

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICA E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA AO PLANEJAMENTO DE
TRILHAS ECOTURÍSTICAS
NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃOS
(PARNASO), RJ**

LIA LUTZ KROEFF

Profa. Orientadora: Telma Mendes da Silva

**RIO DE JANEIRO
ABRIL/2010**

LIA LUTZ KROEFF

**CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA AO PLANEJAMENTO DE TRILHAS
ECOTURÍSTICAS NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃOS
(PARNASO), RJ**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Profa. Orientadora: Telma Mendes da Silva

Rio de Janeiro
ABRIL/2010

LIA LUTZ KROEFF

**CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA AO PLANEJAMENTO DE TRILHAS
ECOTURÍSTICAS NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃOS
(PARNASO), RJ**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Rio de Janeiro, 30 de abril de 2010.

Aprovada por:

Telma Mendes da Silva (Profa., Dra., UFRJ)

Sonia Vidal Gomes da Gama (Profa., Dra., UERJ)

Nelson Ferreira Fernandes (Prof., Dr., UFRJ)

Rio de Janeiro

Abril de 2010

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós Graduação da Geografia e ao CNPq, que financiaram minha pesquisa.

À minha orientadora Telma Mendes da Silva pelo acolhimento, instrução, apoio e incentivo.

À administração do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO) pela facilitação da pesquisa e apoio da mesma.

Em particular e sobretudo à minha mãe, Marion Lutz Kroeff, pelo exemplo de vida, por nunca ter desistido de lutar, mesmo diante de um quadro tão delicado. Ao meu pai, Carlos Alberto Kroeff, pela garra à vida, pela inquietude e pelo incentivo. Ao meu irmão, Raul Lutz Kroeff, pela conversas, por plantar a ideia de novas informações e inovações. À minha irmã, Laura Lutz Kroeff, pelo exemplo, apoio, pela companhia, parceria e pelas trocas. À minha tia, Vera Lutz Uber, pelo grande apoio neste ano difícil. Ao meu tio, Adriano Uber, pela descoberta de uma solução milagrosa que nos trouxe novas esperanças e perspectivas de vida.

Às eternas amigas, as quais sempre se mostrarem presentes, mesmo que espacialmente distantes, nos momentos mais difíceis desta trilha penosa que foi 2009, cuja força extrema que precisei para ultrapassar os maiores obstáculos suguei delas, ao apoio incondicional de Elisa Schubert, Luciana Noda, Magda Gebhardt, Melissa Suarez, Raquel Bassani e Simone Weber.

Ao apoio, parceria e companheirismo de Sauê Burger Ferlauto, quem nos últimos tempos tem me apresentado um novo olhar de vida tão rico, singelo e singular.

À Sarah Lawall que compartilhou sua pesquisa geográfica comigo, me introduzindo à ciência pedológica, e com quem dividi os anseios do mestrado.

Aos ajudantes de extrema importância nos trabalhos de campo, em especial Eluan Lemos e também Pamela Figueiredo. À Renata Paulino pela grande ajuda com as análises das amostras de solo em laboratório, por suas diversas instruções.

RESUMO

KROEFF, Lia Lutz. Contribuição Metodológica ao planejamento de trilhas no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), RJ. Rio de Janeiro, 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia). – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

O foco desta pesquisa foi a relação dos processos atuantes nas trilhas ecoturísticas com os atuantes nas paisagens. Ainda se faz necessário melhor compreender os processos atuantes nas trilhas com a dinâmica das paisagens em suas diferentes escalas. O objetivo geral dessa pesquisa foi elaborar uma proposta metodológica aplicada ao planejamento, à avaliação e à determinação do traçado de trilhas ecoturísticas. O trabalho teve como área de estudo o Parque Nacional da Serra dos Órgãos. A metodologia desenvolvida se embasou na estrutura de níveis hierárquicos da ecologia da paisagem de Forman (1995). Atribuiu-se ao nível +1 as variáveis hidrogeomorfológicas com mais influência sob a degradação das trilhas, ao nível 0 as características gerais das trilhas e ao nível -1 as variáveis e propriedades do solo. As variáveis de cada nível hierárquico foram levantadas em três trilhas com condições diferenciadas no PARNASO: Trilha do Sino, Trilha do Cartão Postal e Trilha do Poço Verde. Os resultados indicaram que trilhas localizadas em sub-bacias hidrográficas de primeira e zero ordem com amplitudes altimétricas maiores que 200 metros e declividades acima de 45%, estão mais propensas à degradação. Sob essas condições e distantes a menos de 30 metros da drenagem, em curvaturas convergentes em planta e côncavas em perfil estão mais sujeitas ao acúmulo de água; em curvaturas convergentes em planta e côncavas em perfil, mais sujeitas à erosão em sulco; e em curvaturas divergentes em planta e convexas em perfil mais propensas à erosão laminar. As variáveis hidrogeomorfológicas que devem ser atentadas na definição do traçado das trilhas são a declividade, curvatura da vertente (em planta e em perfil), distância da drenagem, amplitude altimétrica e localização das trilhas em sub-bacias de primeira e zero ordem. As técnicas de manejo mais efetivas de serem implantadas ao longo das trilhas são a colocação de rochas nas áreas mais úmidas, de canais de drenagem nos locais em que a trilha os cruze, de rochas, cascalho ou brita nos leitos mais declivosos e de serrapilheira. Conclui-se que a metodologia elaborada representou um avanço na ciência da recreação por integrar os diferentes focos e metodologias de pesquisas do ramo e também por sugerir a dimensão escalar dos impactos das trilhas e suas associações com a paisagem, a partir da constatação das variáveis que mais os influenciam.

Palavras-Chave: trilhas ecoturísticas, ecologia da paisagem, variáveis hidrogeomorfológicas, planejamento turístico.

ABSTRACT

KROEFF, Lia Lutz. Contribuição Metodológica ao planejamento de trilhas no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), RJ. Rio de Janeiro, 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia). – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

The focus of this research was the relations between trails process and landscape process. It was realized that it's steel necessary a better comprehension between the trail process and the landscape dynamic into the different scales. The aim of this work was to develop a methodological proposition applied to the planning, the evaluation and the determination of ecotourism trails lines. The work was developed in a national park, precisely the Serra dos Órgãos National Park. The work methodology was based on Formann's (1995) landscape ecology hierarchy theory. Based on that, to the level +1 was attributed the hidrogeomorfology variables with most influence on trails degradation, to the level 0 the general trails characteristics and to the level -1 the soils variables and proprieties. The variables of each hierarchy level group were evaluated in three different trails conditions located in PARNASO, precisely: Sino Trail, Cartão Postal Trail and Poço Verde Trail. The results indicated that trails located in first order and zero order basins with altimetry differences higher than 200 meters and slope angle higher than 45% have more disposition for degradation. With this given conditions and also located at lesser than 30 meters of a drainage, in convergence plan curvature and concave profile curvature trails have more disposition to the water concentration; the ones located in convergence plan curvature and concave profile curvature have more disposition to the rill erosion; and those located in divergence plan curvature and convex profile curvature have more disposition to the laminar erosion. The hidrogeomorfology variables that must have attention on the ecotourism trails lines determination are drainage distance, plan curvature, profile curvature, angle slope, basins altimetry differences and trails location in first order and zero order basins. The trail techniques more effectively implemented is the carrying of the trails surface water, the use of litter on the trails and the placement of rocks on the more humid areas and also on the high slope areas. The conclusion is that the methodology developed represents an improvement in the recreation science specially for integrate the different researches focus and methodologies and also for suggesting the scale dimension of the trails impacts and its landscape associations, through the evidence of the variables that most influence the trails impacts.

Key Words: ecotourism trails, landscape ecology, hidrogeomorfology variables, tourism planning.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Principais impactos derivados das atividades recreativas em áreas naturais e suas inter-relações . Fonte: Siles, 2003, p. 20 (adaptado de Hammitt e Cole, 1998). | 13 |
| Figura 2: Aumento do escoamento superficial e aceleração de erosão por canais - Magro, 1999, p. 73 (modificado de Helgath, 1975)..... | 14 |
| Figura 3: Modelo conceitual dos efeitos do pisoteio na vegetação e no solo. Fonte: Magro, 1999, p.23 (adaptado de COLE, 1993)..... | 15 |
| Figura 4: Ilustração da aplicação de mensurações da máxima incisão em terrenos planos e declivosos. Fonte: Farrell e Marion, 2002..... | 18 |
| Figura 5: Desenho esquemático e do cálculo da área da seção transversal. $A = V_1 + 2V_2 + \dots + 2V_n + V_{n+1} / 2 \times L$. A = área da seção transversal. $V_1 - V_{n+1}$ = medida das distâncias verticais, iniciando em V_1 e terminando em V_{n+1} , a última medida tomada. L = intervalo da linha horizontal esticada. Fonte: Magro, 1999, p. 52 <i>apud</i> COLE, 1991..... | 19 |
| Figura 6: Relação entre a quantidade de impacto e a quantidade de uso. Fonte: Cole, 1993. | 23 |
| Figura 7: Localização do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO). Elaborado por L.Kroeff. ... | 29 |
| Figura 8: Seção geológica esquemática de um trecho da Serra dos Órgãos que procura mostrar a diferenciação de resistência aos processos de alteração e desgaste das rochas graníticas e gnáissicas, que correspondem na paisagem atual aos pontos culminantes como o Escalavrado, Dedo de Nossa Senhora, Dedo de Deus e Pedra do Sino (Fonte: www.drm.rj.gov.br). | 31 |
| Figura 9: Fotografia panorâmica aproximada da seção geológica esquemática apresentada na Figura 2 (Foto: T.M.Silva, 2005)..... | 31 |
| Figura 10 A: Mapa esquemático dos Domínios e Regiões Morfoestruturais definidos por Silva (2002) para a subdivisão das formas de relevo reconhecidas para o estado do Rio de Janeiro; B: Mapa de amplitude altimétrica das bacias do PARNASO (Fonte: Silva, 2000, adaptado por L.Kroeff)... | 32 |
| Figura 11 A: Feições do relevo; B: Regiões naturais do PARNASO (Fonte: Oliveira et al 2007, Adaptado por L.Kroeff). | 33 |
| Figura 12: Trilhas e seus Atrativos no contexto do Zoneamento do PARNASO. Fonte: Parnaso, adaptado por L.Kroeff..... | 36 |
| Figura 13: Zoneamento das Trilhas Analisadas. Fonte: Parnaso, adaptado por L. Kroeff..... | 39 |
| Figura 14: Fluxograma dos Níveis Hierárquicos e variáveis ambientais a serem analisadas. Elaborado por L.Kroeff..... | 42 |
| Figura 15: Fluxograma das Variáveis Hidrogeomorfológicas, Nível +1. Elaborado por L. Kroeff. | 45 |
| Figura 16: Exemplos de Erros nas Curvas de Nível recortadas pela ferramenta Clip do ArcGis. | 50 |
| Figura 17: Erros gerados no MDT ao não se corrigir a direção de fluxo da drenagem (ressaltados pelos círculos em preto)..... | 51 |

| | |
|--|----|
| Figura 18: Modelo de Fluxo D8. Fonte: Hott <i>et al.</i> , 2007. | 54 |
| Figura 19: Diferenças entre o traçado original (linha azul clara) e o gerado no <i>ArcHydro</i> com tamanho de 10.000 células (linha preta). A: Pontos das diferenças da drenagem; B: polígono irregulares das sub-bacias geradas pelo <i>ArcHydro</i> | 56 |
| Figura 20: Rede de drenagem original (linha azul claro) e gerada pelo <i>ArcHydro</i> com 2.000 células (linha preta). | 56 |
| Figura 21: Parâmetros retirados das nascentes. $D1$ – declividade da nascente de primeira ordem, $D0$ – declividade do trecho de zero ordem, $L0$ – comprimento do trecho de zero ordem, LA – comprimento da bacia de zero ordem e $A0$ – área da bacia de zero ordem. Fonte: Silva e Kobiyama, 2004. | 57 |
| Figura 22: Comparação dos limites das Bacias de segunda ordem (linha verde), fornecidas pelo PARNASO com as de 1ª ordem e zero ordem (linha rosa) geradas pelo <i>ArcHydro</i> com tamanho de 2.000 células. | 58 |
| Figura 23: Bacias de 2ª ordem (linha em verde) e 1ª ordem e zero ordem (linha em rosa) sobre curvatura em planta da vertente (vermelho = divergente, azul = retilínea, verde = convergente). Destaque para os polígonos em azul que não respeitaram a curvatura. | 59 |
| Figura 24: Modelos de fluxos em segmentos de encosta. 1: Retilínea (R) x Planar (P); 2: R x Divergente (D); 3: R x Convergente (C); 4: Convexo (CX) x R; 5: CX x D; 6: CX x C; 7: Côncavo (CC) x R; 8: CC x D; 9: CC x C. Fonte: Valeriano, 2008 adaptado de Ruhe (1975). | 60 |
| Figura 25: Curvatura em Planta Gerada pelo MDT, nota-se curvaturas muito fragmentadas. | 62 |
| Figura 26: Curvaturas em Planta. A: Suavizada com filtro média 21x21 <i>pixels</i> , uma iteração. B: Suavizada com filtro média 21x21 <i>pixels</i> , duas iterações. | 63 |
| Figura 27: Ilustração da suavização das curvas de nível originais (linha verde), com filtro passa baixa 21x21, uma iteração (linha amarela) e com duas iterações (linha rosa). | 63 |
| Figura 28: Declividade gerada a partir do MDT. Os círculos destacam polígonos de áreas pequenas e áreas descontínuas e fragmentadas. | 67 |
| Figura 29 A: Exemplo de Área de Declividade com Filtro Mediana 3x3 com 4 iterações. B: Declividade com Filtro Mediana 5x5 com 4 iterações. C: Declividade com Filtro Mediana 7x7 com 4 iterações. Círculo destaca a área com maior suavização. | 71 |
| Figura 30: Exemplo de Orientação da Vertente gerada do MDT (A), com filtro passa baixa 7x7, uma iteração (B) e duas iterações (C). | 71 |
| Figura 31: Fluxograma das Variáveis Associadas às Trilhas, Nível 0. Elaborado por L. Kroeff. | 74 |
| Figura 32: Exemplo de formação de degraus no leito da trilha, com manejo de troncos. Foto: Lia Kroeff (abril/2009). | 76 |
| Figura 33: Trecho com elevada concentração de água, em que ocorrem poças no leito da trilha. Foto: Lia Kroeff (abril/2009). | 77 |
| Figura 34: Elevada exposição de raízes. Foto: Lia Kroeff (abril/2009). | 78 |

| | |
|---|-----|
| Figura 35: Fluxograma de Variáveis Avaliadas em Nível -1, Propriedades do Solo. Elaborado por L. Kroeff. | 79 |
| Figura 36: Fluxograma preliminar da proposta metodológica aplicada ao planejamento, avaliação e determinação do traçado de trilhas. Elaborado por L. Kroeff..... | 89 |
| Figura 37: MDT das Bacias das Trilhas em Análise. Fonte: Parnaso, adaptado por L. Kroeff..... | 92 |
| Figura 38: Sub-bacias Hidrográficas das Trilhas. Elaborado por L. Kroeff..... | 94 |
| Figura 39: Curvatura em Planta das Sub-bacias das Trilhas. Elaborado por L. Kroeff..... | 97 |
| Figura 40: Curvatura em Perfil das Sub-bacias das Trilhas. Elaborado por L. Kroeff..... | 98 |
| Figura 41: Declividade das Sub-bacias das Trilhas. Elaborado por L. Kroeff..... | 100 |
| Figura 42: Orientação das Sub-bacias das Trilhas. Elaborado por L. Kroeff..... | 103 |
| Figura 43: Alinhamento das Trilhas às Curvas de Nível. Elaborado por L. Kroeff. | 106 |
| Figura 44: Distância da Drenagem das Sub-bacias pelas quais as Trilhas percorrem. Elaborado por L. Kroeff. | 109 |
| Figura 45: Vista panorâmica da Pedra do Sino. Foto: L.L. Kroeff (novembro/2009)..... | 113 |
| Figura 46: Visão Panorâmica do final da Trilha do Cartão Postal. Foto: L. L. Kroeff (abril/2009)..... | 114 |
| Figura 47: Poço Verde. Fonte: http://www.pbase.com/flavioveloso/image/59815904 (Acesso 04/08/2009). | 115 |
| Figura 48: Trecho com Erosão em Sulco na Trilha do Sino. Foto: Lia Kroeff (novembro/2009). | 116 |
| Figura 49: Desvio da Drenagem para o leito da Trilha do Sino. Foto Lia Kroeff (novembro/2009)..... | 117 |
| Figura 50: Corte Lateral da Vegetação, gerando acúmulo de serrapilheira, no leito da Trilha do Sino. Foto Lia Kroeff (novembro/2009). | 118 |
| Figura 51: Pontos e Trechos Marcados e Delimitados na Trilha do Sino. Elaborado por L. Kroeff..... | 119 |
| Figura 52: Pontos e Trechos Marcados e Delimitados nas Trilhas do Cartão Postal e Poço Verde. Elaborado por L. Kroeff..... | 122 |
| Figura 53: Sub-Bacias da Trilha do Sino com mais Pontos com Acúmulo de Água (destaque para a sub-bacia em azul). Elaborado por L. Kroeff. | 158 |
| Figura 54: Fluxograma da proposta metodológica para o planejamento, avaliação e determinação do traçado de trilhas. Elaborado por L. Kroeff. | 187 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1: Classificação Planimétrica das Cartas segundo o PEC..... | 48 |
| Tabela 2: Quadro comparativo do número e extensão dos canais de drenagem gerados com os diferentes tamanhos de células no <i>ArcHydro</i> | 55 |
| Tabela 3: Comparação das Áreas e Polígonos das Classes de Curvatura em Planta com Diferentes Filtragens Média..... | 64 |
| Tabela 4: Comparação das Áreas e Polígonos das Classes de Curvatura em Perfil com Diferentes Filtragens Média..... | 65 |
| Tabela 5: Comparação do Diferencial das Áreas das Classes de Curvatura em Planta com Filtragens Média 21x21 <i>pixels</i> uma e duas iterações..... | 65 |
| Tabela 6: Comparação do Diferencial das Áreas das Classes de Curvatura em Perfil com Filtragens Média 21x21 <i>pixels</i> uma e duas iterações..... | 66 |
| Tabela 7: Variação de Área e do Número de Polígonos das Classes de Declividade entre as Diferentes Máscaras do Filtro Mediana Aplicadas..... | 69 |
| Tabela 8: Diferença Percentual das Áreas e Número de Polígonos entre as Classes de Declividade..... | 70 |
| Tabela 9: Diferença do Percentual Representativo das Áreas e Número de Polígonos de Cada Classe de Declividade no Terreno Analisado..... | 70 |
| Tabela 10: Informações contidas nas fichas de campo para análises de nível 0..... | 75 |
| Tabela 11: Relações entre D_g , P_t e o tamanho de poros em função da textura do solo..... | 84 |
| Tabela 12: Comparações das Classes de Curvatura em Planta com Filtro Média 21x21 <i>pixels</i> , 2 iterações, na área total das sub-bacias de cada Trilha..... | 96 |
| Tabela 13: Comparações das Classes de Curvatura em Perfil com Filtro Média 21x21 <i>pixels</i> , 2 iterações, na área total das sub-bacias de cada Trilha..... | 96 |
| Tabela 14: Comparações em cada Trilha das Áreas das Classes de Declividade com Filtro Mediana 7x7 <i>pixels</i> , 4 iterações..... | 99 |
| Tabela 15: Comparações em cada Trilha das Áreas das Classes de Orientação com Filtro Mediana 7x7 <i>pixels</i> , 2 iterações..... | 102 |
| Tabela 16: Verificação do Acompanhamento do Traçado da Trilha do Sino às Curvas de Nível..... | 104 |
| Tabela 17: Verificação do Acompanhamento do Traçado da Trilha do Cartão às Curvas de Nível..... | 105 |
| Tabela 18: Comparação das Distâncias das Drenagem entre as sub-bacias das Trilhas e entre as Diferentes Bases Hidrográficas..... | 108 |
| Tabela 19: Resumo das Variáveis Hidrogeomorfológicas das Trilhas (Nível +1)..... | 112 |
| Tabela 20: Trechos Delimitados na Trilha do Sino..... | 118 |
| Tabela 21: Trechos Delimitados para Trilha do Cartão Postal pelos três levantamentos de campo..... | 120 |
| Tabela 22: Informações coletadas em campo na Trilha do Poço Verde..... | 123 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 23 Resumo das Condições das Trilhas (Nível 0)..... | 126 |
| Tabela 24: Pontos de Coleta de Amostra de Solo na Trilha do Sino..... | 127 |
| Tabela 25: Pontos de Coleta de Amostra de Solo na Trilha do Cartão Postal..... | 128 |
| Tabela 26: Pontos de Coleta de Amostras de Solo na Trilha do Poço Verde. | 128 |
| Tabela 27: Médias de Textura e Percentuais de Areia Grossa e Areia Fina das Amostras do Leito das Trilhas e a 3 (três) metros do eixo da trilha..... | 130 |
| Tabela 28: Média da Textura e percentuais de areia grossa e areia fina das Amostras na Trilha do Sino, Cartão Postal e Poço Verde..... | 130 |
| Tabela 29: Coeficiente de Variação em % entre as Texturas do Leito da Trilha do Sino e a 3 (três) metros de 0-5 cm e de 0-5 e de 5-10cm..... | 133 |
| Tabela 30: Coeficiente de Variação em % entre as Texturas do Leito da Trilha do Cartão Postal e a 3 (três) metros de 0-5 cm e de 5-10cm..... | 134 |
| Tabela 31: Comparações Percentuais das Texturas do Leito da Trilha do Poço Verde e a 3 (três) metros de 0-5 cm e de 5-10cm. | 135 |
| Tabela 32: Médias de Densidade de Partículas nas Diferentes Localidades e Profundidades. | 136 |
| Tabela 33: Valores das Análises ANOVA por Profundidade e Localização nas Trilhas do Sino, Cartão Postal e Poço Verde. | 136 |
| Tabela 34: Valores de Densidade de Partículas em cada Amostra de Solo. | 137 |
| Tabela 35: Médias das Densidades Aparentes das Amostras das Trilhas..... | 139 |
| Tabela 36: Análises ANOVA das Densidades Aparentes das Amostras das Trilhas. | 140 |
| Tabela 37: Coeficientes de Variação da Densidade Aparente entre as Amostras do leito das trilhas e a 3 metros de 0-5cm e de 0-5 e 5-10cm. | 141 |
| Tabela 38: Médias de Umidades das Trilhas, nas Diferentes Amostras. | 143 |
| Tabela 39: Coeficientes de Variação da Umidade entre as Amostras do leito das trilhas e a 3 metros de 0-5cm e de 0-5 e 5-10cm. | 144 |
| Tabela 40 Resumo das Variáveis e Propriedades do Solo (Nível -1)..... | 149 |
| Tabela 41 Validade das Variáveis para Avaliação da Concentração de Água nas Trilhas | 154 |
| Tabela 42: Ocorrência das Variáveis Distância da Drenagem (DD) menor que 30 metros, Curvatura em Planta Convergente e Curvatura em Perfil Côncava nos Pontos de Concentração de Água..... | 156 |
| Tabela 43 Validade das Variáveis para Avaliação da Erosão em Sulco na Trilha do Sino | 160 |
| Tabela 44 Validade das Variáveis para Avaliação de Degraus no Leito das Trilhas do Cartão Postal e do Poço Verde | 163 |
| Tabela 45 Avaliação Geral das Condições das Trilhas e das Degradações mais Propensas à Ocorrência | 171 |
| Tabela 46 Variáveis com Maior Influência em Impactos Específicos das Trilhas..... | 183 |
| Tabela 47: Classificação do solo segundo o USDA, a partir da proporção de areia, silte e argila o solo é dividido em doze classes..... | 197 |
| Tabela 48: Valores das Texturas das Amostras do Leito das Trilhas de 0-5cm | 198 |

| | |
|---|------------|
| Tabela 49: Valores da Textura das Amostras do Leito das Trilhas de 5-10 cm | 199 |
| Tabela 50: Valores das Texturas das Amostras a 3m do Leito das Trilhas de 0-5 cm..... | 200 |
| Tabela 51: Valores das Texturas das Amostras a 3m do Leito das Trilhas de 5-10 cm..... | 201 |

