo mais compactado, mas também dos ambientes frágeis, naturalmente, que podem colocar em risco o visitante que faz uso da trilha, sendo valiosa informação para a gestão do PNMNI para ações de mitigação, reduzindo, inclusive, os processos de assoreamento devido ao transporte de partículas às áreas mais baixas do relevo.

Rodrigues *et al.* (2017) nos apontam então que o mapeamento da dinâmica ambiental da erosão permite diagnosticar a possibilidade de ocorrência de problemas ambientais em determinada área, uma vez representando as áreas com maior ou menor susceptibilidade, de acordo com as características que o ambiente expõe, indicando as áreas mais propensas à atuação de tais processos, auxiliando na tomada de decisão da Unidade de Conservação conforme acima mencionado.

Caracterizado o funcionamento do modelo no item 2.4 da Fundamentação Teórica da presente pesquisa, Saaty (1991) expõe que em relação à escala de valores pré-definida (Quadro 3), um fator que possuir maior importância que outro irá receber um valor numérico inteiro de acordo com esta importância, porém, o fator que possuir menor importância receberá o valor inverso, em forma de fração.

Quadro 3 – Escala de valores de Comparação do AHP - Escala Fundamental de Saaty.

Valores	Importância	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2, 4, 6, 8	Valores Intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Modificado de SAATY, 1991; 2013.

Na mesma perspectiva de Ribeiro (2013) e Oliveira (2017), de modo a definir a hierarquia dos critérios e pesos dos fatores analisados, utilizou-se o método Delphi, com o parecer de especialistas que conhecem não apenas a área de estudo, mas também as categorias analisadas, onde a aqueles foi solicitado que realizassem a hierarquização das categorias selecionadas, além de pontuar ordenadamente em importância para a ocorrência da suscetibilidade erosiva.

Ressalta-se que, para o presente caso, o levantamento bibliográfico sobre o tema analisado, bem como a realização de uma série de trabalhos de campo, entre setembro a dezembro de 2019, deram subsídios à pontuação do grau de importância de cada fator analisado.

O software utilizado para a elaboração do presente mapa foi o ArcGis 10.4, sendo os cálculos realizados em etapas. Seguindo a seguinte sequência: introduziram-se os planos de informação (em raster) definindo-se a matriz de comparação pareada dos fatores analisados, atribuindo-se valores e julgando-os conforme a escala proposta por Saaty (1991) (Quadro 4), fornecendo o software o cálculo automático da matriz com os pesos de cada fator, a média de cada critério de acordo com a comparação paritária, que é a importância relativa de cada fator e a relação mútua entre eles.

Após este passo, segundo Rezende *et al.* (2017), estabeleceram-se as notas finais, com a normalização dos valores anteriormente encontrados.

Martins e Coelho (2012) expõem que: “O método AHP admite que a inconsistência pode ser inerente ao comportamento humano.” (p.73). Neste cenário, apresentam-se os cálculos do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC), que possui finalidade de verificar o resultado final da matriz, apontando se os dados estão logicamente relacionados.

Rezende *et al.* (2017) apresentam que o IC tem seu uso para a obtenção de uma estimativa aceitável em relação aos pesos estatísticos que resultaram do método AHP, havendo a necessidade de verificar se o valor do λ_{\max} (valor máximo do autovalor λ) está próximo do número de fatores utilizados para o cálculo (SAATY, 1991; Oliveira, 2017).

O cálculo do IC, apresentado por Rezende *et al.* (2017), é: $IC = \lambda_{\max} - n / (n-1)$.

Uma vez sabendo o valor de IC, é possível realizar o cálculo da razão de consistência. Para este, porém, é necessário utilizar o valor do Índice Randômico (IR), este que é extraído da tabela de valores para matrizes estabelecidas pelo Oak National Laboratory (REZENDE *et al.*, 2017). Utilizando o presente mapa quatro fatores para análise, conforme exposto no início desta seção, seu valor de IR corresponde a 0,90. Abaixo, apresenta-se o Quadro que expõe os valores de IR de acordo com as matrizes quadradas de ordem n.

Quadro 4 – Tabela de Consistência Aleatória

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR/CA	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de SAATY, 1991.

O cálculo da RC é concebido, então, através da divisão entre o IC e o IR.

$$RC = IC / IR$$

A Razão de Consistência deve ser igual ou menor que 0,10 para que seja considerada aceitável e consistente, onde Rezende *et al.* (2017) discorrem que tal passo tem relevância de modo a demonstrar a coerência e confiabilidade da informação gerada, permitindo a elaboração de novos pesos em caso de eventuais erros.

A próxima etapa compreendeu a elaboração da média ponderada. Para tal, selecionaram-se os planos de informação no formato raster utilizando-se a ferramenta Raster Calculator do Software ArcGis 10.4, sendo as classes de cada categoria reclassificadas em uma escala de 1 a 5, é: 1= Muito Baixo; 2= Baixo; 3= Médio; 4= Alto; 5= Muito Alto, em ordem crescente de influência e relevância, sendo a hierarquia da escala definida com base nos trabalhos de Ross (1994); Spörl e Ross (2004); Massa e Ross (2012). Em seguida, elaborou-se o mapa de suscetibilidade erosiva através da ferramenta Raster Calculator, sendo reclassificado e dividido em (número) classes de intervalo, de acordo com a suscetibilidade, de muito baixa a muito alta.

Abaixo apresentam-se as descrições de cada variável utilizada para a análise da suscetibilidade erosiva na área de estudo:

- a) Declividade: (O AUTOR, inédito, 2020; classificação da declividade - EMBRAPA, 1979, p. 27) (Escala de 1:25.000):
 - Plano (0-3%) – superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos;
 - Suave ondulado (3-8%) – superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas da ordem de 50 a 100 m, respectivamente), apresentando declives suaves;
 - Ondulado (8-20%) – superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros;

- Forte ondulado (20-45%) – superfície de topografia movimentada formada por outeiros e/ou morros (elevações de 100 a 200 m de altitude relativa);
 - Montanhoso (45-75%) superfície de topografia vigorosa, com predominância de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes;
 - Escarpado (>75%) – regiões ou áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo escarpamentos tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuevas, falésias, vertentes de declives muito fortes de vales encaixados, etc.
- b) Uso e Cobertura: (SANTOS-JUNIOR; COSTA, 2017; classificação SANTOS-JUNIOR; COSTA, 2017, com adaptação dos autores da Resolução CONAMA nº 06, 1994) (Escala de 1:10.000):
- Floresta Ombrófila Avançada: Vegetação em avançado estágio de regeneração, manifestando fisionomia arbórea, cobertura fechada com formação de dossel, que pode apresentar árvores emergentes com sub-bosque com diferenciação de um ou mais estratos, alta variação de espécies lenhosas, com árvores de altura superior a 20 metros e idade superior a 25 anos. Ocorre a presença de cipós, trepadeiras e epífitas, com presença de serapilheira em decomposição intensa;
 - Floresta Ombrófila Média: Compreende as espécies vegetativas em estágio médio ou intermediário de regeneração, possuindo fisionomia arbóreo-arbustiva, cobertura fechada, iniciando-se a diferenciação em estratos e surgimento de espécies de sombra. A altura média das árvores varia entre 5 até 12 metros, com idade entre 11 e 25 anos, com presença constante de serapilheira, estando também presentes plântulas e sub-bosque. Havendo presença de trepadeiras, estas são em predominância lenhosas. Ocorrência de árvores de grande porte misturadas a arbustos. Percebe-se a diferenciação das espécies, uma vez ocorrendo árvores de grande porte realizando cobertura fechada em meio a arbustos;

- Floresta Ombrófila Inicial: Compreende as espécies vegetativas em estágio inicial de regeneração, possuindo fisionomia herbácea/arbustiva com cobertura aberta ou parcialmente fechada, havendo indivíduos predominantemente heliófilas, plantas lenhosas, altura média variando até 5 metros, idade compreendida entre 0 e 10 anos, sendo espécies de rápido crescimento e curto ciclo biológico. Há possibilidade de ocorrência de trepadeiras e há ausência de sub-bosque. Em relação à serapilheira, se existir, forma fina camada com pouca decomposição, sendo contínua ou não;
- Pastagem: Compreende áreas com intervenção antrópica com implantação de pastagens ou algum cultivo. Desse modo, compreende vegetação rasteira (herbáceas), com diferentes tipos de manejo, incluindo-se neste cenário áreas abandonadas e degradadas;
- Solo exposto: Compreende as áreas com cobertura vegetal removida quer seja total ou parcialmente, compreendendo seu uso por atividades agrícolas, com o solo arado para o plantio, reforma de pasto, corte e aterro, segundo os autores. Há, ainda a possibilidade de tais áreas estarem sobre a influência de processos erosivos, fato este que interessa a presente pesquisa e foi detectada nos trabalhos de campo. Neste cenário também se incluem as queimadas, fato recorrente nos meses mais secos do ano, que também colabora para a remoção da vegetação e surgimento de áreas com solo exposto.

c) Formas do Terreno: (VALERIANO, 2008; SILVA NETO, 2013; MARQUES, 2016) (Escala 1:25.000)

Em relação às formas do terreno, Valeriano (2008) e Silva Neto (2013) nos expõe que estas são fruto da associação entre as curvaturas horizontais e verticais do terreno, compondo nove classes distintas para as formas do terreno, a saber: Côncavo convergente, planar e divergente; Convexo convergente, planar e divergente; Retilíneo convergente, planar e divergente.

Desse modo, entendendo a relação entre as curvaturas horizontais e verticais, depreende-se que as formas côncavas representam maior convergência de fluxos superficiais, as formas convexas maior divergência de fluxos superficiais. As formas retilíneas apresentam um comportamento mais nulo, em especial na forma planar.

Assim, a classe côncava convergente, por ser a que concentra mais fluxos superficiais e ser a mais vulnerável aos processos erosivos receberá um peso maior que a classe convexa divergente, por exemplo, estando esta com um grau menor de susceptibilidade a perda de solos se comparada com a primeira. E esta última receberá um peso maior que a retilínea planar, por possuir um comportamento nulo.

d) Litologia (VALENTE; MELLO; PALERMO, 2005) (Escala de 1:50.000):

- Sienito – unidade sienítica indiferenciada de rocha ígnea plutônica, alcalina, com coloração cinza. A unidade inclui litotipos de diferentes texturas, de finos a grossos, sendo tanto inequigranulares quanto equigranulares, que, em geral, apresentam características mineralógicas semelhantes, compostos essencialmente por feldspatos alcalinos, biotita, anfibólio e piroxênio;
- Traquito – classificada como rocha ígnea, possui granulometria fina e feldspatos alcalinos. Ocorre inserida em diques ou através da solidificação de derrames lávicos. São intrusões tabulares de traquitos afíricos, traquitos porfiríticos e lamprófiros, e litotipos da unidade vulcânica lava representados por traquitos porfiríticos;
- Brecha – há dois tipos de brechas piroclásticas na área, as brechas oligomíticas com dimensões variadas entre 10,0 cm e 1,0 m, compostos essencialmente por sienitos e traquitos e as brechas polimíticas contendo fragmentos do embasamento cristalino, de proporção matriz/fragmentos muito baixa, com dimensões variadas entre 10 e 50 cm, e constituídos por sienitos, traquitos, gnaisses, anfibolitos e basaltos. A matriz é constituída por sienitos faneríticos de granulometria média a fina, com elevada disseminação de sulfetos;
- Lapilli – são fragmentos piroclásticos geralmente constituídos por traquitos, angulosos e arredondados, com dimensões médias variando entre 0,2 - 4,0 cm, podendo alguns destes atingir até 15,0 cm, sustentados por uma matriz de granulometria fina, composta por cinzas ou traquito afanítico;
- Sedimentos recentes – sedimentos quaternários provenientes de outras rochas e depositados nas áreas mais baixas.

- Gnaiss indiferenciado – unidade encaixante da unidade sienítica, constituída por ortognaisses, com dois tipos texturais distintos. Uma fácies é representada por ortognaisses de composição granítica, bastante deformados e caracterizados por bandamento conspícuo, onde intercalam-se bandas félsicas, que contêm quartzo e feldspato de granulometria variando de fina a grossa, e bandas máficas, que contêm principalmente biotita com granulometria variando de média a grossa. A outra fácies é representada por um ortognaisse granítico equigranular fino com cristais de feldspato preferencialmente orientados, preservando, contudo, a sua forma tabular.

Como justificativa das notas empregadas, em relação a declividade, a maior classe (56-58°) não contempla a trilha, conforme mencionado, e assim deixou-se sem nota. Levando em conta os valores por classe, e tendo apenas este item (declividade) como fator, as notas estabelecem o que a maioria da literatura científica recomenda, quanto maior o grau de declividade maior será seu peso determinístico. Entretanto enfatiza-se que ao analisar globalmente as variáveis, a declividade deve ter um peso menor em relação ao uso do solo, por exemplo neste estudo, fato este explicitado pelos pesquisadores consultados.

Em relação as Formas do Terreno, há uma significativa área com formas convexa-convergente e côncava-convergente, nota-se que ambas obtiveram maiores notas (9 e 10), uma vez que são áreas de maior potencialidade de transporte e erosão de partículas. Tal vai de acordo com os trabalhos de Bloom (1970) que afirma que as porções da vertente predominantemente côncavas há predomínio de transporte de material pela água, enquanto Cassetti (1995) afirma que formas côncavo-convergentes têm vulnerabilidade à perda de solos, pois os fluxos convergentes e concentrados levando ao escoamento superficial.

Já Bigarella (2003), expõe que a porção da vertente com características de côncavas potencializam a capacidade de geração de fluxo além de transportar partículas maiores do solo. E Silva *et al.* (2007) evidenciam que as formas côncavas são zonas preferencialmente para os processos erosivos se acentuarem, uma vez que as convergências dos fluxos de água consequentemente geram maior ruptura dos materiais do solo. Em suma, são formas geométricas e produtoras de fluxos que geram maior vulnerabilidade à perda de solos.

As baixas notas das formas convexa-planar e côncava planar (0,0) se respaldam na baixa ocorrência, pois na escala do mapa não há significância, embora, em geral sejam zonas

de formas importantes, por serem de transição entre áreas produtoras com fluxos paralelos e constantes, com papel de fontes de fluxo para áreas convergentes.

As formas retilíneas-divergentes, convexa-divergente e côncavas-divergentes embora expressivas na área do mapa, obtiveram notas 1, 2 e 3, respectivamente, por terem características de formas geométricas as quais atribuem valores de baixa vulnerabilidade à perda de solos, pois para Bigarella (2003) são formas geradoras de fluxo dispersante, isto é, divergentes com baixa contribuição direta à erosão, que conforme Bloom (1970) nas zonas convexas da vertente tem-se é a predominância do rastejamento. Sendo assim, pode-se afirmar que são zonas de pouca produção e concentração de fluxos e conseqüentemente de baixo potencial de erosão pluvial.

No que tange ao Uso e Cobertura, suscetibilidade erosiva entende-se que quanto menos houver um tipo de cobertura específica sobre o solo, maior será a suscetibilidade erosiva. As classes Solo Exposto e Extração Mineral apresentam maior suscetibilidade a erosão, por este solo está mais descoberto assim contribuindo mais para a suscetibilidade erosiva. A classe pastagem embora traga uma cobertura ao solo, está mais suscetível a ações antrópicas como queimadas e alimentação de bovinos e caprinos existentes na área. O pisoteio destas espécies no solo, ao se alimentar, contribuem para o processo de compactação do solo. Já os estágios de sucessão de vegetação são os que menos contribuem para a suscetibilidade erosiva pois a cobertura natural traz fatores de equilíbrio e estabilidade ao solo.

De acordo com Frendich *et al.* (1997), quanto maior for a cobertura vegetal, onde aqui entende-se o grau do estágio sucessional, menor será a erosão, ou seja, solos com uma cobertura vegetal maior estão menos suscetíveis a erosão do que solos expostos ou com pouca ou nenhuma cobertura vegetal, justificando assim as notas empregadas as classes deste shapefile.

Quanto a Geologia, as rochas vulcânicas (Aglomerados, Brechas Vulcânicas e Lappili) já mostram avançado estágio de maturidade do relevo, já que no mapa geológico (VALENTE *et al.*, 2005) representa um baixo percentual de afloramentos em relação aos demais litotipos.

As rochas subvulcânicas (Sienito e Traquito) são mais ricas em sílica e por isso mais resistentes aos processos erosivos. Os ortognaisses são rochas metamórficas mais antigas, com alto grau de heterogeneidades estruturais e, por isso, mais suscetíveis ao intemperismo e erosão.

No quadro 5 a seguir são apresentados os Pesos e notas utilizados pelo método de análise multicriterial para mapa de suscetibilidade a processos erosivos na área de estudo.

Quadro 5 – Notas utilizados pelo método de análise multicriterial para mapa de suscetibilidade erosiva na área de estudo (Continua).

<u>Classes de Declividade</u>	<u>Notas de 1 a 10 de acordo com a Susceptibilidade Erosiva</u>
0 – 3°	1
3 – 8°	2
8 – 20°	6
20 – 45°	7
45 – 56°	8
56 – 58°	Sem nota
<u>Classes de Uso e Cobertura</u>	<u>Notas de 1 a 10 de acordo com a Susceptibilidade Erosiva</u>
Floresta Ombrófila Avançada	1
Floresta Ombrófila Média	2
Floresta Ombrófila Inicial	3
Pastagem	4
Solo Exposto	8
Área de Extração Mineral	9
<u>Classes de Formas do Terreno</u>	<u>Notas de 1 a 10 de acordo com a Susceptibilidade Erosiva</u>
Convexa Convergente	9
Convexa Divergente	2
Convexa Planar	0
Côncava convergente	10
Côncava divergente	3
Côncava Planar	0
Retilínea Convergente	6
Retilínea Planar	0
Retilínea Divergente	1

Quadro 5 – Notas utilizados pelo método de análise multicriterial para mapa de suscetibilidade erosiva na área de estudo (Conclusão).

<u>Classes de Geologia</u>	<u>Notas de 1 a 10 de acordo com a Susceptibilidade Erosiva</u>
Sedimentos Recentes	10
Aglomerados	9
Brechas (Todas de forma geral)	9
Lapilli	9
Sienito	4
Traquito	4
Ortognaisses	7

Fonte: O Autor, 2020.

A seguir apresenta-se a matriz de comparação pareada AHP (Analytic Hierarchy Process), com a definição dos valores par a par para cada hierarquia (Quadro 6).

Quadro 6 – Matriz de Comparação pareada AHP para Suscetibilidade a processos erosivos na área de estudo.

	Declividade	Uso e Cobertura da terra	Formas do terreno	Geologia
Declividade	1	1	3	6
Uso e Cobertura da terra	1	1	2	6
Formas do terreno	0.33	0.50	1	4
Geologia	0.17	0.17	0.25	1

Fonte: O autor, 2020.

Os Cálculos dos indicadores de consistência resultaram em uma Razão de Consistência (RC) de 0,017, indicador este que, quando comparado aos valores estabelecidos para julgamentos coerentes da matriz AHP, encontra-se dentro do proposto para a metodologia, uma

vez que deve ser inferior ou igual a 0,1 (SAATY, 1991). Desta forma, a metodologia empregada para o cálculo dos pesos obtidos foi considerada adequada, porque também concordou com o julgamento feito para cada variável.

$$R.C = 0,017 < 0,10.$$

(1)

O quadro 7 apresenta os pesos em porcentagem utilizados para a realização do mapa de suscetibilidade erosiva.

Quadro 7 – Pesos em porcentagem utilizados pelo método de análise multicriterial para realização do Mapa de Suscetibilidade Erosiva na área de estudo (Continua).

VARIÁVEIS	PESOS
DECLIVIDADE	40,5%
USO E COBERTURA DA TERRA	36,1%
FORMAS DO TERRENO	17,8%
GEOLOGIA	5,6%

Fonte: O autor, 2020.

3.8 Trabalhos de Campo

Em outubro de 2018 foi realizado um trabalho de campo para delimitação dos pontos de coleta das amostras. Em dezembro de 2018, foram feitas as primeiras análises de penetrometria nos dois primeiros pontos elencados. Para os demais pontos propostos no presente trabalho, realizaram-se trabalhos de campo no período de setembro a dezembro de 2019, realizando, em concomitância, a análise de suas propriedades físicas aqui propostas.

3.8.1 Coletas das amostras de solo

As amostras coletadas foram feitas na profundidade de 0-15 Cm, sendo amostras deformadas e volumétricas, as últimas coletadas através trado Uhland (Figura 15) e do anel de Kopecky (Figura 16) e ao longo da trilha, em um total de 8 pontos de coleta, sendo quatro no primeiro setor, na sub-bacia do Rio Dona Eugênia e mais quatro no segundo setor, na sub-bacia do Rio Botas.

A metodologia de análise das amostras em laboratório é a da Embrapa (1997), onde se avaliaram as seguintes propriedades: Densidade Aparente e Real, Porosidade total, Umidade Volumétrica e Gravimétrica, Granulometria e Matéria Orgânica, de modo a entender suas alterações relacionadas ao uso das trilhas.

Jorge *et al.* (2016) expõem que o solo sofre maior impacto devido ao pisoteio nos primeiros centímetros, sendo esta a justificativa da escolha da profundidade das amostras. Destaca-se, no entanto, que o penetrômetro de impacto, que auxiliou na análise da propriedade da resistência à penetração pode penetrar em camadas mais profundas do solo e fornecer um panorama mais detalhado do perfil analisado.

A proposta de coleta de amostras baseia-se em oito pontos amostrais (Figura 17), sendo quatro em cada sub-bacia analisada, conforme informado, de modo a fornecer um panorama das propriedades físicas nos solos da trilha em apreço. Foram realizadas duas amostragens em cada posição no ponto escolhido (Leito, Borda e Área preservada, nas profundidades 0-9 Cm e 9-15Cm).

A literatura recomenda, quando se coletam amostras de solos em trilhas, intervalos regulares de modo a se obter maior acurácia e solidez dos resultados Figueiredo *et al.* (2010) fizeram amostras a cada 200 m. Leung e Marion (1996) indicam, para que se obtenha a referida acurácia dos resultados, intervalos entre 100 m e 600 m. Contudo, devido ao leito pedregoso em diversos pontos no primeiro setor, bem como da ausência da delimitação entre leito, margem e área preservada no segundo, as amostras foram coletadas em intervalos aleatórios devido as dificuldades de se encontrarem pontos com condições apropriadas para a coleta.

Nos pontos coletados analisaram-se o leito da trilha, a borda e a área preservada a dois metros do leito, onde não há passagem de visitantes.

Figura 15 – Uso do Trado Amostra de Solo na Trilha da Varginha para coleta de amostra de solo indeformada.



Fonte: O autor, 2018.

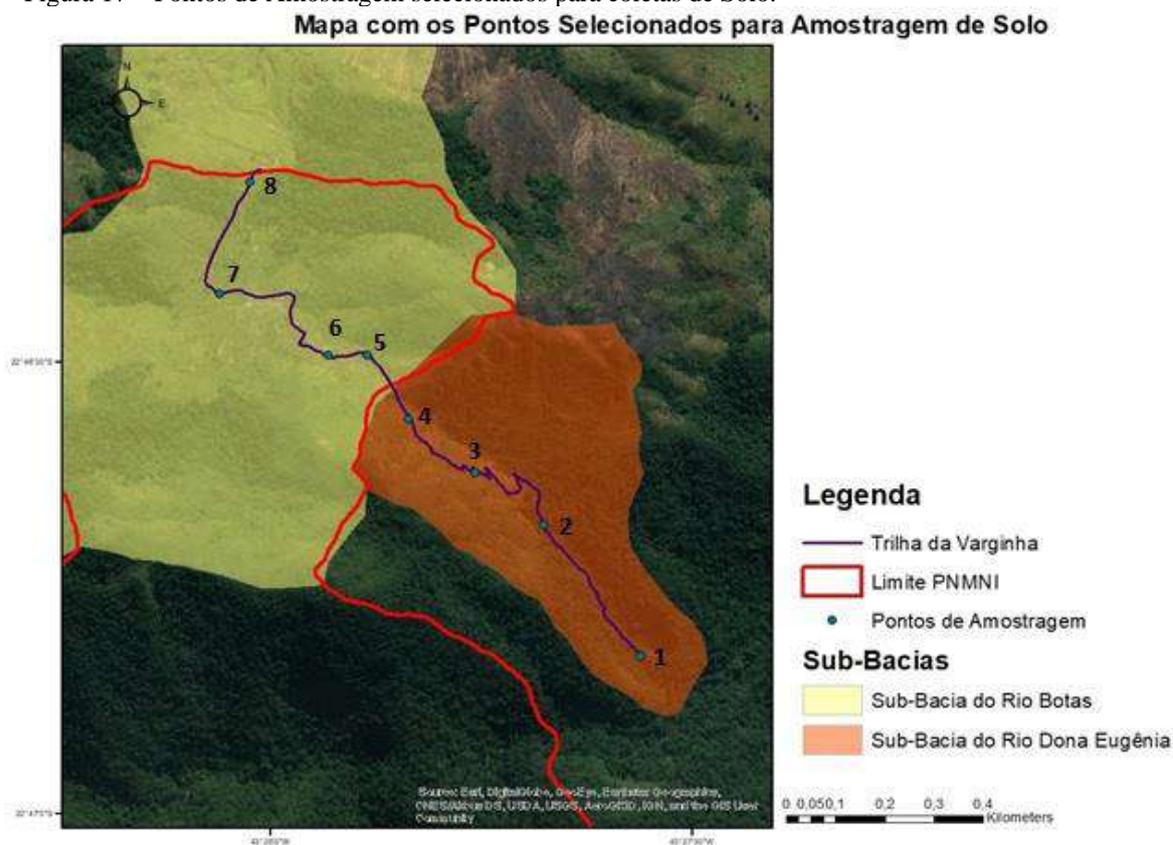
Figura 16 – Amostra de solo coletada em anel de Kopeck.



Nota: Evidência visual de uma boa estruturação do solo (Ponto de amostragem 2).

Foto: O autor, 2018.

Figura 17 – Pontos de Amostragem selecionados para coletas de Solo.



Fonte: O autor, 2019.

3.9 Laboratório

Conforme dispõe Jorge (2017), as análises das propriedades físicas propostas para a presente pesquisa objetivam auxiliar no diagnóstico dos danos e degradação do solo na trilha relacionados a seu uso, subsidiando a análise da suscetibilidade e a ocorrência de processos erosivos. Tais são perceptíveis em alguns pontos da trilha que, sendo intensificados, podem representar um fator limitador ao uso das destas.

3.9.1 Análises das Propriedades Físicas e Químicas do Solo

De acordo com o mencionado anteriormente, para a presente dissertação, foram analisadas as seguintes propriedades físicas do solo: Densidade Aparente, Densidade Real,

Porosidade total, Umidade Volumétrica e Gravimétrica, Granulometria, Resistência à Penetração do Solo, esta última explicada em maiores detalhes abaixo. As propriedades químicas analisadas foram o Carbono Orgânico e a Matéria Orgânica, objetivando uma análise completa e integrada das propriedades do solo na Trilha da Varginha.

Tais propriedades escolhidas foram analisadas no Laboratório de Geografia Física, Estudos Ambientais e Práticas de Ensino – LABGEOFEAPE / FEBF-UERJ e no Laboratório de Ciências Ambientais – LabCAM/IFRJ (Arraial do Cabo, RJ) pelo método proposto pela EMBRAPA (1997), com exceção da Resistência à Penetração com metodologia exposta abaixo.

3.9.2 Análise da resistência à penetração do solo através do penetrômetro de impacto

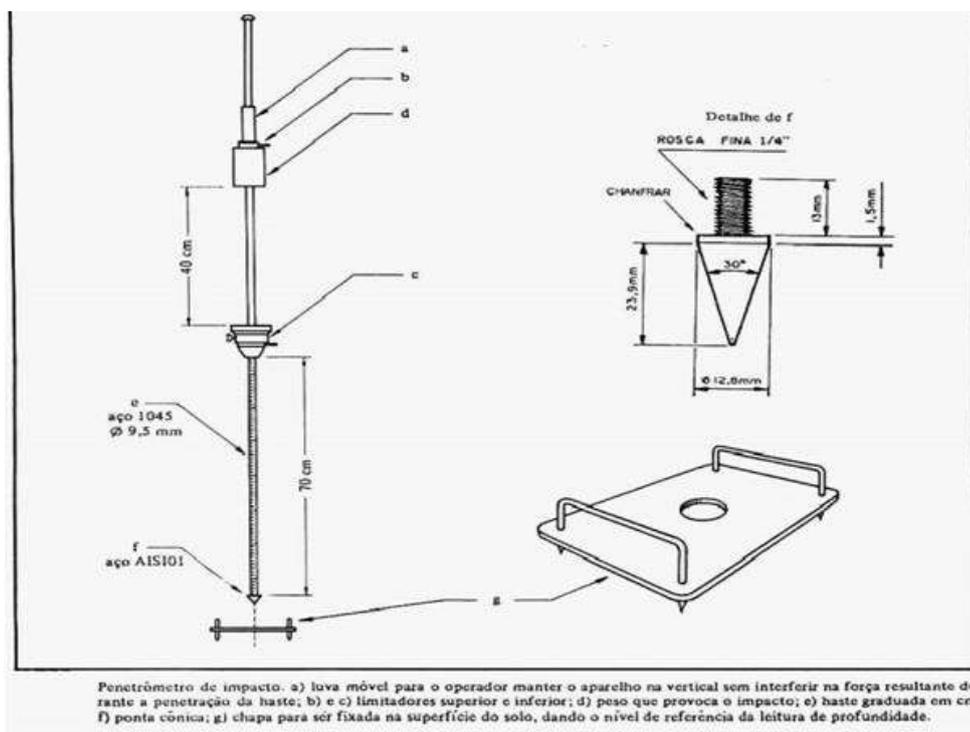
Para a resistência à penetração, foi utilizado o aparelho penetrômetro de Impacto Stolf (Figuras 18 e 19). Stolf (1990a, 1991a) e Stolf *et al.* (2014) abordam que penetrômetros são aparelhos que se destinam à determinação da resistência do meio ao qual penetram. E o faz através de uma haste que é introduzida no solo através da promoção de uma massa de impacto em queda livre, onde, desta maneira, a teoria para se obter a resistência passa a ser tratada pela dinâmica Newtoniana.

Uma vez então medindo a resistência do solo à penetração, os autores discorrem que tal valor varia conforme a umidade do solo, onde o aparelho não serve para avaliar em termos absolutos se um solo está compactado ou não, apontando tal problemática ser inerente a qualquer tipo de penetrômetro.

Contudo, a avaliação de tal propriedade física do solo em conjunto com as demais que o presente trabalho se propõe fornecer um panorama acerca da compactação do solo, sendo a resistência à penetração uma informação de grande relevância. Considerando-se a necessidade de manejo do solo para quaisquer atividades sobre eles, tem-se a possibilidade da determinação de qual profundidade deve se manejar o solo para diminuição da compactação, realizando a quebra das zonas adensadas.

O aparelho possui como características: Altura – 1,65 M, Peso total – 7,2 Kg, Régua Graduada – 70 Cm, Curso de queda livre – 40 Cm, Diâmetro da haste que penetra no solo – 9,5 Cm, Peso que provoca o impacto - 4 Kg, Cone com ângulo sólido de 30°, Área da base 0,2 pol² e 12,8 Mm de diâmetro.

Figura 18 – Penetrômetro de Impacto – Stolf.



Fonte: STOLF,1983.

Figura 19 – Uso do Penetrômetro na Trilha da Varginha.



Fonte: O autor, 2018.

Destaca-se que o referido aparelho possui como vantagens o seu custo menor em relação ao penetrômetro com anel dinamométrico, não exigindo a calibração que o mesmo

demanda, podendo penetrar a haste de maneira contínua em solos mais resistentes, fornecendo uma leitura precisa, além de seu peso total ser relativamente leve.

Stolf (1984) nos demonstra a sequência de operação do aparelho a partir da figura ilustrativa acima. Após montar o aparelho, deve-se fixar a chapa **g** no local em que será analisado. Em seguida, deve-se colocar a ponta **f** do penetrômetro no orifício da chapa **g**, mantendo-se o aparelho na posição vertical, onde uma das mãos deve segurar a manopla **a**. No caso de o simples apoio do aparelho no solo ocorrer alguma penetração sem haver impacto, deve-se anotar a profundidade.

O próximo passo consiste em levantar o peso **d** que provoca o impacto com a outra mão, até que se encoste no limitador superior **b**. Após isto, deve-se soltar o peso para que ele caia de forma natural, promovendo a penetração através do impacto com o limitador inferior **c**. A pessoa que estiver computando os dados deve fazer a leitura do intervalo de penetração, através da haste **e**, esta sendo graduada em centímetros. O nível de referência da leitura é a superfície da chapa **g**, que é praticamente a do nível do solo (STOLF, 1984 p.3).