ANEXOS

| | |
|---|-----|
| 9 ANEXOS | 197 |
| 9.1 ANEXO I: CLASSIFICAÇÃO DA TEXTURA DO SOLO DO USDA | 197 |
| 9.2 ANEXO II: TABELAS COM OS VALORES DAS TEXTURAS DAS AMOSTRAS DE SOLO..... | 198 |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | Justificativas | 5 |
| 1.2 | Objetivos..... | 8 |
| 2 | AVALIANDO A TRILHA: RESGATE DOS PRINCIPAIS ESTUDOS DE TRILHAS TURÍSTICAS | 10 |
| 2.1 | Tipos e Intensidade dos Impactos nas Trilhas | 12 |
| 2.2 | Técnicas de Avaliação e de Monitoramento de Trilhas..... | 16 |
| 2.2.1 | Pesquisas Descritivas de Trilhas | 16 |
| 2.2.2 | Pesquisas Comparativas entre Áreas Impactadas e Não-Impactadas..... | 20 |
| 2.2.2.1 | Relações Uso-Degradação | 21 |
| 2.2.2.1.1 | Capacidade de Carga das Trilhas | 22 |
| 2.2.2.2 | Relações Degradação-Meio | 24 |
| 2.2.3 | Pesquisas Comparativas entre Áreas Impactadas e Experimentos Simulados. | 25 |
| 2.3 | Planejamento do Traçado e Técnicas de Manejo das Trilhas..... | 26 |
| 2.4 | Constatações Consensuais e Ponderações: | 27 |
| 3 | CONHECENDO AS TRILHAS: PARQUE NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃOS (PARNASO), RJ | 29 |
| 3.1 | Breve Caracterização Físico-Ambiental | 30 |
| 3.2 | Uso Recreativo..... | 34 |
| 3.3 | Validação da Metodologia de Análise de Trilhas..... | 37 |
| 4 | PERCORRENDO A TRILHA: PROPOSTA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE TRILHAS TURÍSTICAS | 40 |
| 4.1 | Variáveis Hidrogeomorfológicas: Nível +1..... | 43 |
| 4.1.1 | Escala da Pesquisa..... | 46 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.2 Modelo Digital do Terreno (MDT) | 49 |
| 4.1.3 Sub-bacias Hidrográficas | 51 |
| 4.1.3.1 Método Adotado para Geração das Sub-bacias | 53 |
| 4.1.4 Curvatura da Vertente | 60 |
| 4.1.5 Declividade..... | 66 |
| 4.1.6 Orientação da Vertente | 71 |
| 4.1.7 Alinhamento com as Curvas de Nível..... | 72 |
| 4.1.8 Distância da Drenagem | 72 |
| 4.2 Variáveis das Trilhas: Nível 0 | 73 |
| 4.3 Nível -1: Variáveis e Propriedades do Solo:..... | 79 |
| 4.3.1 Densidade Real ou de Partículas | 82 |
| 4.3.2 Densidade do Solo, Aparente ou Global | 83 |
| 4.3.3 Textura..... | 84 |
| 4.3.4 Umidade Volumétrica | 86 |
| 4.3.5 Panorama Geral da Metodologia de Avaliação das Trilhas Ecoturísticas..... | 87 |
| 5 ATINGINDO O CUME: RESULTADOS | 90 |
| 5.1 Variáveis Hidrogeomorfológicas: Nível +1..... | 91 |
| 5.1.1 Sub-bacias Hidrográficas | 91 |
| 5.1.2 Curvatura da Vertente | 95 |
| 5.1.3 Declividade..... | 99 |
| 5.1.4 Orientação da Vertente | 101 |
| 5.1.5 Alinhamento com as Curvas de Nível..... | 104 |
| 5.1.6 Distância da Drenagem | 107 |
| 5.1.7 Panorama Geral das Variáveis Hidrogeomorfológicas (Nível +1) das Trilhas do Sino, Cartão Postal e Poço Verde..... | 110 |
| 5.2 Variáveis Associadas às Condições das Trilhas: Nível 0 | 113 |

| | |
|---|-----|
| 5.2.1 Inventário..... | 113 |
| 5.2.2 Condições e Manutenções das Trilhas | 115 |
| 5.2.3 Panorama Geral das Variáveis Associadas às Trilhas do Sino, Cartão Postal e Poço Verde (nível 0)..... | 123 |
| 5.3 Variáveis Associadas às Propriedades e variáveis do Solo: Nível -1 | 127 |
| 5.3.1 Textura..... | 129 |
| 5.3.2 Densidade Real (DR) ou de Partículas (DP) | 135 |
| 5.3.3 Densidade Aparente (DA) ou do Solo..... | 138 |
| 5.3.4 Umidade Volumétrica | 142 |
| 5.3.5 Panorama Geral das Variáveis Propriedades dos Solos (Nível -1) das Trilhas do Sino, Cartão Postal e Poço Verde..... | 145 |
| 5.4 Cruzamento das Variáveis | 150 |
| 5.4.1 Concentração de Água nas Trilhas..... | 152 |
| 5.4.2 Erosão em Sulco..... | 159 |
| 5.4.3 Degraus no Leito das Trilhas..... | 162 |
| 5.4.4 Correlação das Variáveis Relacionadas às Propriedades do Solo (nível -1) com as de nível 0 e +1 | 163 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 173 |
| 7 CONCLUSÕES | 188 |
| 8 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO | 190 |

1 INTRODUÇÃO

De simples meio de deslocamento, as trilhas surgem como um novo modo de contato com a natureza; oferecem aos visitantes a oportunidade de desfrutar de uma área de maneira tranquila e alcançar maior familiaridade com o ambiente. De acordo com Andrade (2003), atualmente, uma das principais atividades em ecoturismo é a caminhada em trilhas e suas variantes. Trilhas bem construídas e devidamente mantidas protegem o ambiente do impacto do uso e também asseguram aos visitantes maior conforto, segurança e satisfação.

O conceito de trilha é relativamente simples, segundo Salvati (2003, p. 01):

Trilhas são caminhos existentes ou estabelecidos, com diferentes formas, comprimentos e larguras, que possuem 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.

Andrade (2003) destaca que as trilhas podem ser de diferentes tipos e classificadas de diversas maneiras, quanto à função, à forma, ao grau de dificuldade e à declividade do terreno. O autor também coloca que parte das trilhas e caminhos hoje utilizados para o ecoturismo foram tradicionalmente utilizados por determinadas comunidades para se locomoverem.

A maior oferta de atividades ecoturísticas está proporcionando a possibilidade de maior contato dos turistas com a natureza, porém, conforme coloca Andrade (2005), apesar de a trilha possuir várias funções, o seu principal objetivo é suprir a necessidade de deslocamento. Ou seja, apesar da trilha possibilitar o contato com a natureza, ela normalmente é utilizada como meio de chegada a um local específico, no caso da atividade ecoturística, a um atrativo natural de grande valor estético que aparece diferenciado diante do observador na paisagem por suas propriedades visuais particulares.

Para Leung e Marion (1999a, p. 167) as trilhas possuem dois propósitos, promover o acesso à experiência recreativa e o contato com a natureza e concentrar a passagem de pessoas em áreas mais resistentes e planejadas. De acordo com Birkby

(2005, p. 18), a trilha pode ser considerada uma chave de proteção dos recursos naturais, ou também uma cicatriz na paisagem, por ser uma zona sacrificada de vegetação, um corte linear sem dimensões definidas. No entanto, atende às necessidades demandadas, uma vez que concentra o uso humano por um corredor estreito de pisoteio, podendo poupar a paisagem de ser largamente pisoteada. As trilhas também podem ser consideradas forças de tensão, as quais tendem a modificar as relações sistêmicas da paisagem, acarretando distúrbios mais ou menos intensos de acordo com as características do meio em que for implantada.

Segundo Andrade (2003, p. 247), as trilhas oferecem aos visitantes a oportunidade de desfrutar de uma área de maneira tranquila e alcançar maior familiaridade com o ambiente. As trilhas mencionadas nas referências bibliográficas citadas e foco desta pesquisa são destinadas ao uso turístico e de lazer por pessoas a pé e não a cavalo, ou por meio de *mountain bike*, veículos *off road*, entre outros.

Difícilmente as trilhas são implantadas e manejadas de forma a propiciarem aos seus usuários (turistas) o traçado mais seguro e de maior prevenção aos impactos ambientais conjuntamente com a apreciação dos melhores atributos da paisagem. Andrade (2003) afirma que boa parte das trilhas hoje utilizadas como lazer são caminhos tradicionalmente utilizados por determinadas comunidades para se locomoverem com objetivos diversos, como extrativismo e caça, entre outros. Assim, percebe-se que atualmente muitas trilhas se situam em locais inapropriados por uma variedade de fatores, principalmente a herança de seu traçado.

Aparentemente as trilhas são inofensivas, devido as suas dimensões pouco expressivas (até dois metros de largura e algumas centenas de metros a alguns quilômetros de extensão); no entanto, trilhas instaladas em locais mais propensos à degradação, sob uso intensivo e sem manejo podem comprometer os objetivos gerais das Unidades de Conservação: contribuir para a conservação e preservação da diversidade dos ecossistemas naturais e a recuperação e restauração deles, quando degradados, assim como, a promoção do desenvolvimento sustentável (LEI Nº 9.985, SNUC, 2000).

Trilhas mal planejadas e situadas em locais mais susceptíveis à degradação podem causar diversos impactos, conforme destacam Marion *et al* (2005, p. 7-8). Por outro lado, trilhas bem construídas e devidamente mantidas protegem o ambiente do

impacto do uso e também asseguram aos visitantes maior conforto, segurança e satisfação (Andrade, 2003, p. 247). Walbridge (1997, *apud* Marion *et al*, 2005, p.16) ressalta que o aspecto mais importante de uma trilha é a sua localização. O autor observa que os custos de manutenção e os índices de degradação de uma trilha bem localizada são muito menores.

O conhecimento da melhor localização de uma trilha em uma determinada área requer não somente o conhecimento das relações ecológicas - a exemplo da averiguação das áreas mais sensíveis -, como também, da interação da trilha com o meio. Ou seja, faz-se necessário compreender a influência do uso recreativo na dinâmica natural das paisagens. Tendo em vista que as interações variam com a escala, a compreensão deve passar por diversas escalas. Nesse sentido, o planejamento da localização das trilhas requereria a resposta de pelo menos as seguintes perguntas: qual o impacto ocasionado pelas trilhas nas diferentes escalas da paisagem? Qual a intensidade de impacto que se irá permitir? Quais as áreas mais impactadas?

De uma forma geral, e com uma tendência cada vez mais enfática, os estudos sobre trilhas tendem a ter uma abordagem abrangente, envolvendo uma gama de análises ambientais. As pesquisas não se centram apenas nas relações de causa e efeito do uso recreativo, resumindo as soluções dos impactos à determinação de um número máximo de visitantes por trilha; mas sim, ao maior entendimento das relações entre variáveis ambientais, uso recreativo e degradação.

Esta pesquisa teve como foco o desenvolvimento de uma metodologia bem fundamentada que integrasse a maior e melhor compreensão da interação das trilhas na paisagem. Também buscou suprir os déficits percebidos nas pesquisas da ecologia da recreação, averiguados ao longo das consultas bibliográficas.

Os resultados alcançados na pesquisa subsidiam os gestores das Unidades de Conservação (UC's) do nosso país a melhor estruturarem o seu sistema de trilhas, devido à indicação das variáveis hidrogeomorfológicas que devem ser atentadas na etapa de definição do traçado das trilhas, como também as áreas mais adequadas à instalação delas e, conseqüentemente, as áreas mais sujeitas a sua degradação. Em concordância, alerta os gestores sobre o potencial de trilhas mal estruturadas impactarem o ambiente, por poderem modificar os processos hidrogeomorfológicos atuantes nas sub-bacias hidrográficas.

Suprir os déficits percebidos na ecologia da recreação só se tornou possível mediante um resgate detalhado das principais pesquisas realizadas até o presente. Mais do que um resgate, na primeira parte desta pesquisa foi realizada uma categorização dos estudos de trilhas perante os seus objetivos primordiais, a fim de melhor compreender os maiores esforços despendidos até o momento, os avanços alcançados na área e aqueles passíveis de serem utilizados nesta pesquisa e também as deficiências ainda existentes, para que se pudesse propor o início da superação delas.

Averiguou-se que a melhor compreensão da interação das trilhas com o meio – a partir da verificação da influência do meio na dinâmica das trilhas, assim como a sua influência na dinâmica do meio – seria alcançada com o desenvolvimento da pesquisa em uma área conservada; logo a mesma foi desenvolvida em uma Unidade de Conservação, precisamente o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO). A segunda etapa buscou obter o conhecimento geral da área de estudo, precisamente dos processos hidrogeomorfológicos atuantes e das trilhas existentes no Parque – a fim de embasar a posterior escolha de algumas trilhas para o desenvolvimento da pesquisa.

A terceira etapa compreendeu a elaboração da metodologia, mediante a compreensão da interação das trilhas com o meio em suas diferentes escalas, tanto em nível local, das trilhas, como de planejamento, numa escala mais ampla. A metodologia elaborada se fundamentou na ecologia da paisagem, precisamente na adaptação da Teoria da Hierarquia de Forman (1995) ao estudo das trilhas. Com base nela, foram determinados três grupos de variáveis para o estudo das trilhas: as variáveis hidrogeomorfológicas com maior influência na dinâmica das trilhas, as variáveis relacionadas às trilhas que pudessem melhor diagnosticar suas condições e características gerais e, por fim, as variáveis relacionadas às propriedades do solo que indicassem o grau de impacto do pisoteio no solo.

Na quarta etapa foram expostos, num primeiro momento, os resultados alcançados em cada grupo de variáveis. Cabe ressaltar que as variáveis hidrogeomorfológicas foram as que mais requereram tempo de análise, uma vez que tiveram que ser bem adequadas e formuladas ao estudo das trilhas, do contrário, não seria possível a averiguação da interação das trilhas com este grupo de variáveis. O levantamento das variáveis relacionadas às trilhas requereu diversos trabalhos de campo e posteriormente a alimentação de um banco de dados com interface com o programa ArcGis 9.2. As variáveis relacionadas aos solos envolveram tanto o levantamento de

amostras de solo em campo, como a posterior análise das mesmas em laboratório e ainda o entendimento dos valores obtidos.

Num segundo momento, as variáveis de cada grupo foram cruzadas entre si, a fim de melhor compreender o comportamento das trilhas e sua interação com o meio. Foi possível indicar as variáveis com maior grau de influência nas trilhas e aquelas que devem ser atentadas no planejamento de seus traçados. Também se constatou os valores das variáveis hidrogeomorfológicas que mais influenciam a ocorrência de impactos específicos ao longo das trilhas e as técnicas de manejo mais efetivas de serem implantadas, a fim de atenuar os impactos.

1.1 Justificativas

Pesquisas associadas às Unidades de Conservação estão muito em voga atualmente, principalmente pela instalação dessas no Brasil ser recente, há aproximadamente 30 anos. Atualmente, o país possui um sistema de unidades de conservação composto de 1.600 unidades e reservas particulares, federais e estaduais, totalizando aproximadamente 115 milhões de hectares, o que corresponde a 13,5% do território (Pinto, 2008).

Porém, muitas unidades de conservação ainda carecem de uma adequada implementação. Os problemas mais correntes, conforme alerta Pinto (2008), são a indefinição fundiária, caça e queimadas predatórias, invasões e presença de populações humanas em unidades de proteção integral (parques, reservas biológicas e estações ecológicas), falta de pessoal técnico e de recursos financeiros e instabilidade política das agências de meio ambiente. Logo, pesquisas que colaborem com a conservação dessas áreas e auxiliem no alcance dos seus objetivos primordiais ainda se fazem necessárias.

A pressão pela estruturação das unidades de conservação também está associada à crescente demanda de visitantes, consequência do desenvolvimento do ecoturismo. Destaca-se que ele é o segmento da atividade turística que apresenta atualmente o maior crescimento, o que resulta no incremento das ofertas e demandas por destinos ecoturísticos. Segundo a *International Ecotourism Society* (TIES¹), o ecoturismo em 2004 já crescia em âmbito global três vezes mais rapidamente do que a indústria do

¹ Disponível em: www.ecotourism.org/, acesso em 20/10/2007.

turismo como um todo. O Instituto de Ecoturismo do Brasil (IEB²) estima que o movimento financeiro da atividade tenha quase quadruplicado de 1995 a 2005.

O aumento da demanda foi encarado por algumas unidades de conservação como uma oportunidade de ganhos financeiros mais expressivos. Conforme colocam Costa e Xavier da Silva (2004, p. 67), as Unidades de Conservação (UC's) têm aproveitado seu potencial ecoturístico como uma alternativa de viabilidade econômica, a fim de manejar e administrar adequadamente estas áreas. O ecoturismo pode render montantes expressivos de recursos para a sustentabilidade financeira das Unidades de Conservação. Porém, é importante que as mesmas estejam estruturadas para integrarem a atividade em seu interior, a fim de que ela não esteja em discordância com a conservação e preservação dos ecossistemas, isso justifica os esforços desta pesquisa.

Diante do arcabouço de leituras realizadas, esta pesquisa também se justificou pelas deficiências, ainda existentes, percebidas no estudo de trilhas e pela necessidade de melhor explorar algumas etapas de seu planejamento, como principalmente a definição do traçado. Cabe destacar que o planejamento de trilhas mencionado envolve desde a definição do seu traçado, até sua implantação, manutenção, a partir de técnicas de manejo, e mesmo o seu monitoramento, a fim de averiguar os impactos ocorridos e, se necessário, readequar o seu traçado.

Os estudos que se teve acesso se centram mais no diagnóstico do impacto das trilhas a nível local, ou seja, ao longo de seu percurso; percebeu-se uma deficiência de seu conhecimento tanto em escalas mais amplas, correspondente à paisagem, a exemplo da geomorfologia e hidrografia, como mais detalhadas, a exemplo das propriedades do solo.

Verificou-se uma incompatibilidade entre a escala ideal da definição do traçado das trilhas – a intermediária – e a de avaliação dos impactos – escala local. Por outro lado, os próprios estudos dos impactos causados pelas trilhas e nas trilhas possuem uma deficiência, pela negligência à questão escalar. Estima-se que a abertura da trilha cause impactos expressivos na escala local e, dependendo da adequabilidade de seu traçado com o meio, na intermediária; e que o pisoteio humano impacte mais em nível de propriedades de solo. Contudo, constata-se que se desconhece a magnitude do impacto

² Instituto de Ecoturismo do Brasil. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/revista/>, acessado em 20/10/2007.

causado pelo pisoteio humano nas propriedades do solo e o quanto o mesmo contribui para os processos erosivos, pela deficiência de estudos de seu efeito nesse âmbito.

Logo, atenta-se para a necessidade tanto do maior entendimento da magnitude dos impactos causados pela trilha e pelo pisoteio humano no meio e do desenvolvimento de técnicas de planejamento mais apuradas que estejam em concordância com os levantamentos feitos em campo e com as escalas de cada tipo de impacto.

Também se constatou que a maior parte dos estudos tem como foco primordial o monitoramento dos impactos causados nas trilhas, realizando uma baixa correlação com as variáveis ambientais. Além disso, considerou-se que as pesquisas devem contemplar análises estatísticas, como correlação, para avaliação do grau de contribuição de cada variável aos impactos.