A sequência acima exposta deve ser repetida até a profundidade desejada por quem se avalia. No caso do aparelho atingir zonas muito adensadas e por sua vez a penetração por impacto for pequena (cerca de 1 cm), há a possibilidade de fazer a leitura após mais de um impacto, o que torna o levantamento dos dados mais rápido.

Stolf *et al.* (1983) e Stolf (1984) apresentam uma tabela para que, em campo, possam ser anotados os dados de penetrometria a serem posteriormente trabalhados em gabinete. A primeira coluna corresponde às repetições, ou seja, a vez que se lança o peso para realização da penetração, anotando-se a variação de profundidade, ao passo que a segunda coluna corresponde ao número de impactos realizados para provocar a penetração correspondente. A terceira coluna, trabalhada em gabinete, é feita dividindo-se o número de impactos pela variação correspondente de sua profundidade em centímetros, multiplicando-se pelo valor 10.

Assim sendo, os autores citam como exemplo a seguinte situação: Com dois impactos o aparelho penetrou de 23 para 29 centímetros (6 cm). Desta forma, calcula-se: $2/29-23 \times 10 = 20/6 = 3,3$ Impactos/ Decímetro. Os autores apontam que o motivo da multiplicação por 10 é para que não se obtenham valores muito pequenos, menores que 1, o que dificultaria a colocação em gráficos e sua posterior análise. Logo, a unidade do resultado, que seria o número de impactos / Cm, quando multiplicada por 10, apresenta-se em decímetros, correspondente ao número de impactos/dm que é número de impactos necessários para perfurar 10 Cm (1 Dm) de solo com a compactação equivalente à apresentada como exemplo neste parágrafo, conforme explicam os autores. Se o valor obtido fosse maior, obter-se-ia a indicação que esta camada de

solo necessitaria de mais energia para ser rompida. Quanto maior for este valor, maior é a resistência do solo à penetração.

Conforme abordado, a umidade é uma importante propriedade do solo, onde o teor de água ocupa espaços porosos antes ocupado pelo ar. Sendo assim, as medidas realizadas em épocas com teor de umidade diferentes, os valores não serão os mesmos, contudo, a forma da curva no gráfico e a interpretação serão idênticas.

Quanto à amostragem, a mesma é lida na própria haste do penetrômetro, esta graduada em centímetros, conforme explicitado. Stolf *et al.* (1983) expõem que em geral, os primeiros centímetros do solo formam uma zona de maior distúrbio, sendo recomendável que a primeira leitura de profundidade seja realizada após o primeiro impacto. Assim sendo, as demais leituras foram realizadas em seguida a um número de impactos a qual dependerá da compactação do solo, não sendo necessária a leitura com um número fixo de impactos.

Outro exemplo hipotético apontado por Stolf *et al.* (1983) seria de um perfil com aumento significativo da resistência à penetração na camada 17 cm a 22 cm de um solo, com penetração pequena nesta faixa e leitura feita após 3 impactos. Os autores discorrem que para um número fixo de impactos, a penetração sendo menor nas zonas mais adensadas, o aparelho automaticamente fornece maiores detalhes sobre o perfil analisado.

Um ponto importante apontado pelo autor é de que o aparelho não possui peso desprezível, logo, se apenas com o simples apoio do mesmo no solo, devido a terra fofa, se for o caso, pode haver alguma penetração do cone. Sendo assim, se, por exemplo, ao se encostar, houver penetração de 0 a 4 Cm, tal medida não se conta, mas, com o primeiro impacto indo de 4 a 8 Cm, ainda exemplificando, o cálculo considerado não é de 0 a 8 Cm, mas sim de 4 a 8 Cm, tendo-se:

Profundidade	Impactos	Impactos / Dm
0 - 4	0	0
4 - 8	1	2,5

A medida de 2,5 Impactos / Dm é realizada de acordo com a equação anteriormente exposta. Em realidade, o valor de Impactos / Dm de 0 a 4 Cm não corresponde a zero, entretanto, a resistência do solo nesta camada é menor que a resistência mínima necessária ao equilíbrio do aparelho na posição vertical para a realização de análises, com valor indeterminado próximo de zero.

Stolf (1984) abordando a operação do penetrômetro fornece-nos três tabelas que facilitam a compreensão das operações e posterior plotagem em gráficos, dispostas da seguinte forma:

- a) Tabela 1: Dados de levantamento de um local, com a variação da profundidade em centímetros e o número de impactos necessários para tal.
- b) Tabela 2: Dados de profundidade, penetração e impacto, sendo divididas em: Coluna 1: Variação da profundidade em centímetros, Coluna 2: Número de impactos necessários para a variação das profundidades na Coluna 1, Coluna 3: Diferença de valores da Coluna 1, fornecendo a penetração em centímetros, Coluna 4: Divisão da coluna 3 pela 2, fornecendo o dado de penetração / impactos (Cm) e Coluna 5: Divisão da coluna 2 pela 3, multiplicada pelo fator 10, fornecendo o indicador de Impactos / Dm.
- c) Tabela 3: Transformação da penetração em Cm para Impactos / Dm quando se utiliza 1,2,3,4 ou 5 impactos para leitura.

Ambas as tabelas possuem valores fictícios de solos testados pelo autor, contudo, são de grande valia para o entendimento do aparelho, bem como do trabalho dos resultados obtidos com a penetração. O autor sugere neste trabalho fazer a leitura após 4 Cm, mas, se afundar 15 Cm com um impacto, por exemplo, fazer a leitura mesmo assim, até a profundidade que se desejar.

Stolf (1990 a, b; 1991a) e Stolf *et al.* (2014) discorrem acerca dos avanços dos estudos de resistência à penetração, onde a unidade técnica internacional de leitura para este tipo de dado passa a ser através da consideração da força por unidade de área, Kgf/Cm², sendo a unidade Megapascal (MPa) a mais utilizada atualmente, inclusive para artigos científicos.

Assim sendo, os autores explicam a fórmula dos holandeses, esta empregada e que mostrou a melhor aproximação da conversão da resistência dinâmica, através do aparelho, na estática, com o solo sendo penetrado.

Desta forma, os autores adotam a seguinte simbologia para explicar a fórmula:

F= Força de resistência do solo em Kgf; A= Área da base do cone em Cm²; R=F/A como sendo a resistência do solo em Kgf/Cm²; M como a massa que provoca o impacto (Em Kg); m como sendo a massa dos demais componentes do aparelho excluindo-se a massa de impacto (Em Kg); M+m como a massa total, em Kg, do penetrômetro; g como a aceleração da gravidade; Mg e mg como os pesos das massas consideradas (Segundo a física, peso como resultado da massa multiplicado pela aceleração da gravidade em Kgf). Tem-se ainda h como

a altura da queda da massa que provoca o impacto, esta em Cm e por fim x, correspondendo a penetração unitária ocasionada por um impacto (Cm/Impacto).

Os autores entendem a fórmula dos Holandeses como sendo aquela que leva em consideração a variação da energia potencial devido à queda da massa de impacto, sendo ela totalmente transformada em trabalho de penetração, levando-se em conta também a perda de energia devido ao choque entre as massas M e m, tornando-se importante se m for da ordem de grandeza de M.

O complemento da fórmula vem do fato de que a mesma tenta estimar a força de resistência do solo sem levar em conta o peso estático do aparelho (STOLF, 1990a). Dessa forma, o autor enfatiza que nenhum penetrômetro pode estimar a resistência de um meio sendo este valor menor que seu próprio peso. Ou seja, se a massa total de um penetrômetro (M+m) for de 7 kg e a leitura do aparelho registrar, como exemplo colocado pelo autor, 5 Kgf, tal estimativa de força de resistência do solo na realidade é de 12 Kgf.

Assim sendo, a fórmula só se torna completa ao se somar a massa total do penetrômetro (M+m), multiplicado pela gravidade (g), pois após o choque do peso sendo solto da altura informada, todo o conjunto do aparelho (M+m) avança uma profundidade x no solo. Desta forma, a equação completa é apresentada da seguinte maneira:

$$F = (M+m).g + M/(M+m) \cdot Mgh/x \quad (1)$$

Stolf (1990a) dispõe, ainda, a forma como a fórmula dos holandeses deve ser aplicada no penetrômetro. Considerando como características do aparelho: M= 4Kg; m= 3,2 Kg; (M+m).g= 7,2 Kgf; M/(M+m)= 0,556; Mg= 4 Kgf; n= 40 Cm, constrói-se da seguinte forma:

$$F \text{ (Kgf)} = 7,2 + 88,9/x \quad (2)$$

Sendo a ponta escolhida a mesma adotada e padronizada nos penetrômetros convencionais, tem-se: A= 1,29 Cm² (0,2 pol²). Onde, dividindo a expressão anterior por este valor, irá obter-se:

$$R \text{ (Kgf/Cm}^2\text{)} = 5,6 + 68,9/x \quad (3)$$

O autor comenta que uma forma útil de apresentação da equação anterior é transformar a variável x em N impactos/Dm (Impactos por 10 Cm), onde irá se obter:

$$R \text{ (Kgf/Cm}^2\text{)} = 5,6 + 6,89 N \quad (4)$$

O autor conclui que ao contrário de N, os dados da variável x não tem possibilidade de serem operados, independente de qual operação matemática for, uma vez que mantém relação inversa com a resistência do solo.

Stolf *et al.* (2014) propõem a conversão para Megapascal, que, conforme informado, é a unidade utilizada em artigos científicos. Considerando-se a aceleração da gravidade como 10 m/s^2 , tem-se: $R \text{ (MPa)} = 0,56 + 0,689 \times N \text{ (impactos/dm)}$, para, desta forma, poder-se elaborar os gráficos e tabelas para melhor análise dos dados.

Nesse sentido os mesmos autores discorrem acerca da evolução dos sistemas operacionais de computadores e de como a questão da computação dos dados também avançou com o passar dos anos. É um fato que, conforme vai se utilizando o penetrômetro de impacto e a haste vai penetrando no solo, o operador não possui controle no que tange à espessura da camada penetrada que o impacto da massa provoca. Desta forma, não seria possível a geração de resultados de resistência em intervalos fixos e constantes de profundidade, estes que forneceriam maior detalhamento do perfil analisado.

Assim, do tabelamento manual proposto em Stolf *et al.* (1983), Stolf *e. al.* (2014) propõem um programa computacional de dados para tabelamento dos mesmos, possuindo como objetivos básicos o de confeccionar automaticamente a tabela e gráfico de resistência, à proporção que vão se inserindo os dados do número de impactos e a referida profundidade, além de detalhar a profundidade em camadas constantes em relação aos impactos promovidos, de acordo com a preferência do usuário, fornecendo a possibilidade de se trabalhar e analisar em conjunto e separadamente as áreas de leito, borda e margem (no caso de análise em trilhas).

O programa foi constituído através da linguagem denominada de *Visual Basic Application* (VBA), adotando-se a planilha Excel como a interface com o usuário devido a sua simplicidade de operação. No Excel, o programa é constituído de três planilhas, operacionais, que os autores chamam de “Plan 1, Plan 2 e Plan 3”, além de uma quarta que possui um texto de auxílio.

A “Plan 1” refere-se à entrada de dados. Nela, há 40 tabelas para a realização da entrada dos dados, cada qual com seis colunas, sendo as duas primeiras correspondentes a entrada dos dados do número de impactos e a respectiva profundidade atingida pelo penetrômetro (STOLF *et al.*, 2014). À proporção que cada par de dados são inseridos, automaticamente o programa realiza o cálculo da camada penetrada, dado este que corresponde a terceira coluna.

Na sequência, o programa fornece a resistência da camada em análise nas três unidades, impactos/Dm, Kgf/Cm² e Mpa. Os autores comentam que conforme são informados

os dados levantados em campo ao programa, a tabela de resistência e o gráfico são confeccionados de forma automática, fornecendo grande facilidade ao pesquisador de levantar estes dados no próprio campo, caso desejar.

A “Plan 2” refere-se à equalização da profundidade. Stolf *et al.* (2014) explicam que o programa realiza a equalização por meio de uma MACRO em linguagem VBA, realizando a padronização dos intervalos de profundidade.

Para fazer uso desta ferramenta, o pesquisador, após inserir os dados levantados em campo na “Plan 1”, deve abrir a “Plan 2” e em seguida clicar em: “Gerar tabela em camadas de espessura constante” onde, em seguida, conforme informam os autores, o próprio programa irá pedir a espessura da camada, fazendo como sugestão 5 Cm, apresentando, em seguida, opções de se selecionar todos os perfis, ou uma sequência de perfis, ou ainda uma entrada aleatória.

Escolhida a opção de análise desejada, o programa de forma automática coleta os dados da “Plan 1”, realizando a equalização e lançando na “Plan 2” a tabela equalizada, já no formato científico, este apropriado para a elaboração de relatórios e artigos.

A “Plan 3”, referente a entrada rápida e tabela de campo, conforme explicam Stolf *et al.* (2014), não é essencial. Ela permite a inserção de dados por meio de apenas duas colunas para cada perfil. Desta forma, após anotados os dados, realiza-se o comando de transferência dos mesmos para a “Plan 1” através do comando “Lançar dados desta Plan 3 para planilha Plan 1”, sendo o inverso também permitido, podendo, ainda, ser impressa para anotação dos dados em campo.

Desta forma, conforme exposto, o penetrômetro de impacto tem suas vantagens pelo baixo custo, facilidade de operação, consistência metodológica de sua fórmula e facilidade de elaboração dos gráficos e tabelas de resistência a compactação. Stolf *et al.* (2014) apontam seu uso em diversos estudos, a exemplo da avaliação da compactação e de controle de tráfego, manejo de lavouras, pastagens e florestas, variabilidade espacial de propriedades do solo e também do mapeamento da resistência do solo. No presente trabalho, será grande aliada junto com as demais propriedades físicas analisadas para a determinação do grau de compactação do solo nos pontos de amostragem pretendidos.

Os resultados obtidos com os mapas elaborados foram analisados em conjunto com o resultado das análises das propriedades físicas e químicas do solo, de modo a se detectar as áreas mais suscetíveis aos processos erosivos, bem como apontar a existência dos processos erosivos e a compactação do solo. Com tais resultados, foram feitas ao final proposições de manejo de modo a minimizar os processos erosivos e o processo de compactação, servindo como subsídio a gestão do Parque para um melhor manejo da trilha.

4 RESULTADOS

A presente sessão apresentará os resultados da pesquisa, abarcando os mapeamentos temáticos e as análises das propriedades do solo propostas, abordando, em seguida, medidas para solucionar os problemas apresentados.

4.1 Mapeamentos Topográficos

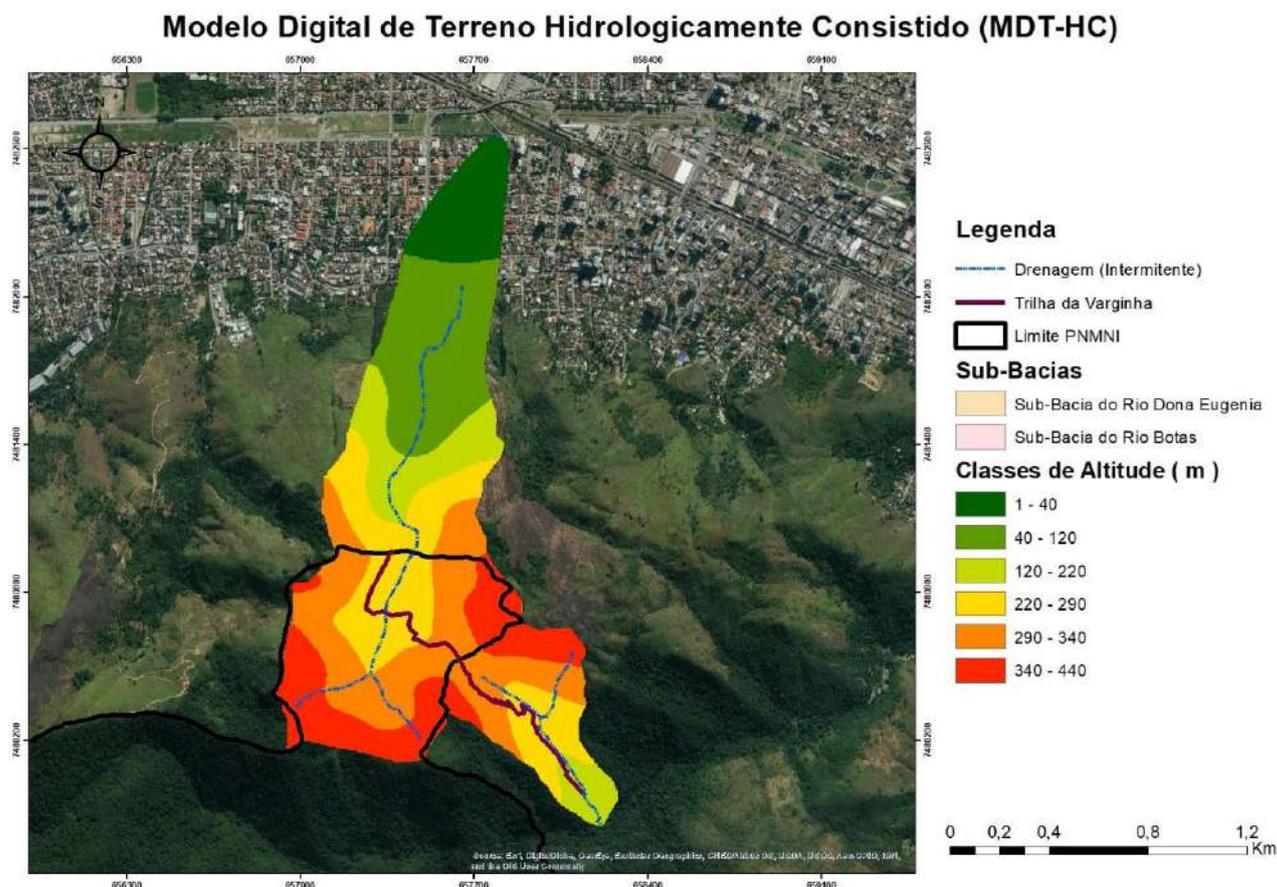
Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistido (MDT-HC)

Com exceção do mapa de localização da área de estudo, os demais mapas apresentados no presente trabalho são subprodutos do MDT-HC realizado. Neste sentido, é importante mencionar que um MDT tem por objetivo representar a ocorrência de um o fenômeno na superfície terrestre entendendo seu comportamento onde, posteriormente processadas as amostras em um ambiente digital, tem-se a possibilidade de elaborar planos de informação que podem ser utilizados em uma série de procedimentos, tais como análises qualitativas e quantitativas e também para fins de simulações e tomadas de decisão (VALERIANO, 2008; MARQUES, 2016).

A autora supracitada completa que a aplicação dos MDTs se relaciona a trabalhos que utilizam dados em três dimensões, uma vez que é possível a representação do relevo de forma tridimensional, com possibilidade de obtenção de atributos morfométricos que auxiliam as medições espaciais a fim de descrever os processos geomorfológicos.

Ademais, a partir do uso do MDT é possível realizar a extração de variáveis que irão nortear o mapeamento das variáveis geomorfológicas da área de estudo, com destaque aos planos de informação de declividade, aspecto, curvaturas em plano e perfil, além de fatiamentos em intervalos altimétricos e imagens sombreadas, ressaltando, desta forma, a importância deste modelo para estudos ambientais. Assim sendo, apresenta-se abaixo na figura 20 o MDT-HC do recorte espacial da área de estudos.

Figura 20 – Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistido (MDT-HC).



Fonte: O autor, 2018.

Destaca-se que o mapeamento morfológico do relevo em muito tem se beneficiado das inovações técnicas na geração destes tipos de modelos, porque possibilita a obtenção automática de características morfométricas, fornecendo uma base objetiva e uniforme da superfície terrestre. Para tal, existem ferramentas de SIG especializadas na criação de superfícies hidrologicamente corretas a partir de dados vetoriais, a exemplo dos pontos de elevação, curvas de nível, linhas de drenagem, polígonos de lagos, pontos depressões e polígonos, que representem componentes do terreno (MARQUES, 2016).

Assim sendo, reitera-se a importância da geração do MDT-HC para a presente pesquisa, fornecendo valiosos subsídios a elaboração dos mapas propostos.

O MDT-HC, apresentado na figura 20, embora sirva como base para outros mapeamentos, uma vez mostrando os diferentes gradientes de altitude por onde passa a trilha em estudo, auxilia, em conjunto com o mapa de declividade, na identificação de possíveis áreas e setores da trilha com maior possibilidade da ocorrência de processos erosivos mais acentuados. Assim sendo, é observado que a trilha tem início em altitudes de pelo menos 120 metros, elevando-se a passagem de seus setores a altitudes que variam de 290 a 340 metros e

finalizando em altitudes entre 220 a 290 metros, evidenciando sua variação do gradiente de altitude que, aliados com outras variáveis ambientais, pode influenciar nos processos erosivos.

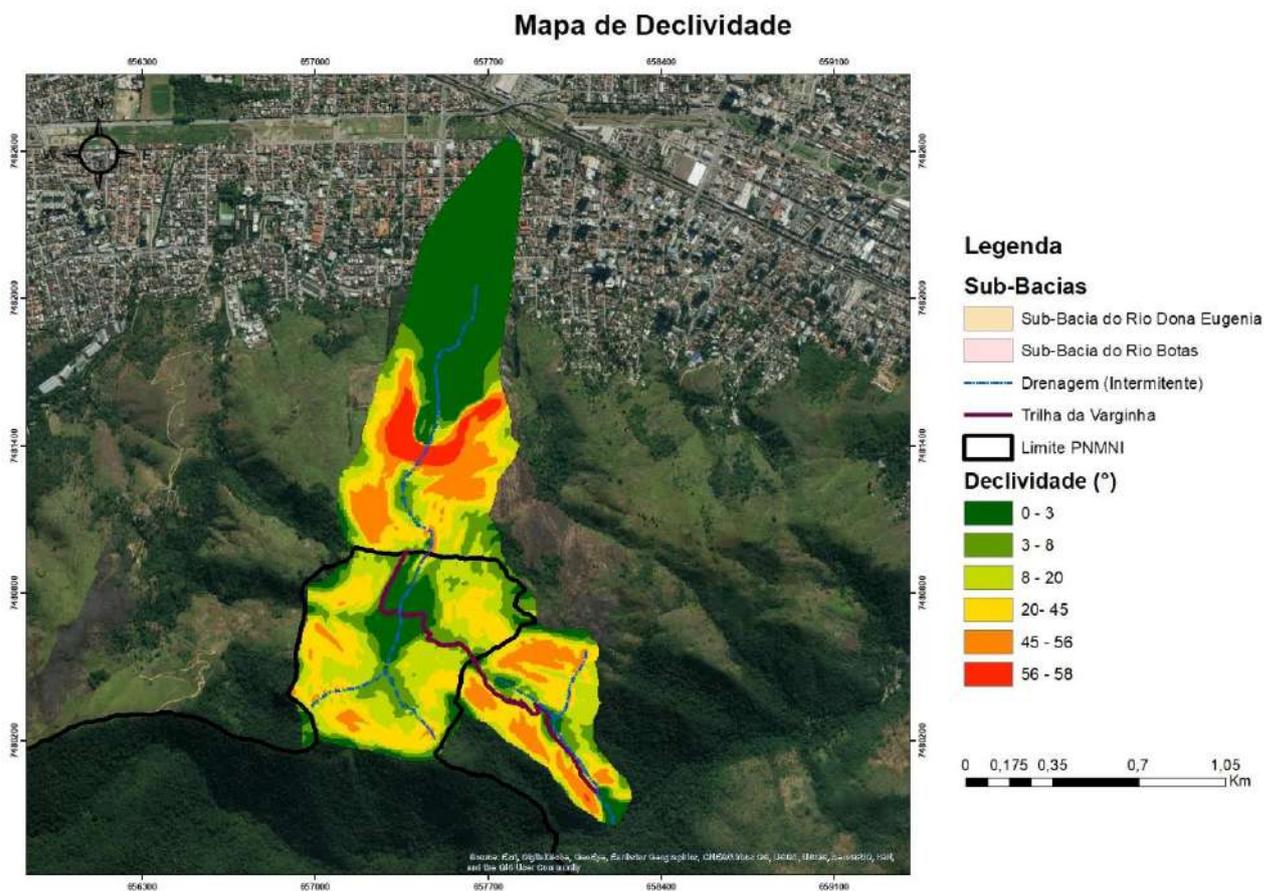
Mapa de Declividade

No que tange a declividade, variadas são as fontes bibliográficas sobre o tema. Valeriano (2008) aponta que devido à sua íntima associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento), a declividade do terreno é uma importante variável para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial. Neste sentido, segundo o autor, pode-se dizer que todos os métodos de avaliação de terras ou planejamento conservacionista, baseados em modelagem numérica ou em decisões lógicas, lidam com a variável declividade. Para além das aplicações mencionadas, figura inclusive entre as variáveis de evidente aplicação na interpretação geomorfológica.

Crepani *et al.* (2001) disserta que a declividade tem relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética, levando-nos a compreensão de que quanto maior a declividade, mais rápido a energia potencial das águas se transforma em energia cinética, sendo assim maior a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte.

Assim sendo, o mapa de declividade da área de estudo (Figura 21) nos mostra que a trilha, em seu setor na sub-bacia do rio Dona Eugênia, se localiza predominantemente nas classes de 20° – 45° e 45° – 56° de declividade, apontando a Embrapa (1979) como as classes forte ondulado e montanhoso, respectivamente, com superfície de topografia movimentada formada por outeiros e/ou morros na primeira classe e superfície de topografia vigorosa, com predominância de formas acidentadas, apresentando desnivelamentos relativamente grandes na segunda classe, evidenciando, desta forma, áreas com grande suscetibilidade aos processos erosivos e movimentos de massa.

Figura 21 – Mapa de Declividade.



Fonte: O autor, 2018.

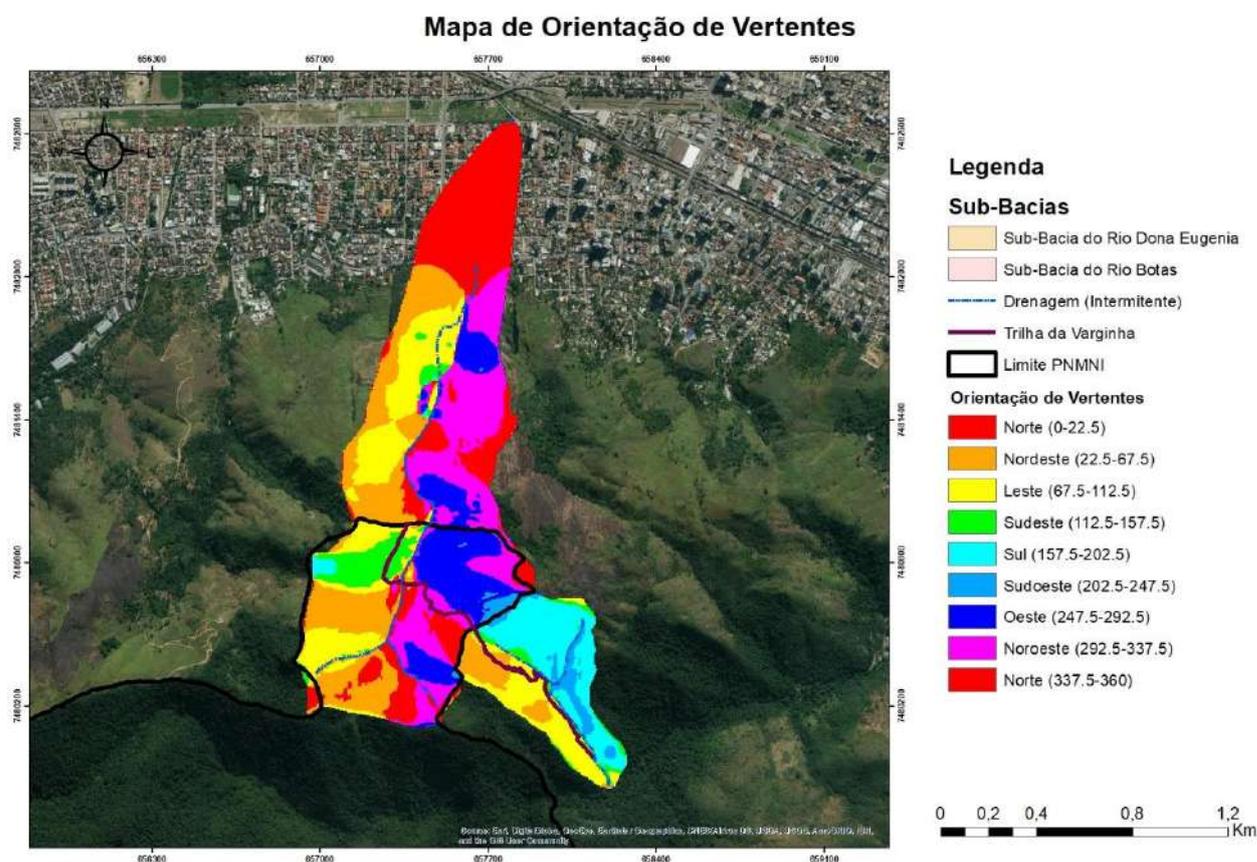
Já no divisor topográfico, encaminhando-se para o segundo setor da trilha, na sub-bacia do Rio Botas, percebe-se classes de declividade mais suave, classificados como plano e suave ondulado, onde os desnivelamentos são muito pequenos na primeira classe e a superfície topográfica apresentando declives suaves na segunda classe. O dado mostra sua consistência, uma vez que o segundo setor, já próximo ao final da trilha, ao atravessar a suposta cratera do vulcão de Nova Iguaçu, evidenciando ser uma área plana justamente por atravessar o centro da suposta cratera, sendo esta área predominantemente de deposição de sedimentos.

Ressalta-se um importante apontamento de Guerra (2015), onde o referido autor dispõe que a declividade das encostas não deve ser levada em conta separadamente e sim em conjunto com as características da superfície do solo, bem como do comprimento da encosta e de suas formas.

Mapa de Orientação de Vertentes

Quanto ao mapa de orientação de vertentes (Figura 22), Valeriano (2008) também faz valiosas contribuições. Também chamada exposição ou direção, o autor a define como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno, no sentido descendente, sendo expressa em graus, de 0° a 360°, apontando, ainda, que a declividade e a orientação de vertentes guardam entre si uma relação de analogia e complementaridade na descrição tridimensional do terreno.

Figura 22 – Mapa de Orientação de Vertentes.



Fonte: O autor, 2018.

Marques (2016) completa o exposto, informando que a orientação de vertentes pode ser diretamente aplicada em diversas funções relacionadas à geometria da superfície, como por exemplo no caso de descrição da estrutura de hidrologia superficial, determinando um caminhamento esperado de escoamento que costuma-se chamar de linhas de fluxo. Ressalta-se que, quanto maior a latitude, maior será a influência da orientação de vertentes no regime hídrico.

Desta forma, o primeiro setor da trilha, na sub-bacia do rio Dona Eugênia corta as vertentes leste e nordeste, e no segundo setor, da sub-bacia do Rio Botas, as vertentes noroeste, norte, leste e sudeste. Valeriano (2008) informa, ainda que as vertentes orientadas para o Equador recebem mais radiação solar, com evidente efeito sobre os regimes térmico e hídrico. Assim, as vertentes voltadas a norte, com suas variações noroeste e nordeste, presentes na transição da primeira sub-bacia para a segunda e mais incisivamente na segunda sub-bacia são as que receberão maior influência da radiação solar estando sujeitas a tais influências de temperatura e regime hídrico.

Capeche (2005) expõe que o sol, apenas por sua iluminação, não chega a causar erosão, entretanto, uma vez o solo com cobertura de menor porte ou sem cobertura, conforme será apresentado, tem sua atividade biológica interferida pelos raios solares, elevando a temperatura superficial, eliminando significativa parte de sua microfauna e flora, tornando-o mais suscetível a erosão. Portanto, os seguimentos da trilha acima expostos, tanto do primeiro setor quanto do segundo, por possuírem maior incidência solar, aliado a vegetação de pasto, de menor porte, tenderão a apresentar a ocorrência mais intensa dos processos erosivos.

Mapa de Formas do Terreno

Marques (2016) dispõe que as formas do terreno podem se relacionar diretamente com as propriedades hidrológicas e de transporte de sólidos e indiretamente propriedades ecológicas, pedológicas, dentre outros aspectos.

Valeriano (2008) aborda que tendo-se em vista o interesse específico do estudo e das condições locais de terreno, substrato e processos vigentes, as classes de forma de terreno podem ser reagrupadas de acordo com sua similaridade frente a esses aspectos.