Demandas específicas relatadas no Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (Viveiros de Castro, 2007) também justificam a pesquisa, uma vez que estão em consonância com o objetivo primordial ou com etapas de trabalho dessa, como os itens citados abaixo.

Item 21 (Viveiros de Castro, 2007, p. 263 e 264):

- Elaborar e implantar projeto específico de Monitoramento e Manutenção das trilhas e atrativos do PARNASO.
 - Reestruturar e recuperar trechos de trilhas que oferecem riscos, ou implantar traçado alternativo, quando necessário.
 - Deverão ser analisados possíveis impactos negativos das intervenções propostas, reduzindo o risco de ocorrência de problemas futuros como surgimento de novos pontos de erosão, desvio na drenagem etc.

E mais enfaticamente o item 24 (idem, p. 264):

- Estudar a viabilidade de implantação de novas trilhas e atrativos na zona de uso intensivo e extensivo das sedes do PARNASO.

Além das ações estimuladas e demandadas para cada Área Estratégica Interna, como o item 13 e 17 da Sede de Guapimirim (idem, p. 289 e 290):

- Manter e complementar o Roteiro de Trilhas Interpretativas existente na Sede Guapimirim.
- Estudar a viabilidade e implantar, se aprovados, novas trilhas e atrativos na Sede Guapimirim.

O item 4 da Sede de Santo Aleixo (idem, p. 298):

- Realizar diagnóstico do potencial ecoturístico da área de Santo Aleixo, incluindo:
 - Mapeamento de trilhas e atrativos.

O item 10 da Área Estratégica Interna Travessia Petrópolis-Teresópolis (idem, p. 302):

- Estudar a viabilidade e implementar, conforme resultado do estudo, roteiros de vários dias nas áreas de montanha, incluindo trilhas alternativas à Trilha da Travessia.

E, por fim, os itens 7 e 15 do Complexo Dedo de Deus e Vale do Garrafão (idem, p. 305 e 306):

- Estimular o desenvolvimento de pesquisas indicadas como prioritárias no Programa de Pesquisa, incluindo:
 - Estudos sobre o impacto da visitação nas principais trilhas sobre a fauna, flora, solos etc.
- Implementar ações de monitoramento e manutenção das trilhas e atrativos do Complexo Dedo de Deus, de acordo com o Programa de uso Público.

Ressalta-se que este estudo não objetiva suprir todas as demandas citadas, mas sim, auxiliar no alcance delas, a partir do melhor entendimento do objeto de estudo, o planejamento e manejo de trilhas.

1.2 Objetivos

O objetivo geral dessa pesquisa foi elaborar uma proposta metodológica aplicada ao planejamento, à avaliação e à determinação do traçado de trilhas ecoturísticas. A pesquisa tem como área de estudo o Parque Nacional da Serra dos Órgãos

(PARNASO), no estado do Rio de Janeiro. Para a consecução do objetivo geral, colocou-se os seguintes objetivos específicos:

1. Elaborar uma metodologia de trabalho que integre a verificação dos impactos das trilhas com a constatação das variáveis que mais os influenciam.
2. Indicar variáveis hidrogeomorfológicas que possam contribuir de forma mais enfática para a degradação das trilhas e que, portanto, devem ser atentadas no planejamento do traçado das mesmas.
3. Propor as técnicas de manejo mais efetivas para a prevenção dos impactos ambientais causados nas trilhas.

2 AVALIANDO A TRILHA: RESGATE DOS PRINCIPAIS ESTUDOS DE TRILHAS TURÍSTICAS

Presume-se que a grande quantidade de estudos de trilhas, tanto internacionais como nacionais, seja decorrente da controvérsia que elas causam em Unidades de Conservação (UC's). Cole (2004) coloca que 1960 foi a década em que se desenvolveram os primeiros estudos sobre recreação nos Estados Unidos e oeste europeu, porém, ainda muito incipientes, específicos e descritivos. Foi na década de 1970 que os mesmos tomaram fôlego, quando o próprio termo “ecologia da recreação” – designação mais comum para as pesquisas sobre impactos da recreação no meio ambiente – foi consolidado. Não por coincidência, nessa década também se percebeu o aumento da demanda pela recreação em áreas naturais, quando, da mesma forma, passou-se a ter uma maior preocupação pela estruturação de áreas protegidas. Cole (2004) acrescenta que possivelmente em resposta ao aumento do ecoturismo e do reconhecimento de suas potenciais consequências ambientais, em 1990, os estudos sobre a ecologia da recreação expandiram mais enfaticamente tanto nos países desenvolvidos como ao redor do globo.

Em consonância com a constatação do autor, no Brasil, estudos mais avançados e consolidados sobre a ecologia da recreação foram desenvolvidos a partir da década de 1990, com destaque para o trabalho de Takahashi (1998), Seabra (1999) e Magro (1999); reflexo da própria consolidação mais recente do sistema de Unidades de Conservação no país, em 2000. As primeiras áreas protegidas brasileiras foram criadas no quinquênio 1935 a 1939 (Parque Nacional do Itatiaia, da Serra dos Órgãos e do Iguçu); entre 1960 e 1964 outras oito áreas de excepcionais atributos naturais foram oficializadas como Parques Nacionais, refletindo o aumento da preocupação pela criação de áreas protegidas. Porém, somente na década de 1970 e principalmente na década de 1980 uma estrutura de áreas protegidas foi institucionalizada, com o amparo legal do Instituto Brasileiro do Desenvolvimento Florestal (IBDF), do Código Florestal, da Lei de Proteção da Fauna, da Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) e mais tarde, em 2000, do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Porém, ainda que tenha havido a institucionalização das mesmas, em muitas não houve sua implementação, ou seja, não

foram criados os planos de manejo e a estrutura adequada para a consecução dos objetivos de cada unidade.

Em todos os estudos que se teve contato sobre trilhas, tanto nacionais como internacionais – a maioria citado ao longo desse trabalho –, é explicitada 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. O impacto ambiental é uma “alteração da qualidade ambiental que resulta na modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana” (Sánchez, 2006). Quando negativo, ele causa a degradação ambiental, ou seja, a perda ou deterioração da qualidade ambiental, a redução das condições naturais ou do estado de um ambiente.

Deparar-se com ambientes degradados, como a presença de lixo, pichação, erosão, entre outros, em um ambiente natural que objetiva a conservação, aparenta ser uma afronta aos olhos dos visitantes e administradores de áreas protegidas. As trilhas, que podem ser consideradas forças de tensão, dificultam o alcance dos preceitos das UC's: contribuir para a conservação e preservação da diversidade dos ecossistemas naturais e a recuperação e restauração deles, quando degradados, assim como, a promoção do desenvolvimento sustentável – objetivos estipulados no Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, SNUC.

Ainda que a maioria dos estudos relacionados às trilhas possua mais de um objetivo, percebe-se uma similaridade quanto ao foco primordial, o que permite a categorização dos mesmos e a complementação das formas de pesquisa verificadas por Cole em 1987, conforme será exposto.

Não cabe nesta pesquisa fazer um resgate histórico dos estudos da ecologia da recreação, como o fez detalhadamente Cole (2004) e Magro (1999), mas apenas expor as constatações que são consenso no meio, ou pelos principais pesquisadores, por serem conclusões de algumas ou várias pesquisas, como será exposto. Essas servem de embasamento para a própria pesquisa e justificam os procedimentos adotados. O resgate também explicita questões que precisam ser melhor trabalhadas, ou demandas de estudo ainda latentes no meio.

2.1 Tipos e Intensidade dos Impactos nas Trilhas

Cole (1993) secciona os impactos mais expressivos das trilhas nos quatro principais componentes da paisagem: solo, vegetação, fauna e água, mas ressalta a importância de se perceber a conexão existente entre esses componentes, uma vez que os impactos não são acontecimentos isolados, ocorrendo em combinação, conforme Figura 1.

Cole (2004, p. 15) ressalta a dificuldade de se separar os impactos gerados pelo pisoteio daqueles associados à construção e manutenção das trilhas, como a erosão pela chuva. O autor considera que, exceto quando o uso é extremamente alto, é raro que os impactos causados pelo pisoteio excedam aqueles causados pela construção da trilha.

O autor (Cole, 2004) ressalta que a trilha sempre causa impactos, independente do uso, cabe aos planejadores avaliar o grau de impacto que eles irão tolerar. Cole (1987) identificou mudanças associadas à construção de trilhas, como abertura da copa pela remoção da vegetação, compactação do solo, modificação do padrão de drenagem existente pela remoção da camada superficial do solo e modificação da micro-topografia a qual influencia o micro-clima.

Helgath (1975) acrescenta que a construção de uma trilha em área de grande declividade e solo compactado (devido aos usos anteriores) pode contribuir com o aumento da erosão por trazer a drenagem subsuperficial para a superfície, o que acelera os danos causados pela enxurrada, conforme Figura 2.

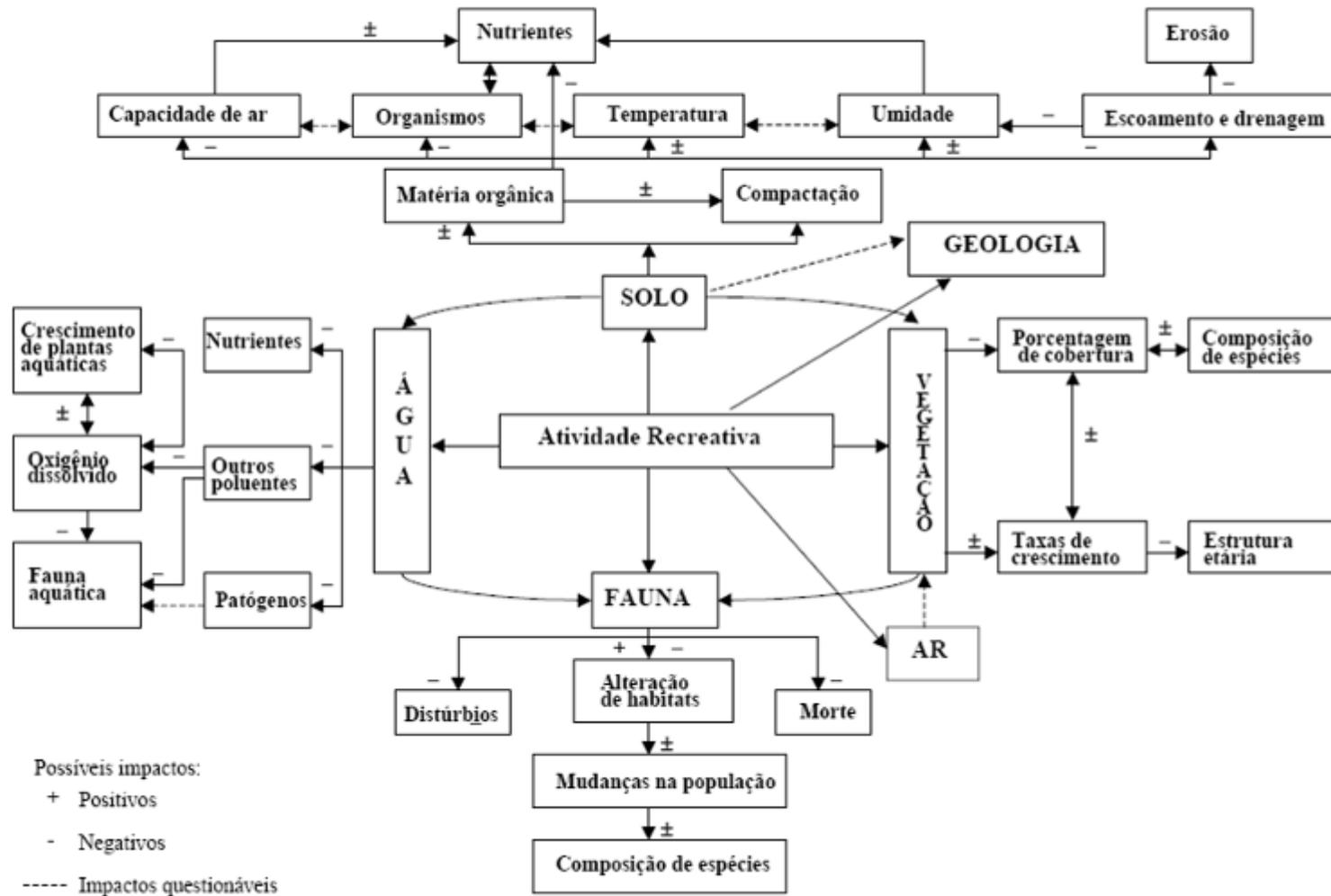


Figura 1: Principais impactos derivados das atividades recreativas em áreas naturais e suas inter-relações. Fonte: Siles, 2003, p. 20 (adaptado de Hammitt e Cole, 1998).

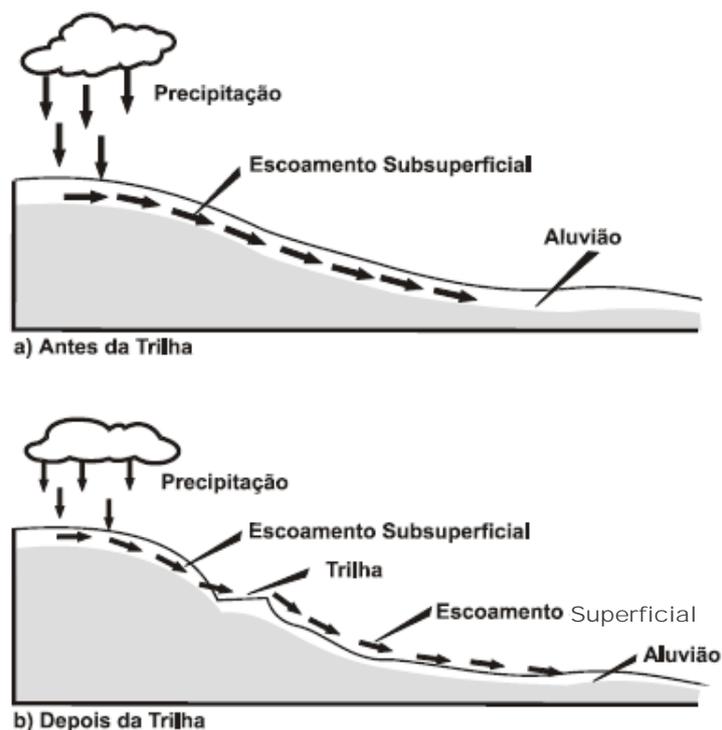


Figura 2: Aumento do escoamento superficial e aceleração de erosão por canais - Magro, 1999, p. 73 (modificado de Helgath, 1975).

A maior parte da matéria orgânica do solo está concentrada nas camadas superiores. O horizonte orgânico é extremamente importante na atividade biológica do solo. Quando o pisoteio é frequente, a camada orgânica é drasticamente diminuída ou até eliminada devido à compactação (Cole, 1993).

Compactação é o processo em que as partículas se tornam extremamente densas, devido à aplicação repetida de força, a qual reduz a porosidade, especificamente o volume dos macroporos, àqueles que promovem a boa drenagem dos solos (Monti e Mackintosh, 1979 *apud* Cole, 1993). Isso reduz a capacidade de armazenamento de ar e água do solo – exceto em alguns solos de textura grosseira – o que dificulta a penetração das raízes.

Esses impactos podem reduzir a germinação, o estabelecimento das plantas e podem ser prejudiciais para os organismos do solo, agentes importantes no desenvolvimento da estrutura e no ciclo de nutrientes do solo. Além disso, a compactação reduz a capacidade de infiltração da água, o que ocasiona o aumento do *runoff*, a incisão do solo e a erosão, conforme Figura 3.

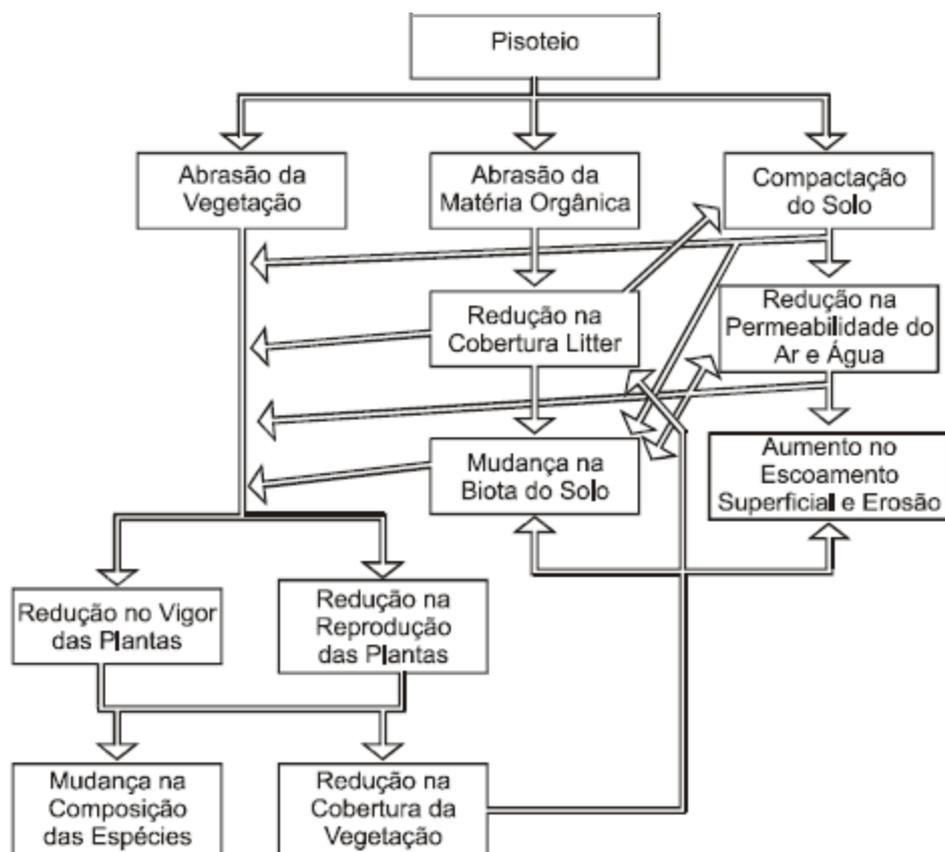


Figura 3: Modelo conceitual dos efeitos do pisoteio na vegetação e no solo. Fonte: Magro, 1999, p.23 (adaptado de COLE, 1993).

O pisoteio causa a quebra, ferida, corte e exposição de raízes da vegetação. As plantas que estão nas trilhas tendem a reduzir o tamanho, a extensão da haste, área da folha, produção de sementes e flores e reserva de carboidratos (Liddle, 1975; Speight, 1973 *apud* Cole, 1993). Tudo isso leva à redução do vigor, menor reprodução e algumas vezes à morte das plantas.

Porém as espécies diferem com relação à resistência, resiliência e tolerância ao pisoteio (Cole e Bayfield, 1993). Estudos como o de Cole (1985 *apud* Magro, 1999, p. 22) avaliou a resposta de 16 diferentes espécies de vegetação numa simulação de pisoteio. Além das mudanças na cobertura da vegetação foram analisadas a riqueza e a composição de espécies. Neste experimento, algumas mostraram maior resistência suportando de 25 a 30 vezes mais o pisoteio do que as menos resistentes. Cole (1993) também verificou as características que tornam uma planta mais tolerante ou susceptível ao pisoteio. Já Magro (1999) comparou espécies vegetais da borda da trilha com as do centro e com as de fora do leito, a fim de verificar as diferenças.

Com relação aos animais, os impactos mais comuns são a caça, modificação de seus *habitats*, pela abertura de trilhas, sofrimento com a poluição de lixo e restos de comida e distúrbio pela proximidade dos visitantes (Cole, 2004).

Os principais fatores que influenciam a intensidade do impacto são frequência do uso, tipo e comportamento do usuário, estação climática e condições ambientais (Cole, 1981 e 1987). Cole (2004) acrescenta que logo após a abertura da trilha, pequenos aumentos na frequência do uso causam aumentos pronunciados no impacto; no entanto, o nível de degradação decresce com o aumento do uso. Kutiel *et al.* (2000) também chegaram a essa conclusão na comparação do impacto causado pelo pisoteio e pela passagem de veículos *off road*, sendo que os impactos causados pelos veículos são bem mais expressivos.

Deluca *et al.* (1998) avaliaram a influência das lhamas, cavalos e visitantes na erosão do solo em trilhas chegando a mesma conclusão de que os impactos iniciais do uso nas trilhas são mais danosos do que os subsequentes. Os estudos demonstraram, por outro lado, que o tráfego de cavalos resulta em uma produção de sedimentos muito mais expressiva do que de lhamas e usuários, o que também foi constatado por Whittaker (1978), Dale e Weaver (1974) e Wilson e Seney (1994) (*apud* Deluca *et al.*, 1998).

2.2 Técnicas de Avaliação e de Monitoramento de Trilhas

Cole (1987) considera que existem quatro formas diferentes de pesquisa de trilhas, a descritiva, a comparativa entre áreas pisoteadas e não pisoteadas, a comparativa entre antes e depois da instalação de trilhas no meio e antes e depois de experimentos simulados.

2.2.1 Pesquisas Descritivas de Trilhas

Segundo Cole (1987), a forma de pesquisa mais comum é a que avalia os impactos em toda a extensão de um parque ou de um sistema de trilhas, ou seja, uma pesquisa descritiva. Neste caso parâmetros de solo e vegetação são mensurados a fim de avaliar as condições correntes da área. As características do uso também são avaliadas e então correlacionadas com os impactos da vegetação e do solo, porém o autor considera que esse cruzamento de informações não é rico o suficiente para especular sobre a causa e o efeito dos impactos.

Os métodos de avaliação de impactos nas trilhas estão sendo implementados desde os primeiros estudos de trilhas. Leung e Marion (1996) afirmam que as variáveis de degradação de trilha mais comuns avaliadas são largura da trilha, profundidade da incisão, erosão (área da seção transversal), existência de múltiplas trilhas e a compactação do solo.