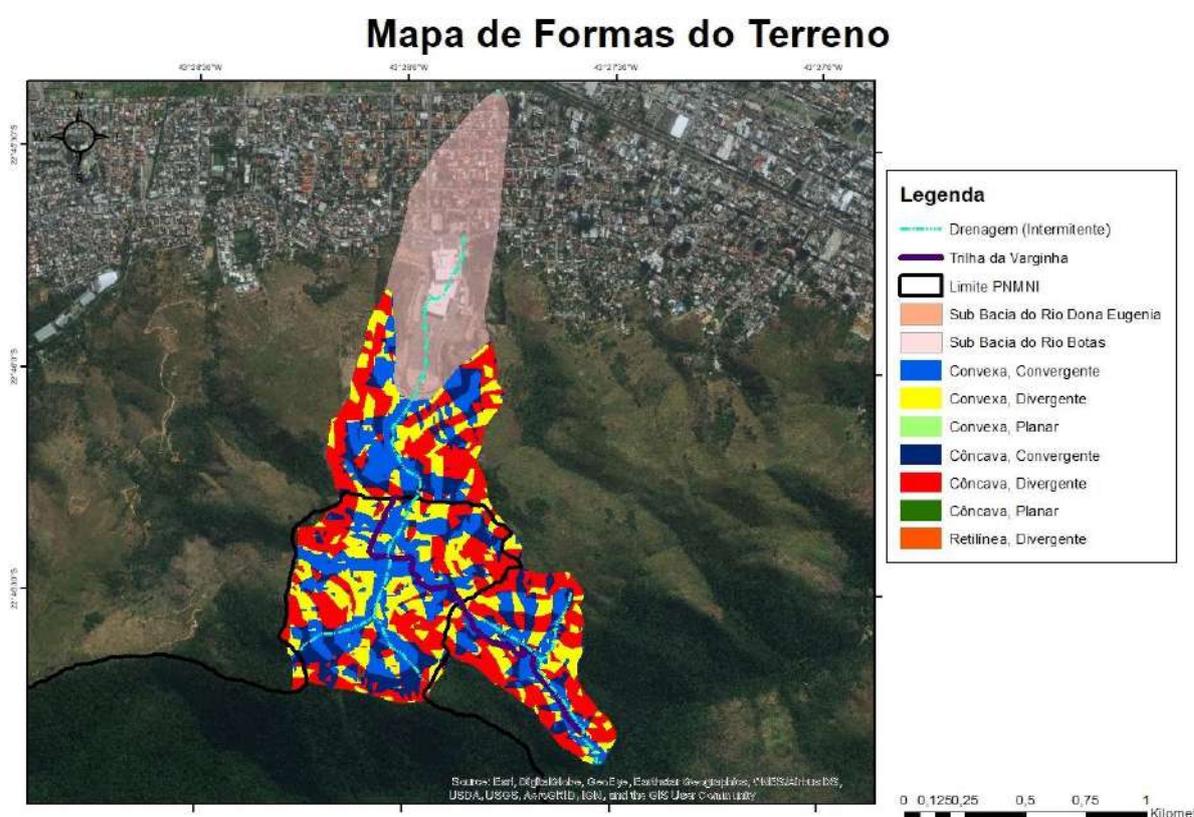
Neste sentido, as combinações de curvatura do terreno côncavo-convergente representam a máxima concentração e acúmulo do escoamento. Por sua vez, a forma convexa-divergente representa a máxima dispersão do escoamento, onde o autor aponta, ainda, que as combinações intermediárias têm características hidrológicas mais dependentes das relações entre as intensidades (módulos) dos efeitos individuais.

Guerra e Marçal (2006) e Guerra (2015) complementa este debate, informando-nos que encostas de formato convexo são características de processos de rastejamento (creep), erosão por splash (salpicamento) e a já mencionada dispersão de fluxos, com a lavagem

superficial do terreno, enquanto que as concavidades estão associadas à erosão e deposição causadas pela água.

Desta forma, percebe-se que na trilha em estudo (Figura 23), em ambas sub-bacias apresenta-se majoritariamente sobre a forma de terreno convexo-convergente e, em seu terço médio, próximo ao divisor topográfico entre as sub-bacias, a classe convexo-divergente, justamente por ser divisor topográfico, com dispersão de escoamento, estando sujeitas aos processos erosivos, o que também se relaciona com sua declividade.

Figura 23 – Mapa de Formas do Terreno.



Fonte: O autor, 2018.

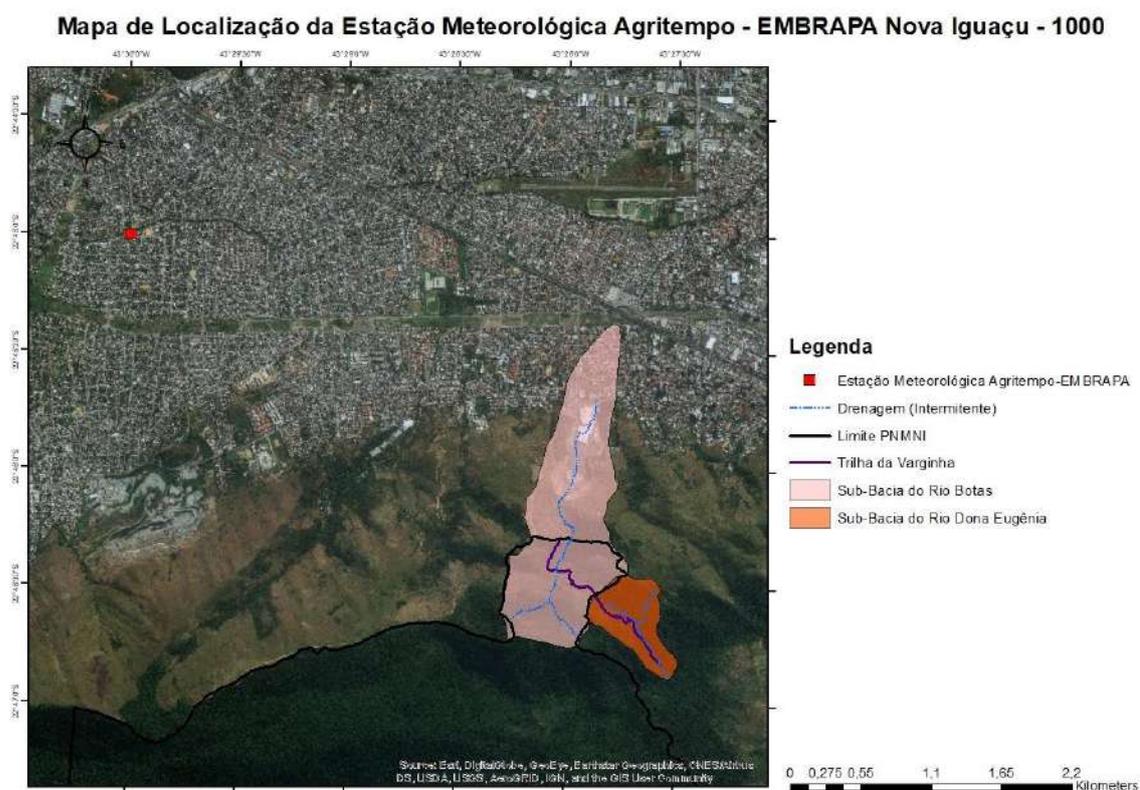
A Sub-Bacia do Rio Dona Eugênia, em seu segundo terço, na subida para o divisor topográfico, corta classes côncavas-divergentes. Valeriano (2008) nos fala que as combinações intermediárias possuem características hidrológicas que são mais dependentes das relações envolvendo as intensidades dos efeitos individuais.

Assim, como Guerra e Marçal (2006) nos falam que os processos geomorfológicos que dominam sobre as superfícies das encostas envolvem o clima, a geologia, a cobertura vegetal e o manejo do solo, informações estas presentes neste trabalho, tais áreas são também sujeitas aos processos erosivos.

4.2 Quadro Analítico de Pluviosidade

Conforme apontado, a estação meteorológica escolhida para o presente trabalho foi a TRMM. 1000 Nova Iguaçu (Figura 24), situada em Comendador Soares, no mesmo Município, monitorada pela Agritempo-EMBRAPA.

Figura 24 – Mapa de Localização da Estação Meteorológica selecionada para análise.



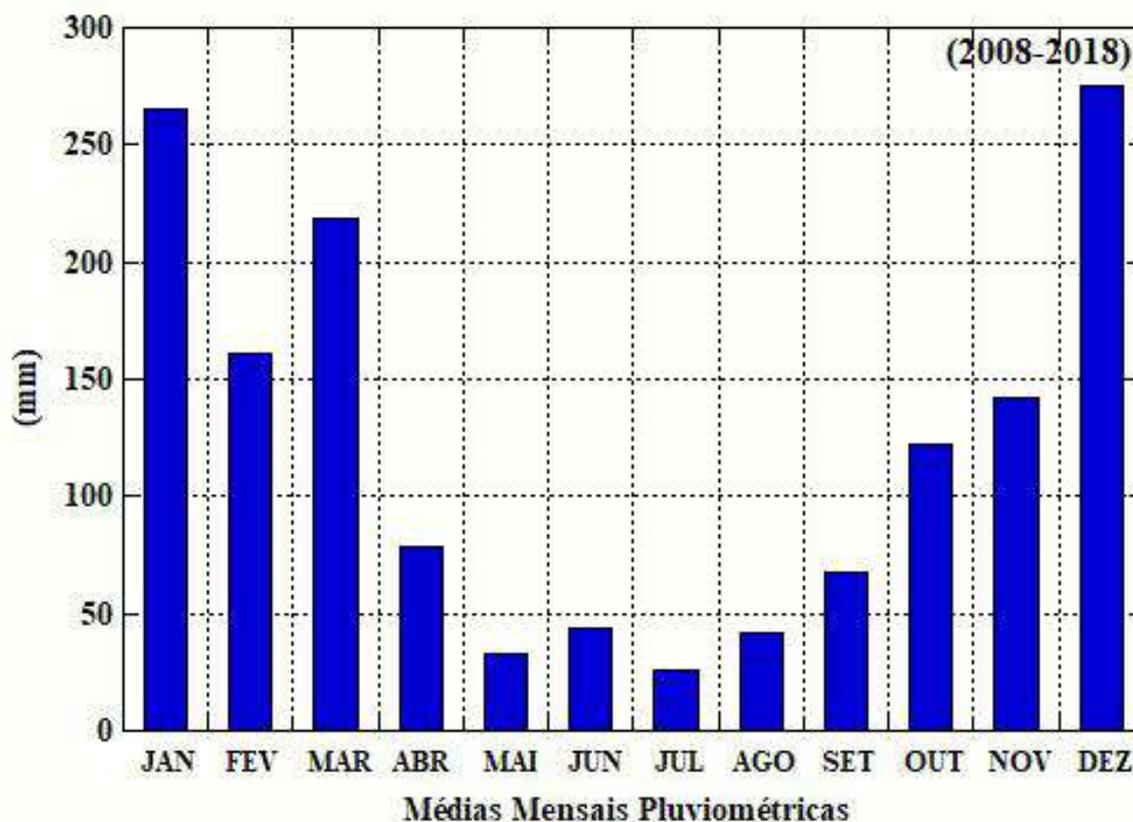
Desta forma, a estação selecionada (Quadro 8) apresenta os seguintes índices pluviométricos compreendidos na série histórica Janeiro de 2008 – Dezembro de 2018:

Quadro 8 – Médias Pluviométricas mensais registradas na Estação Meteorológica TRMM. 1000 Nova Iguaçu.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2008	179,01	214,05	140,46	231,54	15,39	0,54	0,45	24,78	40,59	127,95	152,91	357,08
2009	176,25	259,59	207,27	53,19	8,34	31,17	43,23	44,19	59,94	116,85	249,18	507,57
2010	370,53	128,64	284,73	50,76	24,81	0,00	7,14	0,51	51,51	106,02	133,14	338,64
2011	231,48	67,59	272,52	66,96	7,17	9,81	0,00	1,20	10,17	115,38	114,45	403,20
2012	325,02	142,86	225,84	143,04	69,57	121,65	17,79	7,29	61,92	78,03	119,46	361,89
2013	444,72	102,87	260,97	86,40	60,42	40,35	19,80	1,26	67,92	109,53	123,24	325,05
2014	220,23	37,65	191,52	60,33	11,52	23,19	123,93	2,64	25,80	52,95	106,89	93,63
2015	382,29	298,41	357,03	57,63	18,96	15,24	18,03	22,23	117,84	42,03	189,15	240,33
2016	202,20	179,22	315,33	46,02	19,35	142,71	0,00	63,81	132,30	149,30	179,70	176,50
2017	140,80	73,10	48,60	31,00	104,90	70,80	0,00	50,40	53,70	266,50	103,23	169,00
2018	244,23	236,95	97,13	41,46	25,64	27,73	49,78	236,90	125,09	180,21	94,29	54,83
Média Mensal	265,16	160,72	218,30	78,93	33,27	43,92	25,46	41,38	67,88	122,25	142,33	275,24

Fonte: Estação Meteorológica TRRM.1000 Agritempo Embrapa, 2020.

Gráfico 1 – Médias Pluviométricas Mensais registradas na Estação Meteorológica TRMM. 1000 Nova Iguaçu.



Fonte: O autor, 2020.

Os dados levantados na estação pluviométrica escolhida nos mostram a consonância de informações apresentadas sobre a área de estudos apontadas por Santos *et al.* (2007) e o Plano de Manejo da Unidade (SEMUAM, 2001), apresentando a área verões quentes e

chuvosos, com invernos frios e mais secos, com menores índices pluviométricos, além do recebimento de frentes úmidas, uma vez sendo o maciço uma frente de erosão do solo pelo recebimento das mesmas frentes.

O gráfico permite analisar médias pluviométricas menores em Fevereiro, se comparadas aos meses de Janeiro, o que pode ter colaboração para o fechamento do Parque em 2015, conforme relatado por Bezerra *et al.* (2015), devido ao período de estiagem registrado em 2014. Embora a estiagem tenha sido registrada em 2014, o motivo do fechamento do Parque em 2015, mesmo no mês de Janeiro, deste ano, registrando 382,29 mm de chuva, pode ser entendido onde sendo os cursos hídricos alimentados por fluxos superficiais e subsuperficiais, pode ter ocorrido um reflexo da falta de chuvas, diminuindo a vazão do Rio Dona Eugênia, e levando ao fechamento. E tal efeito se refletiu após meses de estiagem justamente devido a ser uma unidade de conservação, florestada, onde a cobertura vegetal conseguiu por alguns meses sustentar o fluxo do Rio Dona Eugênia até o fechamento da Unidade.

A análise do gráfico permite também estabelecer a correlação com os mencionados eventos de queimadas na Zona de Amortecimento do Parque que atingem o interior da Unidade. Tais eventos ocorrem justamente nos meses de inverno, que são os mais secos, estando a vegetação com menor oferta de água e mais suscetível a sucumbir com o fogo.

As informações sobre precipitação aqui elencadas fornecem apenas um panorama no que tange a distribuição da mesma na área analisada no Município de Nova Iguaçu. Entretanto, mesmo sabendo que no Maciço Gericinó-Mendanha - por ser um maciço costeiro, sujeito a entradas de frentes frias, aliado aos impactos elencados - entende-se que os processos erosivos ocorrem na Trilha da Varginha, até mesmo pelo fato da erosão, enquanto processo natural, ser intensificada pelas ações antrópicas elencadas.

Além disso, juntam-se a este dado de pluviosidade todos os mapeamentos topográficos aqui desenvolvidos como fornecedores de informação de que a área da trilha em análise, de forma geral, é sujeita a intensa erosão, em especial em seu leito, devido ao desmatamento para abri-lo e seu pisoteio, bem como seus dados da análise da cobertura vegetal, do uso e cobertura da trilha, além de suas classes de solo.

Entretanto, vasta e sólida é a literatura sobre o tema apontando que sozinho, em suas médias mensais e anuais, os dados de precipitação pouco dizem em relação à erosão, sendo necessários a análise da intensidade e duração de episódios de precipitação para haver melhor correlação com a erosão (REICHARDT, 1990; RIBEIRO, 2013; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014; COELHO NETO, 2015 e GUERRA, 2015). Porém, no sentido de fornecer uma noção ao leitor, está o trabalho de Hudson (1961), mencionado por Guerra (2015), onde, ao

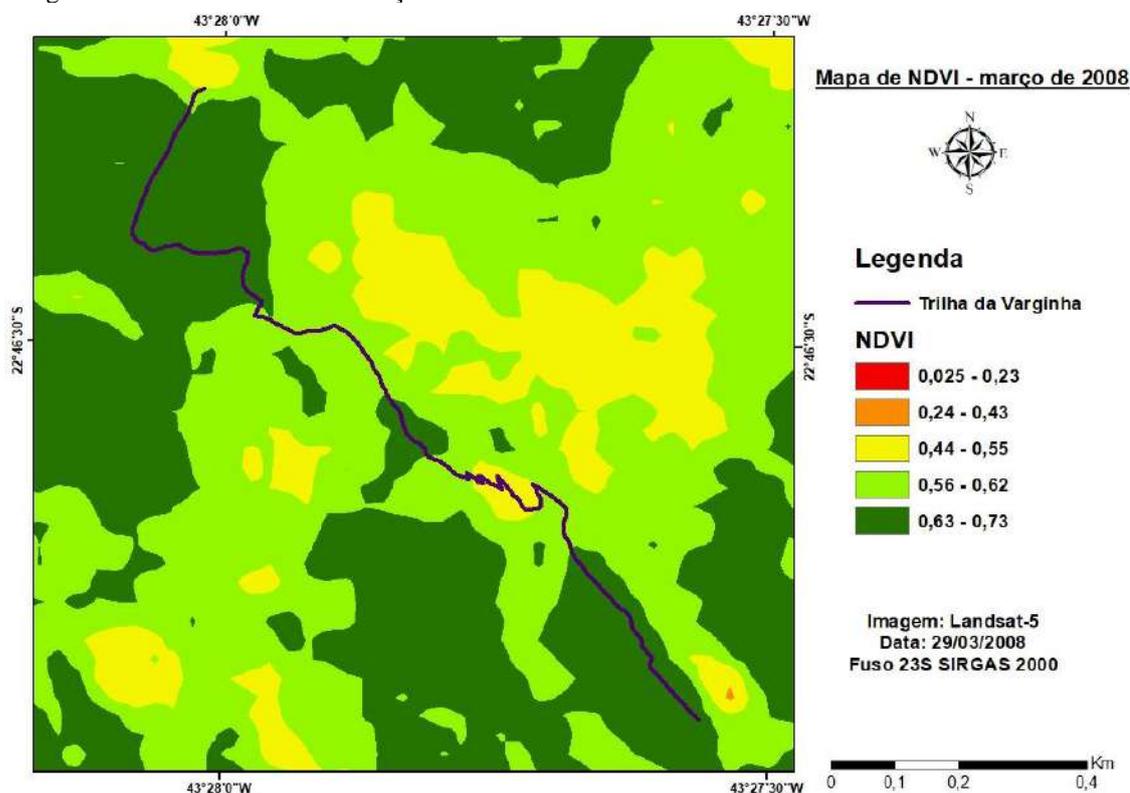
analisar a erosão em solos subtropicais relacionados aos índices pluviométricos, apresenta o valor de 25 mm de chuva por hora como valor crítico para o início da erosão dos solos.

4.3 Análise da Cobertura Vegetal pelo Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Vegetação por Ajuste do Solo (SAVI)

A presente análise objetiva apresentar os dados de NDVI e SAVI levantados para a área de estudo. Conforme mencionado, buscou-se fazer o comparativo entre os meses mais chuvosos e mais secos, desejando, desta forma, entender o comportamento da cobertura vegetal, relacionando-os com os dados dos índices pluviométricos levantados.

De modo a facilitar a leitura dos dados, os mesmos foram analisados observando a trilha em três setores, sendo eles inicial, na Pedreira Desativada São José, médio, na subida para o divisor topográfico e passagem entre as sub-bacias que a trilha em apreço corta, e final, após a passagem de divisores no setor onde encontra-se a suporta cratera do Vulcão de Nova Iguaçu. Desta forma, os mapeamentos são apresentados abaixo.

Figura 25 – NDVI referente a Março de 2008.

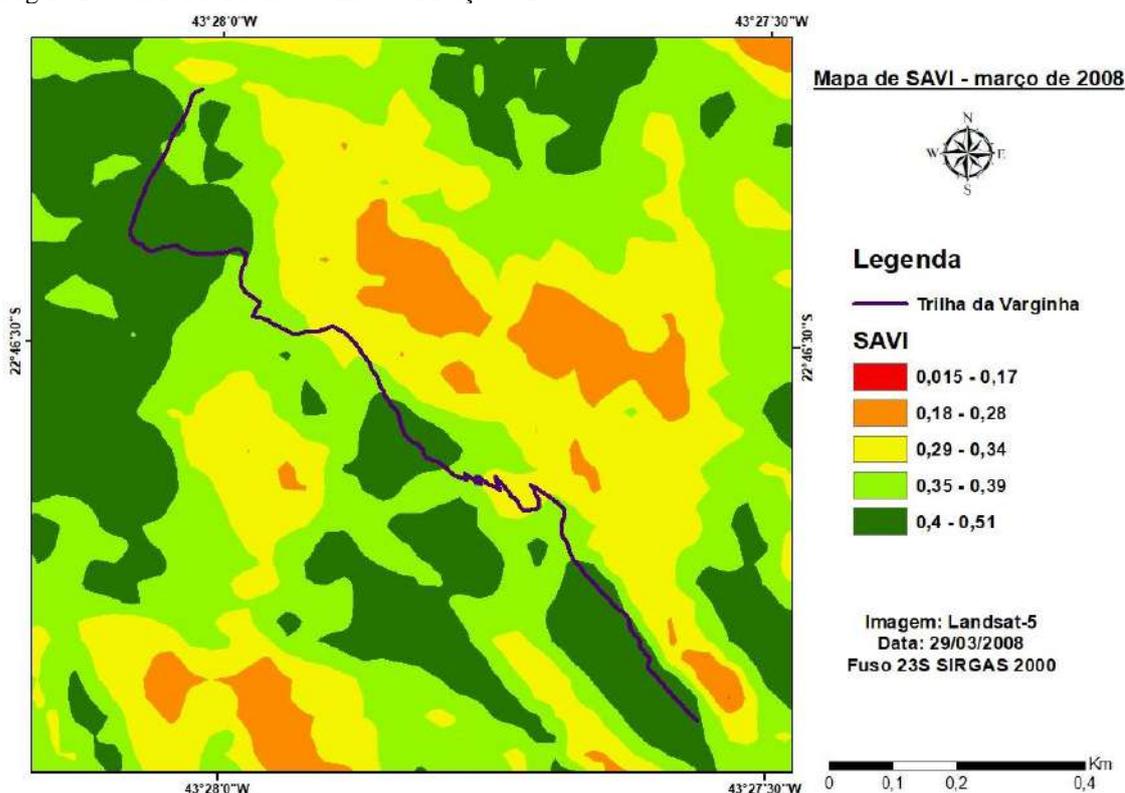


Fonte: O autor, 2019.

O mapa de NDVI referente ao mês de Março de 2008 (Figura 25) nos mostra a média dos valores dos índices variando entre 0,44 e 0,73. Desta forma, em seu terço inicial, a trilha corta a classe 0,63-0,73, chegando à classe 0,56-0,62, na passagem para seu terço médio, indicando cobertura vegetal mais densa, de acordo com Silva e Galvêncio (2012). Neste, elevando-se a cota altimétrica e, por sua vez, reduzindo a espessura do solo, encontra-se um resultado esperado, com a diminuição da densidade vegetativa, além da presença maior do Capim Colômbio, conforme informado.

Assim sendo, ocorre a presença da classe 0,44-0,55, com predomínio da classe 0,56-0,63, confirmando a fisionomia de vegetação de menor porte e arbustiva. O terço final apresenta certo equilíbrio entre as classes 0,56-0,63 e 0,64-0,73. Tal classe pode ser relacionada ao índice pluviométrico deste mês, 140,46 mm, que ainda que não seja tão alto quanto aos anos que se sucedem em sua maioria, mostra precipitação média para o período.

Figura 26 – SAVI referente ao mês de Março de 2008.

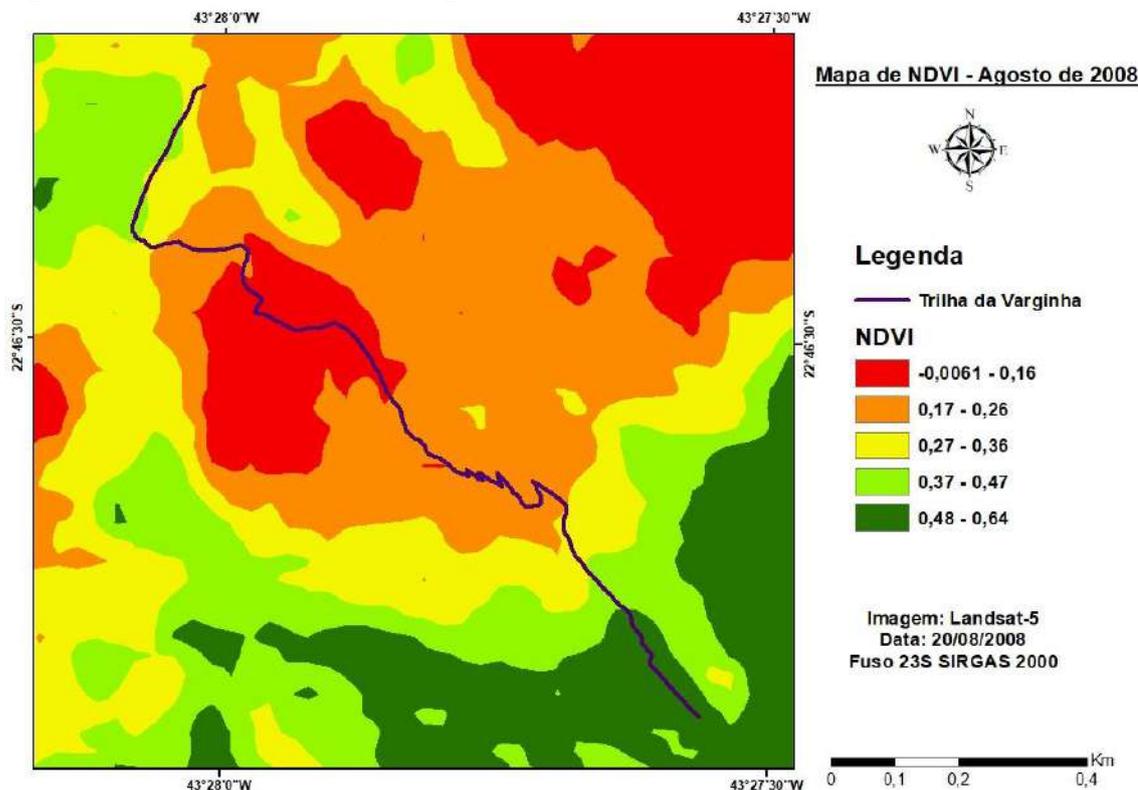


Fonte: O autor, 2019.

O SAVI referente ao mês de Março de 2008 (Figura 26), por sua vez, sendo ajustado ao solo, evidencia valores menores que o NDVI para este período. Assim sendo, para o terço inicial, aponta valores entre 0,40-0,51, decaindo para 0,35-0,39 na passagem para o terço médio, confirmando a cobertura vegetal mais densa presente no início da trilha e diminuindo seu porte

com a subida e passagem de divisor topográfico entre bacias. Neste, apresentam-se as classes 0,29-0,34, predominando a classe 0,35-0,39. O terço final demonstra a compreensão deste índice vegetativo nas classes 0,35-0,39 e 0,40-0,51.

Figura 27 – NDVI referente ao mês de Agosto de 2008.

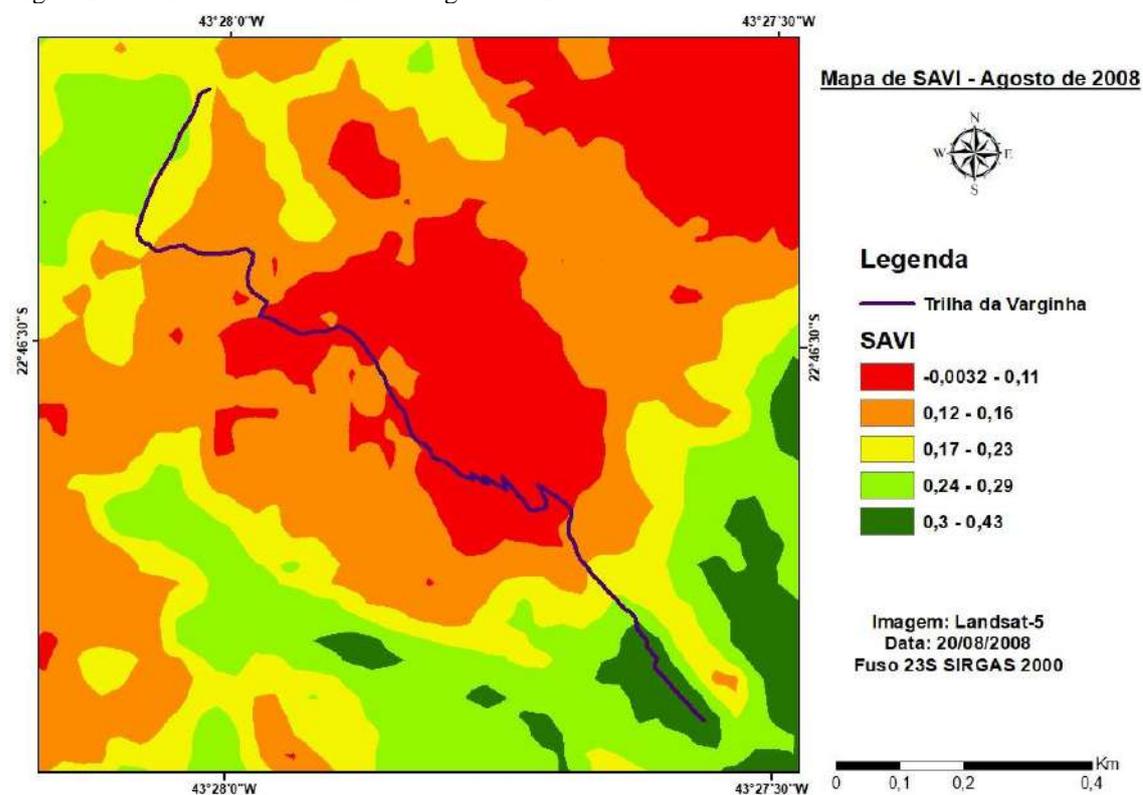


Fonte: O autor, 2019.

O NDVI para o mês de Agosto de 2008 (Figura 27), por sua vez, evidencia significativa redução nos valores do índice. O terço inicial apresenta progressiva redução dos valores nas classes até a passagem para o terço médio, com valores começando em 0,48-0,64 sendo reduzidos até 0,17-0,26. No terço médio há um equilíbrio entre as classes mais baixas dos valores, estes situados entre -0,0061-0,16 e 0,17-0,26 com predomínio deste último, evidenciando solo exposto, provavelmente já associado à ocorrência dos incêndios no período do inverno, além dos menores índices pluviométricos esperados para este período de análise.

O terço final apresenta valores de evolução da classe -0,0061-0,16 a classe 0,37-0,47. Relacionando com seus dados pluviométricos, o resultado se mostra em consonância, uma vez sendo registrado o baixo índice de chuva no mês de Agosto de 2008, com 24,78 mm, uma redução de mais de 80% se comparado ao mês de Março do mesmo ano.

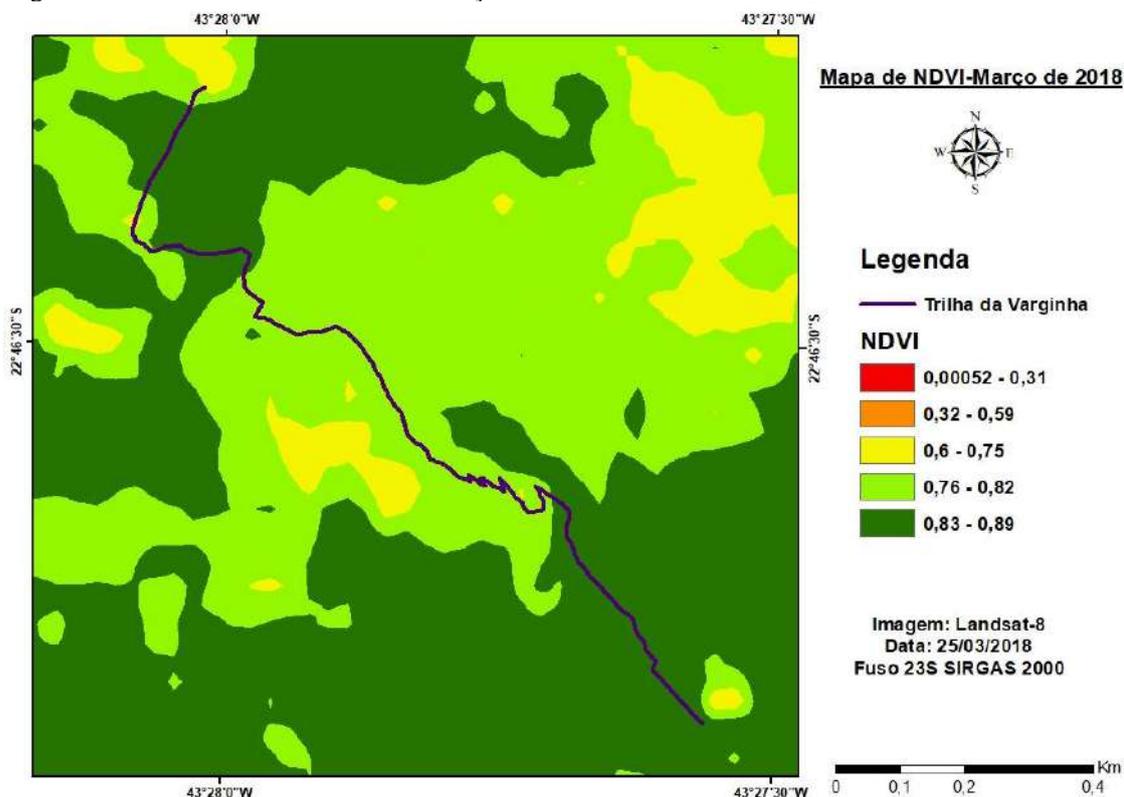
Figura 28 – SAVI referente ao mês de Agosto de 2008.



Fonte: O autor, 2019.

O SAVI referente ao mês de Agosto de 2008 (Figura 28) confirma a redução da densidade vegetativa neste período, ampliando para praticamente todo o terço médio a menor classe, entre -0,0032-0,11. O terço inicial apresenta novamente redução nos valores da classe mais alta, 0,30-0,43 as classes mais baixas, chegando a mais baixa, enquanto o setor final continua a apresentar igualmente densidades vegetativas evoluindo da classe mais baixa até a classe 0,24-0,29 de forma muito breve, concentrando-se seus valores nas classes 0,12-0,16.

Figura 29 – NDVI referente ao mês de Março de 2018.



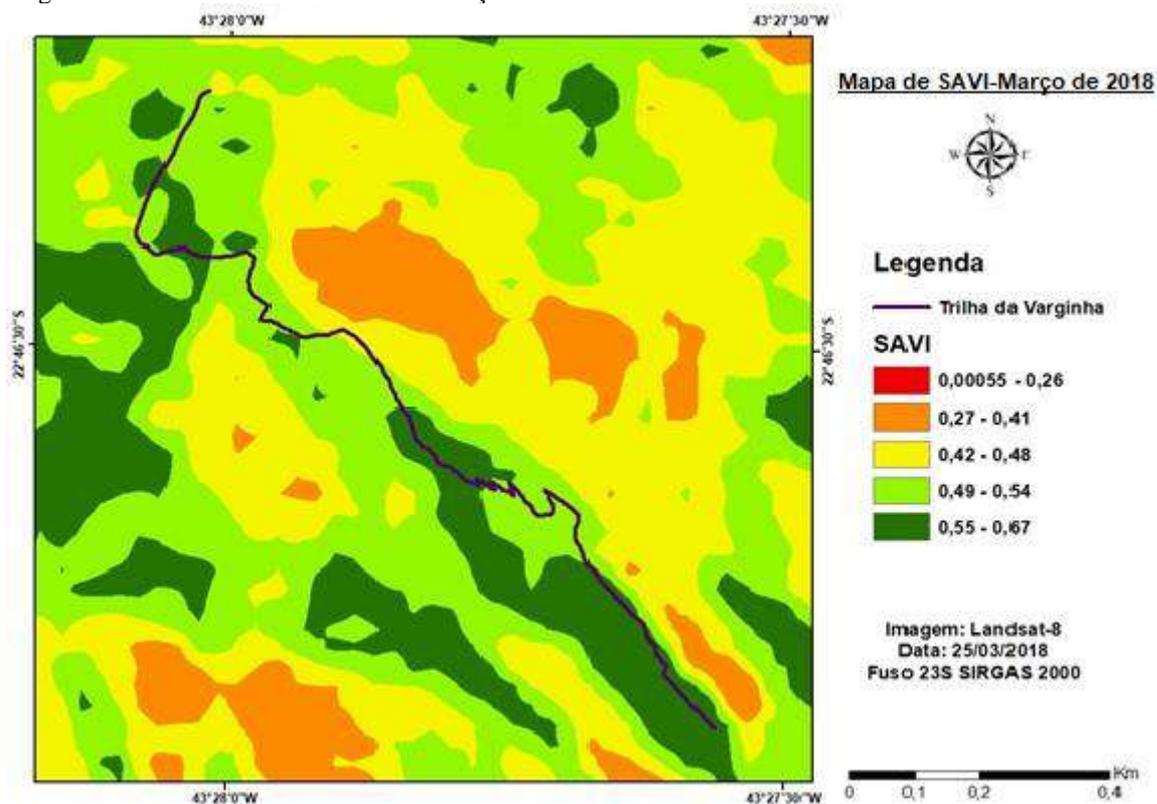
Fonte: O autor, 2019.

A análise da cobertura vegetal por NDVI da área de estudo, após dez anos, em Março de 2018 (Figura 29), revela uma agradável surpresa. Os valores do índice vegetativo subiram em todos os setores, onde o primeiro setor, em especial, quase em sua totalidade apresenta os valores na mais alta classe de densidade, entre 0,82-0,89, revelando densa cobertura vegetal. O terço médio em sua grande totalidade se concentra na classe 0,75 e 0,81. O terço final apresenta um equilíbrio entre as duas classes mais altas de densidade na cobertura vegetal.

Tal melhoria na densidade da cobertura vegetal pode ser empregada, dentre outros fatores, às atividades de manejo e replantio por parte da gestão do PNMNI, além de, por vezes, atividades educativas desenvolvidos pela mesma em conjunto com professores da rede municipal de Nova Iguaçu e Mesquita, além de atividades educativas e científicas envolvendo docentes e discentes do Departamento de Geografia do Instituto Multidisciplinar da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (IM-UFRRJ).

Embora a estação pluviométrica tenha registrado para o mês de Março de 2018 o menor índice do período analisado de dez anos, com valor de 97,13, reitera-se a melhoria do índice registrado pela imagem de satélite analisada.

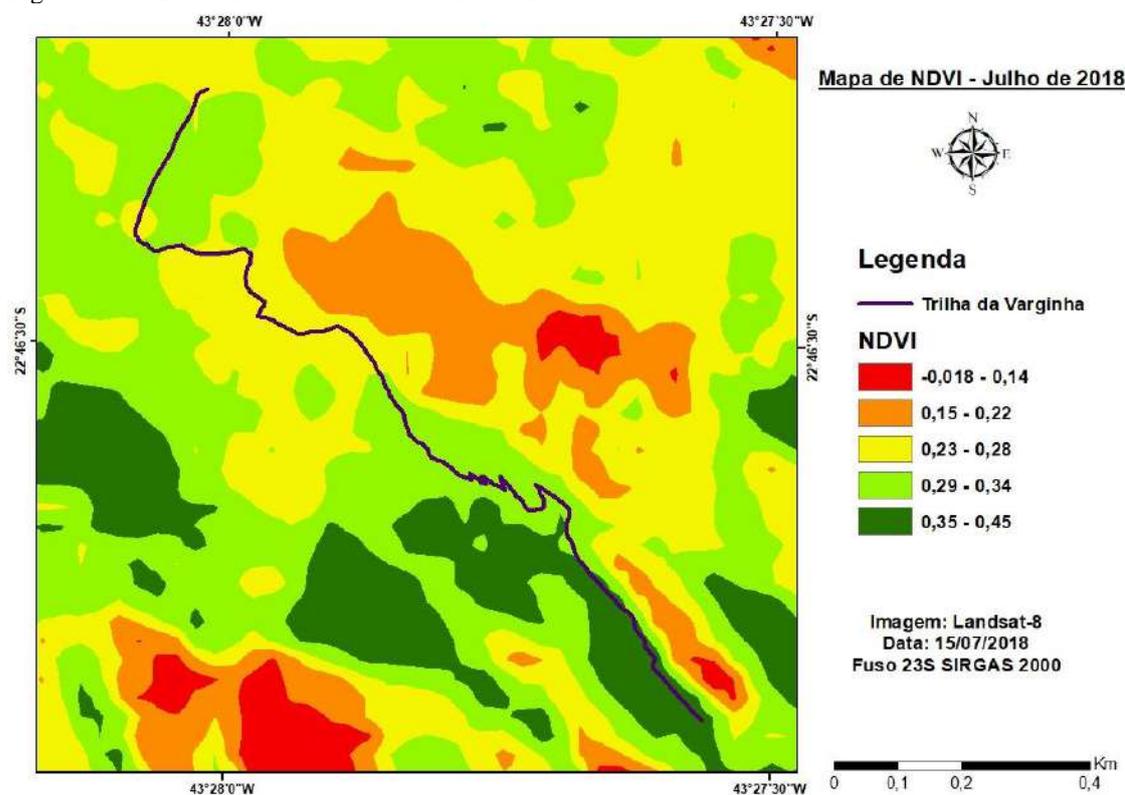
Figura 30 – SAVI referente ao mês de Março de 2018.



Fonte: O autor, 2019.

Quanto ao índice SAVI para este período (Figura 30), este apresenta um relato mais próximo da realidade esperada para o período. Embora apresente resultados menores que o NDVI, ainda assim apresenta valores superiores a este mesmo período em 2008. Para o terço inicial, a classe predominante é a de 0,55-0,67, em seu terço médio a de 0,49-0,54, classe esta que se repete como predominante também no terço final da trilha, expondo a transição de um porte vegetativo maior para um menor/arbustivo.

Figura 31 – NDVI referente ao mês de Julho de 2018.

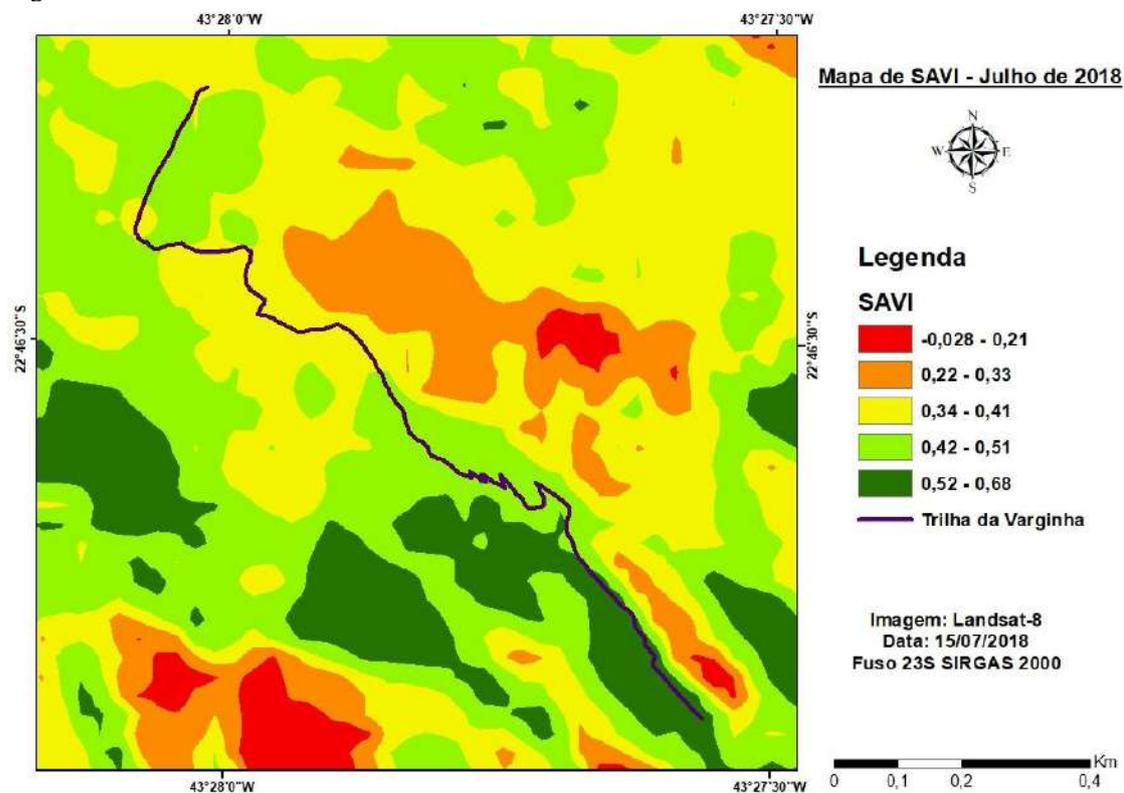


Fonte: O autor, 2019.

O NDVI para Julho de 2018 (Figura 31) segue a tendência já esperada de possuir o valor das classes menor e, por sua vez, do vigor da vegetação, devido a ser o período mais seco no ano. Entretanto, de forma geral, também apresenta densidade da cobertura vegetal maior que o ano de 2008 comparativamente. Desta forma, seu terço inicial concentra valores situados na classe entre 0,35-0,45, seu terço médio equilibrado entre as classes 0,29-0,34 e 0,23-0,28 e seu terço final repetindo o mesmo equilíbrio dos valores das classes do terço médio, revelando portes vegetativos de menor porte e arbustivo.

O índice pluviométrico registrado neste mês foi de 49,78 mm, praticamente a metade da média registrada no mês de Março de 2018. Embora o índice seja maior que o registrado dez anos antes, ainda assim é um baixo índice, estando em consonância com a estrutura vegetativa analisada através da imagem de satélite.

Figura 32 – SAVI referente ao mês de Julho de 2018.



Fonte: O autor, 2019.

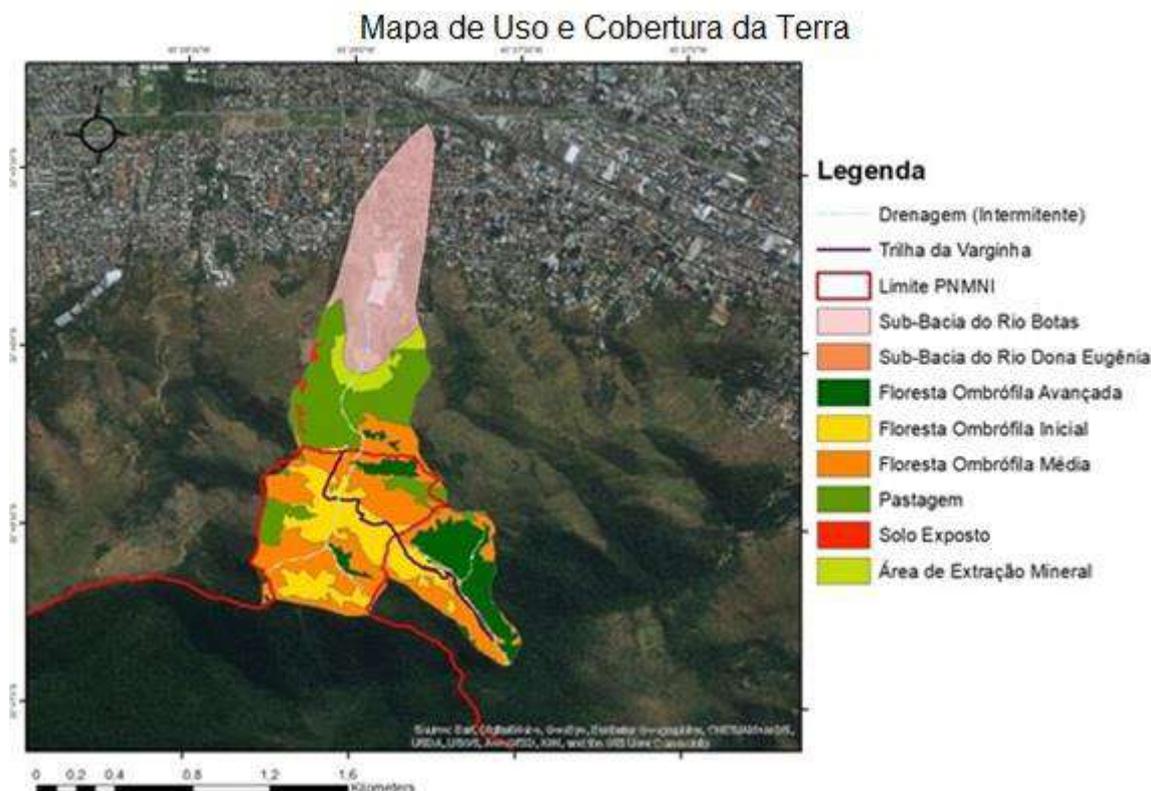
Embora o SAVI, em geral, possa tender a reduzir os valores apresentados pelo NDVI, para o mês de Julho de 2018 (Figura 32) o índice apresentou valores mais altos em suas classes, estando o primeiro terço compreendido na classe 0,52-0,68, com vegetação densa, o terço médio entre 0,34-0,41 e 0,42-0,51 e o terço final repetindo os valores semelhantes ao terço médio.

4.4 Mapa de Uso e Cobertura da Terra

O mapa de Uso e Cobertura da Terra (Figura 33), conforme explicitado, foi analisado com base no trabalho de Santos Júnior e Costa (2017), os quais informam que embora o Maciço Gericinó-Mendanha possua uma série de áreas ambientais protegidas, vem sofrendo com as pressões ambientais impostas pela ocupação urbana desordenada, uso rural e pastagens além de outras atividades impactantes como mineração e indústrias, apontadas na caracterização da área de estudo, além de outras atividades de lazer, esportes e recreação, por vezes mal planejadas, o que representa, na visão dos autores, um conflito entre os referidos usos e a preservação e

conservação dos ambientes do maciço, o que fica evidenciado com a vivência e análises ambientais na UC.

Figura 33 – Mapa de Uso e Cobertura da Terra.



Fonte: SANTOS JÚNIOR e COSTA, 2017.

Os mesmos autores supracitados apontam que as atividades mencionadas, além de exercer pressão ambiental, tem o potencial de intensificar os impactos ambientais já registrados. Nessa perspectiva, reforça-se a importância da análise e monitoramento ambiental através dos Sistemas de Informações Geográficas, de modo a assegurar sua função ambiental e, a reboque, suas funções de lazer e recreação de forma planejada.

Desta forma, ao se fazer o recorte para as duas sub-bacias pelas quais a trilha em análise atravessa percebe-se, que as classes de uso apontadas estão em consonância com as observações realizadas em campo onde, em seu início, a trilha tem início em áreas que mesclam floresta ombrófila avançada e média em seu primeiro terço, seu terço médio, na passagem do divisor topográfico para a Sub-Bacia do Rio Botas e praticamente toda esta sub-bacia na classe floresta ombrófila inicial, finalizando a trilha, no referido fragmento florestal protegido próximo ao Mirante da Vigné novamente na classe floresta ombrófila média.

Santos Junior e Costa (2017) consideraram a Classe Floresta Ombrófila em estágio avançado de regeneração como a que apresenta vegetação com fisionomia arbórea, a qual tem

cobertura fechada que forma dossel em certa uniformidade, com variedade de espécies lenhosas e indivíduos possuindo altura superior a 20 metros de comprimento e idade superior a 25 anos.

Já para a Classe Floresta Ombrófila Média, os autores apontam como características como sua fisionomia arbustivo/arbórea de cobertura fechada, iniciando a diferenciação entre os estratos e surgimento de espécies de sombra, com altura média dos indivíduos variando entre 5 e 10 metros com idade entre 11 e 25 anos. Nesta classe ocorre também a presença de indivíduos de grande porte misturados a arbustos e de indivíduos de grande porte se apresentam com cobertura fechada em meio a arbustos, conforme evidenciado na Figura 34.

Figura 34 – Cobertura Vegetal de Classe Floresta Ombrófila Média, registrada nas proximidades do atrativo geológico “Falha da Varginha”.



Fonte: O autor, 2018.

Para a Classe Floresta Ombrófila em estágio inicial de regeneração, Santos Junior e Costa (2017) consideram com a fisionomia herbácea/arbustiva, de cobertura aberto ou pouco fechada, com presença de indivíduos lenhosos com altura média de até 5 metros e idade entre 0 e 10 anos, apresentando tal classe, em relação aos indivíduos lenhosos como pertencentes a no máximo vinte espécies por hectare, sendo estas de crescimento rápido e ciclo biológico curto, com fina camada de serrapilheira sobre os solos e pouco decomposta.

Embora as imagens de campo registradas em Outubro de 2018 evidenciem que a subida para o divisor topográfico, no terço médio da trilha, até a passagem deste divisor na

praça do Boi, representando a metade da trilha e o início da descida até a suposta cratera do vulcão apresentem vegetação semelhante a de pastagem e gramíneas, ressalta-se, de acordo com Santos Junior (2009) que este tipo de vegetação também pode ser considerada na classe de Floresta Ombrófila em estágio inicial de regeneração, fato este reforçado através das imagens registradas em campo, conforme elencadas nas Figuras 35 e 36 abaixo.

Figura 35 – Cobertura Vegetal presente na área da suposta cratera do Vulcão de Nova Iguaçu - 2016.



Fonte: O autor, outubro de 2016.

A figura 35, que retrata o período de Outubro de 2016, ratifica a classe apresentada pelo mapeamento proposto por Santos Junior e Costa (2017). Entretanto, os autores, ao abordarem a relação Homem-Natureza no âmbito da dinâmica do uso da terra e cobertura vegetal, deixam claro que esta classificação não é imutável. O mapeamento levantado possui extrema relevância, conforme mencionado, a critério do planejamento, monitoramento e gestão ambiental não somente do PNMNI, mas de todas as UC's presentes no Maciço Gericinó-Mendanha, entretanto, tal proposta baseada em sensores multiespectrais, necessita de constante atualização, em especial devido a esta área, conforme relatado por Mello (2008, 2010 e 2011) e Bezerra *et al.* (2015) ser sujeita a presença de gado e frequentes incêndios, conforme comprova a própria imagem, apresentando indivíduos queimados, com coloração escura, sugerindo-se sua atualização constante.

Figura 36 – Cobertura Vegetal presente na área da suposta cratera do Vulcão de Nova Iguaçu - 2018.



Fonte: O autor, outubro de 2018.

Já a Figura 36, retratando a cobertura vegetal da mesma área de 2016, agora no ano de 2018, evidencia a necessidade de constante monitoramento, em especial devido as dinâmicas ambientais desta seção em questão. A cobertura vegetal se apresenta com pastagens, gramíneas e esparsos indivíduos em estágio inicial de regeneração, conforme apontado por Santos Junior e Costa (2017). Ainda assim, mesmo com a evidente diferença após dois anos, ainda assim este setor da trilha se enquadra na classificação proposta.

4.5 Mapa de Suscetibilidade Erosiva

Objetivando a presente pesquisa a analisar o processo de compactação do solo na Trilha da Varginha e seus processos associados, foi elaborado um mapa de suscetibilidade erosiva para a trilha em suas duas sub-bacias da qual ela perpassa, sendo tal análise motivada pois, conforme exposto, uma vez a água não infiltrando no solo por sua compactação, passa a

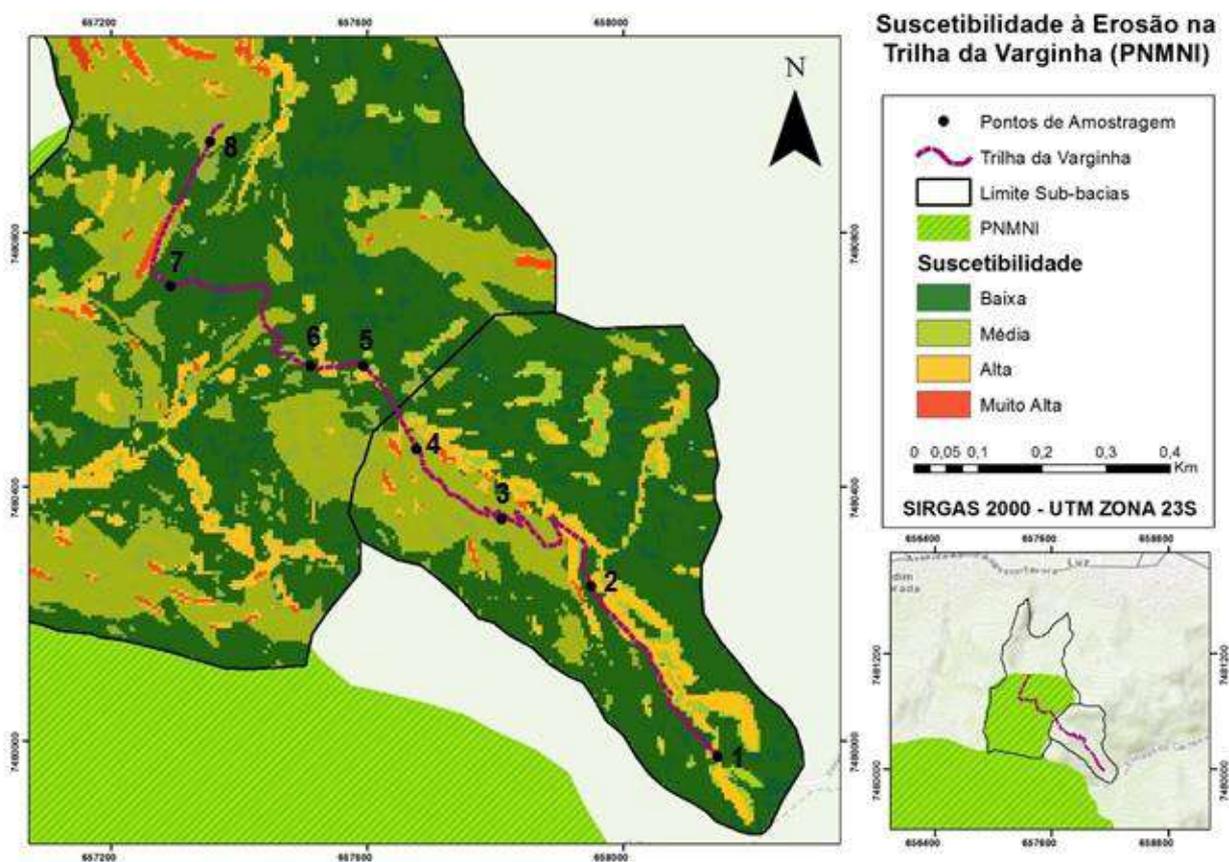
correr superficialmente gerando os processos erosivos, dinâmica esta relacionada ao processo de compactação do solo.

Também exposto foi que realizou-se o estudo integrado escolhendo-se quatro condicionantes, sendo a Declividade, Formas do Terreno, Uso e Cobertura e Geologia de modo a se determinar a propensão aos processos erosivos que a trilha apresenta naturalmente, com as condições em que se encontra, podendo os processos erosivos serem ainda mais intensificados com a selagem da camada superficial do solo.

Buscou-se identificar as áreas nas duas sub-bacias com maior predisposição aos processos erosivos realizando-se o cruzamento e análise das variáveis naturais e ambientais elencadas acima, mapeamentos estes apresentados nesta seção.

Assim sendo, apresentados e justificados os pesos e notas no item 3.7 da seção de Materiais e Métodos da presente pesquisa, a figura 37 apresenta o mapa final de suscetibilidade erosiva para a Trilha da Varginha – PNMNI.

Figura 37 – Mapa de Suscetibilidade erosiva na área de estudo.

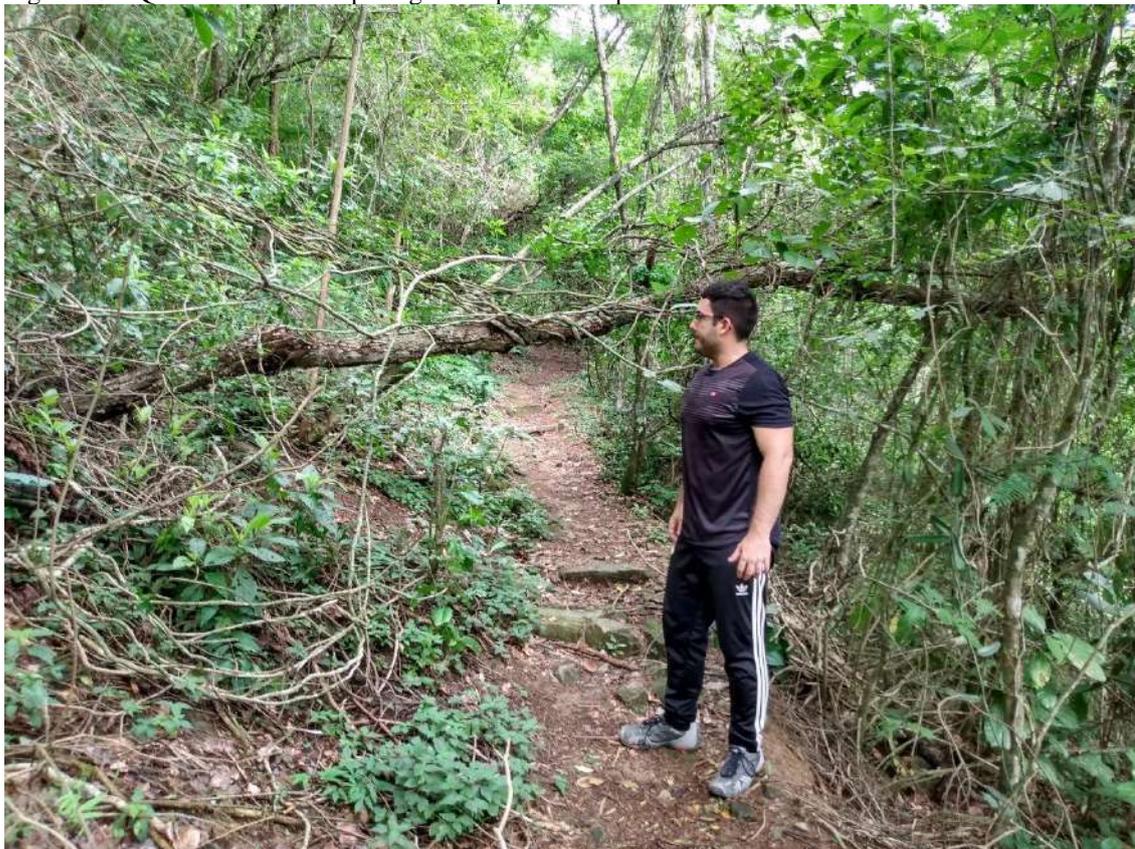


Fonte: O autor, 2020.

A análise do mapa permite constatar que na Sub bacia do Rio Dona Eugênia, onde se encontram os pontos de coleta de 1 a 4, todos os pontos, exceto o ponto 2 situam-se em áreas de média suscetibilidade erosiva, onde o ponto 2 encontra-se em uma área de baixo potencial erosivo. Tal fato se confirma, em especial para os pontos 3 e 4 onde já a partir do ponto 2 nota-se a mudança da fisionomia vegetativa, seguindo de porte arbustivo/pasto até ao menos a passagem do ponto 5 ao 6, na Sub Bacia do Rio Botas.

A este propósito, no período de realização dos trabalhos de campo para coletas de amostras de solo, presenciamos tanto na passagem do ponto 1 ao 2 (Figura 38), quanto nas proximidades do ponto 3 (Figura 39) dois pequenos movimentos de massa onde embora este setor seja classificado por Oliveira (2017) como de baixa suscetibilidade a movimentos de massa, eles tem potencialidade de ocorrer e podem estar associados aos processos erosivos em potencial na área, onde a própria passagem do ponto 1 ao 2 corta áreas de média e alta suscetibilidade erosiva.

Figura 38 – Queda de árvore na passagem do ponto 1 ao ponto 2 de coleta de amostras de solo.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 39 – Pequeno movimento de massa nas imediações do ponto de coleta 3.



Fonte: O autor, 2020.

Já na Sub Bacia do Rio Botas, que compreende os pontos de 5 a 8 de coletas de amostragem, o ponto 5 encontra-se em uma área de alta suscetibilidade a processos erosivos, provavelmente em função de sua declividade e a vegetação de pasto muito presente na localidade, com solo exposto e frequente trânsito de bovinos, equinos e caprinos. Os pontos 6 e 7 encontram-se em áreas de baixa suscetibilidade a erosão, o primeiro por já encontrar-se em uma área com declividade menos acentuada, uma vez que se encontra já nas proximidades da suposta cratera do vulcão de Nova Iguaçu e o ponto 7 por já ser dentro da suposta cratera, em uma área plana. O ponto 8 encontra-se em uma área com média suscetibilidade erosiva, provavelmente em função do retorno mais perceptível da vegetação de pasto.