As técnicas detalhadas de avaliação de impactos em trilhas podem ser classificadas em três abordagens, muitas vezes utilizadas em consonância: inventário, manutenção e condições das trilhas (Marion e Leung, 2001). O inventário das trilhas é utilizado para localização e mapeamento delas e para documentar suas características, como tipo e intensidade de uso, dificuldade, propriedades naturais (extensão, declividade, entre outras) e culturais. A manutenção provê informações sobre a existência ou necessidade de manutenção dos recursos e também descreve soluções recomendáveis para deficiências percebidas. As condições das trilhas descrevem as condições e impactos e investiga as relações com as variáveis do meio. Essa abordagem pode ser amostral (*sampling-based*) e censual (*census-based*).

Na abordagem amostral avaliações são feitas em intervalos fixos, os quais variam de acordo com a extensão da trilha, o nível de uso e o tipo de vegetação (Hall e Kuss, 1989). Leung e Marion (1999a) colocam que na escala local ocorre a seleção de pontos de amostragem ao longo da trilha – relacionados ao grau de degradação da superfície da trilha –, onde são mensuradas normalmente a largura e a incisão das trilhas e áreas barrentas.

Cabe enfatizar que a maioria dos trabalhos se centra na escala local de análise, ou do homem, porém, poucos ressaltam esse aspecto. Cole (2004) destaca a importância de se explicitar a descrição espacial dos impactos e a dimensão escalar. Cole (1991) notou que enquanto os impactos da atividade recreativa no solo e vegetação são extremamente severos nas escalas pequenas, principalmente se forem considerados os microorganismos do solo, nas largas escalas eles são mínimos. Isso sugere que enquanto os impactos da recreação podem ser sérios para indivíduos de plantas e animais e possivelmente populações raras, eles são de pequena significância para a integridade da paisagem ou diversidade biótica regional. No entanto, as largas escalas costumam ser as escalas de planejamento, nesse sentido, percebe-se uma contradição entre a escala de estudo da avaliação dos impactos e a escala de planejamento. Cole (2004) também ressalta a importância da área e do tamanho dos impactos a serem dimensionados e

informados, até mesmo para possibilitar comparações e para mensurar a magnitude e intensidade dos mesmos.

Com relação às mensurações das incisões, Farrel e Marion (2002) ressaltam erros corriqueiros ocorridos, uma vez que dificilmente são diferenciadas as incisões decorrentes da própria abertura das trilhas (MIP, *maximum incision, post-construction*), das geradas por processos erosivos (MIC, *maximum incision, current tread*), os quais também terão dinâmicas diferenciadas conforme o grau de declividade do terreno (Figura 4).

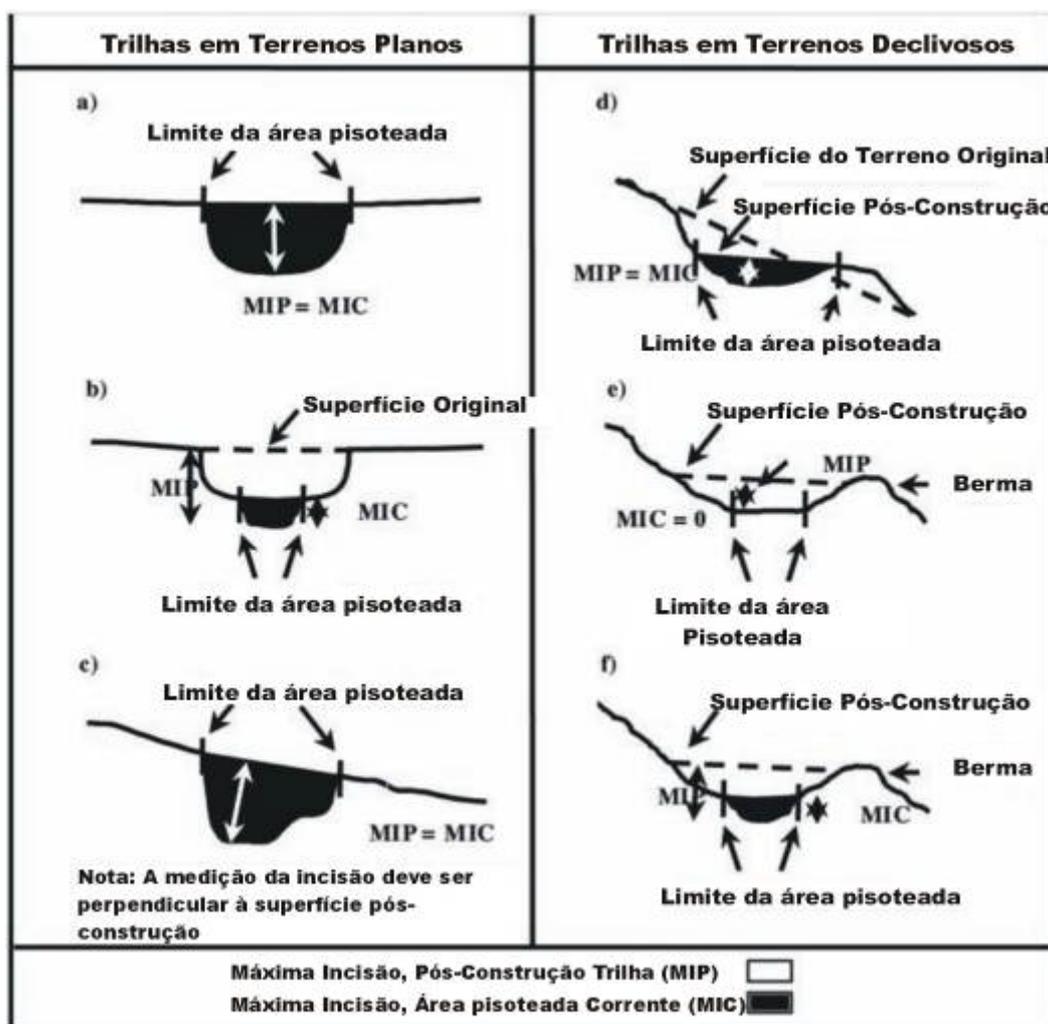


Figura 4: Ilustração da aplicação de mensurações da máxima incisão em terrenos planos e declivosos. Fonte: Farrel e Marion, 2002.

A avaliação da incisão máxima é utilizada principalmente para o monitoramento do grau de erosão das trilhas mediante o cálculo da área da seção transversal (AST) proposto por Cole (1983). O cálculo consiste na determinação das extremidades da trilha e medição da profundidade da mesma a cada 10 cm, conforme Figura 5.

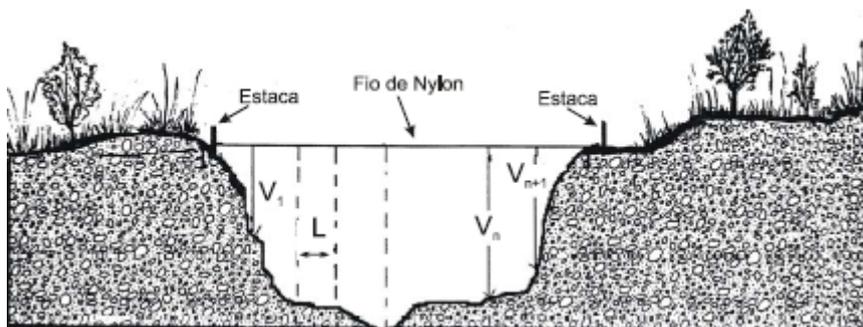


Figura 5: Desenho esquemático e do cálculo da área da seção transversal. $A = V_1 + 2V_2 + \dots + 2V_n + V_{n+1} / 2 \times L$. A = área da seção transversal. $V_1 - V_{n+1}$ = medida das distâncias verticais, iniciando em V_1 e terminando em V_{n+1} , a última medida tomada. L = intervalo da linha horizontal esticada. Fonte: Magro, 1999, p. 52 *apud* COLE, 1991.

Além das medições relacionadas à degradação do solo, algumas avaliam as mudanças na cobertura e composição vegetal, a partir de transectos.

Ainda com relação à abordagem amostral, Magro (1999) considerou a área da seção transversal da trilha, o número de caminhos não oficiais e a área de solo exposto os melhores indicadores de avaliação geral das trilhas. Leung e Marion (1999b) ressaltam que a abordagem amostral é eficaz em caracterizar as condições gerais da trilha, porém não documenta a localização dos impactos, o que impossibilita a sua relação com as variáveis ambientais da área de estudo. Em outro estudo (1999a) os autores concluem que o intervalo ideal das amostragens dos impactos de incisão da trilha, encharcamento do solo, exposição de raízes e múltiplas trilhas é de até 100m para se atingir a máxima acurácia; intervalos entre 100 e 500m são recomendados para se atingir um balanço apropriado entre acurácia e eficiência.

Já a abordagem censual emprega a avaliação seccional, a partir da divisão da trilha em seções homogêneas ou da documentação da ocorrência de cada impacto percebido ou pré-definido. Marion e Leung (2001) concluíram que a abordagem amostral provê mais acurácia e precisão das características da trilha que são contínuas ou frequentes; já a abordagem censual é mais apropriada para o monitoramento das características que podem ser facilmente definidas ou que são infrequentes, como a erosão em sulcos. Ainda que medidas desse tipo possam requerer julgamentos que são subjetivos, como o início e o final do impacto.

Devido aos problemas constatados na abordagem censual, Leung e Marion (1999b) desenvolveram uma metodologia de avaliação dos problemas das trilhas, denominada TPAM (*trail problem-assessment method*). Essa objetiva caracterizar a

localização, frequência e extensão dos problemas mais comuns das trilhas, ou de problemas pré-definidos, a fim de relacioná-los com características do ambiente. Nessa pesquisa, após um levantamento inicial dos problemas mais comuns, definiu-se a avaliação apenas de problemas com características específicas como erosão do solo que excedesse 30 cm de profundidade e 3m de extensão, entre outros.

2.2.2 Pesquisas Comparativas entre Áreas Impactadas e Não-Impactadas

Cole (1987) coloca que uma variação comum das pesquisas mais tradicionais descritivas são as mensurações feitas em áreas com e sem distúrbio (normalmente a pelo menos três metros das trilhas), com o objetivo de compará-las com as variáveis ambientais das trilhas e prover uma estimativa das mudanças ocasionadas pelo uso recreativo e também ao longo do tempo. Outra variação menos comum são as pesquisas que avaliam as condições antes e depois da instalação do uso recreativo.

O autor ressalta que esses estudos costumam comparar os impactos em categorias de áreas que variam tanto em relação às características do uso como do meio, porém há uma certa dificuldade em se identificar as variáveis controles mais eficientes na comparação. No entanto, atualmente, esse problema parece estar sendo sanado mediante análises estatísticas, como fatorial e discriminante, além de matrizes de correlação (Takahashi, 2005; Olive e Marion, 2009).

Takahashi *et al.* (2005) avaliaram diversas variáveis ambientais, a fim de verificar os indicadores mais representativos na comparação e monitoramento das áreas sob o impacto de trilhas com áreas não impactadas. Os autores concluíram que a macroporosidade, microporosidade, resistência do solo à penetração de 0 a 0,05 m e de 0,05 a 0,10 m e densidade do solo são os melhores, devido à representatividade individual de cada um e da correlação que apresentaram com as outras.

Vale ressaltar que essa forma de pesquisa agrega técnicas e metodologias do formato descritivo, exposto anteriormente. Logo, na medida em que os impactos ambientais mais expressivos causados pelas trilhas continuam a ser mensurados, assim como as características da trilha, como declividade, intensidade e tipo de uso, vegetação, entre outros; busca-se cruzar essas informações com as variáveis do meio, a fim de melhor compreender aquelas que mais contribuem para a ocorrência dos impactos.

Para Leung e Marion (1996) as pesquisas de degradação de trilhas podem ser classificadas em quatro tipos, em ordem decrescente de volume de literatura, as descritivas, focadas no tipo e magnitude da degradação, expostas no item anterior; os estudos analíticos das relações uso-degradação; os estudos analíticos das relações degradação-meio; e estudos avaliativos do efeito das ações de manejo de trilhas (expostos no item 2.3). Os autores também colocam que grande parte dos estudos inclui mais de um tipo, o que acaba dificultando comparações.

Uma conclusão comum constatada é que as condições das trilhas são mais influenciadas pela localização delas do que pela intensidade do uso (Kuss, 1986; Cole, 1991). Cole (1983) e Helgath (1975) afirmam que a maioria dos problemas associados às trilhas resulta de construções e manutenções pobres e menos de altas intensidades ou usos impróprios, ainda que eles possam agravar as condições. Cole (2004) analisou uma série de trabalhos e concluiu que a intensidade do impacto era altamente determinada pelas características do sítio. Sua durabilidade, assim como a quantidade e o tipo de uso que o local recebia eram influenciadas diretamente pelas características da área.

2.2.2.1 Relações Uso-Degradação

Sempre haverá características que fazem um ambiente ser mais vulnerável do que outro. “A quantidade de impacto que uma área recebe também é influenciada pela vulnerabilidade inerente dos solos, vegetação, animais e água da área e por suas características topográficas” (Cole, 1993). Cole (1989) afirma que a quantidade de vezes que uma área pode ser pisoteada antes de uma trilha tomar forma, depende da fragilidade da superfície do solo e da força destruidora do pisoteio. O autor (1987) constatou isso a partir dos seus experimentos que verificaram que 40 passadas de visitantes em um ano eliminaram metade da vegetação em uma floresta fechada, enquanto 400 passadas em um ano foram necessárias para eliminar metade da vegetação em uma área aberta de campo.

Leung e Marion (1996) avaliaram as variáveis ambientais que mais contribuem para a degradação das trilhas e constataram que as mesmas geram ainda mais degradação, uma vez que os visitantes buscam desviar dos impactos, como áreas barrosas, o que normalmente gera alargamento ou criação de novas trilhas.

2.2.2.1.1 Capacidade de Carga das Trilhas

Siles (2003) realizou um histórico da evolução do conceito de Capacidade de Carga Recreativa (CCR), cuja primeira aplicação foi em 1964 por Wagar (*apud* Siles, 2003). Esse autor definia o conceito como sendo “o nível de uso que uma área pode suportar sem afetar a sua qualidade”. Com a obrigatoriedade de aplicação do conceito nos planos de manejo dos parques dos EUA em 1978, os estudos se intensificaram.

Para Siles (2003) há duas categorias principais de métodos de CCR, os baseados em fórmulas, sendo alguns deles o método da Equação Universal de Perda de Solos, de Kuss e Morgan (1980, 1984 *apud* Siles, 2003); o modelo do Yosemite National Park, de Wagtendonk (1983 *apud* Siles, 2003); o método da Predição da Tolerância da Vegetação, de Liddle (1975 *apud* Siles, 2003) e o Recreational Opportunity Spectrum – ROS (*apud* Siles, 2003). E os baseados em padrões, como o modelo de capacidade de carga alternativo de Washburne (1982 *apud* Siles, 2003); o Carrying Capacity Assessment Process – C-CAP de Shelby e Heberlein (1986 *apud* Siles, 2003); o Limite Aceitável de Mudança (Limits of Acceptable Change – LAC), de Stankey *et al* (1985 *apud* Siles, 2003), o Visitor Impact Management – VIM, de Kuss *et al* (1990 *apud* Siles, 2003), The Visitor Experience and Resource Protection – VERP, desenvolvido pelo National Park Service dos EUA (1992 *apud* Siles, 2003); e a Capacidade de Carga Turística – CCT, de Cifuentes (1992), provavelmente o modelo mais disseminado de CCR e mais utilizado no Brasil, conforme Siles (2003) coloca quando cita exemplos de aplicação no país.

A evolução dos estudos de CCR incorporou uma série de parâmetros com ênfase nas condições desejadas, além da quantidade de uso que a área pode tolerar (Cifuentes, 1992), o que ocasionou ramificações no conceito. Segundo Magro (1999), os estudos se subdividem em capacidade de carga física, biológica ou ecológica e social. “Tanto a capacidade física como a ecológica estão relacionadas aos recursos, porém a primeira enfoca principalmente o número de usuários, e a segunda se baseia mais nas condições fundamentais desejadas para os recursos naturais” (Magro, 1999, p. 10). Já a capacidade de carga social está relacionada à “quantidade de pessoas que uma área pode conter sem afetar de forma negativa a experiência ao ar livre” (*idem ibidem*). Haveria ainda a capacidade de carga institucional, relacionada à estrutura de recursos humanos e financeiros disponíveis na área estudada.

As maiores críticas feitas à CCR são a impossibilidade de se obter uma fórmula geral que possa ser aplicada nos mais diversos ambientes e do foco primordial do conceito ser a busca por números e não por técnicas de manejo. De acordo com Lindberg *et al* (1997 *apud* Magro, 1999, p. 18) o foco não deveria ser a pergunta “quantos são muitos?”, mas sim “quais são as condições desejadas?”.

Hammitt e Cole (1998) afirmam que a limitação de usuários não deve ser a primeira estratégia para diminuir os impactos do uso público em áreas naturais. Eles argumentam que a redução do número de pessoas pode ser um modo conveniente para limitar os impactos sem ter que entender a causa real do problema ou sem ter que se envolver em formas mais diretas e efetivas de manejar os problemas. O limite de uso deve ser utilizado somente nos casos onde a demanda é muito alta e onde alternativas de manejo não forem efetivas.

Segundo Cole (1993), a relação entre quantidade de uso e de impacto gerado tem sido intensamente estudada, mas a maioria dos estudos coloca que essa relação é assintótica, ou seja, a diferença entre a quantidade de uso influencia a quantidade de impacto quando os níveis de uso são relativamente baixos, conforme Figura 6. A diferença de impacto entre uma área sem uso e levemente usada será maior do que a diferença entre uma área bastante usada e extremamente usada.

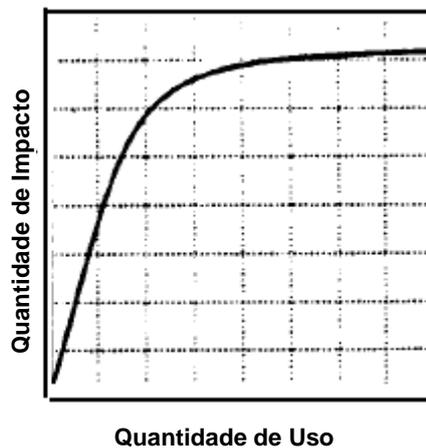


Figura 6: Relação entre a quantidade de impacto e a quantidade de uso. Fonte: Cole, 1993.

Ainda que as críticas perseverem, o conceito de CCR tem evoluído não se restringindo mais a aplicação de uma fórmula, um número “mágico” à espera de ser descoberto, mas sim, a uma gama de valores que deve estar em concordância com condições ambientais específicas e objetivos pontuais de manejo de uma área, como os estudos de Seabra (1999) e Costa (2004). Os autores fizeram uma avaliação mais ampla

da área de estudo, não aplicando somente o método de Cifuentes (1992) para determinar a quantidade ideal de usuários por trilha. Siles (2003) acrescenta que é necessário avaliar a resistência e resiliência do ecossistema, ou seja, a capacidade do ecossistema de tolerar o uso, antes de ocorrer mudanças, e a sua capacidade de recuperação. Para tanto, as variáveis ambientais do lugar devem ser conhecidas, assim como, as características da atividade que se propõe.

2.2.2.2 Relações Degradação-Meio

O clima e a geologia foram considerados variáveis indiretas da degradação de trilhas, uma vez que influenciam a vegetação e o tipo de solo, assim como, as taxas de erosão (Leung e Marion, 1996). Com relação à vegetação, aquelas mais densas impedem o alargamento da trilha e aumentam a resistência e resiliência das trilhas; mas ela exerce mais influência em baixas intensidades de uso, diminuindo e até se tornando irrelevantes em altas (Leung e Marion, 1996).

Muitos estudos documentaram uma relação positiva entre alta declividade e maior perda de solo (Farrell e Marion, 2002; Quinn *et al.*, 1980 *apud* Dixon *et al.*, 2004). A maior velocidade do *runoff* em relevos de maior declividade é a causa predominante, mas a derrapagem dos pés de homens e cavalos também contribui. Dixon *et al* (2004) argumentam que o grau de inclinação das trilhas é mais influente em termos de valores e mudanças nos impactos do que o substrato.

O ângulo de orientação da trilha em relação à encosta também é um fator de extrema importância. Trilhas com baixo angulo de alinhamento, sendo paralelas à declividade, são mais susceptíveis à degradação. Trilhas que seguem o perfil – às curvas de nível – possuem um alto alinhamento com o ângulo da encosta, sendo perpendicular à declividade, o que facilita o escoamento da drenagem, diminuindo a probabilidade de incisões (Bryan, 1977; Leung e Marion, 1996; e Olive e Marion, 2009).

Cooke e Doornkamp (1990 *apud* Costa, 2004) também ressaltam a importância da forma das encostas, uma vez que os fluxos de escoamento superficiais e subsuperficiais são, em grande parte, condicionados pela morfologia, além da declividade. As perdas de solo são maiores nos declives convexos, intermediárias nos uniformes e menores nos côncavos (Cogo e Bertol, 1998; *apud* Vashchenko, 2006).

Muitos estudos também se dedicaram à análise das características do solo que influenciam na degradação das trilhas. Bryan (1977) argumenta que em áreas com uso

intenso, o grau de degradação não depende da vegetação, uma vez que ela é eliminada pelo pisoteio, mas da resistência do solo. O autor constatou que solos pouco drenados e solos orgânicos são mais susceptíveis ao encharcamento, particularmente em terrenos planos, em que o escoamento das águas é prejudicado. Trilhas em solos com textura homogênea e fina possuem incisões mais profundas e solos poucos drenados contribuem para alargamentos excessivos.