A análise geral da trilha como um todo permite observar que em seu primeiro setor, com os pontos de coleta de 1 a 4, perpassa, em sua maioria, por áreas de média suscetibilidade, apresentando trechos de alta suscetibilidade e alguns trechos de baixa suscetibilidade. O segundo setor, por sua vez, apresenta um equilíbrio maior entre as áreas de baixa e média suscetibilidade, embora após o divisor topográfico apresente áreas de alta suscetibilidade e logo após o ponto 7, indo para o final da trilha no ponto 8, perpassa por uma área de suscetibilidade erosiva muito alta, sendo uma valiosa informação à gestão do Parque para futuras intervenções no local.

Assim sendo, os mapas aqui apresentados corroboraram para uma visão integrada dos condicionantes naturais e ambientais da Trilha da Varginha onde, aliadas às informações das

análises das propriedades físicas e químicas do solo na próxima seção fornecem um completo panorama ambiental da trilha, balizando as ações da gestão no que tange às intervenções de manejo na mesma.

4.6 Análise das Condições Gerais da Trilha

Conforme exposto, para melhor detalhar a trilha, expondo suas condições ambientais, a mesma foi dividida em dois setores, o da Sub-Bacia do Rio Dona Eugênia e a Sub-Bacia do Rio Botas. Dentro de cada sub-bacia foram escolhidos quatro pontos amostrais, onde irão se abordar características visuais como exposição de raízes, rochas, acúmulo de água, feições erosivas bem como a falta de manejo de forma geral, sendo, em seguida, expostos os resultados das amostras de solo.

O Ponto 1 de amostragem (Figura 41) foi escolhido cerca de 150 metros após o início da trilha. Ele está inserido em uma área de floresta ombrófila densa em seu início. Nele não foram percebidos nenhum dos problemas mencionados. É um ponto que fica após uma série de degraus de manejo, os do início da trilha, inclusive, encontram-se destruídos (Figura 40), o que representou grande dificuldade de acesso com os materiais de coleta de amostras, e em uma área de bambuzal, com significativa camada de serrapilheira. O ponto em questão, assim como toda a trilha, não tem canaletas laterais de drenagem, nos levando a compreender que justamente a folhagem de bambu na trilha é o que amortiza o impacto das gotas de chuva e o fluxo superficial.

Figura 40 – Degraus destruídos no início da trilha, representando um fator limitante ao acesso do visitante a trilha.



Fonte: O autor, 2019.

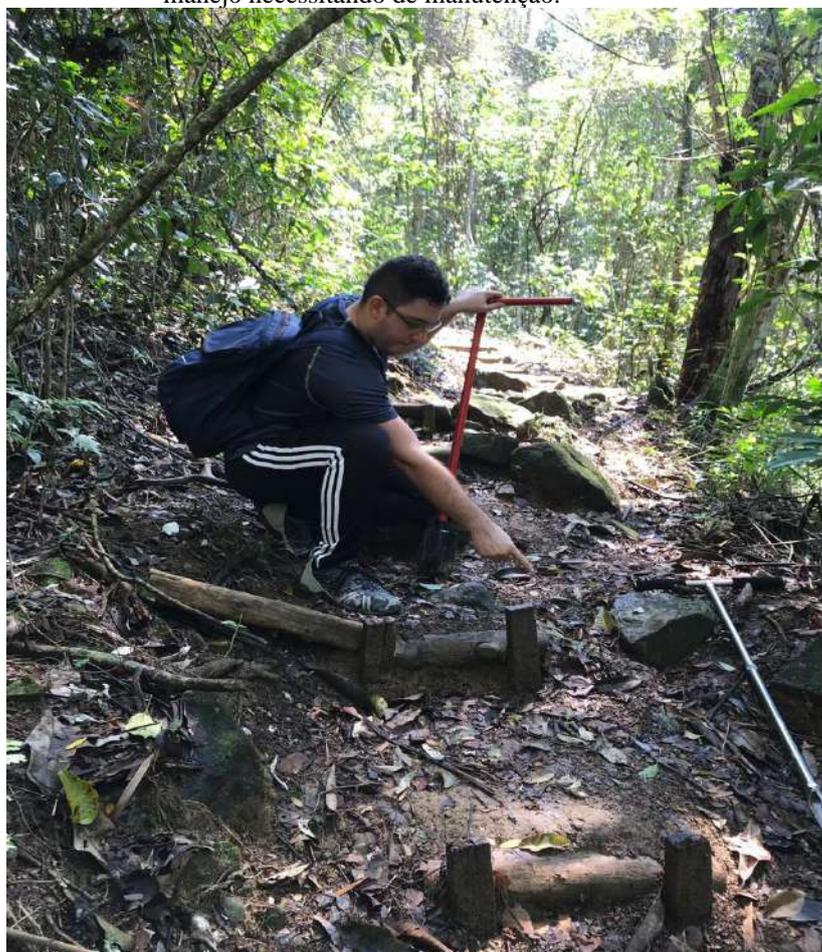
Figura 41 – Ponto de amostragem 1, aferindo a distância de 2,0 metros da borda da trilha para a área de floresta.



Fonte: O autor, 2019.

Embora o trecho inicial deste primeiro setor, que compreende os pontos 1 e 2 possuir uma vegetação mais densa, a passagem entre estes pontos apresenta, por vezes, um caminho dificultoso com muitos blocos rochosos no meio da trilha, bem como degraus de manejo desgastados e necessitando de manutenção, com acúmulo de sedimentos (Figura 42). Quanto a presença dos blocos rochosos no leito da trilha, Rangel (2014) expõe que tal fato pode estar associado a um passado de grande energia, podendo ser fruto de escorregamentos e movimentos de massa e quanto ao acúmulo de sedimentos, pode estar associado ao escoamento superficial da água na trilha. No trajeto entre os pontos 1 e 2, visualmente não são percebidas feições erosivas.

Figura 42 – Presença de blocos rochosos na trilha, acúmulo de sedimentos e degraus de manejo necessitando de manutenção.



Fonte: O autor, 2019.

O ponto 2 de Amostragem (Figura 43) situa-se próximo a placa “Brecha Piroclástica” do Caminhos Geológicos – DRM-RJ. Igualmente ao ponto um, situa-se em um ponto de floresta ombrófila densa, de fácil acesso, não sendo percebidos no ponto raízes expostas, blocos rochosos, acúmulo de água e feições erosivas, contudo, conforme mencionado anteriormente,

este ponto, como em toda trilha, não possui calha lateral de drenagem, estando sujeito ao escoamento superficial concentrado.

Figura 43 – Ponto de Amostragem 2.



Fonte: O autor, 2019.

Logo após o ponto 2, é bastante notório a perda do vigor da vegetação, alterando seu porte, havendo a presença de pasto entre a vegetação e algumas áreas com clareira. Tal fato se intensifica à proporção que se aproxima do ponto 3, subindo a encosta em curvas de nível e a vegetação, salvo em alguns pontos, se assemelha até o final da trilha, na sub-bacia do Rio Botas. A cerca de 150 m do ponto 2, há um afloramento o qual a trilha corta onde antes possuía uma ponte que transpunha este obstáculo (Figura 44), contudo, provavelmente pela deterioração do tempo ou algum evento natural, a mesma não se encontra mais no local e transpor tal obstáculo

representa grande risco de queda e acidente por parte do visitante, além da dificuldade do mesmo, necessitando tal ponto da trilha urgente intervenção no sentido de evitar acidentes.

Figura 44 – Afloramento rochoso em meio a Trilha, representando grande risco e difícil obstáculo.



Fonte: O autor, 2019.

A área em que se situa o ponto 3 já é sujeita as queimadas mencionadas. É um ponto que seu acesso demanda esforço físico, agravando-se tal fato a presença de vegetação arbustiva queimada, capim coloniã e gramíneas. O ponto 3 (Figura 45) situa-se em uma curva na subida para o divisor topográfico. É um ponto que embora não ocorra a presença de blocos rochosos, raízes expostas, acúmulo de água e feições erosivas, é um ponto em que está sujeito ao escoamento superficial pela ausência de vegetação, inclusive ocorrendo destruição de degraus de manejo em sua área próxima (Figura 46), ponto este que, porém, possui raízes expostas que indicam atividade erosiva. É um ponto também sem ausência de canaletas de drenagem lateral, que seriam de grande utilidade vide o ponto ser em uma maior declividade de encosta.

Figura 45 – Ponto de Amostragem 3.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 46 – Degraus de manejo destruídos logo após o ponto 3, representando um fator limitante a visitação.



Fonte: O autor, 2019.

A Trilha da Varginha é contemplada pelo mapeamento dos Caminhos Geológicos – DRM-RJ, conforme mencionado. Contudo, as placas entre os pontos 2 e 4 (Mirante do Levi e Lapillitos) já se encontram em um estado de conservação ruim, além da placa Lapillitos ser a última, pois as placas até o final da trilha foram removidas, provavelmente por vandalismo, inclusive a do ponto 8, final, no mirante da Vigné. Com exceção destas placas educativas, a Trilha da Varginha não conta com nenhuma outra placa informativa, o que representa limitação sobretudo a partir do ponto 4, na passagem entre sub-bacias, conforme será visto adiante.

O ponto 4 (Figura 47) situa-se a cerca de 100 metros da Praça do Boi, divisor topográfico que delimita as sub-bacias. Nele há uma árvore em meio a grande quantidade de capim colônia, sendo um raro ponto de sombreamento após o ponto 3. Embora neste ponto não ocorram feições erosivas, nem raízes expostas, não tenham presença de blocos e acúmulo de água, é um ponto em que ocorre o estreitamento da trilha, onde Costa (2006) aponta que tal fato pode ocasionar acidentes, além de ser percebida a queda da borda crítica, também mencionada em Rangel (2014).

Figura 47 – Ponto de Amostragem 4.



Fonte: O autor, 2019.

Conforme mencionado, após 100 metros do ponto de amostragem 4 encontra-se a praça do Boi (Figura 48), marco divisório entre as sub-bacias. A partir dela intensificam-se as percepções de degradação da trilha, com a presença mais proeminente de feições erosivas, blocos rochosos e presença de raízes. A limitação a experiência do visitante, na praça do Boi, tem início pelo fato da já mencionada ausência de placas informativas e este ponto além de marco divisório, possui uma bifurcação que, a esquerda, dá início para a Trilha da Contenda e, a direita, a continuidade da Varginha até o Mirante da Vigné. A partir deste trecho, em determinadas épocas do ano, a altura do pasto é alta, a ponto de não se ver o chão, onde, somado a ausência de placas informativas, pode gerar no visitante insegurança em dar continuidade a trilha.

Figura 48 – Praça do Boi, marco divisório entre as sub-bacias que a trilha perpassa. À esquerda encontra-se o início da Trilha da Contenda e em frente, a continuidade da Varginha. Nota-se ausência de placas informativas, bem como a deterioração da trilha e de sua vegetação, com dificuldade de definição do leito da trilha.



Fonte: O autor, 2019.

No período de coleta das amostras (Setembro a Novembro de 2019) o pasto não estava tão alto devido ao ciclo das queimadas no inverno, deixando expostas as muitas feições erosivas na continuidade da Varginha, a caminho do ponto 5 (Figura 49). Em toda descida do Vale da Varginha até a chegada a suposta cratera do Vulcão de Nova Iguaçu, são evidenciadas feições erosivas dos mais diversos tamanhos (Figura 50), o que evidencia a grande necessidade deste segundo setor da trilha receber intervenções de manejo, com canaletas laterais de drenagem e o reflorestamento deste setor.

O leito do ponto de amostragem 5 (Figura 51), neste contexto, situa-se justamente em uma feição erosiva fruto do fluxo superficial gerado. Neste setor, visualmente, nota-se a camada superficial do solo gerada e a grande presença de equinos e bovinos, onde o trabalho de Triane (2008) evidencia os grandes impactos ao solo, como sua compactação, que podem gerar em potencial.

Figura 49 – Ponto de Amostragem 5, inserido em uma área com notórios impactos ambientais negativos.



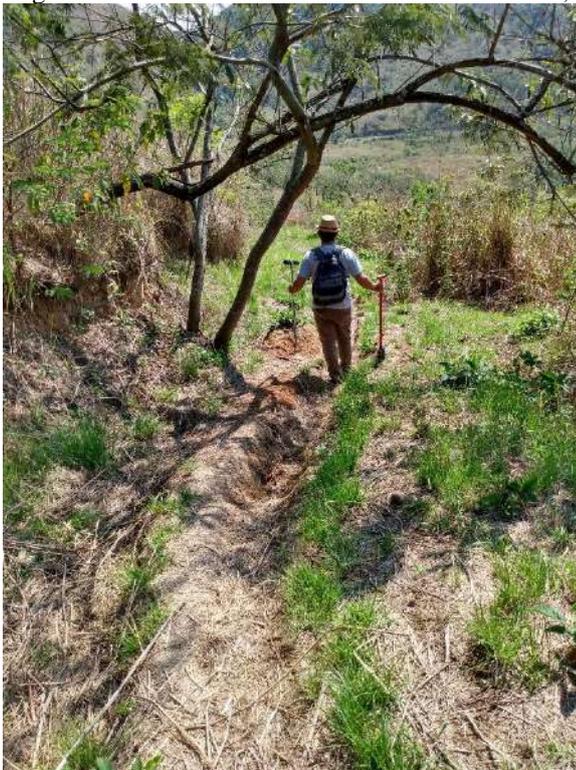
Fonte: O autor, 2018.

Figura 50 – Presença de feições erosivas logo após o Ponto de Amostragem 5.



Fonte: O autor, 2019.

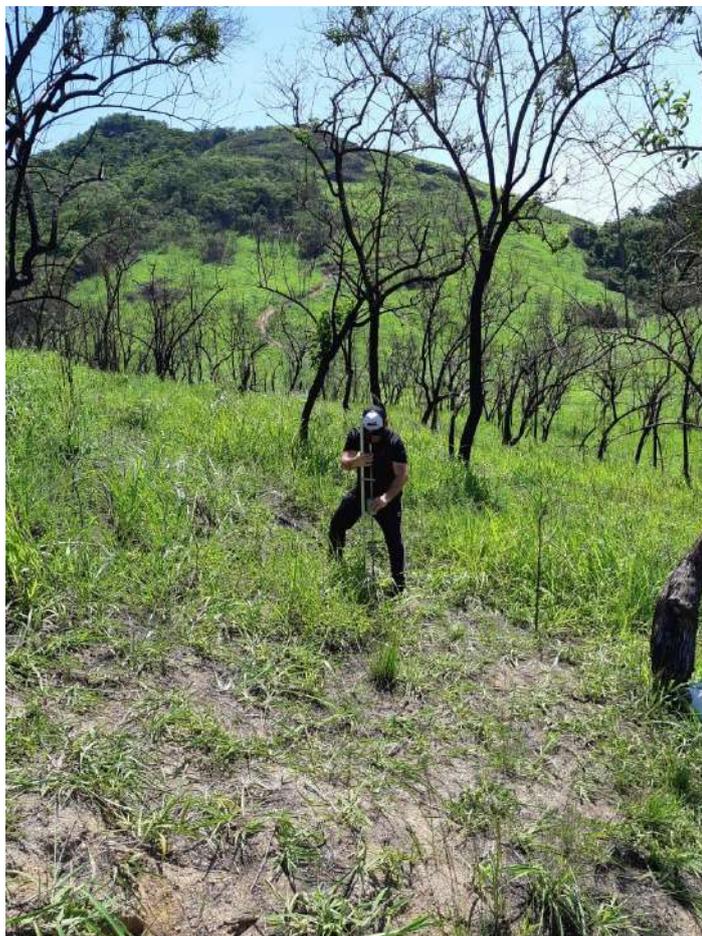
Figura 51 – Coleta de Amostras no leito do Ponto 5, em uma feição erosiva.



Fonte: O autor, 2019.

O ponto de amostragem 6 (Figura 52) situa-se a cerca de 50 metros da chegada a suposta cratera do Vulcão de Nova Iguaçu. Conforme mencionado, em todo este setor, inclusive neste ponto, são percebidas algumas feições erosivas, porém menores que no ponto 5, além da presença de raízes de vegetação. Também é um ponto em que não raro fica encoberto pelo pasto em alguns períodos do ano e também sujeito a passagem de equinos e bovinos, fato este constatado durante o período de coleta de amostras em campo.

Figura 52 – Ponto de Amostragem 6, em aferição da resistência à penetração do solo com o equipamento Penetrômetro de Impacto.



Fonte: O autor, 2019.

A figura 36 mostra a continuidade da trilha após o ponto 6. É um ponto que, tanto quanto a Praça do Boi, gera incerteza e dúvida ao visitante uma vez que não possui qualquer sinalização indicativa de qual caminho a trilha deve ser seguida, além da insegurança quanto à presença ou não de animais peçonhentos, uma vez que o pasto em alguns períodos do ano é alto, conforme mencionado, afetando a experiência do visitante em sua visita.

O ponto de amostragem 7 (Figura 53), já na suposta cratera, fica próximo a uma Jaqueira, ponto de referência para a gestão do Parque. A suposta cratera é um ponto de descanso do gado das fazendas na zona de amortecimento do Parque que, para além de evidenciar um conflito de usos, evidencia os impactos ao solo do pisoteio de equinos e bovinos. É um ponto que, embora sem feições erosivas, por ser uma área plana, apresenta algumas raízes expostas, além da percepção da selagem da camada superficial do solo pelo pisoteio dos animais.

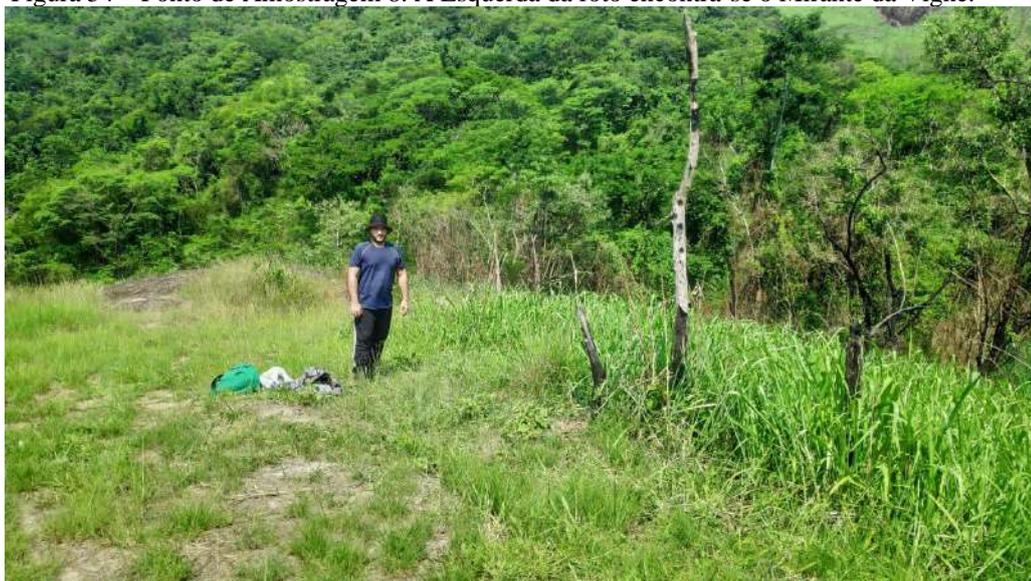
Figura 53 – Ponto de Amostragem 7 e a presença do pisoteio de animais.



Fonte: O autor, 2019.

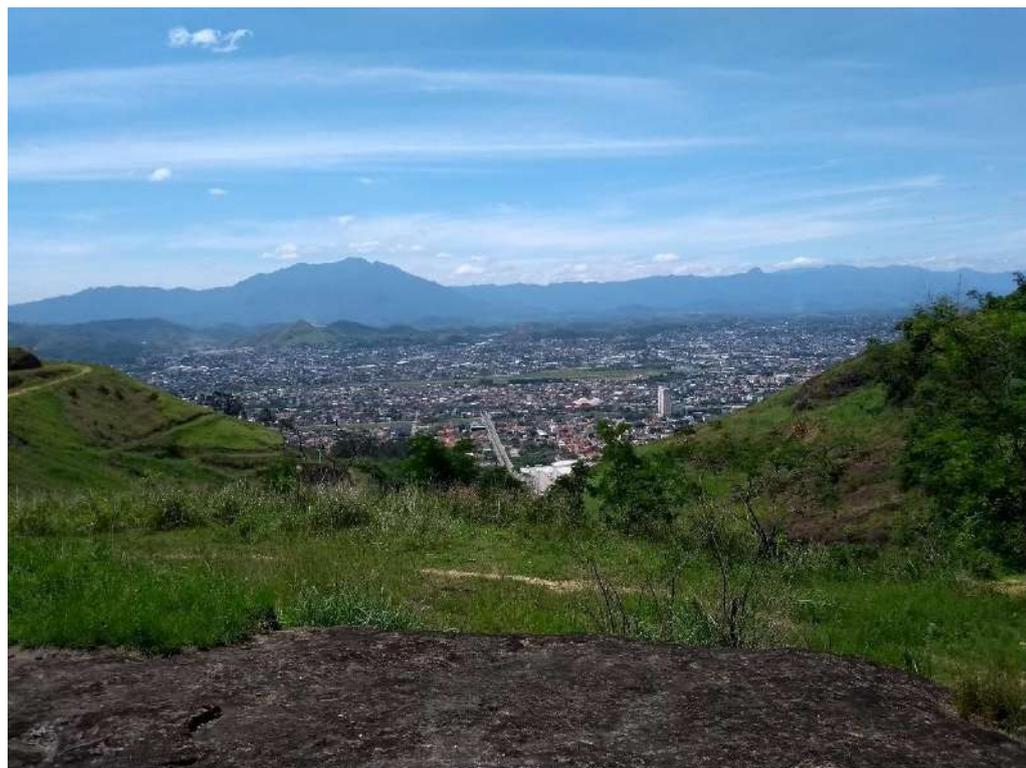
A cerca de 200 metros do ponto 7, encontra-se o ponto 8 de amostragem (Figura 54), que por sua vez também é o final da trilha, chegando ao Mirante da Vigné (Figura 55). Este trajeto também possui muitas marcas do pisoteio de Bovinos, sobretudo nos períodos chuvosos, onde a umidade deixa o solo mais plástico, tornando mais evidentes as pegadas. O Mirante da Vigné possui uma placa dos Caminhos Geológicos – DRM, que não se encontra no local, conforme exposto, além de ser um ponto que não se distingue o que é o leito da trilha, sua borda e sua área preservada, tendo necessitadas as coletas e aferição de penetrometria da trena para se delimitarem as distâncias. Este ponto não apresenta blocos rochosos, acúmulo de água e raízes expostas, porém, possui algumas feições erosivas.

Figura 54 – Ponto de Amostragem 8. A Esquerda da foto encontra-se o Mirante da Vigné.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 55 – Mirante da Vigné, final da Trilha da Varginha, com sua grande beleza cênica da Cidade de Nova Iguaçu, RJ, Serra de Tinguá, à esquerda e ao fundo a Serra do Mar.



Fonte: O autor, 2019.

Desta forma, feita esta breve caracterização das condições físicas da Trilha, evidencia-se a necessidade de manejo que a mesma possui, sobretudo no segundo setor, da sub-bacia do Rio Botas. Ressalta-se o grande trabalho que a gestão tem feito na Unidade, mesmo com toda carência de infraestrutura de equipamentos e pessoal treinado, estando ciente da necessidade de

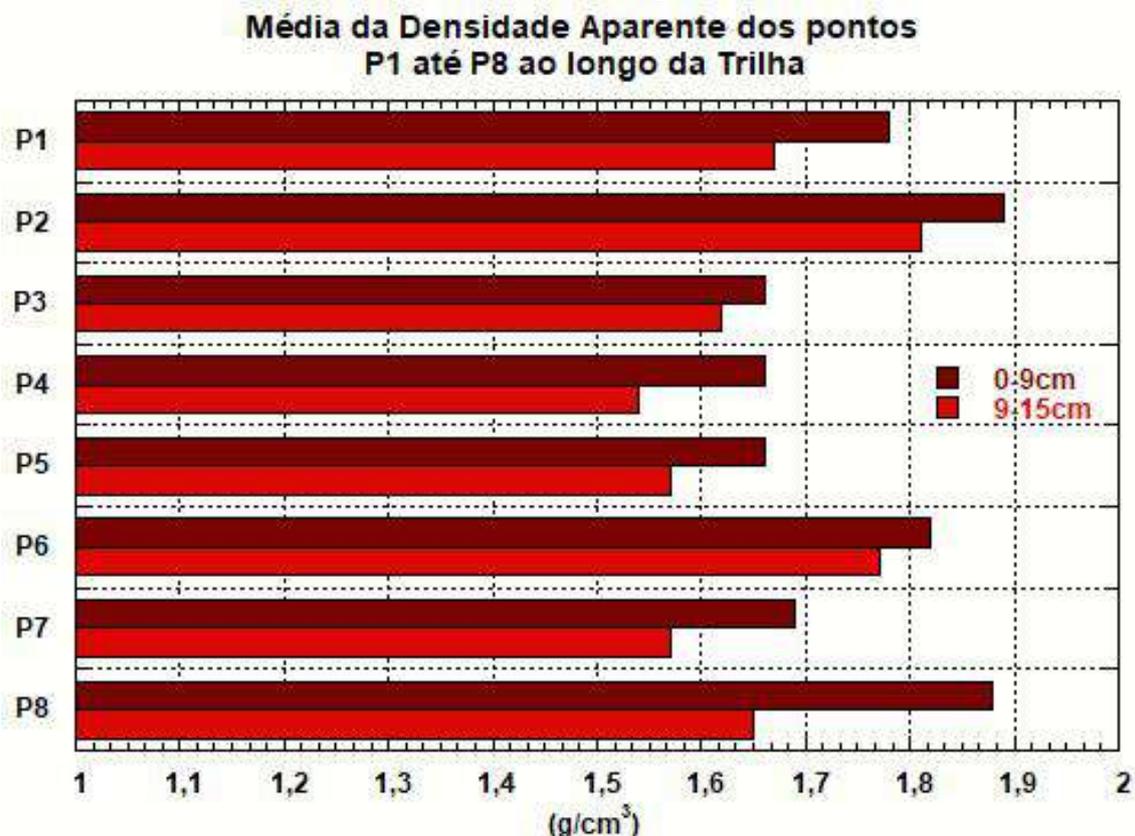
manejo, porém, muitas vezes, não possuindo recursos para execução, direcionando os poucos recursos que possui para o combate aos incêndios no Parque.

São feitas com frequência atividades de replantio de mudas nas encostas degradadas, a partir do Ponto 3, com dificuldade de manutenção sobretudo devido às mencionadas queimadas, além da presença do gado que adentra por vezes os limites do Parque. Porém, há carência de reflorestamento para o segundo setor. As sugestões de manejo e recuperação serão feitas após a exposição dos resultados das propriedades físicas e químicas do solo.

4.7 Análise das Propriedades Físicas e Químicas do Solo na Trilha da Varginha

Conforme mencionado, foram analisados oito pontos de amostragem ao longo da Trilha da Varginha, sendo quatro pontos de amostragem em cada sub-bacia. Realizadas as coletas e analisadas as propriedades físicas e químicas do solo, foi possível determinar a alteração das propriedades do solo relacionadas ao uso da trilha em estudo em grande parte dos pontos, quer seja na posição do leito, borda ou vegetação, além das alterações paisagísticas mencionadas no tópico anterior. Tais análises visam fazer um comparativo das áreas da trilha e das áreas sem o pisoteio, de modo a avaliar a perturbação do uso às propriedades do solo e realizar o comparativo

Desta forma, em relação à Densidade Aparente Gráfico 2, constatou-se o que vinha sendo observado na literatura, onde o leito apresenta os maiores índices quando comparado à borda e a área de vegetação sem pisoteio.

Gráfico 2 – Valores de Densidade Aparente da Trilha da Varginha nos pontos amostrados em g/cm^3 .

Fonte: O autor, 2020.

Apresentando os resultados valores compreendidos entre $1,4 \text{ g/cm}^3$ e $1,9 \text{ g/cm}^3$, compreende-se, de acordo com Kiehl (1979), a frações minerais, além do inadequado manejo do solo (RANGEL, 2014), sendo valores em consonância com Costa (2006), Maganhotto *et. al.* (2010), Rangel (2014) e Jorge (2017).

A análise dos dados permite observar que nos leitos, a primeira profundidade em geral encontra-se mais densa, apontando a selagem da camada superficial do solo, padrão de comportamento este que se repete na borda e mesmo na área de vegetação, sem pisoteio (Tabela 1). Em relação a esta, mesmo tendo sido coletadas a uma distância de 2 metros do leito, segundo as metodologias de análise de trilhas, todos os pontos na vegetação, nas duas profundidades apresentaram índices de densidade aparente compreendidos entre $1,5 \text{ g/cm}^3$ e $1,9 \text{ g/cm}^3$ (Primeiro ponto, na primeira profundidade), revelando que mesmo as áreas sem pisoteio estão sofrendo algum tipo de distúrbio e influência do uso da trilha.

Tabela 1 – Dados de Densidade Aparente dos pontos amostrados em g/cm³.

Densidade Aparente - Trilha da Varginha (g/cm³)			
<u>0 - 9 cm</u>	Leito	Borda	Vegetação
Ponto 1	1,73	1,71	1,90
Ponto 2	1,95	1,86	1,86
Ponto 3	1,71	1,72	1,56
Ponto 4	1,69	1,65	1,64
Ponto 5	1,40	1,84	1,75
Ponto 6	1,79	1,81	1,85
Ponto 7	1,73	1,70	1,64
Ponto 8	1,90	1,87	1,88
<u>9 - 15 cm</u>	Leito	Borda	Vegetação
Ponto 1	1,73	1,78	1,51
Ponto 2	1,90	1,75	1,77
Ponto 3	1,65	1,61	1,60
Ponto 4	1,53	1,48	1,61
Ponto 5	1,62	1,60	1,50
Ponto 6	1,59	1,92	1,80
Ponto 7	1,49	1,71	1,51
Ponto 8	1,73	1,60	1,62

Fonte: O autor, 2020.

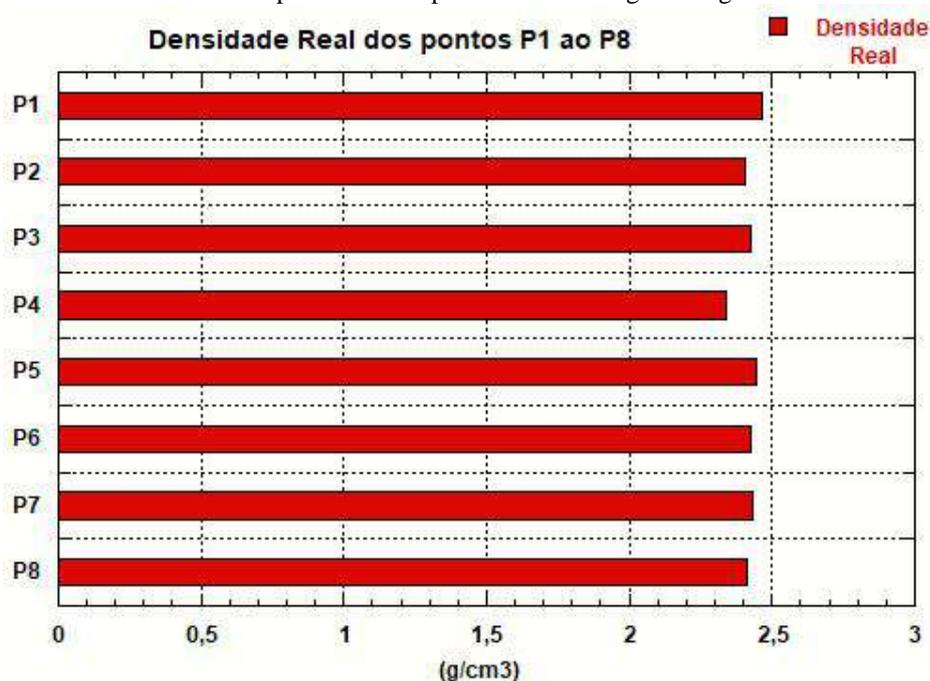
A comparação entre os setores mostra que, no leito da trilha, há certo equilíbrio entre os setores, embora com tendência a maiores valores de densidade no primeiro setor. Nas bordas o primeiro setor encontra-se mais denso, enquanto que no segundo setor as segundas profundidades encontram-se mais densas. Nas áreas de vegetação, também foi constatado equilíbrio de valores entre os setores, sendo os maiores valores encontrados no primeiro ponto, primeira profundidade, conforme mencionado, provavelmente relacionado ao quantitativo de visitantes que dá início a trilha e, no último ponto (8), primeira profundidade, provavelmente relacionado à selagem da camada superficial do solo, aos solos serem pouco profundos, sendo o próprio Mirante da Vigné um afloramento rochoso, a vegetação de pasto presente e ao pisoteio do gado, sendo este fator também influenciando o primeiro.

Tais valores indicam que as camadas de solo encontram-se com densidades elevadas, dificultando a infiltração de água, sendo favoráveis aos processos erosivos.