Cole (1993) constatou que solos com baixos níveis de umidade não suportam vegetação densa e são, portanto, susceptíveis à erosão. Solos com altos níveis de umidade, no entanto, são ainda mais frágeis, porque eles são facilmente deformados. De acordo com o autor (Cole, 1993), na maioria dos casos, solos com umidade moderada são os menos vulneráveis aos impactos causados pela recreação. Por esse motivo, determinadas épocas do ano são mais susceptíveis a impactos do que outras. O mesmo com relação aos animais, devido ao período de reprodução e às plantas, pela polinização.

Leung e Marion (1996) argumentam que trilhas em superfícies com pedras pequenas e cascalho são menos susceptíveis à erosão por água ou vento; esses materiais podem atuar como filtros, retendo as partículas finas.

2.2.3 Pesquisas Comparativas entre Áreas Impactadas e Experimentos Simulados

De acordo com Cole (1987), uma alternativa às pesquisas citadas anteriormente, que acabam sendo bem ou mal-sucedidas na identificação da causa e efeito e na contribuição geral do conhecimento, são os experimentos simulados, os quais comparam os impactos causados pelas trilhas antes e depois da sua instalação. Segundo o autor, nessa abordagem os pesquisadores controlam o uso e as variáveis ambientais e maximizam a relação causa-efeito. No entanto, poucos estudos possuem verbas o suficiente para esses experimentos (Cole, 1987, cita Wagar, 1961, Cole e Bayfield, 1993; Cole, 1995a; Monz, 2002; Lemauviel e Roz, 2003; e Pratt, 1997).

Os experimentos simulados demonstram ser muito eficaz no isolamento das variáveis – pelo maior controle dos efeitos esperados –, o que permite a compreensão daquelas que mais contribuem para a degradação. No entanto, nem todas as simulações reproduzem fidedignamente as relações da natureza e, portanto, substituem os levantamentos feitos em campo.

2.3 Planejamento do Traçado e Técnicas de Manejo das Trilhas

Ainda que os impactos nas trilhas sejam uma função tanto de uso como das características ambientais; a quantidade é influenciada pelo traçado da trilha e a intensidade do manejo. Por exemplo, a vulnerabilidade inerente de uma área pode ser reduzida pela pavimentação de uma trilha (Cole, 1993).

Trabalhos de associações e sociedades americanas de trilhas, como a International Mountain Bicycling Association (IMBA³), a Associação Profissional de Construtores de Trilhas (Professional Trailbuilders Association⁴) e Sociedade Nacional de Treinamento de Trilhas (National Trails Training Partnership⁵) alertam para os erros mais comuns na construção de trilhas e para a necessidade de certas características ambientais serem avaliadas com cuidado, a fim de evitar impactos acentuados que, inevitavelmente, ocasionam processos erosivos. Entre eles está a necessidade da declividade da trilha não exceder metade da declividade do terreno e acompanhar a dinâmica do relevo, de se evitar alterações bruscas, como o corte perpendicular das curvas de nível; porém, sempre se buscar uma declividade mínima de 5% nas trilhas, a fim de que a água seja dissipada. Já para Birkby (2005) a declividade máxima de uma trilha deveria ser 8%, podendo aumentar para 10% desde que não exceda uma extensão de 30 metros, e a declividade mínima 3%, para não causar o acúmulo de água. Neste sentido, também é importante não se criar obstáculos, a fim de o fluxo de água não seja concentrado e também de um sistema drenagem adequado, para mantê-la difusa e fora da trilha.

Olive e Marion (2009) relacionaram características das trilhas e fatores depreciativos com variáveis ambientais e ações de manejo a fim de verificar aqueles que mais contribuem para a perda de solo nas trilhas do Parque Nacional de U.S. O diferencial e excepcionalidade deste trabalho são as análises regressivas multivariadas feitas para avaliar a influência e relação de cada variável. O resultado das análises foi a categorização delas em dois grupos, as variáveis controles e as variáveis principais. As primeiras são consideradas variáveis menos influentes e as segundas variáveis

³ Em http://www.imba.com/resources/trail_building/top_10_mistakes.html, acesso em 9/9/2008.

⁴ Em <http://www.trailbuilders.org/>, acesso em 9/9/2008.

⁵ Em <http://www.americantrails.org/resources/trailbuilding/MAsustain.html>, acesso em 9/9/2008.

independentes de alta significância estatística. Os autores constataram que a erosão em trilhas pode ser minimizada a partir do melhor planejamento delas, principalmente atentando para as variáveis principais: posição da trilha, ângulo de alinhamento com as curvas de nível, declividade, drenagem da água e tipo de uso. Mais especificamente deveria se evitar as quedas de alinhamento com o terreno, declividades muito altas e alinhamento com os vales, perto de cursos d'água; além disso, instalar uma boa quantidade de canais de drenagem, colocar cascalho para áreas mais sensíveis e restringir o uso de cavalos e veículos motores a áreas mais resistentes.

As constatações de Olive e Marion (2009) corroboram as afirmações de diversos pesquisadores, como Cole (1989) para quem a maioria dos problemas de deterioração das trilhas não ocorreria se elas fossem localizadas e manejadas propriamente.

Cole (1993) e Birchard e Proudman (2000) propõem técnicas de manejo para evitar as áreas mais sensíveis, como pontes ou canais de drenagem para as áreas encharcadas. Para as áreas úmidas aconselham a colocação de cascalho ou rochas na superfície da trilha. Em áreas com uso muito intenso, o ideal seria a pavimentação com asfalto ou concreto. Técnicas detalhadas de manutenção e construção de trilhas são propostas pela SCA (Student Conservation Association) e pelo Clube de Montanhas Apalachianas (Appalachian Mountain Club).

2.4 Constatações Consensuais e Ponderações:

Mediante o resgate feito, cabe enfatizar as constatações primordiais e consensuais na área da ecologia da recreação (Cole, 2004):

1. Os impactos são inevitáveis com o uso repetitivo.
2. O impacto ocorre rapidamente, enquanto a recuperação ocorre mais lentamente.
3. Em muitas situações, os impactos aumentam mais como uma resposta do distúrbio de novas áreas do que daquelas que já estão deterioradas por um período maior. Isso sugere que inventários periódicos de todos impactos da área são mais importantes do que monitoramentos em áreas amostrais de trilhas estabelecidas. Nesse sentido, aumentar o uso em

áreas já impactadas irá, provavelmente, ter menos efeito negativo do que possibilitar o baixo uso em áreas ainda não afetadas.

4. A magnitude dos impactos é uma função da frequência do uso, tipo e postura do usuário, estação do ano, condições ambientais e distribuição espacial.
5. A relação entre a quantidade do uso e quantidade do impacto é usualmente curvilínea.

O levantamento dos principais trabalhos da área permite constatar a gama de pesquisas que são realizadas sob o tema da ecologia da recreação e o quanto as mesmas contemplam diferentes abordagens. Essas são reflexo do interesse de algumas áreas de estudo, com ênfase para a geografia, biologia e engenharia ambiental, as quais acabam adotando abordagens metodológicas variadas.

Ainda que alguns trabalhos possuam um foco bastante específico, é possível perceber uma intenção cada vez maior das pesquisas em relacionar o uso com a degradação e as variáveis ambientais. Esta pesquisa busca extrapolar ainda mais essas relações, atentando para as diferentes escalas de análise e as associar com as técnicas de planejamento de trilhas.

Os objetivos estipulados e, principalmente, a metodologia desenvolvida só foi possível mediante o resgate realizado dos principais estudos realizados na ecologia da recreação.

3 CONHECENDO AS TRILHAS: PARQUE NACIONAL DA SERRA DOS ÓRGÃOS (PARNASO), RJ

A área de estudo está localizada no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO), na região serrana do Rio de Janeiro, abrangendo os municípios de Teresópolis, Petrópolis, Magé e Guapimirim, Figura 7. O PARNASO é uma unidade de proteção integral, criado em 1939, que protege 10.600 hectares de mata atlântica (com projeto de expansão para 20.000 ha aprovados em 2008, porém não regulamentado ainda), em área considerada de extrema importância biológica (MMA, 2002 *apud* Cronemberger, 2007). “Tem como objetivo básico a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico” (MMA, 2005).

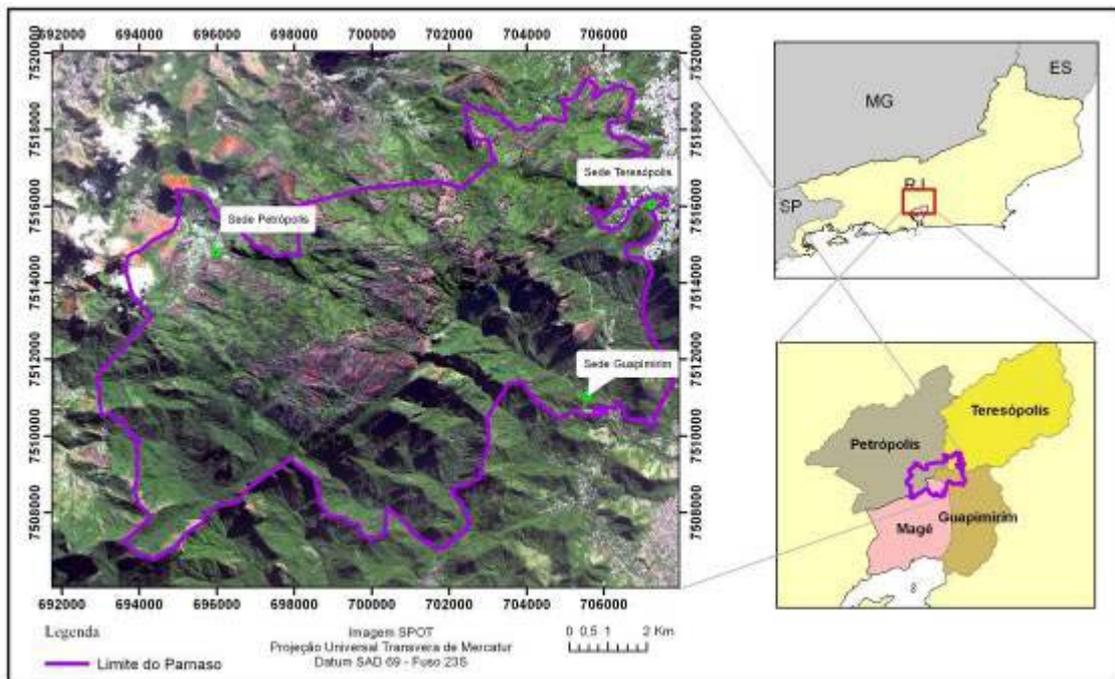


Figura 7: Localização do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO). Elaborado por L.Kroeff.

A grande variação altitudinal em uma área relativamente pequena criou na Serra dos Órgãos ambientes únicos e elevada riqueza de espécies. A biodiversidade

excepcional da Serra dos Órgãos e sua importância ecológica levaram o Ministério do Meio Ambiente a reconhecê-la como área prioritária para conservação (Viveiros de Castro, 2007).

A preferência por este Parque foi por seu grande incentivo à pesquisa, seu interesse na abertura de novas trilhas e a existência de uma trilha recentemente implantada o que auxiliou as análises. Além disso, a grande extensão do Parque possibilitou a escolha de trilhas localizadas em ambientes relativamente diferenciados, o que enriqueceu as comparações. Cabe ressaltar que a pesquisa foi desenvolvida perante as especificidades do ambiente serrano, o que foi bastante válido, uma vez que os processos erosivos tinham a propensão de serem mais acentuados.

3.1 Breve Caracterização Físico-Ambiental

O clima da região é mesotérmico brando super úmido com temperatura média anual de 18°C e índice pluviométrico médio de 2.300 mm (Nimer, 1977 *apud* Oliveira *et al.*, 2007). As chuvas de relevo ou orográficas provocadas pela presença da Serra do Mar dão a essa zona serrana uma pluviosidade muito forte, a mais elevada do Estado, não existindo estação seca. Nos meses de inverno ocorre apenas uma redução na precipitação. No verão, principalmente nos meses de outubro a março, a umidade trazida com a massa de ar aquecido, sobe do litoral e na serra se condensa, provocando grandes precipitações, acompanhadas de fortes descargas elétricas, geralmente precedidas por densos nevoeiros.

Devido à proximidade com o mar o maciço torna-se uma barreira para a entrada das massas de ar vindas do Atlântico. A umidade destas massas faz as vertentes deste maciço voltadas para o oceano (para o quadrante sul), mais úmidas que aquelas voltadas para o quadrante norte e oeste; isto ocorre porque as massas de ar tendem a perder umidade ao se encontrarem com o maciço, gerando chuvas orográficas, ventos úmidos ou névoa. Como agravante, as encostas do quadrante norte recebem, em média, 60% a mais de insolação que aquelas voltadas para sul.

A partir da cota de 800 m, é constante o elevado índice de umidade relativa do ar, 80 a 90%, e os registros pluviométricos assinalam totais anuais que variam de 1.700 a 3.600 mm de chuva. A alta precipitação nas partes mais elevadas influi diretamente no regime dos rios, assegurando a permanência dos cursos d'água (Viveiros de Castro, 2007).

A geologia é constituída essencialmente por gnaisses bandados do Complexo Paraíba do Sul, por granitos pós-tectônicos da Suíte Intrusiva da Serra dos Órgãos e por sedimentos aluvionares e litorâneos (Brasil, 1983 *apud* Oliveira *et al.*, 2007). Silva (inédito) explica que a ocorrência do granito se dá sobre as rochas gnáissicas (Figura 8 e Figura 9), ficando preservado nos pontos mais altos das elevações, enquanto que o gnaisse é desgastado mais rapidamente, esculpindo de forma espetacular os “monumentos” geológicos da Serra dos Órgãos, como o Escalavrado, Dedo de Deus e Pedra do Sino, dentre outras feições pontiagudas de topos existentes nas redondezas (www.drm.rj.gov.br). Isso, pois, as rochas graníticas são ricas em minerais geoquimicamente mais resistentes à meteorização e, por extensão, à erosão (Penha, 1994 *apud* Silva., inédito).

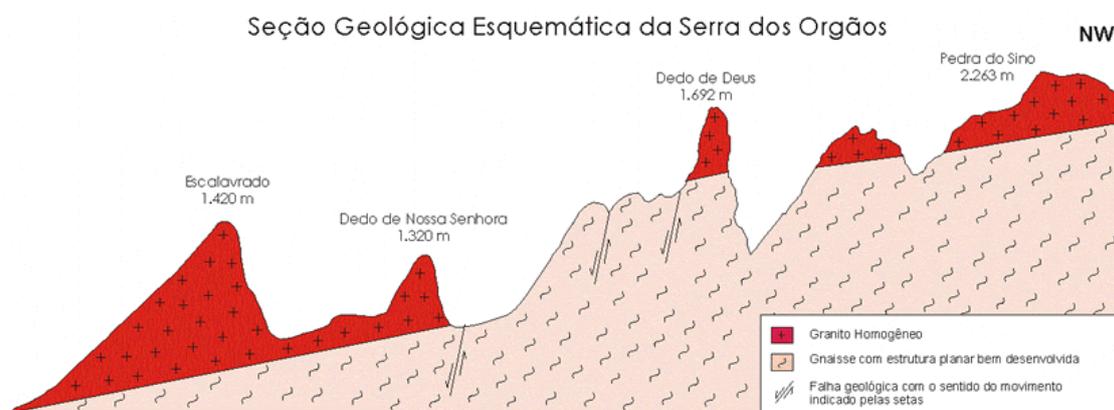


Figura 8: Seção geológica esquemática de um trecho da Serra dos Órgãos que procura mostrar a diferenciação de resistência aos processos de alteração e desgaste das rochas graníticas e gnáissicas, que correspondem na paisagem atual aos pontos culminantes como o Escalavrado, Dedo de Nossa Senhora, Dedo de Deus e Pedra do Sino (Fonte: www.drm.rj.gov.br).

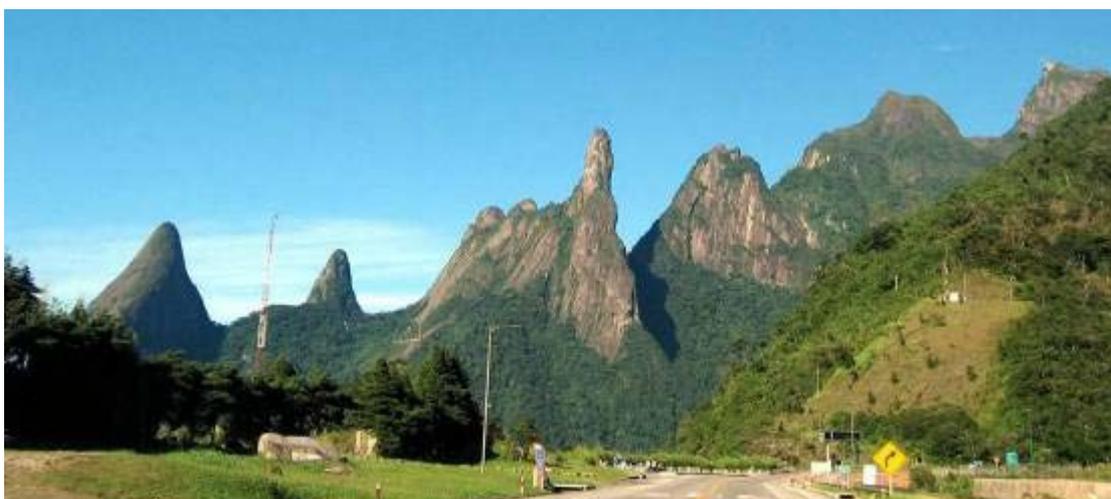


Figura 9: Fotografia panorâmica aproximada da seção geológica esquemática apresentada na Figura 2 (Foto: T.M.Silva, 2005).

De acordo com a classificação de Silva (2002), na escala 1:250.000, o PARNASO está contido na Unidade Morfoestrutural do Domínio morfológico do Planalto Atlântico, mais especificamente compondo a Unidade Geomorfológica do Planalto e Escarpas da Serra dos Órgãos (Figura 10A). Com base na metodologia desenvolvida por Meis *et al.* (1982) e sistematizada por Silva (2002 e 2005), Silva (inédito) reconheceu três feições do relevo no PARNASO, a partir da amplitude altimétrica das bacias (Figura 10B), foram elas serras escarpadas (classes de amplitude altimétricas $> 400\text{m}$); serras reafeiçoados e/ou serras de transição entre feições diferentes de relevo (classes de amplitude altimétrica entre 200 e 400m), e feições de planícies fluviais (classes de amplitude altimétrica entre 0 e 20m).

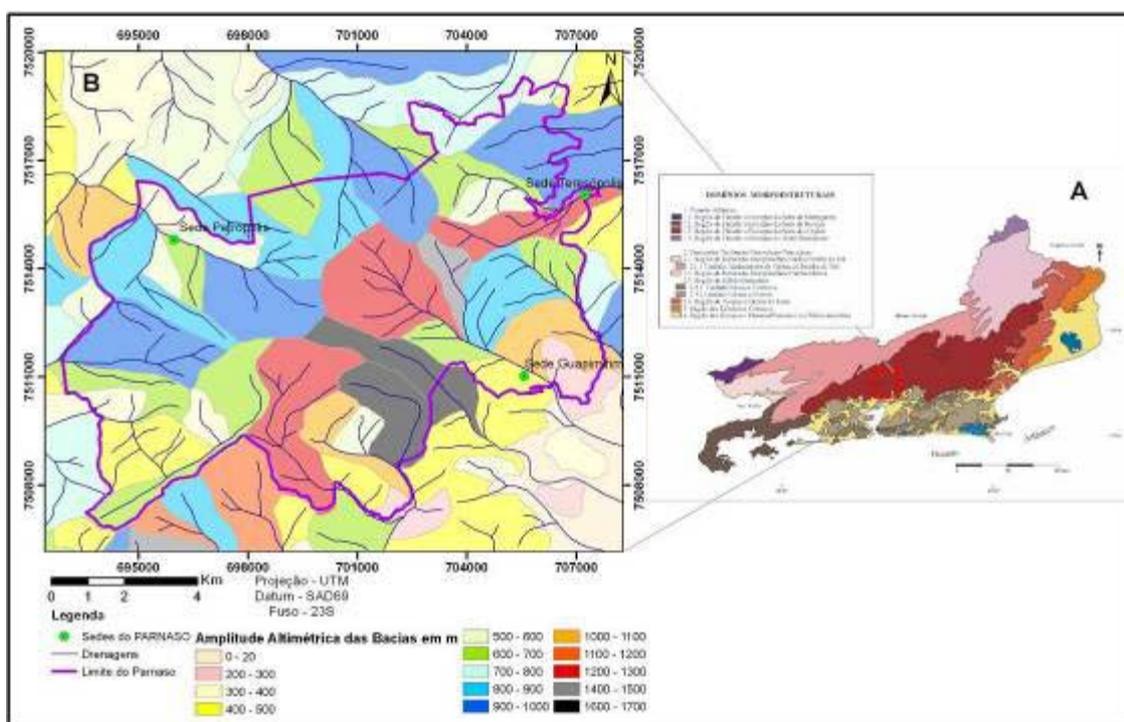


Figura 10 A: Mapa esquemático dos Domínios e Regiões Morfoestruturais definidos por Silva (2002) para a subdivisão das formas de relevo reconhecidas para o estado do Rio de Janeiro; B: Mapa de amplitude altimétrica das bacias do PARNASO (Fonte: Silva, 2000, adaptado por L.Kroeff).

A Figura 11A demonstra o predomínio quase que total da feição morfológica denominada de degraus escarpados de altitudes elevadas, a qual chega a atingir cotas superiores a 2.000m, e que se referem a feições serranas com declividades elevadas e definem a principal característica do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO). Silva (inédito) coloca que as feições chamadas de degraus reafeiçoados (relevo de transição entre compartimentos diferentes ou elevações locais isoladas) se distribuem em pequenos trechos da área e com ocorrência areal um pouco mais

significativa a NW, na vertente que drena para a bacia do rio Paraíba do Sul ou a SE, onde a região serrana, composta por feições de degraus escarpados, se encontra abruptamente com as feições de planícies fluviais de declividade muito suave das bacias que drenam em direção a baía da Guanabara.