A Densidade Real ou de Partículas (Gráfico 3) apresentou índices compreendidos entre 2,29 g/cm³ e 2,53 g/cm³, onde, de acordo com Kroeff (2010) e Rangel (2014) tais solos estão

de acordo com solos minerais, tendência que também se confirma na área de estudo, enquadrando-se em valores de 2,3 a 2,9 g/cm³.

Gráfico 3 – Densidade de partículas dos pontos de amostragem em g/cm³.



Fonte: O autor, 2020.

Ademais, Rangel (2014) acrescenta neste debate que tais valores obtidos, inclusive a média de 2,4 g/cm³ (Tabela 2) para o leito, indicam a maior compactação do solo, com efeitos do uso sentidos na Borda e na área de vegetação, apontando, ainda, enquanto solos minerais, de acordo com o resultado obtido, para a perda de matéria orgânica, como efeitos do pisoteio e erosão, sendo necessário monitoramento de tais condições em toda a trilha de modo a minimizar os impactos dos processos erosivos.

Tabela 2 – Densidade Real dos pontos amostrados em g/cm³.

**Densidade Real - Trilha da Varginha
(g/cm³)**

<u>0 - 15 cm</u>	Leito	Borda	Vegetação
Ponto 1	2,43	2,46	2,50
Ponto 2	2,43	2,43	2,35
Ponto 3	2,43	2,46	2,38
Ponto 4	2,40	2,32	2,29
Ponto 5	2,53	2,40	2,40
Ponto 6	2,44	2,40	2,43
Ponto 7	2,46	2,43	2,41
Ponto 8	2,43	2,43	2,38

Fonte: O autor, 2020.

Em relação à Porosidade total (Tabela 3), os índices em porcentagem levantados compreendem-se entre 19,67% (Leito, Ponto 8, primeira profundidade) e 44,58 (Leito, Ponto 5, primeira profundidade) apresentando em sua totalidade baixos índices de porosidade total, confirmando os dados anteriormente expostos das densidades aparente e real. Desta forma, observou-se certo equilíbrio nas porcentagens do leito entre os dois setores, na primeira profundidade e uma tendência a menor porosidade total no leito na segunda profundidade no primeiro setor, fato este provavelmente ligado ao pisoteio do visitante e as condicionantes naturais apresentadas, embora, conforme exposto, os índices do leito não ultrapassaram 40%, demonstrando baixa porosidade total de forma geral, indicadores estes menores que os encontrados por Costa (2006), porém semelhantes a Rangel (2014) e Jorge (2017).

Chama-nos atenção os pontos 1, 5 e 6 na primeira profundidade e 4, 6 e 7 na segunda profundidade, apresentando porcentagens de porosidade total na área de vegetação menores que o leito, apontando para o distúrbio que o uso da trilha, a ausência de vegetação, os desmatamentos e as queimadas vêm impondo ao solo da trilha.

Grohmann (1972) dispõe que “Dependendo da natureza da distribuição das partículas, o solo pode ter uma porosidade mínima de cerca de 30% e uma máxima de 80%” (p.79), embora o mesmo autor comente que de forma geral, os valores de porosidade total do solo apresentem-se na ordem de 40 a 60%. Desta forma, percebe-se que a trilha apresenta baixos índices de porosidade total, ligando-se tal fato diretamente à suscetibilidade erosiva, uma vez que a água não infiltrando no solo e correndo superficialmente, corrobora para o transporte das partículas mais leves do solo.

A este fato, Lima (2008), mencionado por Rangel (2014), dispõe que percentuais de porosidade total acima de 45% classificam-se como de baixa suscetibilidade, os de valor entre

35% e 45% apresentam-se de média suscetibilidade, e os menores que 35% indicam alta suscetibilidade à erosão. Assim sendo, toda a trilha, de maneira geral, encontra-se ao menos em áreas de média suscetibilidade e nas duas profundidades analisadas, fato este que confirma o mapeamento de suscetibilidade elaborado.

Tabela 3 – Dados de Porosidade Total para os pontos amostrados na Trilha da Varginha em Porcentagem (%).

Porosidade Total - Trilha da Varginha			
(%)			
<u>0 - 9 cm</u>	Leito	Borda	Vegetação
Ponto 1	28,68	30,24	23,80
Ponto 2	19,38	23,29	20,72
Ponto 3	29,54	29,87	34,24
Ponto 4	29,50	28,49	28,25
Ponto 5	44,58	23,00	26,70
Ponto 6	26,51	24,45	23,70
Ponto 7	29,30	30,04	31,70
Ponto 8	19,67	23,00	20,84
<u>9 - 15 cm</u>	Leito	Borda	Vegetação
Ponto 1	28,55	27,47	39,40
Ponto 2	21,68	27,81	24,29
Ponto 3	31,89	34,34	32,64
Ponto 4	36,04	35,99	29,60
Ponto 5	35,61	32,95	37,16
Ponto 6	34,54	19,95	25,55
Ponto 7	39,18	29,50	37,17
Ponto 8	28,68	33,99	31,68

Fonte: O autor, 2020.

Em relação à matéria orgânica (Tabela 4) e carbono orgânico (Tabela 5), Guerra (2016) expõe que valores de matéria orgânica abaixo de 3,5% são indicativos de solo propensos a suscetibilidade erosiva. Desta forma, a análise deste indicador permite constatar que toda a Trilha da Varginha, em quaisquer pontos, posições e profundidades encontra-se com baixos níveis de matéria orgânica, com valores compreendidos entre 0,5% e 2,7%, semelhante ao resultado encontrado por Costa (2006), com destaque em especial para o leito, nos pontos 1, 2, 5, 7 e 8 apresentando valores abaixo de 1%, apontando o segundo setor como o de menores resultados, fato este ligado provavelmente pelo pisoteio do gado, além da falta de reposição da matéria orgânica pela grande quantidade de pasto presente neste setor. O mesmo padrão repete-se em relação ao carbono orgânico, igualmente apresentando baixos valores para toda a trilha.

Tais resultados permitem constatar que, embora já fosse esperado encontrar menores valores no leito, se comparado a borda e a vegetação, devido à ausência de cobertura vegetal e, por sua vez, da reposição da matéria orgânica ao solo, os valores da borda e da vegetação expõem que mesmo estas posições, de menor uso, ao longo da trilha, estão sofrendo influências e distúrbios relacionados aos usos impostos. Costa (2006) expõe que à proporção que o teor de matéria orgânica diminui, ocorre o aumento da ruptura de agregados, com a formação de crostas no solo em conjunto na superfície do solo, sendo tal fato propício à compactação dos mesmos, uma vez sendo impedida a penetração de água no solo e facilitando o escoamento superficial.

O Gráfico 4 nos fornece os índices de carbono orgânico e matéria orgânica em g/kg das três posições analisadas na profundidade de 0 – 15 cm.

Tabela 4 – Índices de Matéria Orgânica nos pontos de amostragem da Trilha da Varginha em Porcentagem (%) na profundidade 0 – 15 cm.

	Índices de Matéria Orgânica (%)		
	LEITO	BORDA	VEGETAÇÃO
Ponto 1	1,42878	0,93947	1,76934
Ponto 2	1,49536	1,74194	2,11773
Ponto 3	2,03553	1,48359	2,58749
Ponto 4	2,24965	2,23772	2,7584
Ponto 5	0,96981	2,4762	2,11848
Ponto 6	1,84821	2,30529	1,62524
Ponto 7	1,10544	0,97376	1,0292
Ponto 8	0,97722	1,73266	2,1198

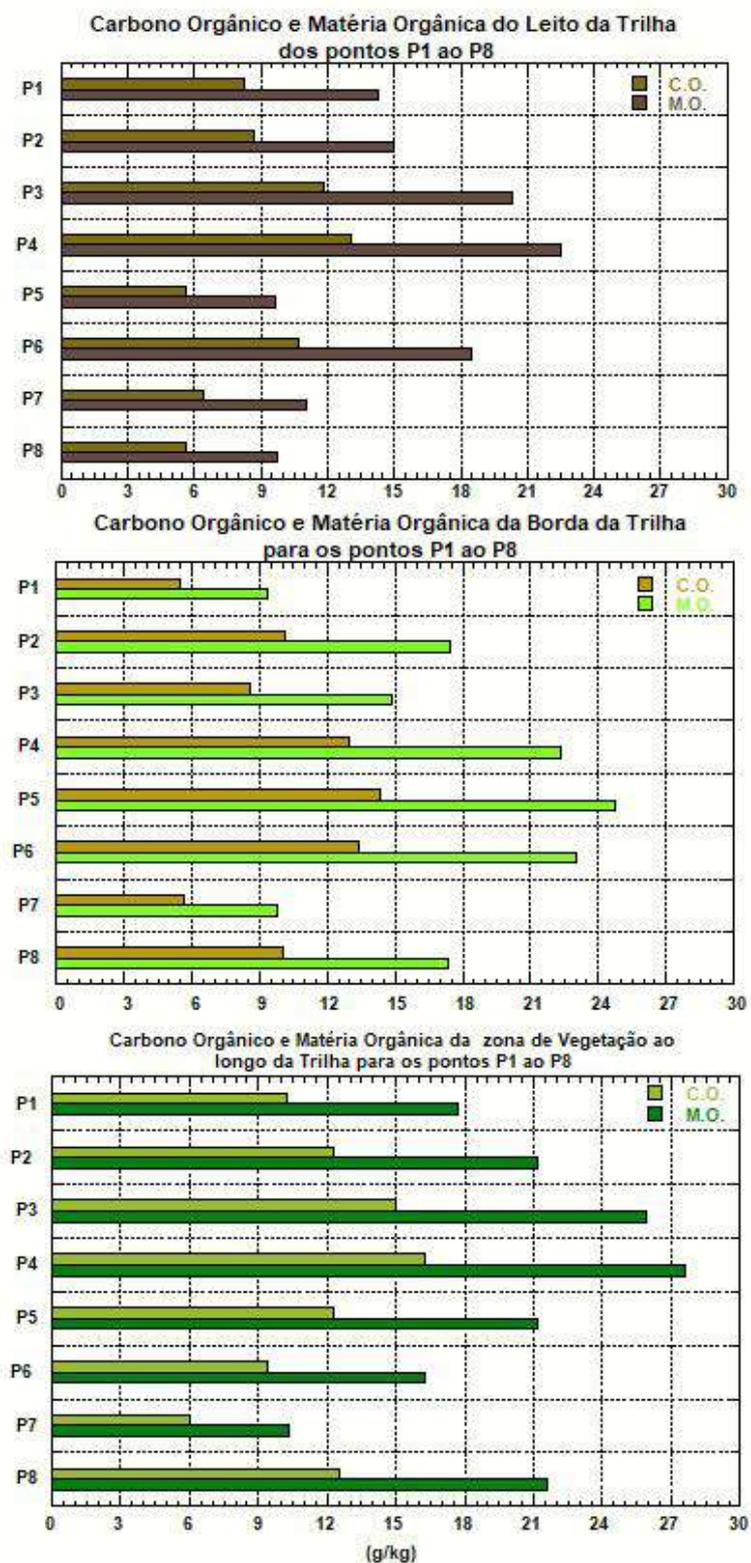
Fonte: O autor, 2020.

Tabela 5 – Índices de Carbono Orgânico nos pontos de amostragem da Trilha da Varginha em Porcentagem (%) na profundidade 0 – 15 cm.

	Índices de Carbono Orgânico (%)		
	LEITO	BORDA	VEGETAÇÃO
Ponto 1	0,82876	0,54494	1,0263
Ponto 2	0,86736	1,01041	1,22838
Ponto 3	1,1807	0,86055	1,50086
Ponto 4	1,3049	1,2798	1,6
Ponto 5	0,56254	1,43631	1,22882
Ponto 6	1,07205	1,33718	0,94271
Ponto 7	0,64121	0,56482	0,59698
Ponto 8	0,56683	1,00503	1,25057

Fonte: O autor, 2020.

Gráfico 4 – Índices de Carbono Orgânico e Matéria Orgânica nos pontos de amostragem da Trilha da Varginha em g/kg na profundidade 0 – 15 cm.



Fonte: O autor, 2020.

Em relação aos dados de Granulometria, as tabelas 6, 7 e 8 expõem as concentrações de areia, silte e argila nos 8 pontos de amostragem e nas três posições da trilha analisadas na profundidade 0 – 15 Cm, Leito, Borda e Vegetação, respectivamente.

Tabela 6 – Índices de Granulometria em g/kg e classificação textural do leito da Trilha da Varginha, profundidade 0 – 15 Cm.

GRANULOMETRIA DO LEITO DA TRILHA DA VARGINHA - g/Kg

AREIA				SILTE	ARGILA	CLASSE TEXTURAL
0-15 CM	FINA	GROSSA	TOTAL			
Ponto 1	107,5	331,5	439	381	180	FRANCA
Ponto 2	102,5	304	406,5	363,5	230	FRANCA
Ponto 3	90,5	265,5	356	374	270	FRANCA
Ponto 4	74	196	270	520	210	FRANCO SILTOSA
Ponto 5	40,5	50	90,5	339,5	570	ARGILA
Ponto 6	59	95,5	154,5	445,5	400	ARGILO SILTOSA
Ponto 7	127,5	155	282,5	427,5	290	FRANCO ARGILOSA
Ponto 8	121	284	405	335	260	FRANCA

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 7 – Índices de Granulometria em g/kg e classificação textural da borda da Trilha da Varginha, profundidade 0 – 15 Cm.

GRANULOMETRIA DO BORDA DA TRILHA DA VARGINHA - g/Kg

	AREIA			SILTE	ARGILA	CLASSE TEXTURAL
	FINA	GROSSA	TOTAL			
0-15 CM						
Ponto 1	87,5	317,5	405	415	180	FRANCA
Ponto 2	97	316	413	337	250	FRANCA
Ponto 3	85,5	233	318,5	381,5	300	FRANCO ARGILOSA
Ponto 4	69,5	174,5	244	566	190	FRANCO SILTOSA
Ponto 5	59,5	270,5	330	420	250	FRANCA
Ponto 6	70	130,5	200,5	439,5	360	FRANCA ARGILO SILTOSA
Ponto 7	104	125	229	381	390	FRANCO ARGILOSA
Ponto 8	120,5	223,5	344	376	280	FRANCO ARGILOSA

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 8 – Índices de Granulometria em g/kg e classificação textural da área de vegetação da Trilha da Varginha, profundidade 0 – 15 Cm.

GRANULOMETRIA VEGETAÇÃO DA TRILHA DA VARGINHA - g/Kg

	AREIA			SILTE	ARGILA	CLASSE TEXTURAL
	GROSSA	FINA	TOTAL			
0-15 CM						
Ponto 1	100,5	300,8	401,3	311,5	280	FRANCO ARGILOSA
Ponto 2	101	296	397	363	240	FRANCA
Ponto 3	96	222,5	318,5	291,5	390	FRANCO ARGILOSA
Ponto 4	63,5	192,5	256	574	170	FRANCO SILTOSA
Ponto 5	106	90	196	484	320	FRANCO SILTOSA ARGILOSA
Ponto 6	77,5	131,5	209	661	130	FRANCO SILTOSA
Ponto 7	129,5	174,5	304	456	240	FRANCA
Ponto 8	88,5	297,5	386	414	200	FRANCA

Fonte: O autor, 2020.

A análise dos resultados permite constatar o que vêm se observando na literatura sobre o tema, onde os resultados encontram-se de acordo Costa (2006), Maganhotto (2010), Kroeff (2010), Rangel (2014) e Jorge (2017) expondo uma maior concentração das frações de areia no leito quando comparadas a borda e a área de vegetação, bem como a predominância das classificações franca e suas variáveis siltosa e argilosa.

Desta forma, o leito no primeiro setor (Pontos 1 a 4) apresenta maiores teores de areia e baixos teores de argila, onde o ponto 3 apresenta 90,5 g/kg de areia fina e 374 g/kg de silte, sugerindo neste setor a ocorrência da erosão laminar, com o transporte das menores partículas componentes do solo. Já o segundo setor apresenta uma maior concentração de argilas nos pontos amostrados quando comparado ao primeiro setor, em especial os pontos 5 e 6.

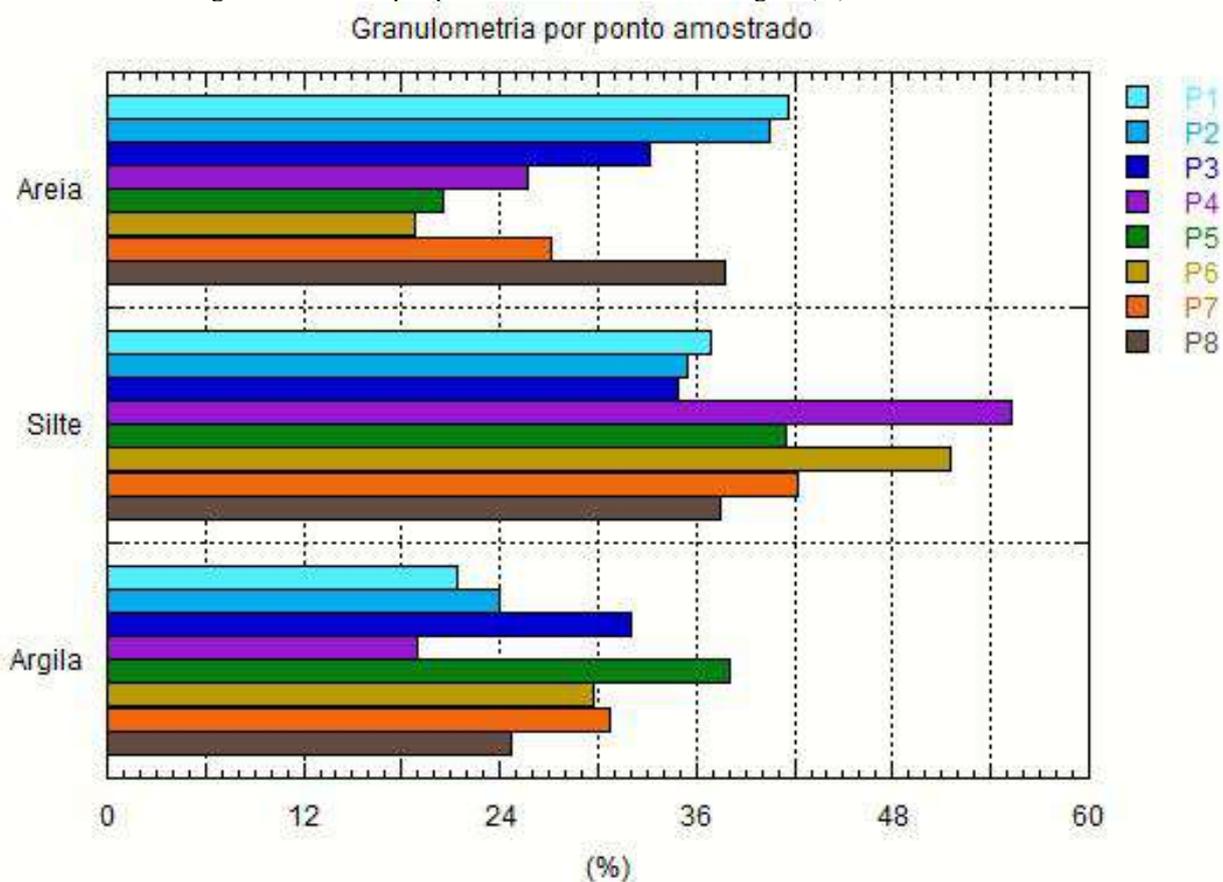
Maganhotto (2010) expõe que tal fato é indicador da pressão exercida pelo uso, sendo a concentração de argila um fato que afeta a permeabilidade do solo, dificultando a infiltração de água e condicionando o processo erosivo. Jorge (2017) complementa tal debate onde aborda

que a argila, embora possua maior resistência à erosão, uma vez estando em um ambiente de leito de trilha associado à falta de matéria orgânica, e ao pisoteio, em conjunto com elevados índices de pluviosidade, o que também ocorre, pois a trilha encontra-se em um maciço costeiro, também apresenta suscetibilidade à erosão.

A posição borda, no primeiro setor também apresenta maioria de classificação textural franca no primeiro setor da trilha, com menor quantidade de argila, o que pode ser indicativo da pressão que o pisoteio vem exercendo na trilha, além de baixos índices de areia fina e silte, onde o Ponto 2 apresenta 97 g/kg de areia fina e 337 g/kg de silte. O segundo setor, porém, apresenta maiores índices de argilas, além de pontos com maiores concentrações de areia fina e silte se comparados ao primeiro setor, porém, também se adequando ao proposto por Jorge (2017) acima apresentado.

Na área de vegetação preservada, é constatada a maior pressão também no primeiro setor, pois quando comparado com o segundo, este apresenta maiores índices de areia fina, silte e argila, apresentando o Ponto 6, por exemplo, 661 g/kg de Silte e 130 g/kg de argila. Embora o primeiro setor, na área de vegetação, possua maiores indicadores de areia fina e silte que o leito, também o indicativo de erosão laminar, mostra como esta posição, embora afastada dois metros do leito, sofre distúrbios relacionados ao uso. O segundo setor, tanto pela cobertura vegetal, quanto pela baixa porcentagem de matéria orgânica também apresenta indicativo de suscetibilidade a erosão laminar. O gráfico 5 apresenta as concentrações granulométricas por ponto amostrado em porcentagem (%).

Gráfico 5 – Índices granulométricos por ponto amostrado em Porcentagem (%).



Fonte: O autor, 2020.

Para a trilha foram analisados os índices de umidade, tanto a volumétrica quanto a gravimétrica, sendo a primeira apresentada na tabela 9 e a segunda na tabela 10.

Tabela 9 – Valores de Umidade Volumétrica para os pontos de amostragem da Trilha da Varginha em Porcentagem (%).

Umidade Volumétrica - Trilha da Varginha (%)

<u>0 - 9 cm</u>	Leito	Borda	Vegetação
Ponto 1	57,73	55,1	54,85
Ponto 2	52,42	51,16	55,89
Ponto 3	55,16	53,99	56,39
Ponto 4	74,65	55,97	56,63
Ponto 5	60,8	54,81	52,53
Ponto 6	57,59	55,74	56,79
Ponto 7	54,92	54,84	61,86
Ponto 8	49,97	54,49	50,09
<u>9 - 15 cm</u>	Leito	Borda	Vegetação
Ponto 1	55,47	58,87	45,09
Ponto 2	51,23	58,26	52,85
Ponto 3	57,45	56,97	54,84
Ponto 4	48,88	55,04	60,37
Ponto 5	57,05	56,3	57,63
Ponto 6	59,99	52,83	59,07
Ponto 7	59,4	51,79	62,71
Ponto 8	56,52	61,6	61,99

Fonte: O autor, 2020.

Tabela 10 – Valores de Umidade Gravimétrica para os pontos de amostragem da Trilha da Varginha em Porcentagem (%).

Umidade Gravimétrica - Trilha da Varginha (%)			
<u>0 - 9 cm</u>	Leito	Borda	Vegetação
Ponto 1	33,32	32,11	28,79
Ponto 2	26,76	27,44	30
Ponto 3	32,3	31,29	36,04
Ponto 4	32,74	33,77	34,45
Ponto 5	43,35	29,66	29,38
Ponto 6	32,12	30,74	30,62
Ponto 7	31,57	32,24	37,59
Ponto 8	25,59	29,11	26,58
<u>9 - 15 cm</u>	Leito	Borda	Vegetação
Ponto 1	31,95	32,99	29,76
Ponto 2	26,92	33,21	29,71
Ponto 3	34,69	35,29	34,2
Ponto 4	37,67	37,01	37,46
Ponto 5	35,01	34,98	38,21
Ponto 6	37,82	27,49	32,65
Ponto 7	39,68	30,22	41,4
Ponto 8	32,6	38,12	38,1

Fonte: O autor, 2020.

A umidade volumétrica representa o volume de água contido em determinada amostra de solo, enquanto Kroeff (2010) expõe que a umidade gravimétrica mede a capacidade que um solo possui de armazenar água. Desta forma, em relação à umidade volumétrica, os valores encontrados, de maneira geral, encontram-se superiores ao aferido pela autora citada.

Além disto, para a primeira profundidade, percebeu-se um equilíbrio de valores entre as posições leito e vegetação, além do equilíbrio de valores entre os setores, com tendência a posição vegetação apresentar valores superiores ao leito, resultado este esperado e comprobatório da infiltração da água na área sem pisoteio. A segunda profundidade confirma a tendência acima exposta, com a posição vegetação mais úmida, além desta profundidade estar apresentando valores superiores à primeira profundidade tanto na posição leito, quanto na posição vegetação.

Quanto à umidade gravimétrica, nenhum ponto em nenhuma posição ou profundidade superou 45% de umidade. A primeira profundidade apresenta tendência da área de vegetação ser mais úmida e no segundo setor da trilha, esta mesma posição (0 – 9 Cm) é a mais úmida. Para a segunda profundidade, por sua vez, observou-se o inverso, com o leito mais úmido que

a posição vegetação. Entretanto, estando a maioria dos valores na casa dos 30% de umidade gravimétrica, evidencia a baixa umidade de água contida na amostra, refletindo e estando de acordo com o que foi encontrado nos resultados de densidade aparente e porosidade total.

A seguir, são expostos os resultados obtidos a partir da análise da resistência à penetração em solos ao longo da trilha, tendo optado, para melhor exposição dos dados, dispô-los individualmente, ponto a ponto. Desta forma, os quadros 9 a 16 mostram a resistência à penetração dos pontos de amostragem 1 a 8, respectivamente, em cada posição analisada na trilha e na profundidade máxima que se conseguiu atingir com o penetrômetro.

Quadro 9 – Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 1.

Resistência à Penetração (MPa) - PONTO 1			
Profundidade da Camada	Leito	Borda	Vegetação
0-5 cm	5,51	3,10	1,59
5-10 cm	5,83	8,33	2,37
10-15 cm	7,50	6,24	3,64
15-20 cm	17,03	5,56	3,53
20-25 cm		5,08	3,42
25-30 cm		5,54	4,57
30-35 cm		5,73	5,49
35-40 cm			5,04
40-45 cm			4,82
45-50 cm			6,58

Fonte: O autor, 2020.

Quadro 10 – Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 2.

Resistência à Penetração (MPa) - PONTO 2			
Profundidade da Camada	Leito	Borda	Vegetação
0-5 cm	4,63	2,44	3,95
5-10 cm	5,37	5,12	5,08
10-15 cm	3,91	5,06	4,86
15-20 cm	4,34	3,83	4,07
20-25 cm	4,79	3,91	4,42
25-30 cm	5,53	3,60	6,25
30-35 cm	6,79	4,47	5,93
35-40 cm	5,82	7,44	4,61
40-45 cm			

Fonte: O Autor, 2020.

Quadro 11 – Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 3.

Resistência à Penetração (MPa) - PONTO 3			
Profundidade da Camada	Leito	Borda	Vegetação
0-5 cm	7,22	4,16	6,07
5-10 cm	8,68	5,74	5,25
10-15 cm	6,1	6,7	6,05
15-20 cm	4,64	7,68	4,86
20-25 cm	4,6	7,04	5,15
25-30 cm	4,59	5,91	5,05
30-35 cm	3,91		5,4
35-40 cm			
40-45 cm			

Fonte: O Autor, 2020.

Quadro 12 – Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 4.

Resistência à Penetração (MPa) - PONTO 4			
Profundidade da Camada	Leito	Borda	Vegetação
0-5 cm	4,42	4,88	4,26
5-10 cm	6,1	5,26	5,13
10-15 cm	3,43	6,42	3,73
15-20 cm	4,08	3,59	2,90
20-25 cm	6,5	3,52	5,01
25-30 cm	5,46	3,87	4,91
30-35 cm	5,11	4,55	2,79
35-40 cm	4,07	5,75	4,50
40-45 cm			

Fonte: O Autor, 2020.

Quadro 13 – Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 5.

Resistência à Penetração (MPa) - PONTO 5			
Profundidade da Camada	Leito	Borda	Vegetação
0-5 cm	2,83	5,28	3,01
5-10 cm	5,50	6,71	3,91
10-15 cm	6,58	4,45	5,09
15-20 cm	6,62	5,78	6,19
20-25 cm	6,07	8,67	5,61
25-30 cm	6,76	4,11	4,58
30-35 cm			5,84
35-40 cm			6,07
40-45 cm			

Fonte: O Autor, 2020.

Quadro 14 – Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 6.

Resistência à Penetração (MPa) - PONTO 6			
Profundidade da Camada	Leito	Borda	Vegetação
0-5 cm	5,68	3,72	5,25
5-10 cm	5,09	4,42	6,44
10-15 cm	4,30	4,20	6,11
15-20 cm	3,53	4,23	6,50
20-25 cm	2,35	5,52	6,07
25-30 cm	3,40	5,38	6,42
30-35 cm	3,73	4,95	
35-40 cm	4,31	5,12	
40-45 cm	3,32	3,00	
45-50 cm	3,49		

Fonte: O Autor, 2020.

Quadro 15 – Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 7.

Resistência à Penetração (MPa) - PONTO 7			
Profundidade da Camada	Leito	Borda	Vegetação
0-5 cm	4,35	3,72	5,32
5-10 cm	4,45	4,42	7,20
10-15 cm	4,44	4,20	7,14
15-20 cm	4,16	4,23	7,51
20-25 cm	3,72	5,52	6,29
25-30 cm	4,29	5,38	3,89
30-35 cm	3,50	4,95	
35-40 cm	3,45	5,12	
40-45 cm	3,23	3,00	
45-50 cm	2,94		

Fonte: O Autor, 2020.

Quadro 16 – Resistência à Penetração do Ponto de Amostragem 8.

Resistência à Penetração (MPa) - PONTO 8			
Profundidade da Camada	Leito	Borda	Vegetação
0-5 cm	7,06	6,62	9,86
5-10 cm	7,84	27,57	20,20
10-15 cm	6,36		
15-20 cm	7,16		
20-25 cm	7,11		
25-30 cm			
30-35 cm			
35-40 cm			
40-45 cm			

Fonte: O Autor, 2020.

A análise dos resultados permite observar que, de modo geral, todos os valores de resistência à penetração, em todos os pontos de amostragem e em todas as posições de análise apresentam valores de pelo menos 2,35 MPa, valor registrado no Ponto 6, no leito, a profundidade de 20-25 Cm. O único valor que destoa desta tendência é o do Ponto 1, posição vegetação na primeira profundidade, de 0-5 Cm, que apresentou valor de 1,59 MPa. De modo geral, a tendência percebida para a trilha segue a literatura consultada sobre o tema, mostrando maiores valores para o leito e menores valores para as bordas e as áreas mais internas, sem pisoteio.

Outra tendência percebida foi do aumento da resistência à penetração nos primeiros centímetros do solo e a relativa redução da resistência em camadas mais profundas, tendência esta percebida nos Pontos 2, 3, 4, 6 e 7. Os demais pontos, 1, 5 e 8 apresentaram valores de resistência à penetração com aumento, à proporção que se aprofunda o solo.

A análise também permite constatar que embora com valores elevados em toda a trilha, os pontos de amostragem do primeiro setor (1 a 4) apresentam valores maiores em algumas

posições e profundidades, quando comparados às amostragens do segundo setor (Pontos 5 a 8), apontando para a tendência do uso do visitante até a Praça do Boi e seguindo para a contenda, sendo um número menor de visitantes que concluem a trilha. Contudo, é importante reiterar que, embora relativamente menores, os valores dos pontos do segundo setor da trilha também encontram-se elevados, uma vez que, conforme mencionado, ocorre nele a passagem de equinos e bovinos, além deste setor sofrer com as queimadas no período de inverno.

Os maiores valores observados encontram-se no Ponto 1, Leito, a profundidade de 15-20 Cm, registrando o valor de 17,03 MPa e no Ponto 8, Borda, a profundidade de 5-10 Cm, registrando o valor de 27,57 MPa. O mesmo Ponto 8, na posição vegetação, também na profundidade de 5-10 Cm, registra o valor de 20,20 MPa, apresentando este ponto em sua totalidade valores acima de 6 MPa.

A justificativa do elevado valor registrado no Ponto 1 pode estar relacionado ao fato de ser o ponto de entrada de visitantes na trilha, concentrando maior número de visitantes, pisoteando o leito em maior intensidade. Já para o Ponto 8, tais valores podem estar ligados, conforme os fatos apresentados na análise geral da trilha, sendo um ponto próximo a um afloramento, logo, como solos rasos, pouco profundos, além da mencionada presença do gado, vegetação de pasto e ausência de matéria orgânica.

Conforme mencionado, os valores analisados na posição “leito” encontram-se maiores que os registrados na posição “borda” e “vegetação”, contudo, mesmo essas posições que pressupõe ausência de pisoteio encontram-se com elevados valores de resistência à penetração, sendo mais um indicador que também estão sofrendo os impactos do uso da trilha.

Os valores registrados, embora maiores que os encontrados na literatura sobre o tema, se aproximam dos valores encontrados por Magro (1999), Costa (2006) e Saraiva (2011), além do fato de que Figueiredo *et. al.* (2010) encontraram valores superiores a 24 MPa para alguns pontos da trilha que analisaram. Nesse sentido, os valores encontrados para a Trilha da Varginha, de acordo com Canarache (1990), concentram-se nas classes de média a alta limitação ao crescimento de raízes, onde, conforme aqui mencionado, ligam-se a solos compactados, gerando superfícies sem proteção, expostas aos processos erosivos, uma vez a infiltração de água sendo afetada. Por esta perspectiva, o valor desta propriedade também aponta para a possibilidade de uma experiência negativa por parte do visitante, pois conduz aos processos erosivos, reduzindo o potencial educativo e interpretativo da trilha (OLIVEIRA e BEZERRA, 2016).

Assim sendo, as propriedades do solo analisadas apresentam alterações em seus valores normais para a literatura científica sobre o tema, sendo detectada a compactação do solo

na Trilha da Varginha e seus processos erosivos associados, necessitando a trilha de intervenções de modo a diminuir a ação da erosão sobre seu percurso.

Síntese das Análises e Proposições de Manejo para a Trilha da Varginha

Conforme exposto na seção anterior através da análise geral da trilha e da análise das propriedades físicas e químicas do solo, a Trilha da Varginha apresenta, tanto em seus indicadores ambientais, quanto das propriedades do solo resultados que detectam a compactação dos solos, em ambos os setores, com os processos erosivos associados.

Embora possam haver visitantes que não realizem a trilha por completo, quer seja pelo seu nível de dificuldade (este classificado como médio, segundo placa instalada no início da trilha), quer seja por tomarem o rumo da Trilha da Contenda, o segundo setor apresenta, em sua quase totalidade, vegetação de pastos, com solos expostos, sujeitos a selagem de sua camada superficial, além da presença constante do pisoteio de bovinos, apontando que a compactação da trilha relaciona-se com suas condicionantes ambientais e o uso dos visitantes.

E tal fato se confirma ao se correlacionarem os mapeamentos realizados e as propriedades do solo analisadas, onde, a exemplo do mapa de suscetibilidade erosiva, os pontos de média suscetibilidade (1, 3, 4 e 8) e alta suscetibilidade à erosão (5) são os que apresentam as propriedades químicas e físicas do solo com valores que evidenciam o processo de compactação com maior clareza, como os valores de densidade aparente, sendo $1,73 \text{ g/cm}^3$ para o Ponto 1, $1,71 \text{ g/cm}^3$ para o Ponto 3, $1,87 \text{ g/cm}^3$ para o Ponto 8 e $1,84 \text{ g/cm}^3$ para o Ponto 5, os três primeiros na posição leito e o segundo na posição borda, na primeira profundidade analisada, onde, ao apresentar tais valores, a literatura sobre o tema aponta para sua compactação, sendo menor sua porosidade total e, por sua vez, menor também a infiltração de água no solo.

A porosidade total apresenta 28,68% para o Ponto 1, 29,54% para o Ponto 3, 19,67% para o Ponto 8 e 23% para o Ponto 5 os três primeiros na posição leito e o segundo na posição borda, na primeira profundidade analisada. Quanto a matéria orgânica, o Ponto 1 apresenta 1,42%, o Ponto 3 com 1,48% e os Pontos 5 e 8 com 0,96 e 0,97%, valores muito baixos, de ambas as propriedades, indicando a pouca capacidade do solo em absorver água, associando-se a suscetibilidade erosiva e a compactação do solo.

A umidade gravimétrica em consonância com as demais propriedades analisadas, apresenta para os pontos mencionados, 33,32%, 32,30%, 43,35% e 25,59% para os Pontos 1, 3, 5 e 8 respectivamente, para a posição leito, primeira profundidade analisada, apresentando baixo armazenamento de água, além de serem os pontos com valores significativos de resistência à penetração, com 17,03 MPa, 8,68 MPa, 6,62 MPa e 20,20 MPa para os Pontos 1, 3, 5 e 8 para a posição leito, nas profundidades analisadas, valores estes extremamente elevados, de acordo com a literatura analisada, representam solos compactados, com limitações ao crescimento de raízes e expostos aos processos erosivos. Os valores das propriedades mencionadas para o Ponto 4 se assemelham aos do Ponto 3, estando igualmente sujeitas as dinâmicas acima mencionadas.

Os mesmos pontos se situam em áreas com declividades propícias a processos erosivos, além de, com exceção do Ponto 1, perpassarem áreas de Floresta Ombrófila Inicial e NDVI / SAVI com médio porte vegetativo, com menor vigor da vegetação e sua respectiva proteção ao solo, evidenciando, assim, que o processo de compactação detectado possui relação com o uso do visitante e as condicionantes naturais na trilha.

Nesse sentido, o Manual de Construção e Manutenção de Trilhas (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2009) possui valiosas contribuições no sentido de auxiliar a manutenção e recuperação dos trechos mais impactados da Trilha da Varginha. Não se pretende reproduzir integralmente todas as informações lá contidas que cabem à Varginha, contudo, para diversas situações que se impõe na trilha em estudo, o manual apresenta importantes considerações. Salesa e Cerdà (2020), que também apresentam valiosas considerações para o manejo de trilhas a partir da revisão sobre o tema que realizaram, consideram que é preferível prevenir o dano a solucioná-lo, onde a primeira envolve menores custos que a segunda.

A começar pelo início da trilha, reconstruindo os degraus que limitam o acesso ao usuário, que podem inclusive ser feitos com a árvore caída apresentada na figura 38. Desse modo, utilizando materiais da própria trilha, evita-se cortar espécies ainda de pé. Tal sugestão também é recomendada para a reconstrução de degraus destruídos logo após o ponto de amostragem 3.

A trilha em todo o primeiro setor se apresenta em declividades, compreendendo-se, em maior parte, nas classes de 20° a 45°, classificadas pelo manual como de maior dificuldade e com a necessidade de degraus acima de 30°. O manual e Salesa e Cerdà (2020) expõe que evitar a concentração de água na trilha é de grande importância para a manutenção da mesma, sendo fundamental a presença de melhores sistemas de drenagem, uma vez que a água é um dos principais agentes que desencadeiam a erosão, conforme mencionado. Desta forma, é

recomendável a instalação de drenos em trincheira (No primeiro setor, em sua totalidade, existem apenas dois, um entre os pontos de amostragens 1 e 2 e outro logo após o ponto 2 passados cerca de 100 metros), com o objetivo de direcionar a água para fora do leito da trilha.

Para as áreas mais íngremes, em direção ao ponto de amostragem 3 e até o ponto 4, são recomendáveis a instalação de valetas de drenagem lateral, as quais possuem serventia de drenagem da água pela borda inferior da trilha em nível, onde o próprio manual sugere que as mesmas deveriam ser instaladas com frequência suficiente que impeça a água de se acumular em volume e velocidade suficiente no leito.

Em consonância com as valetas de drenagem, sugere-se, em especial no trecho de passagem de divisor topográfico em zigue zague em que se encontram os pontos 3 e 4 a instalação de inversões de declividade e caimento para fora da trilha, sugerindo o manual a cada 10 ou 20 metros. Nesse mesmo trecho, atenta-se a importância da instalação de troncos laterais, blocos rochosos e galhos nas bordas, de modo a evitar o pisoteio nesta, orientando a caminhada de volta ao centro da trilha.

As sugestões das canaletas de drenagem e das inversões de declividade também se adequam ao trecho da trilha que compreende os pontos de amostragem 5 e 6. Salesa e Cerdà (2020) atentam ao fato de evitar alinhamentos em queda e a fundo do vale, fato este percebido em ambos os setores, porém, uma vez a vegetação do segundo setor sendo com maior predominância de pasto, atenta-se ao fato da possibilidade da declividade gerar maior turbulência e velocidade da água, reforçando a necessidade de estruturas que a desviem do leito da trilha, objetivando um eficaz combate a erosão e compactação do solo.

Neste mesmo trecho da trilha a partir da Praça do Boi, passando pelo ponto 5 até a chegada ao ponto 6, próximo a suposta cratera, conforme foi apresentado, há feições erosivas significativas, onde, para tais, a recuperação através do uso de geotêxteis biodegradáveis conforme proposto em Guerra *et al.* (2010) se projeta como de grande valia para recuperação de trechos erodidos, medida esta que além de colaborar na recuperação da matéria orgânica ao solo, tem valiosas contribuições a este, facilitando a infiltração da água, aumentando a coesão das partículas mantendo-se os fluxos em subsuperfície e diminuindo os processos erosivos a partir da diminuição dos fluxos superficiais de água que colaboram para o aumento e aprofundamento das feições erosivas. A mesma sugestão do uso de técnicas de bioengenharia também é feita nas considerações de Salesa e Cerdà (2020).

A aplicação de matéria orgânica, de maneira geral, para o leito da trilha também se faz importante vide suas baixas porcentagens, independente de possuir ou não feições erosivas ao

longo da trilha onde, as literaturas utilizadas no presente trabalho, apontam para o aumento da porosidade total do solo, evitando sua compactação.

Também, de modo geral, recomenda-se o roçado da trilha, em especial entre os pontos 3 e 6 (Subida e descida de divisores topográficos), onde ocorre capim colônia e barba de bode (Figura 56) retirando-se, assim, a vegetação invasora, além de aparar arbustos que começam a invadir o leito. O manual de trilhas recomenda, de uma a duas vezes por ano o roçado de uma trilha, dependendo da intensidade de crescimento da vegetação.

A busca do reflorestamento com espécies nativas da Mata Atlântica em seu entorno é outra importante sugestão feita pelo manual que, conforme exposto aqui, a gestão do Parque vem realizando através de mutirões com escolas locais, embora enfrentando dificuldades, no que tange ao quantitativo de pessoas, frequência das atividades, a presença conflitante de bovinos e os incêndios no período de inverno.

Salesa e Cerdà (2020) neste sentido também consideram importante a restauração da vegetação adjacente à trilha, prática que, com planejamento adequado, pode ser feita posteriormente a retirada das espécies invasoras mencionadas anteriormente. Os mesmos autores também recomendam a limpeza periódica dos recursos que desviam água da trilha de modo a diminuir a perda de solo, onde uma vez entupidos, tais recursos deixam de cumprir seu papel na diminuição dos processos erosivos.

Figura 56 – Trecho da Trilha da Varginha entre os pontos 3 e 4 de amostragem, com presença de capim colônio e barba de bode limitando a experiência do usuário devido a sua altura. Ressalta-se que a foto apresentada é antiga, não estando a trilha com o capim nesta altura, contudo, reforça a necessidade de roçado e manejo periódicos.



Fonte: Flávia Lopes Oliveira, 2015.

Costa e Oliveira (2018) também fazem valiosas contribuições para a recuperação e manutenção da Varginha, atentando para a necessidade do estabelecimento de infraestrutura básica, carente na referida trilha, tais como sinalizações e informações. Estes, devem ser implantados nos diversos segmentos da trilha e compatíveis com o traçado da mesma, bem como, com o que se deseja mostrar ao visitante.

Tal sugestão é importante, pois mesmo em seu primeiro setor - possuindo a placa de sinalização do traçado no início da trilha e dos caminhos geológicos até as proximidades do ponto 4 - torna-se fundamental a colocação de placas informativas a partir do divisor topográfico Praça do Boi até o final da trilha. A revitalização das placas interpretativas dos caminhos geológicos compreendidas entre os pontos de amostragem 1 a 3 se faz necessária, uma vez estando deterioradas com a ação do tempo.

As autoras também reiteram a importância dos mutirões para o manejo da trilha, caminhos e atrativos, ações estas de grande valia na construção do senso de pertencimento do visitante ao local, gerando conhecimento e a interação destes com o ambiente que os circunda, visando também a manutenção da natureza.

Salesa e Cerdà (2020) acrescentam, além das sugestões mencionadas, o estabelecimento de práticas de educação ambiental, objetivando uma mudança de posturas e atitudes no visitante

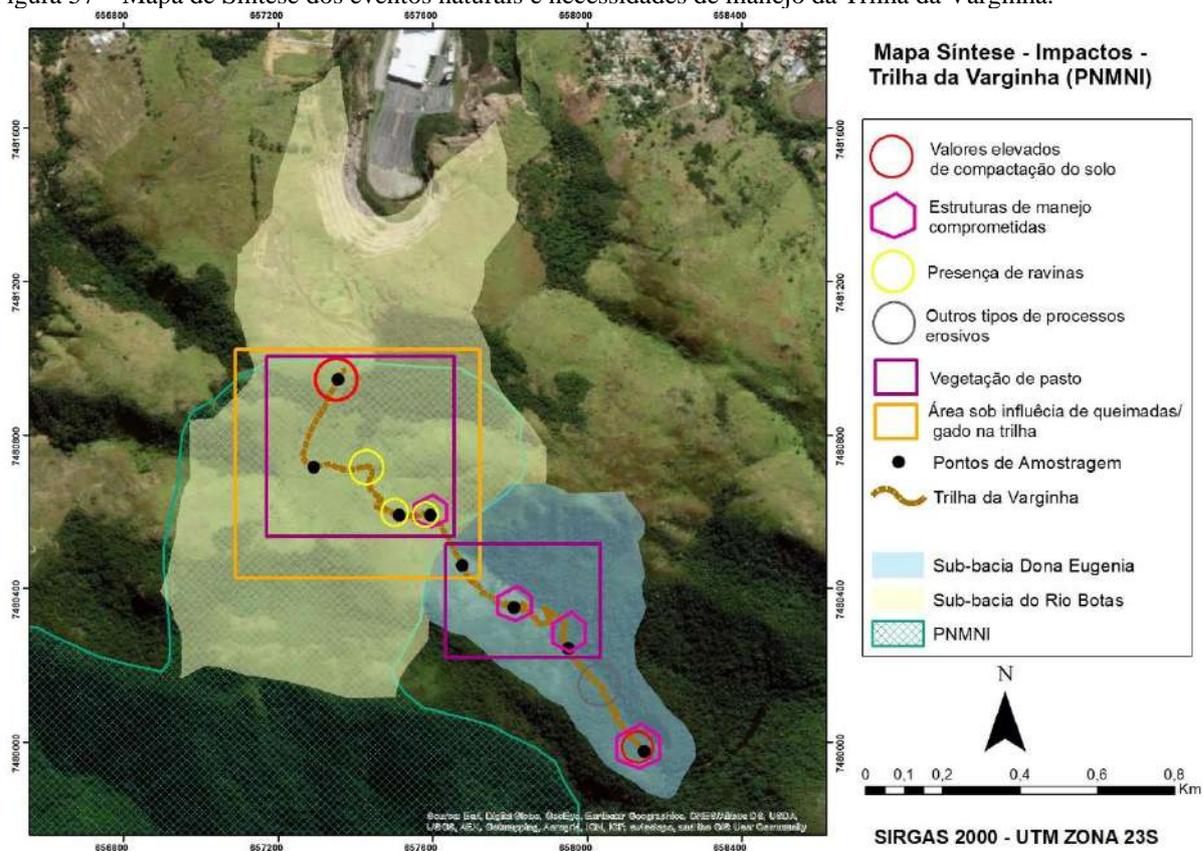
do Parque, visando a melhor conservação de seus recursos. Destaca-se que tal sugestão também foi feita, em especial para o PNMNI por Bezerra *et al.* em 2015, após entrevista com o gestor do Parque para melhor entendimento dos impactos que ocorriam na Unidade.

Por fim, feitas as sugestões que mais se adequam a Trilha da Varginha, faz-se necessário, de acordo com Costa e Oliveira (2018), o monitoramento constante das condições gerais da trilha, acompanhando sua dinâmica ambiental, os impactos relacionados ao uso, bem como os atrativos e infraestruturas de acesso e interpretação sujeitas ao desgaste natural.

Ressalta-se que tais sugestões inserem-se no âmbito do fornecimento à gestão do Parque subsídios a manutenção e recuperação da trilha, podendo a administração implementar estas e outras sugestões, de acordo com sua realidade de recursos financeiros e humanos. Destaca-se, porém, a importância das sugestões aqui propostas, com o objetivo de ampliar sua potencialidade e experiência do visitante, mantendo a mesma e fazendo com que cumpra seu papel enquanto elo entre o visitante e o ambiente natural aqui neste trabalho mencionado.

A figura 57 apresenta um mapa de síntese dos eventos naturais e impactos registrados, onde, de acordo com a análise integrada realizada na presente dissertação, procura-se evidenciar os segmentos mais críticos, quanto aos impactos mencionados, localizando espacialmente os trechos e segmentos da trilha que necessitam mais urgentemente de intervenções de manejo.

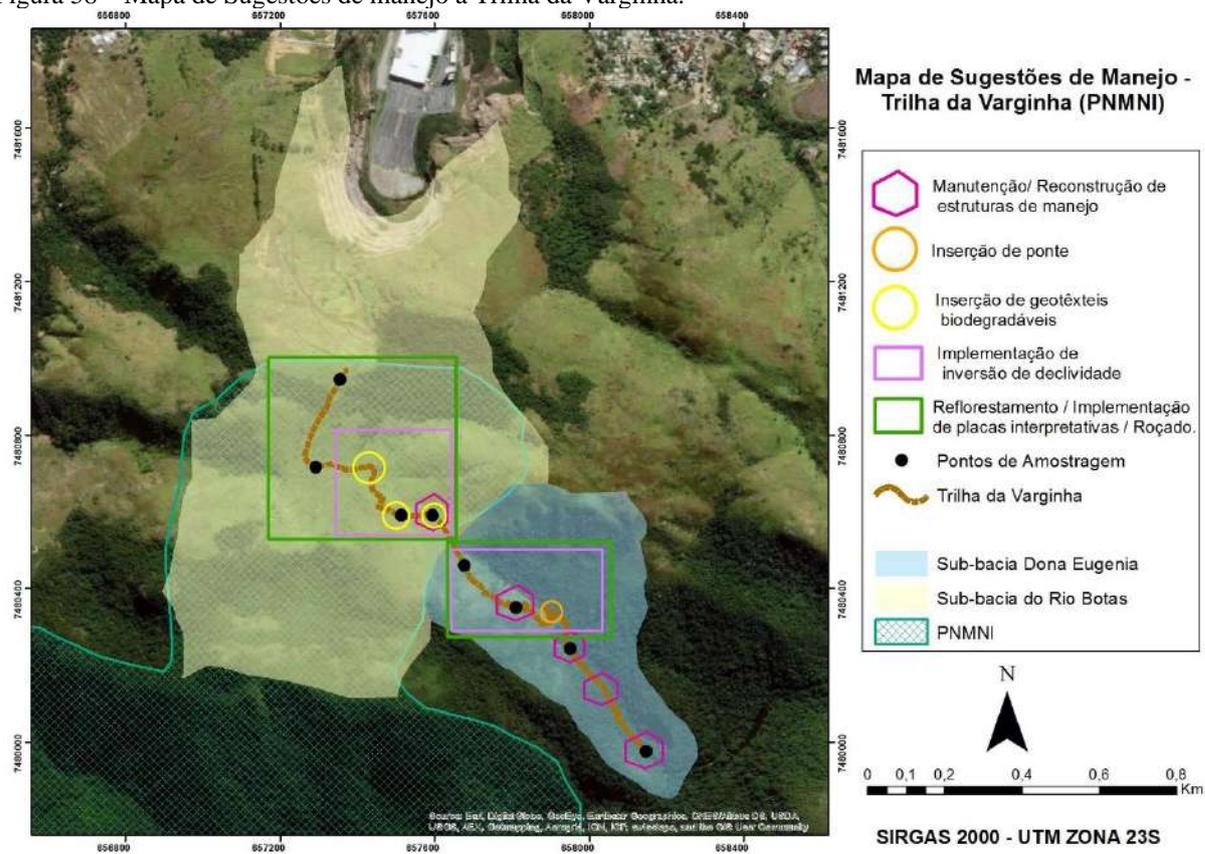
Figura 57 – Mapa de Síntese dos eventos naturais e necessidades de manejo da Trilha da Varginha.



Fonte: O autor, 2020.

Expostas as problemáticas presentes na trilha, a figura 58 propõe as sugestões de manejo por setor na trilha. Ressalta-se, porém, que de modo a não ofuscar a visualização do mapa com excesso de informações, nem todas as sugestões propostas foram inseridas em toda a área da trilha, estando, porém, sugeridas neste item.

Figura 58 – Mapa de Sugestões de manejo a Trilha da Varginha.



Fonte: O autor, 2020.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que o presente trabalho alcançou os objetivos a que se propôs, identificando o processo de compactação na Trilha da Varginha a partir do estudo de suas variáveis ambientais e propriedades físicas e químicas do solo, apontando a necessidade de intervenção de modo a mitigar os impactos presentes e evitar os futuros, fornecendo um norteamento a gestão do parque e subsidiando a tomada de decisão para os problemas apresentados com as propostas de manejo elencadas.

Desta forma, foi identificado que a trilha perpassa declividades compreendidas nas classes desde 3° até 45°, indicando a presença de trechos declivosos, sendo compreendida também em classes de formas do terreno convexo convergente e convexo divergente, em suas respectivas potencialidades aos processos erosivos. O mapa de orientação de vertentes evidenciou que o segundo setor da trilha, uma vez se localizando em vertentes com maior iluminação solar, está mais propenso a possuir problemas relacionados à dificuldade de infiltração da água no solo e os consequentes processos erosivos, uma vez apontados a problemática envolvida na perda de água por evaporação e eliminação da microfauna e flora do solo.

Com relação aos dados de NDVI e SAVI, evidenciou-se uma melhoria dos indicadores da presença vegetativa no período analisado, fato este ligado as atividades de reflorestamento e educação ambiental que a gestão do PNMNI vem promovendo, embora esteja ainda aquém do necessário, uma vez o mapa de cobertura vegetal evidenciando que cerca de 2/3 da trilha perpassam por floresta ombrófila inicial, e apenas no trecho que compreende os pontos de amostragem 1 e 2, na primeira sub-bacia, é que apresenta classes de floresta ombrófila média e avançada.

Em relação à suscetibilidade erosiva da trilha, observou-se que a trilha de modo geral perpassa desde classes mais baixas de suscetibilidade até classes de alta suscetibilidade na segunda sub-bacia, apontando o potencial do acontecimento desta dinâmica natural por ponto de amostragem, sendo mais um subsídio a gestão dos trechos nas duas sub-bacias que apresentam pontos mais críticos e propensos a tais dinâmicas.

Ainda em relação aos processos erosivos, em vários trechos da trilha são evidenciados, quer seja pelo acúmulo de sedimentos nas estruturas de manejo ou entre os blocos rochosos, além da presença de ravinas, em especial na segunda sub-bacia, sendo evidenciada também a degradação das próprias estruturas de manejo mencionadas, estas tão importantes para a melhor

experiência de visitação do usuário, sendo feitas, também, recomendações para melhoria das estruturas de manejo presentes e acréscimo de outras de modo a diminuir os processos erosivos.

Em relação às propriedades físicas e químicas analisadas, foi observado que os valores de densidade aparente apresentaram-se elevados, atingindo, em alguns pontos, valores compreendidos entre $1,6 \text{ g/cm}^3$ a $1,9 \text{ g/cm}^3$, com grande potencialidade aos processos erosivos, além de tais valores refletirem nos baixos índices de porosidade total e umidades da trilha, vide a compressão das partículas de solo e a redução dos espaços porosos por onde a água se infiltra. Tais valores mais elevados encontrados seguem os estudos sobre o tema, encontrando-se em sua maioria na posição do leito da trilha, embora no presente trabalho, em específico, encontraram-se valores críticos também para a posição borda e a posição de vegetação, sem pisoteio, revelando que mesmo as áreas da trilha sem uso vêm sofrendo pressão dos impactos analisados.

Além disto, os valores de matéria orgânica e carbono orgânico apontam para a suscetibilidade erosiva em toda a trilha, sendo encontrados baixos valores desta propriedade para todos os pontos, posições e profundidades analisadas. Somados a tal fato, os resultados de granulometria, evidenciando acúmulo de areia nos leitos, indicativo de processos erosivos, além dos altos valores de resistência à penetração na trilha, apontam para a acentuação da ocorrência da erosão e o reforço de conhecimento da sua suscetibilidade nos pontos analisados, além de também detectar a ocorrência do processo de compactação do solo nos dois setores da trilha em conjunto com as demais variáveis e propriedades analisadas.

Assim sendo, de acordo com os dados analisados no presente trabalho, aponta-se para a continuidade do mesmo, tanto em relação à análise de mais pontos, de forma mais detalhada na Varginha, à análise do processo de compactação em outras trilhas do Parque, a recuperação das áreas degradadas, em relação as infraestruturas de manejo necessárias, ou ainda à proposição de um novo zoneamento ambiental, vide o conflito de usos na zona de amortecimento do Parque, afetando o interior do mesmo, além de estudos do comportamento da água no solo, com testes de condutividade hidráulica, de modo a fazer proposições de melhoria as propriedades do solo.

Destaca-se que embora o número de pesquisas envolvendo a temática da erosão em trilhas relacionadas ao seu uso venha crescendo, ainda pouco se sabe sobre seus impactos, apontando para a grande necessidade de estudos nesse sentido, em especial para a América do Sul, de acordo com os estudiosos sobre o tema aqui mencionados, o que aponta para a necessidade da contínua realização de estudos sobre esta temática.

Reforça-se a grande importância que a Trilha da Varginha possui no contexto em que se insere, além de sua grande potencialidade educativa, científica e de lazer que possui, desejando o presente trabalho fornecer à sociedade Iguazuana e Fluminense de forma geral um retorno com o objetivo da melhoria de suas condições ambientais e de seu manejo.

REFERÊNCIAS

AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Argissolos Vermelho-Amarelos**. Disponível em:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn0pzmhe02wx5ok0liq1mqk4130gy.html. Acesso em: 25.06.19.

AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Latossolos Vermelho-Amarelos**. Disponível em:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000g05ip3qr02wx5ok0q43a0r3t5vjo4.html> Acesso em: 25.06.19.

ANDRADE, W. J. **Implantação e manejo de trilhas**. In: Manual de Ecoturismo de Base Comunitária: Ferramentas para um planejamento responsável. Organização: Sylvia Mitraud – Brasília: WWF Brasil, 2003.

ANDRADE, W.J. **Manejo de Trilhas para o Ecoturismo**. Em: MENDONÇA, R.; NEIMAN, Z. (Orgs). Ecoturismo no Brasil. Barueri, São Paulo. Manole, 2005. p. 131-152.

ARAÚJO, G.H.S.; ALMEIDA, J.R.; GUERRA, A.J.T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. 2ªed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 2007. 320p.

AZEVEDO, A. C.; PEDRON, F.; DALMORIN, R. S. D. **A evolução da vida e as funções do solo no ambiente**. In: Tópicos em Ciência do Solo [S.l: s.n.], v. 5. p. 1-47, 2007.

BAENA, L.G.N., SILVA, D.D., PRUSKI, F.F., CALIJURI, M.L. **Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do rio Paraíba do Sul**. Revista Engenharia na Agricultura, Jaboticabal, v. 24, n.3, p. 612-624, 2004.

BENAVIDES SILVA, V.C.; MACHADO, P.S. **SIG na Análise Ambiental: Susceptibilidade Erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutuca**, Nova Lima – Minas Gerais. In: Revista de Geografia (UFPE) V. 31, No. 2, Pernambuco, Recife, 2014. P.1-22.

BERNARDES, J.A.; FERREIRA, F.P.M. **Sociedade e Natureza**. Em: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (Orgs). A Questão Ambiental: Diferentes abordagens. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. 2003. 248p.

BERTONI, J.; LOMBARDI, NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Editora Ícone, 9ª Ed. 2014. 359p.

BÊZ, M; FIGUEIREDO, L.C. **Algumas reflexões acerca da geografia socioambiental e comunidade**. Revista Geosul, Florianópolis, v. 26, n. 52, p 57-76, jul./dez. 2011.

BEZERRA, H.C.S ; CARVALHO, P.C.S ; OLIVEIRA, F.L. **Impactos ambientais por queimadas e educação ambiental para geoconservação do Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – Territórios Brasileiros: Dinâmicas, Potencialidades e Vulnerabilidades. Teresina, 2015, pp. 3862-3868.

Biblioteca Virtual - BV Ambiente. Disponível em: <<http://www.bvambientebf.uerj.br/>>
Acesso em: 19.06.19.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: UFSC, v. 3. 2003.

BLOOM, A. L. **Superfície da terra**. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.

BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. **Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. (SBSR), Foz do Iguaçu-PR. Anais, São José dos Campos: INPE. p. 7345-7352, 2013.

Brasil. **Lei 9.985, de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC. Brasília/DF.

BRADY, N.C. **Natureza e Propriedades dos Solos**. Freitas Bastos, 5ª Ed. Rio de Janeiro, 1979. 647p.

BRADY, N.C. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre. Brookman, 2013. 686p.

BRILHA, J. **Inventory and Quantitative Assessment of Geosite and Geodiversity Sites: a Review**. Geoheritage, n. 2, v. 8, p. 119-134. 2016.

CANARACHE, A. **Generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration**. Amsterdam, Soil Till. Res. 16:56-70. 1990.

CAPECHE, C.L. **Processos Erosivos em Áreas da Usina Hidrelétrica Franca Amaral, Bom Jesus do Itabapoana, RJ**. EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. Rio de Janeiro, P.9-12. 2005.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 1995.

COELHO NETTO, A.L. **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia**. In: Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 13ª ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 2015. 474p.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). **Resolução CONAMA nº 6**, de 4 de maio de 1994.

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**, Release 4.8.0.1. 2016. User Manual doc. for Quantum GIS. Disponível em: <<https://semiautomaticclassificationmanual-v4.readthedocs.io/en/latest/>>. Acesso: 11.07.19.

COSTA, N.M.C.; COSTA, V.C. **Educação Ambiental em Unidades de Conservação da Natureza**. In: PEDRINI, A. G.; SAITO, C.H. (Orgs.) Paradigmas Metodológicos em Educação Ambiental. Petrópolis, RJ: Editora Vozes, 2014, pp. 204 – 215.

COSTA, V. C.; MELLO F. A. P. **Manejo e monitoramento de trilhas Interpretativas. Contribuição metodológica para a percepção do espaço ecoturístico em unidades de conservação.** In: Anais do I Simpósio Nacional de Percepção Ambiental. Londrina, PR. 2005. Cd-rom.

COSTA, N.M.C.; OLIVEIRA, F.L. **Trilhas: “Caminhos” para o Geoturismo, a Geodiversidade e a Geoconservação.** In: GUERRA, A.J.T.; JORGE, M.C.O. (Orgs). Geoturismo, geodiversidade e geoconservação: Abordagens geográficas e geológicas. Oficina de Textos. São Paulo, 2018. 227p.

COSTA, V.C. **Propostas de Manejo e Planejamento Ambiental de Trilhas Ecoturísticas: um estudo no maciço da Pedra Branca – Município do Rio de Janeiro (RJ).** Rio de Janeiro, 2006. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências – Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CHRISTOPHERSON, R.W. **Geossistemas: Uma Introdução à Geografia Física.** Bookman 9. Ed. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2017. [Recurso Eletrônico].

CREPANI, E.; MEDEIROS J. S.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial.** INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Ministério da Ciência e Tecnologia. São José dos Campos, 2001, 103p.

CURI, N. **Vocabulário de Ciência do Solo.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. 1993. 89p.

DANTAS, M. E. **Dignóstico Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro.** – Brasília: CPRM, 2000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geodiversidade/Projeto-Rio-de-Janeiro---Diagnostico-Geoambiental-603.html> Acesso em: 29.05.2019.

DRM/RJ - Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. **Projeto caminhos geológicos.** Disponível em: <http://www.caminhosgeologicos.rj.gov.br/> Acesso em 19.05.20.

EISENLOHR, P.V; MEYER, L; MIRANDA, P.L.S; REZENDE, V.L; SARMENTO, C.D; MOTA, T.J.R.C; GARCIA, L.C; MELO, M.M.R.F. **Trilhas e seu papel ecológico: o que temos aprendido e quais as perspectivas para a restauração de ecossistemas?** Revista Hoehnea v.40 3:407-418. 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Argissolos.** Disponível em: <<http://hotsites.cnps.embrapa.br/blogs/sibcs/wp-content/uploads/2006/10/blog-argissolos-2.pdf>> Acesso em 29.05.19.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo.** – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10.**

Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos.** – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212.

FANTIN, M.; COSTA, M.A.; MONTEIRO, A.M.V. **A Relevância de uma Infra-Estrutura Geoinformacional como Subsídio ao Desenvolvimento de Políticas Urbanas.** In: ALMEIDA, C.M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. (Orgs). Geoinformação em Urbanismo: Cidade Real x Cidade Virtual. Oficina de Textos. São Paulo, 2007. 368p.