Oliveira *et al.* (2007) compartimentam o relevo em duas unidades, a Escarpa Serrana e o Planalto Serrano (Figura 11B). A Escarpa Serrana mergulha abruptamente para SE em direção a Baía da Guanabara – esse segmento da serra dos Órgãos se caracteriza pela presença de encostas declivosas, principalmente, nos trechos situados à montante das bacias de drenagem e que gradua suavemente para jusante. De acordo com os autores, a hidrografia obedece aos condicionantes estruturais; as zonas de falhas e fraturas se tornam calhas naturais para a passagem de água, salientando as suas conformações no relevo.

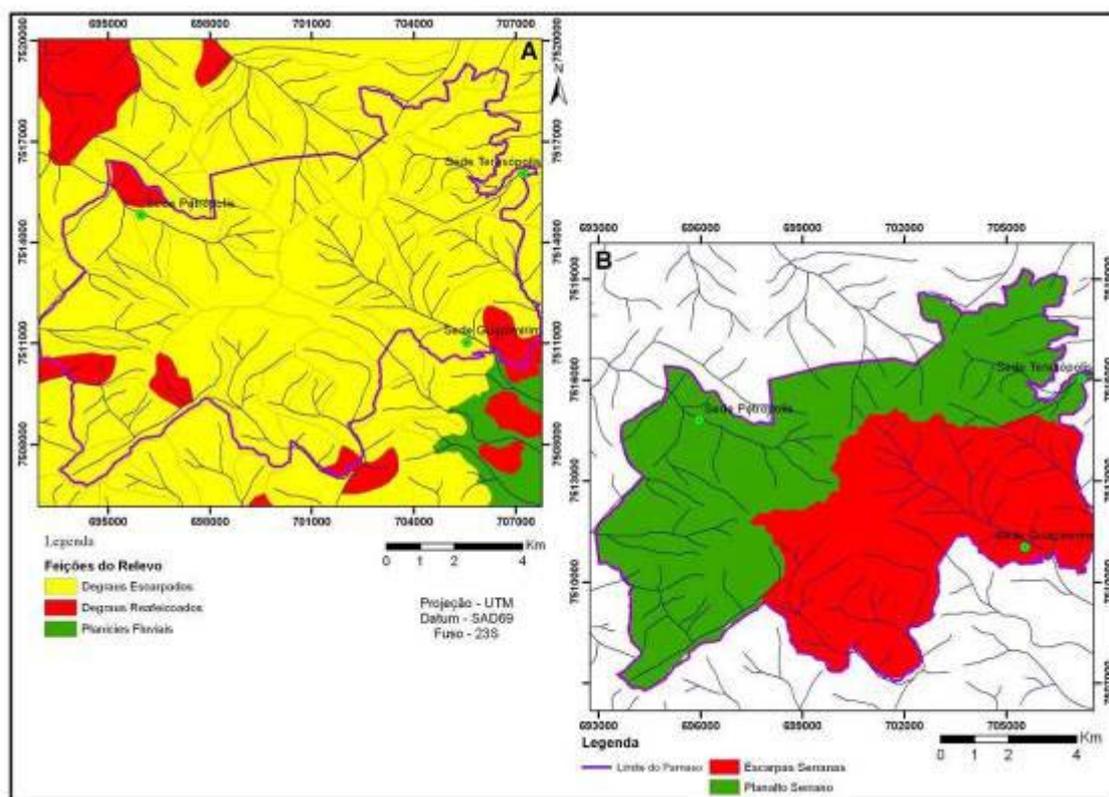


Figura 11 **A**: Feições do relevo; **B**: Regiões naturais do PARNASO (Fonte: Oliveira et al 2007, Adaptado por L.Kroeff).

Oliveira *et al.* (2007) ressaltam a predominância de altas declividades o que condiciona solos pouco espessos e bastante lixiviados na Escarpa Serrana. Na medida em que a declividade diminui ocorre o desenvolvimento de solos incipientes e rasos. “Na parte basal da escarpa torna-se frequente a ocorrência de depósitos de tálus, com

baixa capacidade de carga que permite a formação de vales mais planos onde se desenvolvem solos mais profundos” (Oliveira *et al.*, 2007, p. 99).

3.2 Uso Recreativo

O PARNASO possui um sistema de trilhas que perfaz aproximadamente 71 km. A visitação no parque ocorre desde sua criação em 1939, hoje recebe cerca de 100.000 visitantes por ano (Viveiros de Castro, 2007). O Parque possui três áreas principais de visitação pública, representadas pelas Sedes Teresópolis, Guapimirim, e Petrópolis (Bonfim), conforme Figura 12.

A Sede Teresópolis recebe o maior número de visitantes e tem entre seus principais atrativos a piscina natural e a trilha para a Pedra do Sino. Localizada na entrada da cidade, é de fácil acesso e possui boa infra-estrutura, aspectos que explicam a preferência do público (Cronemberger, 2007).

A Sede Guapimirim tem nos poços e cachoeiras do rio Soberbo seus principais atrativos, apesar de também oferecer atrativos culturais como uma capela construída em 1713. A Sede Guapimirim recebe muitos visitantes no verão, com diminuição nos meses de inverno (Cronemberger, 2007).

A Sede Petrópolis, também chamada de Portaria do Bonfim, foi construída em 1999. Devido à falta de áreas regularizadas, é a sede que apresenta menor infra-estrutura de apoio à visitação. A visitação está concentrada no período de seca, mais propício à visitação da trilha para a Pedra do Açú, seu principal atrativo, e que também é o início da trilha da travessia Petrópolis-Teresópolis (Cronemberger, 2007).

Todas as trilhas do parque são auto-guiadas, não sendo obrigatória a contratação de guias ou condutores. Mesmo assim, muitas pessoas atuam como condutores de visitantes no PARNASO (Cronemberger, 2007). Em pesquisa realizada em 2007, Cronemberger realizou algumas constatações sobre o uso recreativo do Parque:

A condução de visitantes é uma atividade notadamente sazonal, segundo 80% dos entrevistados, concentrada nos meses de maio a setembro, que corresponde ao período seco, propício à prática de montanhismo. Janeiro também aparece como um mês importante para 22% dos entrevistados, por ser um mês de férias.

Os roteiros do PARNASO citados como os mais vendidos foram a Travessia Petrópolis-Teresópolis (para 51% dos entrevistados), a trilha da Pedra do Sino (41%), a trilha e escalada do Dedo de Deus (22%) e a trilha para o Açú (14%). Todos estes atrativos são visitados

preferencialmente no período de seca, o que coincide com a impressão dos condutores sobre os meses de maior trabalho

É importante notar que o Dedo de Deus, o terceiro roteiro mais vendido segundo a pesquisa, é um roteiro que envolve escalada. A escalada é uma atividade que necessita de habilidades e equipamentos específicos. 44% dos entrevistados afirmaram oferecer esta atividade aos turistas (Cronemberger, 2007).

O plano de manejo do PARNASO divide sua área em nove zonas com diferentes restrições de uso, sendo que as atividades turísticas são realizadas na zona primitiva, uso extensivo, uso intensivo e histórico-cultural que representam 49,05% do parque (Oliveira *et al*, 2007), conforme Figura 12. A zona de uso extensivo abriga a maior parte das trilhas, como a travessia e algumas trilhas da sede de Teresópolis. A zona de uso intensivo inclui parte da sede de Teresópolis, Guapimirim e Petrópolis e as suas trilhas mais curtas. Já a zona primitiva abrange as trilhas de escalada. O limite do uso turístico em zonas de restrições específicas, com maior ou menor permissibilidade de alteração, se aproxima do método de capacidade de carga de Stankey *et al.* (1985 *apud* Siles, 2003), denominado Limite Aceitável de Mudança (Limits of Acceptable Change – LAC).

Oliveira *et al.* (2007) destacam que ainda que o uso seja restrito, os atrativos turísticos são bem distribuídos ao longo de todo o PARNASO e as trilhas turísticas permitem a visita das diferentes unidades de paisagem, com destaque para a principal trilha do Parque, a travessia Petrópolis-Teresópolis, com extensão aproximada de 30km, a qual possibilita o conhecimento dos diversos geossistemas e, conseqüentemente, de um grande número de atrativos, aproximadamente 34 (Figura 12).

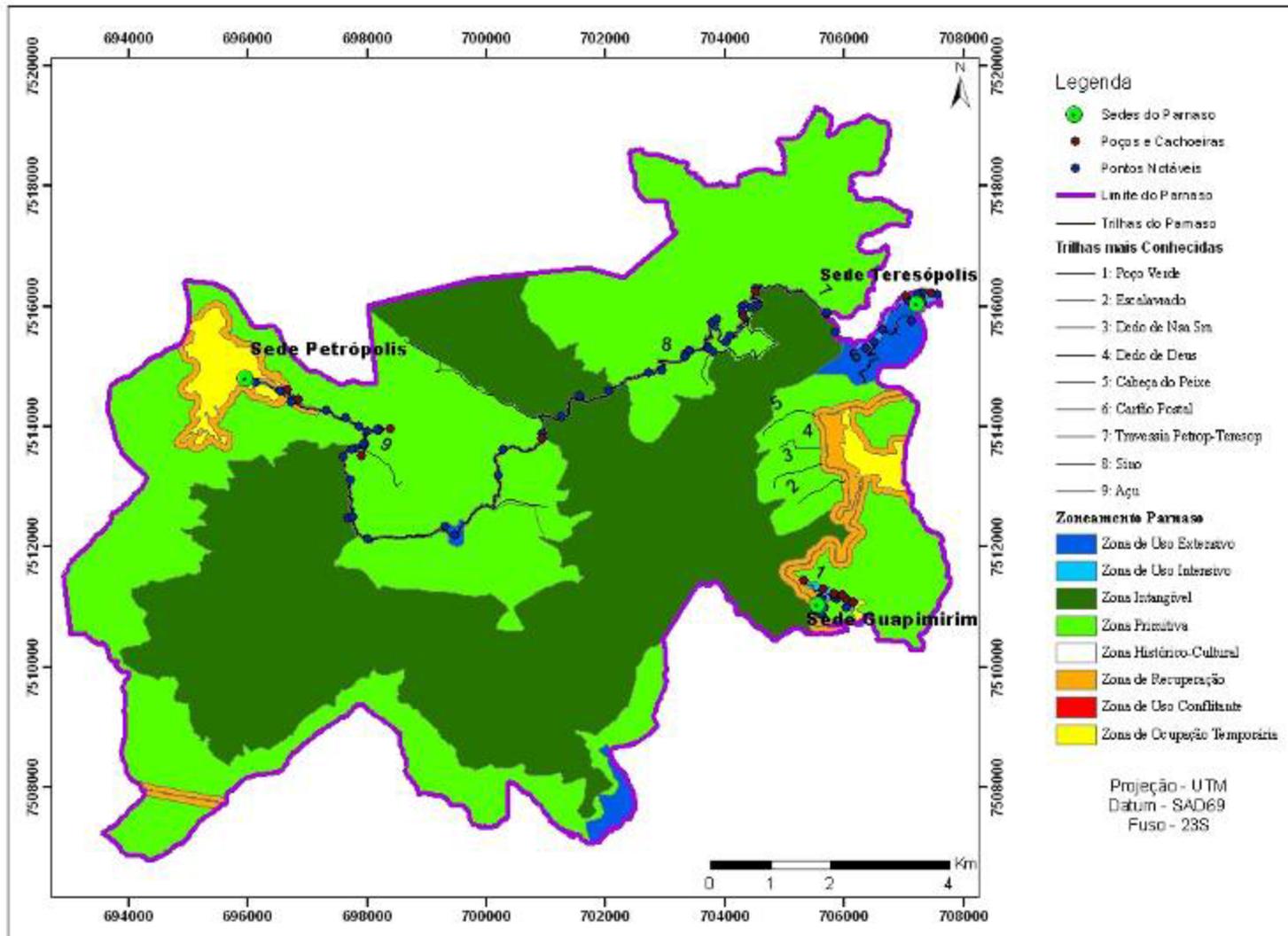


Figura 12: Trilhas e seus Atrativos no contexto do Zoneamento do PARNASO. Fonte: Parnaso, adaptado por L.Kroeff.

3.3 Validação da Metodologia de Análise de Trilhas

A vasta abrangência do sistema de trilhas do PARNASO (aproximadamente 71 km) inviabilizou o desenvolvimento da pesquisa por toda a sua extensão no tempo disponível de dois anos do mestrado. Diante disso, a aplicação da metodologia desenvolvida, exposta no próximo capítulo, se deu em três trilhas com tempo de existência e intensidades de uso diferenciados; além da localização em ambientes e zonas distintos. Foram elas: Trilha do Sino, Trilha do Cartão Postal – ambas localizadas na sede de Teresópolis, na bacia do rio Paquequer (Figura 37B, p. 92) – e Trilha do Poço Verde – localizada na sede de Guapimirim, na bacia do rio Soberbo (Figura 37C, p. 92). Os atrativos das duas primeiras estão mais ligados às formações geomorfológicas, já os da segunda à hidrografia, como poços e cascatas.

Com relação às zonas do plano de manejo do Parque, a trilha do Sino e a do Cartão Postal se localizam nas zonas de uso extensivo ZUE2 e ZUE1, respectivamente (Figura 13B e Figura 13C). A ZUE2 constitui uma faixa de 20 (vinte) metros que engloba a Trilha da Travessia, desde o acesso à trilha da Pedra do Sino (Barragem) até a Zona de Uso Intensivo do Bonfim, incluindo bolsões nas áreas do Abrigo 4 (Pedra do Sino) e Castelos do Açu e trilha da cachoeira Véu da Noiva (Petrópolis).

De acordo com o plano de manejo do PARNASO (Viveiros de Castro, 2007, p. 210), a zona de uso extensivo “É aquela constituída em sua maior parte por áreas naturais, podendo apresentar algumas alterações humanas. Caracteriza-se como uma transição entre a Zona Primitiva e a Zona de Uso Intensivo.”. Seu objetivo geral é “... a manutenção de um ambiente natural com mínimo impacto humano, apesar de oferecer acesso e facilidade públicos para fins educativos e recreativos”.

Como objetivos específicos o Plano de Manejo (Viveiros de Castro, 2007, p. 211) cita:

Propiciar atividades de uso público (conscientização ambiental, interpretação e recreação) com baixa intensidade de impacto, restringindo-se o número de pessoas e disponibilizando infra-estrutura e outras facilidades;

Estimular o desenvolvimento de atividades de lazer de caráter educativo que explore a composição da paisagem ao longo de diferentes relevos e gradientes altitudinais.

Permitir a visitação nas áreas de montanha com a infra-estrutura necessária de apoio e controle.

Proporcionar atividades de pesquisa científica e monitoramento ambiental.

Proporcionar aos visitantes contato com a natureza, por meio de atividades, como caminhadas em trilhas, contemplação e banho.

A Travessia Petrópolis-Teresópolis possui uma restrição de 100 (cem) usuários por dia; no entanto, a trilha do Cartão Postal não possui nenhuma restrição. O grau de degradação das trilhas também poderá ser confrontado com as zonas em que as mesmas se localizam.

Já a Trilha do Poço Verde está localizada na zona de uso intensivo, especificamente a ZUI2, sede Guapimirim. A ZUI é definida como “aquela constituída por áreas naturais ou alteradas pelo homem. O ambiente é mantido o mais próximo possível do natural, podendo conter: centro de visitantes, museus, outras facilidades e serviços.” O objetivo geral “é facilitar a recreação intensiva e a conscientização ambiental em harmonia com o ambiente natural.” A ZUI se propõe basicamente a incentivar o contato do visitante com uma área protegida; logo ela é menos restritiva, permitindo o uso intensivo e, portanto, impactos mais expressivos.

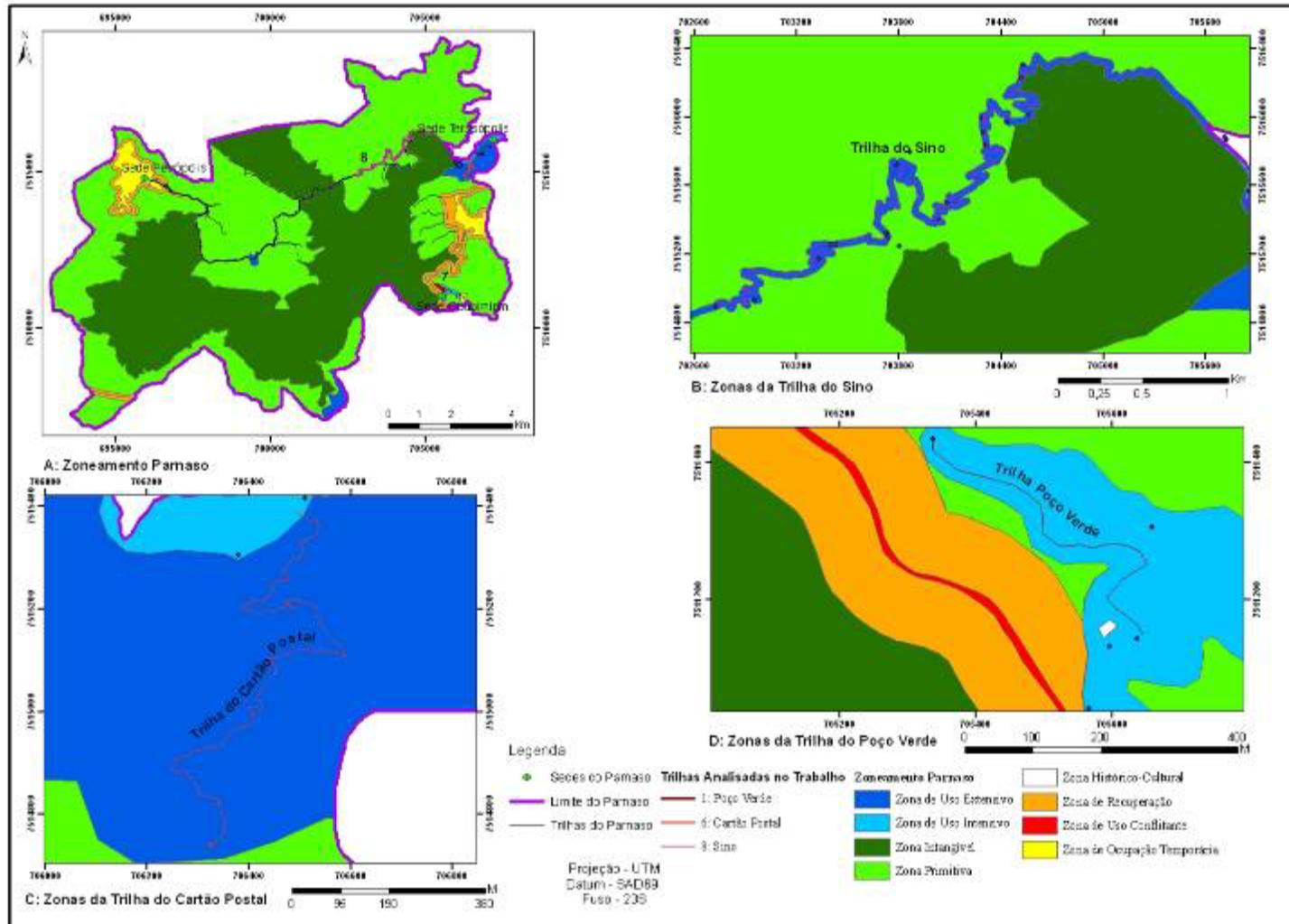


Figura 13: Zoneamento das Trilhas Analisadas. Fonte: Parnaso, adaptado por L. Kroeff

4 PERCORRENDO A TRILHA: PROPOSTA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE TRILHAS TURÍSTICAS

O panorama geral dos estudos sobre trilhas embasou o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação da interação das trilhas com a paisagem. Esta etapa foi desenvolvida alicerçada nos preceitos da ecologia da paisagem.

O alcance do objetivo primordial, contribuir com uma metodologia de planejamento e avaliação do traçado de trilhas ecoturísticas, leva à necessidade da melhor compreensão da interação das trilhas com a paisagem – no caso o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO); tanto as relações de uso-degradação como de degradação-meio. O caráter da pesquisa demonstra ter grande consonância com os preceitos da ecologia da paisagem, uma vez que essa busca o entendimento das causas e consequências da heterogeneidade espacial e de como elas variam com a escala e exercem influência na dinâmica natural e humana das paisagens (Turner, 2005). Apresenta ainda maior proximidade com a abordagem geográfica da ecologia de paisagens, “centrada nas interações do homem com seu ambiente, onde a paisagem é vista como o fruto da interação da sociedade com a natureza” (Metzger, 2001, p. 3).

Segundo Forman e Godron (1986) a ecologia de paisagens é entendida como o estudo da estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas compostas por ecossistemas interativos. A ênfase seria a interação entre padrões espaciais e processos ecológicos, isto é, as causas e consequências da heterogeneidade espacial ao longo de uma faixa de escalas espaciais e temporais.

O conjunto interativo da paisagem é então composto por ‘ecossistemas’ ou por unidades de ‘cobertura’ ou de ‘uso e ocupação do território’, sendo que a escolha de uma dessas três formas de representar as unidades da paisagem é feita (arbitrariamente) pelo observador. Os limites entre esses conjuntos interativos da paisagem seriam então definidos por três fatores: o ambiente abiótico (formas de relevo, tipos de solo, dinâmica hidrogeomorfológica, parâmetros climáticos, em particular), as perturbações naturais (fogo, tornados, enchentes, erupções vulcânicas, geadas, por exemplo) e antrópicas (fragmentação e alteração de *habitats*, desmatamento, criação de reservatórios, implantação de estradas, entre outros). Estes fatos condicionam, em

primeiro lugar, a presença de determinadas unidades (Metzger, 2001, p. 3).

O recorte da paisagem estará a cargo do pesquisador, uma vez que dependerá das interações que deseja analisar, da mesma forma que a definição da escala. Grande ênfase é dada às escalas, já que as conclusões obtidas numa dada escala não são necessariamente aplicáveis em outras escalas. Metzger (2001, p. 5) ressalta que o ponto central da ecologia de paisagens "... é o reconhecimento da existência de uma dependência espacial entre as unidades de paisagem: o funcionamento de uma unidade depende das interações que ela mantém com as unidades vizinhas".

Segundo Forman (1995), a "Teoria da Hierarquia" é um sistema de elementos ou unidades funcionais discretos ligados a duas ou mais escalas de operação. Num sistema, as propriedades de um nível hierárquico "N" dependem das interações ou associações existentes no nível "N -1" e são condicionadas (limitadas) pelo nível "N +1", ou níveis maiores, "N +2". O'Neill (1988) afirma que sistemas complexos e multi-escalares podem ser representados através de diagramas hierárquicos, onde o nível de interesse será o Nível 0 (ou Nível N), que poderá ser dividido dentro de seus componentes (Nível -1), sendo por sua vez, controlados por um ou mais níveis mais elevados (Nível +1 e +2). As interações entre os componentes (Nível -1) fornecerão explicações sobre o fenômeno do Nível 0.

Naveh (2000) também ressalta a qualidade holística da ecologia de paisagens, característica que se intenta alcançar nesta pesquisa. Não se pretende limitar o estudo das trilhas a uma relação reducionista de causa e consequência, resumindo as soluções dos impactos à determinação de um número máximo de visitantes por trilha. Pretende-se alcançar o entendimento de como as trilhas interagem com o meio e o impacto que causam em diferentes escalas de análise. Dessa forma, objetiva-se elencar as variáveis ambientais fundamentais de serem atentadas na etapa de planejamento do traçado de novas trilhas e as técnicas de manejo mais efetivas de serem implantadas.

A metodologia desenvolvida se embasou na estrutura de níveis da teoria hierárquica da ecologia da paisagem. Averiguou-se, em diferentes escalas, as características do meio que mais influenciam as trilhas e o quanto e como os impactos causados pelas trilhas influenciam o meio. Essa averiguação foi fundamentada no referencial bibliográfico exposto no primeiro capítulo. Como as trilhas foram o foco desta pesquisa, atribuiu-se ao nível 0 (zero, ou N) as trilhas.

Posteriormente, averiguou-se a amplitude escalar superior que as trilhas poderiam influenciar o meio. Arriscou-se então realizar um levantamento na escala 1:25.000 das variáveis hidrogeomorfológicas, as quais constituíram o nível +1 da Teoria da Hierarquia de Forman (1995). Justifica-se o foco do nível +1 às variáveis hidrogeomorfológicas por elas serem as que mais demonstraram influenciar os impactos existentes nas trilhas, especialmente o acúmulo de água e os processos erosivos. Utiliza-se o verbo “arriscar”, pois, de antemão, não se tinha certeza da efetividade da escala mencionada no estudo de trilhas; ou seja, supunha-se que talvez ela não abrangesse uma escala detalhada o suficiente para o seu estudo. No entanto, os dados que se dispôs foram os da base cartográfica do PARNASO, correspondentes à escala 1:25.000. A utilização de dados mais detalhados levaria a necessidade de um novo levantamento planialtimétrico, o que seria inviável nesta pesquisa.

Ao nível -1 da Teoria da Hierarquia de Forman (1995) atribuiu-se as variáveis e propriedades do solo, uma vez que se objetivou melhor compreender o impacto do pisoteio humano nestas. As variáveis relacionadas à vegetação não foram focadas por dois motivos primordiais: tornarem mais difícil a correlação com as variáveis hidrogeomorfológicas do nível +1; e pelas trilhas serem desprovidas de cobertura vegetal – na maior parte das vezes o que caracteriza as trilhas é justamente a ausência de cobertura vegetal. Diante disso, a Figura 14 resume por meio de um fluxograma o embasamento da Teoria Hierárquica de Forman (1995) na pesquisa em trilhas desenvolvida no PARNASO.



Figura 14: Fluxograma dos Níveis Hierárquicos e variáveis ambientais a serem analisadas. Elaborado por L.Kroeff.

Os levantamentos das variáveis correspondentes a cada nível hierárquico foram realizados em trilhas com condições ambientais, tempo de existência e intensidade de uso diferenciados no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, a fim de não somente atingir uma heterogeneidade espacial, mas também, temporal, ainda que as avaliações não tenham envolvido períodos mais ou menos prolongados, mas somente tempo de existência das trilhas diferenciados. Ressalta-se que a metodologia foi desenvolvida e adaptada para um ambiente serrano, em uma área de estudo com condições ambientais diferenciadas, certamente outras variáveis seriam elencadas, assim como, seus respectivos intervalos de valores. As avaliações foram armazenadas em um banco de dados estruturado em ambiente SIG, com interface do *software* ArcGis, versão 9.2, a fim de facilitar o cruzamento das informações e principalmente as análises estatísticas e verificar a influência de cada variável.

O sistema de coordenadas utilizado no SIG seguiu o padrão adotado pelo PARNASO, coordenadas planas, projeção Universal de Mercatur (UTM) e datum SAD (South American), 1969, fuso 23 S. Grande parte da base de dados utilizada foi fornecida pelo Parque; porém, cabe ressaltar, que algumas informações possuem distorções entre si de algumas dezenas de metros, por elas pertencerem à base oficial do Parque, não foram alteradas.

4.1 Variáveis Hidrogeomorfológicas: Nível +1

Neste estudo, o nível +2 foi o limite interativo das análises da paisagem, representado pela área total de estudo, o Parque Nacional da Serra dos Órgãos (PARNASO). Este é definido pelo fator antrópico, uma vez que a delimitação da Unidade de Conservação se deu por questões políticas. No entanto, o limite das avaliações das variáveis ambientais e dos levantamentos relacionados às trilhas foi o nível +1, delimitado pela dinâmica hidrogeomorfológica, especificamente as sub-bacias nas quais as trilhas se inserem. Neste sentido, a análise das variáveis geomorfológicas esteve condicionada aos limites das sub-bacias pelas quais as trilhas passam.

Dentro da concepção geohidroecológica a bacia de drenagem é adotada como o recorte espacial principal de análise da paisagem (Fernandes *et al.*, 2006). A unidade de bacia é um sistema físico aberto, claramente definido e limitado por seus divisores, o que reduz ao máximo a ambiguidade desse recorte espacial (Chorley, 1969). A bacia de

drenagem pode ser desmembrada em um número qualquer de sub-bacias de drenagem, hierarquicamente, dependendo do ponto de saída considerado ao longo do seu eixo-tronco ou canal coletor (Coelho Netto, 1998).

As avaliações de nível +1 envolveram mapeamentos na escala 1:25.000, com curvas de nível de 10 em 10 metros, fornecidos pela administração do Parque Nacional da Serra dos Órgãos. Objetivava-se trabalhar com uma escala de mapeamento mais detalhada, porém, a inexistência de uma base de dados condizente, assim como, equipamentos de GPS (Global Positioning System) mais precisos impossibilitaram o alcance desta. Tinha-se dúvidas, na escala em análise, o quanto as correlações entre as variáveis de nível 0 e -1 com as +1 seriam efetivas; porém, acreditou-se que, mesmo se encontrando dificuldades, o estudo seria válido para tentar direcionar esforços a uma metodologia de planejamento do traçado de trilhas mais consistente.

Mediante um resgate detalhado dos estudos de trilhas e da própria ciência geográfica, buscou-se identificar as variáveis hidrogeomorfológicas com influência direta na dinâmica das trilhas. A partir de análises de correlação com as variáveis de nível 0 e -1, pretendeu-se elencar as que deveriam ser atentadas na definição do traçado das trilhas. Mais do que isso, buscou-se indicar as áreas mais suscetíveis à degradação; a fim de que os gestores de Unidades de Conservação possam antever as áreas prioritárias ao manejo. Para tanto, se fez necessária também uma avaliação, mesmo que preliminar e especulativa, do impacto, ou não, que as trilhas geram na dinâmica hidrogeomorfológica das bacias e sub-bacias em que estão inseridas.

Ressalta-se que não se pretendeu explicar todo o sistema de trilhas, mas apenas destacar variáveis que possam ser atentadas na etapa de definição do traçado. Ou seja, possivelmente há variáveis que não estão sendo abordadas nesta pesquisa que melhor explicariam a dinâmica das trilhas, como áreas mais ou menos degradadas, porém que seriam mais complexas de serem focadas pelos gestores de Unidades de Conservação; ou mais suscetíveis a heterogeneidade espacial, como o tipo de vegetação.

A alta relação existente entre o solo e o tipo vegetal, a sua influência na estabilidade do solo e das encostas, a existência de maior ou menor abundância de matéria orgânica são alguns dos motivos que justificariam a relevância da análise da vegetação e de sua influência no grau de degradação das trilhas. Ainda que o leito da trilha seja desprovido de vegetação, a densidade de sua cobertura vegetal a tornam mais

ou menos susceptível ao impacto das gotas da chuva, o que influencia o grau de selamento do solo e, portanto, a facilidade de infiltração da água. No entanto, a aparente inviabilidade de a trilha ser desviada de todo um tipo vegetal tornou a consideração dessa variável inválida perante os objetivos estipulados, uma vez que se desejou indicar as variáveis que devem ser atentadas na etapa do planejamento do traçado das trilhas.

As variáveis em nível +1 focadas foram as hidrogeomorfológicas, conforme Figura 15. A partir da avaliação dessas variáveis buscou-se obter um maior entendimento das características hidrodinâmicas das vertentes pela qual as trilhas passam. Ressalta-se que as variáveis elencadas foram aquelas que se estimou melhor se correlacionarem com as degradações mais corriqueiras das trilhas, com destaque ao acúmulo de água e aos processos erosivos; porém, enfatiza-se que não se descartou a possibilidade delas não serem suficientes e não explicarem satisfatoriamente a sua situação.

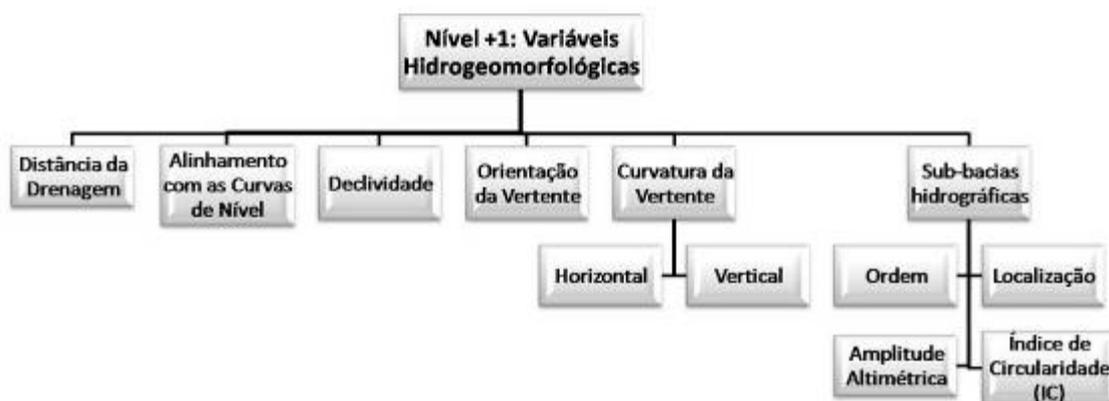


Figura 15: Fluxograma das Variáveis Hidrogeomorfológicas, Nível +1. Elaborado por L. Kroeff.

Os trabalhos de campo realizados demonstraram que no planejamento de trilhas a escala de análise hidrogeomorfológica deve se centrar nos segmentos da vertente e nos parâmetros morfométricos, tanto com relação à drenagem da bacia como ao relevo.

As vertentes consideradas são as denominadas por Gilbert (1877 *apud* Cassetti, 2005), como *lato sensu*, por incorporarem os cursos d'água e estarem integradas aos processos fluviais. Conforme Jan Dylik (*apud* Christofolletti, 1980, p. 26) “a vertente é uma forma tridimensional que foi modelada pelos processos de denudação, atuantes no presente ou no passado e representando a conexão dinâmica entre o interflúvio e o fundo do vale”. Os autores destacam que o limite inferior da vertente somente possui uma orientação, o leito de um rio não pode defini-lo, pois não necessariamente os

processos morfogenéticos terminam nele, estando mais condicionados a descontinuidades naturais. Da mesma forma, o limite superior é difícil de precisar, pois deve “indicar a extensão mais distante e mais alta da superfície de onde provém um transporte contínuo de materiais sólidos para a base da vertente” (Christofolletti, 1980, p. 27).

As vertentes são consideradas as partes mais importantes de uma bacia, principalmente por estabelecerem uma conexão dinâmica entre os topos dos interflúvios e o fundo do vale (Christofolletti, 1980). A vertente hidrológica é um exemplo típico de sistema, já que solo, água, vegetação e atmosfera interagem, definindo entidades geomorfológicas características (Chevallier, 1990 *apud* Mendiondo e Tucci, 1997a).

Já a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica constitui uma variável fundamental no entendimento, simulação e previsão de processos hidrológicos, além de sua inerente interação com a morfologia local. As variáveis associadas à hidrologia e à geomorfologia serão especificadas a seguir, sendo justificada a relevância de sua abordagem no estudo das trilhas. As mesmas foram analisadas perante alguns parâmetros morfométricos, os quais são largamente utilizados na obtenção de informações sobre a dinâmica da paisagem, sendo de grande relevância nos estudos geomorfológicos.

Conseguir correlacionar as variáveis hidrogeomorfológicas – tituladas de nível +1 com base nos preceitos da ecologia da paisagem – com aquelas de nível 0 (foco do estudo) e nível -1, configurou-se um grande desafio, tendo em vista as suas diferenças escalares e principalmente as pequenas dimensões das trilhas – extensão de algumas centenas de metros a alguns quilômetros e largura máxima de dois metros. Diante disso, atenção especial foi dada a questão escalar na geração das variáveis de nível +1.

4.1.1 Escala da Pesquisa

O traçado da trilha foi obtido com GPS Garmin Map 60csx, a partir da função *tracking* tendo sido habilitada a função de captura de coordenadas por distância de 10 metros; no entanto, possivelmente devido à vegetação densa e ao relevo escarpado das trilhas do Sino e do Cartão Postal, logo, em diversos pontos dessas trilhas a captação das coordenadas ficou mais espaçada. Em média foram capturados pontos a cada 14,5 metros na Trilha do Sino e a cada 17 metros na Trilha do Cartão Postal. Não se levou em consideração as informações altimétricas dos pontos do GPS, tendo em vista a

necessidade de se converter a altitude geométrica (em relação ao elipsóide) disponibilizada pelo GPS de navegação para a altitude ortométrica (em relação ao geóide), a partir do cálculo da ondulação geoidal.

Ao longo do percurso das trilhas em campo, capturou-se as coordenadas de todos os rios e riachos pelos quais se passou, a fim de posteriormente se comparar o erro médio planimétrico dos pontos – a partir do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) planimétrico – com a base cartográfica fornecida pelo PARNASO. Esses pontos também foram capturados para verificar se todos os rios e riachos que as trilhas cruzavam estavam contidos na base hidrográfica fornecida pelo Parque. Percebeu-se, que a base hidrográfica fornecida não era suficientemente detalhada para o estudo das trilhas, tendo em vista que vários riachos marcados em campo não estavam contemplados; por outro lado, o número de pontos de controles para averiguação do erro planimétrico das coordenadas obtidas pelo GPS de navegação também foi mais diminuto.

No Brasil as cartas topográficas devem obedecer à acurácia planialtimétrica do Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, que é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade e que define a exatidão de trabalhos cartográficos, conforme o Decreto Lei número 89817 de 20/06/1984, que estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da Comissão de Cartografia do Brasil (COCAR). Neste decreto as cartas topográficas são classificadas nas classes A, B e C, segundo os critérios de PEC planimétricos e altimétricos (Tabela 1), sendo também consideradas equivalentes as expressões Erro-Padrão, Desvio Padrão e Erro Médio Quadrático (EMQ).

Tabela 1: Classificação Planimétrica das Cartas segundo o PEC.

| Classe A | PEC | Erro Padrão |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|
| Planimétrico | 0,5mm x Escala Carta | 0,3mm x Escala da Carta |
| Classe B | PEC | Erro Padrão |
| Planimétrico | 0,8mm x Escala Carta | 0,5mm x Escala da Carta |
| Classe C | PEC | Erro Padrão |
| Planimétrico | 1,0mm x Escala da Carta | 0,6mm x Escala da Carta |

Fonte: Decreto Lei número 89817 de 20/06/1984.

Para os cálculos das acurácias de planimetria se utilizou o critério do erro circular com 90% de intervalo probabilístico. Conforme Druzina (2007, p. 36), o uso do intervalo de confiança com 90% de probabilidade assegura que é 90% a probabilidade do intervalo conter o valor médio “verdadeiro” da planimetria calculada. O CE90 (Erro Circular com 90% probabilístico) é uma medida dos erros combinados em latitude e longitude da planimetria do produto. CE90 é um raio circular (metros), englobando 90% dos erros de planimetria no produto analisado, em relação às posições reais no terreno.

No cálculo do CE90 as seguintes relações são usadas: $CE90 = 2,15 \times RMS$, onde:

$$RMS = \sqrt{\frac{(X_F - X_{DGPS})^2 + (Y_F - Y_{DGPS})^2}{N - 1}}$$

Legenda: X_F e Y_F = coordenadas dos ICPs (pontos notáveis) identificados no produto integrado; X_{DGPS} e Y_{DGPS} = coordenadas dos ICPs correspondentes medidos em campo; N = número de ICPs considerados. O valor da constante em CE90 (2,15) é tabulado para 90% de probabilidade de distribuição normal.

Os traçados das trilhas obtidos pelos pontos de GPS atingiram um erro circular de 29 metros, o qual estaria bem acima do que se propunha nesta pesquisa, sendo equivalente a classe C da escala 1:50.000; bem distante da classe A da escala 1:25.000 correspondente à base cartográfica fornecida pelo Parque, em que o erro padrão é de 7,5 metros. Porém, como foram considerados apenas cinco pontos para o cálculo do erro, os únicos que se obteve correspondência na base fornecida pelo PARNASO, estima-se que

o erro possa diminuir em até 50%; atingindo o erro médio que o GPS Map 60csx costuma obter, ao redor de 15m. Também se ressalta que pontos de controle da hidrografia não são bons parâmetros, tendo em vista que ela é dinâmica; logo, o mais aconselhável seria obter mais pontos e mais acurados para avaliar de forma mais segura o erro médio das coordenadas planimétricas. Com isso, considerou-se a escala oficial da pesquisa a de 1:25.000, classe C do PEC, correspondente ao erro usual do GPS Map 60csx.

As variáveis hidrogeomorfológicas avaliadas foram geradas a partir do Modelo Digital do Terreno (MDT). Foi necessário que o modelo digital do terreno (MDT) possuísse uma resolução bastante acurada, a qual teve de ser mantida para todas as demais variáveis geradas. Por outro lado, ferramentas posteriores utilizadas, como filtragem e classificação dos dados, tiveram que ser muito bem trabalhadas, a fim de não simplificar demasiadamente as informações. Encontrou-se a mesma dificuldade e necessidade de atenção com relação à rede de drenagem, conforme será exposto.

4.1.2 Modelo Digital do Terreno (MDT)

A base de dados para geração do MDT foi a base cartográfica na escala 1:25.000, em formato digital, contendo curvas de nível com equidistância de 10 metros e hidrografia. A fim de não gerar arquivos muito pesados, que poderiam comprometer o desempenho do computador, e também para focar as análises ao recorte das bacias hidrográficas, recortou-se as curvas de nível e a hidrografia às áreas das bacias hidrográficas por onde as trilhas passam: Bacia do Paquequer, para a Trilha do Sino e do Cartão Postal, e Bacia do Soberbo, para a Trilha do Poço Verde.

Atenta-se que nesta etapa o recorte, a partir da ferramenta “clip” do pacote *Analysis Tools* do ArcGis, gerou diversos erros nas curvas, principalmente a sobreposição das mesmas nas áreas mais declivosas, onde o espaçamento entre elas é muito pequeno, conforme Figura 16. Para solucionar rapidamente esse problema, exportou-se as informações para o programa SPRING, onde se delimitou as mesmas, exportando-as novamente para o ArcGis. Outra provável solução, talvez ainda mais eficaz, seja trabalhar no formato *Geodatabase*, ao invés de *Shapefile*, o que tende a dar mais confiabilidade à transformação dos dados.

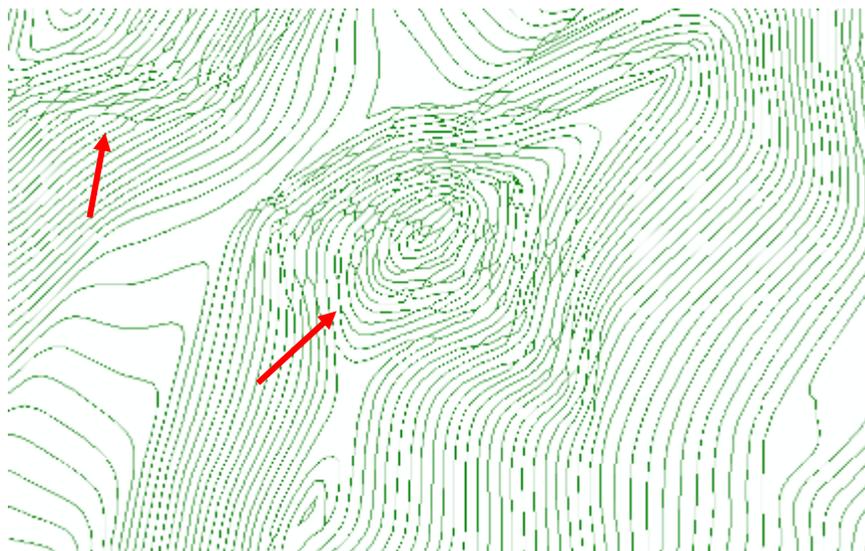


Figura 16: Exemplos de Erros nas Curvas de Nível recortadas pela ferramenta Clip do ArcGis.