FARIA, D.; AUGUSTO-FILHO, O. **Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas.** Rev. Inst. Geol., São Paulo, v. 34, n. 1, jun. 2013.

FENDRICH, R., OBLADEN, N. L., AISSE, M. M., GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana.** Curitiba: IBRASA, 1997.

FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. **Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológico-Geomorfológica.** In: GUERRA, A.J.T e CUNHA, S.B. Geomorfologia e Meio Ambiente. 4ª ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 2003. 372p.

FERREIRA, M.M. **Caracterização Física do Solo.** In: LIER, Q.J.V (Org). **Física do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, Minas Gerais. 2016. 298p.

FIGUEIREDO, M.A., ASSIS BRITO, I., TAKEUCHI, R.C., ALMEIDA-ANDRADE, M., VIEIRA ROCHA, C.T. **Compactação do solo como indicador pedogeomorfológico para erosão em trilhas de unidades de conservação: estudo de caso no Parque Nacional da Serra do Cipó, MG.** Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, Set. p.236-247, 2010. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/397/286> Acesso em: 16.06.19.

FILHO, A.C.; LUMBRERAS, J.F.; SANTOS, R.D.(Orgs). **Os Solos do Estado do Rio de Janeiro.** In: Estudo Geoambiental do Rio de Janeiro. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Solos. Brasília-DF. 2000. 45p.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** Oficina de textos, 2002. São Paulo. 97p.

FLORENZANO, T.G. **Sensoriamento Remoto Para Geomorfologia.** In: FLORENZANO, T.G. (org). Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais. Oficina de Textos. São Paulo, 2008. 318p.

GIRÃO, I.R.F. **Debate Conceitual sobre Vulnerabilidade Social e Susceptibilidade aos Riscos.** In: Anais do XVII Simpósio Brasileiro de de Geografia Física Aplicada – Os Desafios da Geografia Física na Fronteira dos Conhecimentos. Campinas, São Paulo. 2017. P. 3987-3998.

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. **Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade.** In: Revista REGNE, Portal de Periódicos UFRN. Vol. 4, N° Especial 2018.

GRAY, M. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*, 2nd edn. John Wiley & Sons, Chichester, 2013. 453 p.

GROHMAMM, F. **Porosidade.** In: MONIZ, A. C. (Org.) Elementos de pedologia. São Paulo. EDUSP. 1972. 460p.

GUERRA, A.J.T. **Erosão dos Solos e Movimentos de Massa - Abordagens Geográficas.** 1. ed. Curitiba: CRV Editora, v. 1. 222p., 2016.

GUERRA, A. J. T. **O início do processo erosivo.** In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.) Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 17-55.

GUERRA, A.J.T. **Processos Erosivos nas Encostas.** In: GUERRA, A.J.T e CUNHA, S.B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 13^a ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 2015. 474p.

GUERRA, A.J.T.; BEZERRA, J.F.R.; LIMA, L.D.M.; MENDONÇA, J.K.S.; GUERRA, T.T.; BUHMANN, C.; PATERSON, D.G.; PIENAAR, G.; NELL, J.P.; MULIBANA, N.E.; DEVENTER, P.W.V.; FULLEN, M.A. **Land rehabilitation with the use of biological geotextiles, in two different countries.** Sociedade & Natureza, Uberlândia: EDUFU, v. 22, n 3, p. 431-446, 2010.

GUERRA, A.J.T.; MARÇAL, M.S. **Geomorfologia Ambiental.** Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2006. 192p.

GUIMARAES, R.F.; JUNIOR, O.A.C.; GOMES, R.A.T.; FERNANDES, N.F. **Movimentos de Massa.** In: FLORENZANO, T.G (Org). Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais. São Paulo. Oficina de Textos. 2008. 318p.

HAMMITT, W. E.; COLE, D. N. **Wildland recreation: ecology and management.** 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. 361 p.

HASSLER, M.L. **A Importância das Unidades de Conservação no Brasil.** In: Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia, 17 (33): 79-89, dez. 2005. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/viewFile/9204/5666> Acesso em: 12.06.19.

HORTON, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology.** Bulletin of the Geological Society of America. Colorado, v. 56, p. 275-370, 1945.

HOSE, T.A. **3G's for Modern Geotourism.** Geoheritage, v. 4, n. 1-2, p. 7-24, 2012.

HUETE, A.R., 1988. **A soil-adjusted vegetation index**. Remote Sensing of Environment, Elsevier Science Publishing Co., New York, USA. 25:295-309.

HUETE, A. et.al. **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices**. Remote Sensing Environment, v.86, 2002, p.195-213.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia** / IBGE, 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p.

JORGE, J.A. **Matéria Orgânica**. In: MONIZ, A.C. **Elementos de Pedologia**. São Paulo. EDUSP. 1972. 460p. p. 169-177.

JORGE, M.C.O; GUERRA, A.J.T; FULLEN, M.A; PEREIRA, L.S.; RODRIGUES, A.M.; NUNES, G.F.R. **A importância da trilha como instrumento de geoturismo e indicadora de processos erosivos, o exemplo da trilha Sete Praias, região sul do município de Ubatuba-SP**. In: XI Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2016, Maringá. XI SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2016.

JORGE, M.C.O. **Potencial Geoturístico e Estratégias de Geoconservação em Trilhas Situadas na Região Sul do Município de Ubatuba, SP**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2017.

JUNIOR, N. I.; FILHO, N. F. **Processos de Dinâmica Superficial**. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. Geologia de Engenharia. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia**. Editora Agronômica Ceres. São Paulo. 1979. 262p.

KROEFF, L. L. **Contribuição metodológica ao planejamento de trilhas ecoturísticas no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), RJ**. 2010. 199f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

LECHNER, L. **Curso de Planejamento e Implantação de Infra-Estrutura em Trilhas**. Centro de Capacitação em Conservação da Biodiversidade. Fundação O Boticário de Proteção da Natureza. 2003; 89p.

LECHNER, L. **Planejamento, Implantação e Manejo de Trilhas**. Cadernos de Conservação, ano 03 n°3. junho de 2006. Fundação O Boticário de Proteção à Natureza. ISSN 1807 – 5088.

LECHNER, L. **Planejamento, Implantação e Manejo de Trilhas em Unidades de Conservação**. Cadernos de Conservação – Fundação O Boticário de Proteção à Natureza. Ano 03. N° 03. 2006. 125p.

LEUNG, Y. e MARION, J.L. **Trail degradation as influenced by environmental factors: A state-of-knowledge review**. Journal of Soil and Water Conservation, v. 51, n 2, p. 130-136, 1996.

LEPSCH, I.F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2ª Ed. São Paulo. Oficina de Textos. 2010.

LEPSCH, I.F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo. Oficina de Textos. 2011.

LIBARDI, P.L. **Água no Solo**. In: LIER, Q.J.V (Org). Física do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, Minas Gerais. 2016. 298p.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP. 2004.

LIMA, L. D. da M. **Suscetibilidade à Erosão dos Solos nas Sub -bacias do médio e alto cursos da Bacia do Rio Macaé / RJ**. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 2008.

LOPES, L.G.N.; SILVA, A.G.; GOULART, A.C.O. **Novos caminhos na análise integrada da paisagem: abordagem geossistêmica**. In: Natureza on line 12 (4):_ISSN 1806–7409. p.156-159, 2014.

LOBATO, R.; MENEZES, J.; LIMA, L.A.; SAPIENZA, J.A. **Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para Análise da Redução da Mata Atlântica na Região Costeira do Distrito de Tamoios – Cabo Frio/RJ**. Caderno de Estudos Geoambientais, v.01, n.01, p.14-22, 2010. Disponível em: <
<http://www.cadegeo.uff.br/index.php/cadegeo/article/view/2/2>>. Acesso em: 28.06.19.

LOPES, L.G.N.; SILVA, A.G.; GOULART, A.C.O. **Novos Caminhos na Análise Integrada da Paisagem: abordagem geossistêmica**. In: Natureza on line 12 (4):_ISSN 1806–7409. p.156-159, 2014.

MAGANHOTTO, R. F.; SANTOS, L. J. C.; SOUZA, L. C. P.; MIARA, M. A. **Variação dos atributos físicos do solo devido ao trânsito de pessoas em trilha localizada na Região de Paranaguá – PR**. Revista Geografar, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 94-114, 2010. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/20144/13327> Acesso em: 07.06.2019.

MAGRO, T.C. **Impactos do Uso Público em uma Trilha no Planalto Nacional do Itatiaia**. São Carlos: Tese de Doutorado. Escola de Engenharia – USP. 1999.

MAIA, M.A.; RICHTER, M. **Estado de Conservação das Unidades de Conservação da Baixada Fluminense** - Estudo de Caso: Municípios de Nova Iguaçu e Duque de Caxias. Em: Anais do XVIII Encontro Nacionais de Geógrafos – A Construção do Brasil: Geografia, Ação Política e Democracia. São Luís, Maranhão. 2016.

MANSUR, K. L. et al. **A transformação da linguagem científica em popular na elaboração de placas descritivas de pontos de interesse geológico: o caso do geoparque do Vulcão de Nova Iguaçu-RJ**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42., Araxá, SBG, CD, outubro 2004. 1 p.

MANSUR, K.; ERTHAL, F. **Preservação do patrimônio natural - desdobramentos do Projeto Caminhos Geológicos do RJ.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 8., 2003, Águas de São Pedro, SP. Anais... Águas de São Pedro, SP: SBG, 2003. p. 253.

MANSUR, K. L.; PALERMO, N.; NOGUEIRA, G.; VALENTE, S. MELLO, E. F. **Complexo Vulcânico de Nova Iguaçu: singularidade geológica a preservar.** In: CORREIA, M. R. (Org.). Oficina de Estudos da Preservação. Coletânea III. Rio de Janeiro: IPHAN-RJ, 2014. p. 84-93.

MARCELINO, E.V.; MARCELINO, I.P.V.O.; RUDORFF, F.M.; GOERL, R.F. **Geoinformação e Desastres Naturais em Áreas Urbanas: O Caso do Furacão Catarina.** In: ALMEIDA, C.M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. (Orgs). Geoinformação em Urbanismo: Cidade Real x Cidade Virtual. Oficina de Textos. São Paulo, 2007. 368p.

MARQUES, R. C. **Análise geomorfológica da Área de Proteção Ambiental do GericióMendanha (RJ) com base em Geoprocessamento.** 2016. 70 f. TCC (Graduação em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

MARTINS, F. G.; COELHO, L. S. **Aplicação do método de análise hierárquica do processo para o planejamento de ordens de manutenção em dutovias.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Ano 7, nº 1, jan-mar/2012, p. 65-80.

MASSA, E.M. ; ROSS, J.L.S. **Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP.** Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 24 (2012), p. 57-79.

MEDINA, H.P. **Água no Solo.** In: MONIZ, A.C. **Elementos de Pedologia.** São Paulo. EDUSP. 1972. 460p. p.45-57.

MEDINA, H.P. **Classificação Textural.** In: MONIZ, A.C. **Elementos de Pedologia.** São Paulo. EDUSP. 1972. 460p. p.21-28.

MEDINA, H.P. **Constituição Física.** In: MONIZ, A.C. **Elementos de Pedologia.** São Paulo. EDUSP. 1972. 460p. p.11-20.

MELLO, F.A.P. **Geocologia de trilhas: uma nova proposta metodológica para o planejamento e manejo de trilhas na gestão do uso público em unidades de conservação da natureza.** Tese (Doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia. 2016. 214 f.

MELLO, F. A. P. **Implantação e sinalização da Trilha da Varginha/PNMNI.** II Caminho Geológico do Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu (PNMNI). Relatório técnico para atendimento à Notificação nº 2 PJ/027/2010 do Inquérito Civil nº 388/08, Cláusula 3.3.2 do Termo de ajuste de conduta Pedreira Vigné Ltda. - Relatório Final, 2011. 33 p.

MELLO, F.A.P. **Ordenamento da malha de trilhas como subsidio ao zoneamento ecoturístico e manejo da visitação no Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu-RJ.** 192f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ. Brasil. 2008.

MELLO, F.A.P. Termo de Ajuste de Conduta (TAC): **Implantação de trilha de acesso à cratera do vulcão expresso como Trilha da Varginha**. Inquérito Civil nº 388/08 (antigo 561/02). Notificação nº 2 PJ/027/2010. Rio de Janeiro, RJ. 2010.

MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P. e MELLONI, R. **Aplicação de Atributos Físicos do Solo no Estudo da Qualidade de Áreas Impactadas, em Itajubá/MG**. *Cerne*, Lavras, v. 12, n. 3, 2006. p. 211-220.

METZGER, J.P. **O que é Ecologia de Paisagens?**. In: *Revista Biota Neotropica* v1 (n1) BN00701122001. 9p. 2001. Disponível em: <
<http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt/fullpaper?bn00701122001+pt>> Acesso em: 30.06.19.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Diagnóstico da visitação em parques nacionais e estaduais**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2005.

MONIZ, A.C. **Elementos de Pedologia**. São Paulo. EDUSP. 1972. 460p.

MOTA, C. E. M. et al. **Estrutura subsuperficial do Complexo Alcalino do Mendanha, Rio de Janeiro, por integração de dados geológicos e gravimétricos**. *REM-Revista Escola de Minas*, Ouro Preto, v. 65, n. 4, 2012. p. 491- 499.

MOTOKI, A.; MOTOKI, K. F. **Origem dos relevos do maciço Mendanha, RJ, movimento de falhas ou erosão diferencial?: análises geomorfológicas por seppômen e sekkokumen com base do ASTER GDEM**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 13., Campinas, SBG, CD, 2011. p. 378-381.

MOTOKI, A.; PETRAKIS, G.H.; SICHEL, S.E.; CARDOSO, C.E.; MELO, R.C.; SOARES, R.; MOTOKI, K.F. **Origem dos Relevos do Maciço Sienítico do Mendanha, RJ, com base nas Análises Geomorfológicas e sua Relação com a Hipótese do Vulcão de Nova Iguaçu**. *Geociências*, São Paulo, UNESP. v. 27, n. 1, p. 97-113, 2008.

O ECO. **O que são Unidades de Conservação?**. Disponível em:
<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27099-o-que-sao-unidades-de-conservacao/>> Acesso em: 30.06.19.

OLIVEIRA, F.L. **Diversidade geológica-geomorfológica do Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu (Rio de Janeiro): Bases para o planejamento ambiental no contexto da geoconservação**. 264 f. 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

OLIVEIRA, F. L.; COSTA, N. M. C. **O Valor geoturístico da paisagem do Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu (Rio de Janeiro)**. In: Workshop ARTE & Ciência: Reflexão Integrada na Paisagem, 1, 2017, Rio de Janeiro: UFRJ, 2017.

OLIVEIRA, F.L.; COSTA, N.M.C. **Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu: Um peculiar patrimônio geológico-geomorfológico na Baixada Fluminense, RJ**. *História*,

Natureza e Espaço - Revista Eletrônica do Grupo de Pesquisa NIESBF, v. 2, n. 2, p. 1-22, 2014.

OLIVEIRA, F.L.; BEZERRA, H.C.S. **A Função Recreativa da Geomorfologia na Geoconservação do Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu (RJ): Análises e Considerações.** In: Anais do XI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Geomorfologia: compartimentação de paisagem, processo e dinâmica. Maringá, Paraná. 2016. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/9/9-301-1185.html> Acesso em: 06.07.19.

OLIVEIRA, F.L.; COSTA, N.M.C.; COSTA, V.C. **Sistema de Informação Geográfica Aplicado ao Geoturismo: Subsídio para o Planejamento Ambiental do Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu, RJ.** *Revista Geonorte*, [S.l.], v. 5, n. 16, p. 302 - 308, jan. 2014. ISSN 2237-1419. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/1402>>. Acesso em: 31. 07. 19.

OLIVEIRA, F. L.; SILVA, C. M. A. ; COSTA, N. M. C. **Trabalho de Campo no Caminho das Águas, Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu/RJ: proposta de roteiro ambiental e subsídio para conservação do patrimônio natural.** In: II Congresso Nacional de Planejamento e Manejo de Trilhas / I Colóquio Brasileiro da Red Latinoamericana de Senderismo, 2013, Rio de Janeiro. *Uso Público e Biodiversidade: Desafios de gestão e governança em áreas protegidas.* Rio de Janeiro: Rede Sirius-Rede de Bibliotec., 2013.

PARANAGUÁ et al., **Belém Sustentável.** Belém: Imazon, 2003. 112 p. Restau - Image Restoration 0.0.15. Dmitry Fedorov, Leila M. G. Fonseca © 2002. Divisão de Processamento de Imagens. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

PIMENTEL, D. S. **Parcerias para a gestão do uso público em parques.** In: Anais – Uso Público em Unidades de Conservação, n. 1, v.1, Niteroi, 2013. Disponível em: <http://periodicos.uff.br/uso_publico/article/view/28675/16634> Acesso: 14.08.2019

POESEN, J. e SAVAT, J. **Detachment and transportation of loose sediments by raindrop splash. Part II: detachability and transportability measurements.** *Catena*, v. 8, p.19–41, 1981.

PONTES, B.M.S. **A Ciência Geográfica e o Desafio da Questão Sociedade / Natureza.** Em: *Revista Sociedade e Natureza*. v.11 n(21 e 22). Uberlândia, Minas Gerais. 1999. p.29-43.

PONZONI, F. J. ; SHIMABUKURO, YOSIO EDEMIR. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.**São José dos Campos: Parêntese, 2001.

PREFEITURA DA CIDADE DE NOVA IGUAÇU - **Plano de manejo extensivo do Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu, vols. I, II, III.** ABTEC Engenharia Sanitária e Ambiental Ltda - Prefeitura Municipal de Nova Iguaçu - Instituto Estadual de Florestas - Fundo Estadual de Controle Ambiental, Nova Iguaçu, 2000.

QUEIROZ, E.D. **Uso Público no Parque Natural Municipal de Nova Iguaçu-RJ: Trilhando entre possibilidades e dificuldades.** Tese de Doutorado. Instituto de Geografia – Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ. 2018. 206p.

RAIMUNDO, A. O.; TRIANE, B. P. **Estudo de Pontos Ecoturísticos em Unidades de Conservação: Trilhas do Camorim e da Contenda, RJ.** In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Goiânia – GO. 2006.

RANGEL, L.A. **O Impacto da Utilização de Trilhas na Área de Proteção Ambiental de Cairuçu - Paraty – Rio de Janeiro.** / Luana de Almeida Rangel. – Rio de Janeiro: PPGG UFRJ, 2014. 184f

RANGEL, L. A.; GUERRA, A. J. T. **O Impacto na dinâmica do solo através da utilização da Trilha Ponta Negra – Praia de Galhetas na Reserva Ecológica da Juatinga em Paraty.** In: Anais do 2 Congresso Nacional de Planejamento e Manejo de Trilhas / I Colóquio Brasileiro para a Red Latinoamericana de Senderismo, 16 a 18 de outubro de 2013 / Nadja Maria Castilho da Costa, Vivian Castilho da Costa, Flávio Augusto Pereira Mello, (orgs.). Rio de Janeiro: 1290p. Rede Sirius-Rede de Bibliotec. 2013. ISBN 978-85-88769-56-4. p. 790 – 809. 2013.

RANGEL, L. A.; MARTINS, M. B.; GUERRA, A. J. T. **Impactos Ambientais causados pela utilização de Trilhas na Reserva Ecológica da Joatinga, Paraty, RJ.** Anais – Uso Público em Unidades de Conservação, n. 1, v. 1, 2013. Niterói – RJ. p. 246 – 256. 2013. Disponível em: <<http://www.uff.br/usopublico>> Acesso em: 06.05.19.

RÊGO, Shirley Coutinho Alves et al. **Análise comparativa dos índices de Vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB.** Revista Geonorte, v. 2, n. 4, p.1217-1229, jan. 2012

REICHARDT, K. **A Água em Sistemas Agrícolas.** Editora Manole Ltda. São Paulo, SP. 1990. 188p.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.V.; SUZUKI, L.E.A.S.; HORN, R. **Mecânica do Solo.** In: LIER, Q.J.V (Org). Física do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, Minas Gerais. 2016. 298p.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. **Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação.** In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M., eds. Tópicos Ciência do Solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 5, p.49-134.

REZENDE, P.S.; MARQUES, D.V.; OLIVEIRA, L.A. **Construção de Modelo e Utilização do Método de Processo Analítico Hierárquico –AHP para Mapeamento de Risco à Inundação em Área Urbana.** Revista Caminhos da Geografia. v.18,n.61. Uberlândia, Minas Gerais. 2017. 18p.

RIBEIRO, M.F. **Análise Ambiental aplicada à Definição da Zona de Amortecimento no Parque Estadual da Pedra Branca (Município do Rio de Janeiro, RJ), com base em Geoprocessamento.** Tese de Doutorado – UFRJ/COPPE- Programa de Planejamento Energético, 2013. 407p.

RISSO, L.C. **Paisagens e cultura: uma reflexão teórica a partir do estudo de uma comunidade indígena amazônica.** Espaço e Cultura, (23), p. 67-76, 2008.

RODRIGUES, C.G.O. & IRVING, M.A. **Os significados de “público” e o compromisso de inclusão social no acesso aos serviços de apoio ao turismo nos parques nacionais.** In: IRVING, M.A., RODRIGUES, C.G.O., RABINOVICI, A., COSTA, H. A. (Orgs.). Turismo, áreas protegidas e inclusão social: diálogos entre saberes e fazeres. – 1ª Ed. – Rio de Janeiro: Folio Digital: Letra e Imagem, 2015.

RODRIGUES, J. C.; RODRIGUES, J. C. **Relação sociedade-natureza no pensamento geográfico: reflexões epistemológicas.** Revista do Departamento de Geografia – USP, São Paulo, SP. Volume 27 (2014), p. 211-232.

RODRIGUES, T; TOMMASELLI, J.T.G.; ARROIO JUNIOR, P.P. **Mapeamento da Vulnerabilidade aos Processos Erosivos a partir de Métodos Multicriteriais: Um Estudo sobre as Condições Ambientais da Bacia Hidrográfica da Represa Laranja Doce, Martinópolis (SP).** In: Revista Formação (Online), v.25. n.45, mai-ago/2018. P.67-91.

RODRÍGUEZ, J. M.R.; SILVA, E.V.; LEAL, A.C. **Planejamento Ambiental de Bacias Hidrográficas desde a visão da Geoecologia das Paisagens.** In: FIGUEIRÓ, A.S. e FOLETO, E (org). **Diálogos em Geografia Física.** Santa Maria, RS. Editora UFSM. 2011. 208p.

ROSEMBACK, R.; FRANÇA, A.A.S.; FLORENZANO, T.G. **Análise Comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS e TM/ Landsat em uma área urbana.** In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. p.1075-1082. On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: . Acesso em: 10.06.19.

ROSS, J.L.S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.** Revista do Departamento de Geografia. n. 8, p. 63-73. 1994.

ROSS, J.L.S. **Ecogeografia do Brasil: Subsídios para o Planejamento Ambiental. Oficina de Textos.** São Paulo. 2006. 208p.

ROUSE, J.W., HAAS; R.H., SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317, 1973.**

RUA, J.; OLIVEIRA, R. R.; FERREIRA, A.H.S. **Paisagem, espaço e sustentabilidades: uma perspectiva multidimensional da Geografia.** In: Paisagem, espaço e sustentabilidades: uma perspectiva multidimensional da geografia / organização: João Rua. – Rio de Janeiro : Ed. PUC-Rio, 2007. 330 p.

SÁ, M.A.C.; JUNIOR, J.D.G.S. **Compactação do Solo: Consequências para o crescimento vegetal.** Embrapa Cerrados (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 136) Planaltina, DF. 2006. 26p.

SAATY, T. L. (1991), **“Método de Análise Hierárquica”**, Tradução de Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, Makron, São Paulo, SP.

SAATY, T. L. **The Modern Science of Multicriteria Decision Making and Its Practical Applications: The AHP/ANP Approach**. Operations Research, v. 61, n. 5, p.1101-1118, 2013.

SALESA, D; CERDÀ, A. **Soil erosion on mountain trails as a consequence of recreational activities. A comprehensive review of the scientific literature**. In: ELSEVIER - Journal of Environmental Management 271. Valência, Espanha. 2020. 14p.

SALOMÃO, Fernando Ximenes de Tavares. **Controle e Prevenção dos Processos Erosivos**. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; SILVA, Antônio Soares da; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado (Org.). Erosão e Conservação de Solos – Conceitos, Temas e Aplicações. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 2012. P. 229-267.

SÁNCHEZ, L.H. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e Métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SÁNCHEZ, L.H. **Conceitos e Definições**. In: SÁNCHEZ, L.H. Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos. Oficina de Textos. São Paulo, 584p. 2008.

SANTOS JUNIOR, W.M. **Aplicação de Geotecnologias no Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra: Parque Estadual da Serra da Tiririca (PESET)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Fluminense. Niterói, Rio de Janeiro. 2009. 73p.

SANTOS JUNIOR, W.M.; COSTA, V.C. **Uso da Terra e Cobertura Vegetal no Maciço Gericinó-Mendanha (RJ): Classificação Semi-Automática por Imagens Multiespectrais do Satélite Sentinel-2**. In: I Workshop Internacional Arte & Ciências: Reflexão Integrada na Paisagem. UFRJ Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2017.

SANTOS JUNIOR, W.M.; NETO, N.M.; FILHO, J.P.M.; BEZERRA, H.C.S. **Análise morfométrica das sub-bacias do maciço Gericinó-Mendanha: Subsídios a criação de um índice de avaliação aos eventos de enxurradas e inundações**. In: GUERRA, A.J.T.; FILHO, R.D.S.; TERRA, C.G. (Orgs). Arte e Ciência: História e Resiliência da Paisagem. Rio Books. Rio de Janeiro, 2019. 492p.

SANTOS, M.C.F.; MOURA, R.L.; VALENTE, A.A. **Bromeliaceae no Maciço do Gericinó-Mendanha, Rio de Janeiro, Brasil**. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 63-65, jul. 2007.

SARAIVA, A.C.R. **Impactos aos Atributos Físicos do Solo em Trilhas Ocasionalmente pelo Ecoturismo em Ubatuba-SP**. Revista Univap, São José dos Campos-SP, v. 17, n. 29, ago.2011.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Construção e Manutenção de Trilhas**. São Paulo: Fundação Florestal, 2009. Disponível em:http://www.ambiente.sp.gov.br/wpcontent/uploads/publicacoes/fundacao_florestal/ManualdasTrilhasfinal07-09.pdf. Acesso em: 22 jun. 2020.

SEMUAM. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente da Cidade de Nova Iguaçu, RJ. Parque Municipal de Nova Iguaçu. **Plano de Manejo**. versão Resumida. Nova Iguaçu: SEMUAM/PCNI/FNMA, 2001.

SENA, I. S.; TEIXEIRA, H. W.; FIGUEIREDO, M. A.; ROCHA, L. C. **Análise das taxas de erosão e compactação do solo na Trilha do Carteiro, APA Serra São José, Tiradentes – MG.** In: Anais do 2 Congresso Nacional de Planejamento e Manejo de Trilhas / I Colóquio Brasileiro para a Red Latinoamericana de Senderismo, 16 a 18 de outubro de 2013 / Nadja Maria Castilho da Costa, Vivian Castilho da Costa, Flávio Augusto Pereira Mello, (orgs.). Rio de Janeiro: 1290p. Rede Sirius-Rede de Bibliotec. 2013. ISBN 978-85-88769-56-4. p. 758 – 771. 2013.

SILVA, A. O. **Condições Ambientais na Trilha do Peito do Pombo por meio do Protocolo de Avaliação Rápida na Área de Proteção Ambiental do Sana (Macaé – RJ).** Monografia (Curso de Especialização) – ENCE – Escola Nacional de Ciências Estatísticas. Curso *Lato Sensu* em Análise Ambiental e Gestão do Território. 94 p. 2017.

SILVA, A. M. et al. **Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas.** 2. ed. São Carlos: RIMA, 2007.

SILVA, C. A.; NUNES, F. P. **Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. Anais... Natal, 2009.

SILVA, L.G.; GALVÍNCIO, J.D. **Análise Comparativa da Variação nos Índices NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na Primeira Década do Século XXI.** Revista Brasileira de Geografia Física, n. 06, p. 1446-1456, 2012.

SILVA, M.S.L.; NETO, M.B.O. **Argissolos Vernelho Amarelos.** In: AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CO NT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html> Acesso em: 06.08.2019.

SILVA-NETO, J. C. A. **Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno.** Geografia (Londrina), v. 22, n. 1. p. 05-24, 2013.

SPORL, C; ROSS, J.L.S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos.** GEOUSP Espaço e Tempo, São Paulo, N° 15, pp .39-49, 2004.

SOTCHAVA, U.B. **Por uma Teoria de Classificação de Geossistemas da Vida Terrestre.** Biogeografia. São Paulo, n.14, 1978.

STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V.L. **Penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf: recomendação para seu uso.** STAB, 1:18-23, 1983. [(Reeditado: Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. 9p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim, 1)].

STOLF, R. **Fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em força/unidade de área.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., Piracicaba, 1990. Anais... Piracicaba, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1990a. p.823-836.

STOLF, R. **Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo.** R. Bras. Ci. Solo, 15:229-235, 1991a.

STOLF, R. ; MURAKAMI, J.H. ; BRUGNARO, C. ; SILVA, L. G. ; Silva, L. C. F. ; MARGARIDO, L. A. C. . **Penetrômetro de impacto Stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA.** Revista Brasileira de Ciência do Solo (Impresso), v. 38, p. 774-782, 2014.

STOLF, R. **Comparação dos resultados de resistência do solo obtidos com o penetrômetro de impacto e o convencional.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19, 1990, Piracicaba. Anais... v.2, p.837-850.

STOLF, R. **Operação do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf.** Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR., 1984. 8p. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim n.2).

STOLF, R., FERNANDES, J., FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf.** Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1983. 9p.

TAKAHASHI, L. Y. **Caracterização dos visitantes, suas preferências e percepções e avaliação dos impactos da visitação pública em duas unidades de conservação do Estado do Paraná.** 1998. 129f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba

TRIANE, B.P. **Efeitos do Pisoteio de Equinos no Solo de trilhas em Unidades de Conservação: Um Estudo de Caso da Trilha do Quilombo – Parque Estadual da Pedra Branca – PEPB / RJ.** 2008. 128 f. Monografia (Curso de Graduação para obtenção de grau Bacharelado e Licenciatura). Rio de Janeiro. Departamento de Geografia Física. Instituto de Geografia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 128 p. 2008.

TRINDADE, T.P.; CARVALHO, C.A.B.; LIMA, D.C.; BARBOSA, P.S.A.; SILVA, C.H.C.; MACHADO, C.C. **Compactação dos Solos: Fundamentos Teóricos e Práticos.** Editora UFV. Viçosa, MG. 2008. 95p.

TROPPEMAIR, H.; GALINA, M.H. **Geossistemas.** In: Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 05, número 10, p. 79-89. 2006.

VALLEJO, L.R. **Uso Público em Áreas Protegidas: Atores, Impactos, Diretrizes de Planejamento e Gestão.** In: Anais – Uso Público em Unidades de Conservação, n. 1, v. 1, 2013. Niterói – RJ. p. 13 – 26. 2013. Disponível em: <<http://www.uff.br/usopublico>> Acesso em: 06.07.19.

VALENTE, S. C., MELLO, E. F., PALERMO, N. **Geologia de uma porção do Complexo Vulcânico de Nova Iguaçu limítrofe à área de lavra da Pedreira Vigné, Nova Iguaçu, RJ.** Relatório Final. Nova Iguaçu: Ministério Público, 2005. 72p. Relatório técnico.

VALERIANO, M. M. **Dados topográficos.** In: Teresa G. Florenzano. (Org.). Geomorfologia - conceitos e tecnologias atuais. 1ed.São Paulo: Oficina de textos, 2008, v., p. 72-104.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais.** São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-15318-RPE/818). 72p., 2008 (Boletim).

VELASCO, G.D.N.; POLIZEL, J.L.; COLTRI, P.P.; LIMA, A.M.; SILVA FILHO, D.F.; **Aplicação do índice de Vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) em imagens de alta resolução no município de São Paulo.** Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana. v.2, n.3, 2007.

VERDADE, F.C. **Conceito de Solo e Evolução da Pedologia.** In: MONIZ, A.C. Elementos de Pedologia. São Paulo. EDUSP. 1972. 460p.

VEYRET, Y. Os Riscos: O homem como agressor e vítima do meio ambiente. Contexto, São Paulo, 2007. p. 320.

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento em estudos ambientais: Uma perspectiva sistêmica** (Cap. 1). MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA G.; ALMEIDA M. Geomática: modelos e aplicações ambientais. Brasília, DF: EMBRAPA Informação tecnológica, 2007. 593 p. p. 21 -53.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental.** Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica, 2001. 228 p.

XAVIER DA SILVA, J. **O que é Geoprocessamento?** Revista CREA-RJ. Nº 79, P. 42-44. 2009.