O método utilizado para geração do MDT foi o TOPOGRID, a partir da ferramenta *Topo to Raster* do ArcGis 9.2, a qual emprega um método de interpolação desenvolvido especialmente para a criação de modelos digitais de elevação hidrológicamente consistentes. Essa ferramenta baseia-se no programa ANUDEM desenvolvido por Hutchinson (1988 e 1989 *apud* ESRI, 2000). Mesmo utilizando uma grade regular retangular (o resultado é apresentado no formato matricial). Silva e Kobiyama (2004) afirmam que nos últimos anos, os modelos baseados em *grids* regulares ganharam espaço devido ao crescente desenvolvimento dos pacotes de *software* GIS – *Geographic Information System*. No ArcGis esse modelo é o mais utilizado para a geração de informações hidrogeomorfológicas.

A ferramenta TopoGrid possui a opção de utilizar a drenagem, o que permite suavizar e aumentar sensivelmente a precisão dos dados gerados (Fernandes e Menezes, 2005 *apud* Fidalgo *et al*, 2009). Utilizou-se como dados de entrada para o modelo as curvas de nível, a hidrografia e os lagos. Para gerar um MDT acurado, foi necessário corrigir a direção de fluxo da drenagem, a partir da edição do *layer* com a ferramenta “show directions” do XTools Pro. Do contrário, o MDT gerava erros altimétricos principalmente ao longo das drenagens dos vales encaixados, Figura 17.

O MDT foi gerado com uma resolução de dois metros. Breves análises apontaram que tamanhos de células maiores dificultariam a correlação posterior com as trilhas. Após a geração do MDT, aplicou-se a ferramenta “fill”, a fim de remover imperfeições, como depressões artificiais.

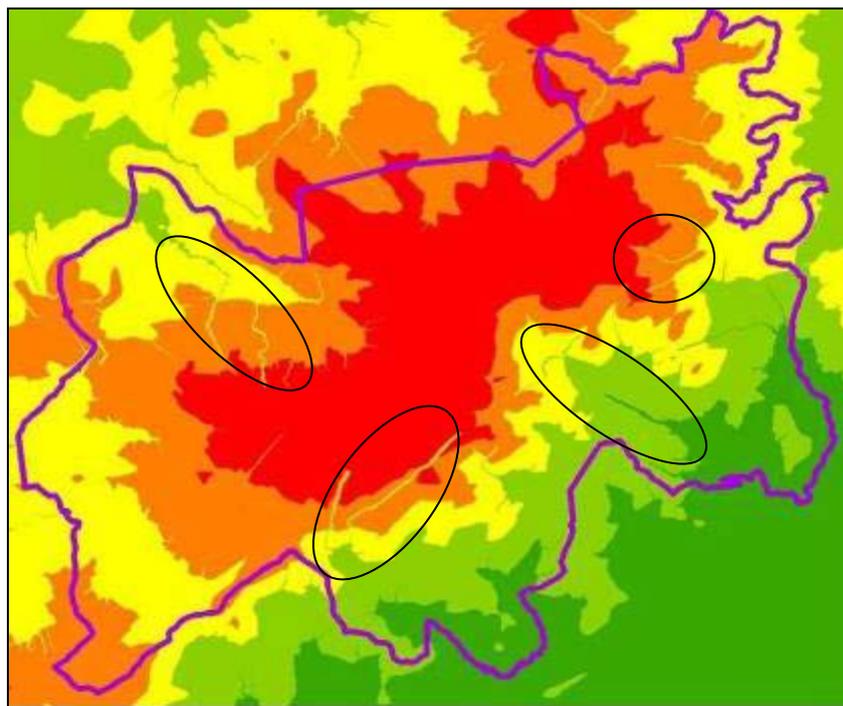


Figura 17: Erros gerados no MDT ao não se corrigir a direção de fluxo da drenagem (ressaltados pelos círculos em preto).

4.1.3 Sub-bacias Hidrográficas

As bacias de drenagem correspondem a um corte espacial fundamental para compreensão das relações entre área-fonte, zona de transporte e zona de deposição em ambientes geodinâmicos distintos (Meis *et al.*, 1982 *apud* Silva, 2002). Conforme colocam Silva e Kobiyama (2004), “na interpretação da rede de drenagem de uma bacia e sua consequente análise e ordenamento a escala tem uma importante influência. Com o aumento da escala, mais tributários aparecem e os trechos de primeira ordem aumentam em número...”.

Ainda que a escala formal da pesquisa tenha sido àquela correspondente aos dados fontes fornecidos pelo PARNASO, especificamente 1:25.000, a hidrografia oficial não se correlacionou com os canais de drenagem verificados e demarcados em campo ao longo das trilhas. Diversos experimentos com as ferramentas de geração automática de hidrografia foram necessários para que os referidos canais fossem considerados.

Meis *et al* (1982 *apud* Silva, 2002) afirmam que canais maiores que 2ª ordem hierárquica, de acordo com a classificação de Strahler (1952), podem estar sujeitos ao

predomínio de processos deposicionais, mascarando, neste caso, o índice de dissecação topográfica. Neste sentido, optou-se por trabalhar com sub-bacias hidrográficas apenas de primeira e zero ordem, para melhor localizar e dimensionar os processos hidrogeomorfológicos atuantes nas trilhas. De acordo com Guerra e Guerra (2006):

(...) bacias, ou vales não canalizados, denominados bacias de ordem zero, são caracterizadas por uma conformação topográfica côncava em planta, correspondentes aos primeiros formadores da rede de drenagem, podendo constituir o prolongamento direto da nascente dos canais fluviais de 1ª ordem. São também os tributários laterais de fluxos canalizados de qualquer nível hierárquico, correspondendo a feições geomorfológicas muito frequentes em domínios morfológicos de encostas recobertas por espessos regolitos, em ambiente tropical e subtropical úmido.

Segundo Silva e Kobiyama (2004), a rede drenagem não é estática, ela dinamicamente se altera. Os autores afirmam que as áreas saturadas se expandem de acordo com as chuvas e condições de umidade iniciais do solo. “Quando o escoamento subsuperficial excede a condutividade hidráulica do solo, este escoamento aflora e soma-se ao escoamento superficial por saturação do solo aumentando o comprimento do rio em sua nascente. Este novo trecho adicionado ao comprimento do rio é denominado zero ordem” (Silva e Kobiyama, 2004). Os autores afirmam ainda que bacias de zero ordem são regiões de frequentes descargas de sedimentos e são caracterizadas por solos pouco profundos, lençóis freáticos próximos à superfície – podendo gerar escoamento superficial por saturação do solo – e baixa declividade (Tsukamoto e Minematsu, 1987, *apud* Silvia e Kobiyama, 2004). As ponderações de Tsukamoto (*et al* 1987 *apud* Silva e Kobiyama, 2004) são complementares às características dos canais de zero ordem expostas por Guerra e Guerra (2006) ao colocarem que os canais de zero ordem além de se constituírem prolongamentos direto das nascentes, podem constituir-se “tributários laterais de fluxos canalizados de qualquer nível hierárquico e nos eventos chuvosos de grande magnitude, constituem locais de desenvolvimento de fluxos temporários” (Tsukamoto *et al.*, 1982, *apud* Moura e Silva, 2006, p. 151).

Além da ordem das sub-bacias hidrográficas, neste estudo limitadas as de primeira e zero ordem, também se avaliou a localização das trilhas, ou trechos e pontos específicos delas, na vertente. Isso, pois, em cada parte do perfil da vertente tende a predominar um processo geomórfico (Christofolletti, 1980, p. 40-41). No entanto, a localização não foi avaliada como fato isolado, mas sim, associada à forma e declividade, a fim de melhor compreender os processos atuantes.

Também foi verificado o desnivelamento altimétrico das sub-bacias, seguindo os preceitos da metodologia de mapeamento geomorfológico desenvolvida por Meis *et al.* (1982) e adaptada por Silva (2002). Os autores pregam que o valor entre a cota superior e a inferior das bacias hidrográficas de até 2ª ordem, antes de atingir a drenagem coletora, corresponde ao trabalho de dissecação do relevo efetuado pela atuação de agentes erosivos ao longo do tempo geológico. Silva (2002) destaca que a amplitude altimétrica reflete o grau de encaixamento fluvial ou entalhamento erosivo das encostas, associando-se intimamente a variações lito-estruturais e/ou tectônicas.

Por fim, avaliou-se o índice de circularidade (IC) das sub-bacias, a fim de verificar a forma das mesmas. O IC é um parâmetro que mede a proximidade da forma da bacia ao círculo. Quanto mais próximo de 1 (um) o valor, mais circular é considerada a bacia e conseqüentemente maior é o risco de erosão, assoreamento e enchentes na bacia. Este risco está relacionado com a velocidade e sincronia de tempo entre os escoamentos da água da chuva provenientes das cabeceiras. Em uma bacia alongada o deflúvio ocorre em pontos distantes e leva um tempo maior para chegarem ao mesmo ponto do canal principal, resultando em menor vazão.

4.1.3.1 Método Adotado para Geração das Sub-bacias

A precisão do limite de uma bacia está diretamente relacionada à subjetividade do traçado da mesma. Métodos automáticos que adotam critérios bem definidos e passíveis de serem reaplicados para outras regiões, mantendo um mesmo padrão de qualidade na geração do limite, podem obter um melhor resultado em relação ao método manual (Dias *et al.*, 2004 *apud* Medeiros *et al.*, 2009).

Atualmente, existem diversas ferramentas que delimitam automaticamente as bacias hidrográficas, porém a maior parte delas tem como dado fonte as grades regulares. Tachikawa, Takasao e Shiiba (1996 *apud* Silva e Kobiyama, 2004) “argumentam que *grids* regulares não são apropriados para modelar fenômenos hidrológicos dinâmicos, pois não podem representar várias formas de encostas tais como convergência, divergência, convexos e côncavos”. Alguns GIS utilizam TINs para delimitação de sub-bacias, porém não são os mais comuns.

O método mais acessível e largamente utilizado para delimitação automática das bacias hidrográficas é o modelo D8, constituinte da ferramenta *ArcHydro* disponível no ArcGis. Este é baseado na determinação da direção de fluxo, que envolve a análise para

cada *pixel* de uma imagem *raster*, a partir das cotas altimétricas destes *pixels*, para qual dos oito *pixels* vizinhos segue a drenagem (Figura 18). A direção resultante é atribuída ao pixel central e, assim, as conformações dessas direções materializam os vales existentes entre as elevações ou a rede de drenagem (Hott *et al.*, 2007).

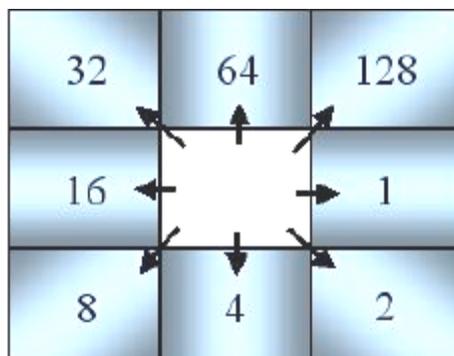


Figura 18: Modelo de Fluxo D8. Fonte: Hott *et al.*, 2007.

Atualmente, o modelo D8 tem sido bastante criticado por sua desvantagem discrepante de direcionamento em somente uma das oito possibilidades, separadas por ângulos de 45°. Isso motivou o desenvolvimento de outros métodos de compressão múltipla de direção de fluxo (Quinn *et al.*, 1991 *apud* Dixon *et al.*, 2004; Tarboton, 1997 *apud* Sinmap *User's Manual*), direção aleatória (Fairfield e Leymarie, 1991 *apud* Sinmap *User's Manual*) e tubo de grade de direção (*grid flow tube*) (Costa-Babral and Burges, 1994 *apud* Sinmap *User's Manual*).

Objetivava-se utilizar a ferramenta Taudem, desenvolvida por Tarboton, em que a direção de fluxo é obtida através do método D-Infinito. No entanto, obteve-se inúmeras dificuldades na execução desta e despendeu-se tempo excessivo com tentativas de êxito. Pelas bacias hidrográficas não serem o foco desta pesquisa, mas sim, uma das variáveis analisadas, optou-se pela delimitação das sub-bacias pela ferramenta *ArcHydro*. No entanto, os erros gerados pela ferramenta, conforme será exposto, levaram a necessidade de re-delimitação manual das sub-bacias, tornando a geração automática, em verdade semi-automática, quase manual.

As operações para geração automática de sub-bacias hidrográficas a partir do MDT no *ArcHydro* envolvem os seguintes procedimentos: eliminação de reentrâncias e saliências do MDT (*Fill Sinks*), produção do mapa de direção de fluxo (*Flow Direction*), elaboração do mapa de fluxo acumulado (*Flow Accumulation*), mapeamento da rede de drenagem (*Stream Definition* e *Stream Segmentation*), definição das áreas

das sub-bacias (*Catchment Grid Delineation*) e transformação das áreas em polígonos (*Catchment Polygon Processing*).

No procedimento *Stream Definition* é necessário escolher o número de células que se deseja mapear. Pode-se afirmar que quanto maior o número de células, menor será a escala do trabalho, pois mais robusta será a drenagem gerada e, conseqüentemente, as sub-bacias delimitadas, as quais terão áreas cada vez maiores. Fez-se experimentos com os tamanhos de células de 2.000, 5.000, 10.000, 15.000, 18.000 e 20.000.

A Tabela 2 expõe a diferença do número e da extensão dos canais gerados por cada tamanho de células no *ArcHydro*. Percebe-se que o tamanho de 18.000 é o que mais se aproxima do número de canais de drenagem da base cartográfica original, fornecida pelo PARNASO, em escala 1:25.000. Porém, com relação à extensão dos mesmos, o tamanho celular 10.000 é o que mais se aproxima do original.

Tabela 2: Quadro comparativo do número e extensão dos canais de drenagem gerados com os diferentes tamanhos de células no *ArcHydro*.

| Comparações | Drenagem Fornecida pelo PARNASO | ARCHYDRO | | | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 2000 | 5000 | 10000 | 15000 | 18000 | 20000 |
| Número de Canais | 258 | 2078 | 815 | 416 | 298 | 254 | 208 |
| Extensão dos Canais em metros | 95131,36 | 212764 | 132024,3 | 93493,14 | 77716,11 | 69844,59 | 65119,84 |

Em todos os tamanhos celulares testados houve erros grotescos de delimitação das sub-bacias, decorrentes de uma rede hidrográfica mal formulada. Em algumas áreas o traçado do canal se distanciou muito do original e foram gerados canais paralelos muito próximos, conforme Figura 19A. Como consequência, as sub-bacias geradas obtiveram formas não condizentes com o relevo (Figura 19B, destaque em azul).

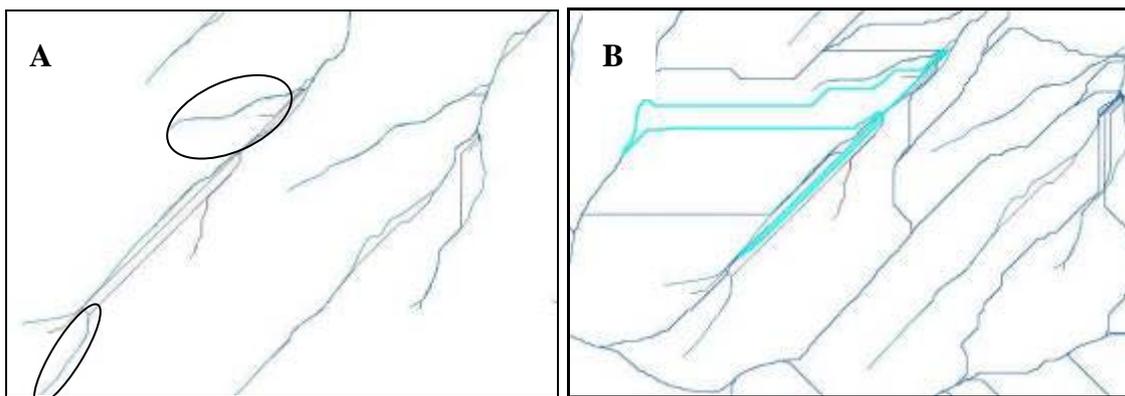


Figura 19: Diferenças entre o traçado original (linha azul clara) e o gerado no *ArcHydro* com tamanho de 10.000 células (linha preta). A: Pontos das diferenças da drenagem; B: polígono irregulares das sub-bacias geradas pelo *ArcHydro*.

A Figura 19A também demonstra que apesar da extensão total dos canais gerados pelo tamanho celular 10.000 ter se aproximado da original, muitos dos canais da área foco do estudo, aqueles que passam pelas trilhas em análise, não foram contemplados em toda a sua extensão (destaques aos círculos da Figura 19A). O que ocorreu foi a geração de muitos canais novos, porém os da base cartográfica original não foram contemplados plenamente. A rede de drenagem gerada com o tamanho celular de 2.000 pixels foi o que mais se aproximou da extensão original dos canais da área foco, por isso foi a adotada nesta pesquisa. Porém, por representar uma escala mais detalhada, surgiram diversos outros canais, conforme Figura 20.

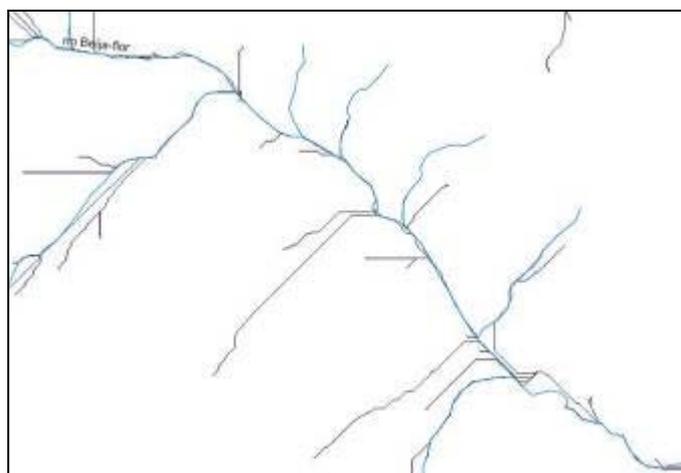


Figura 20: Rede de drenagem original (linha azul claro) e gerada pelo *ArcHydro* com 2.000 células (linha preta).

Também foi constatado que a drenagem gerada por 2.000 *pixels* coincidia mais amplamente com os pontos de cruzamentos da trilha com riachos, demarcados por GPS ao longo das trilhas. Dos 11 (onze) pontos demarcados na Trilha do Sino, apenas cinco

deles eram contemplados pela base fornecida pelo Parque. Averiguando-se esse cruzamento com a drenagem com 2.000 pixels gerada pelo *ArcHydro*, o número de pontos aumentou para oito, sendo que um deles não coincidiu com a base de drenagem anterior, uma vez que o canal de drenagem não foi gerado. De qualquer forma, ficariam faltando apenas três pontos.

Ainda que a Trilha do Cartão Postal esteja localizada em duas bacias de primeira ordem, conforme será exposto no capítulo de resultados, ela não cruza nenhum canal de drenagem; porém, na base gerada pelo *ArcHydro* com 2.000 pixels, a trilha se aproxima mais dos canais. Já os dois rios pela qual a Trilha do Poço passa, um no seu início e outro o próprio Rio Soberbo, ao seu final, são contemplados por ambas as bases hidrográficas, tanto a fornecida pelo Parque como a gerada pelo *ArcHydro*, o que não surpreende, uma vez que a trilha se encontra no curso médio da bacia do Rio Soberbo, onde este é de quarta ordem.

Silva e Kobiyama (2004), em seu modelo de delineamento automático da rede de drenagem definiram os comprimentos de rio excedentes na direção de montante como canais de zero ordem (Figura 21). Na área em foco, adotou-se o mesmo procedimento dos autores citados, considerou-se que a ordem das sub-bacias delimitadoras dos canais excedentes fosse de zero ordem.

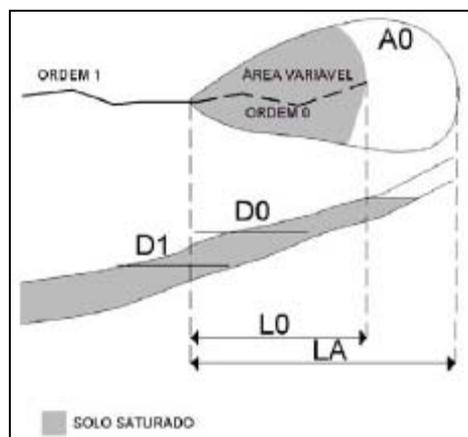


Figura 21: Parâmetros retirados das nascentes. $D1$ – declividade da nascente de primeira ordem, $D0$ – declividade do trecho de zero ordem, $L0$ – comprimento do trecho de zero ordem, LA – comprimento da bacia de zero ordem e $A0$ – área da bacia de zero ordem. Fonte: Silva e Kobiyama, 2004.

Porém, Mediondo e Tucci (1997b) afirmam que “o problema crítico de combinar processos das vertentes e nos canais é que ‘não existe um método único’ para determinar a posição exata das cabeceiras dos canais e os caminhos preferenciais que

nelas convergem”. Isso foi percebido nas sub-bacias de primeira ordem e zero ordem geradas pelo *ArcHydro* com tamanho de células de 2.000 pixels. As mesmas não possuíam seus limites concordantes com os limites das bacias de segunda e terceira ordem fornecidas pelo Parque (polígono 2, Figura 22). Além disso, foram delimitados polígonos no médio curso do canal que ultrapassavam o canal de drenagem (polígono 1, Figura 22).

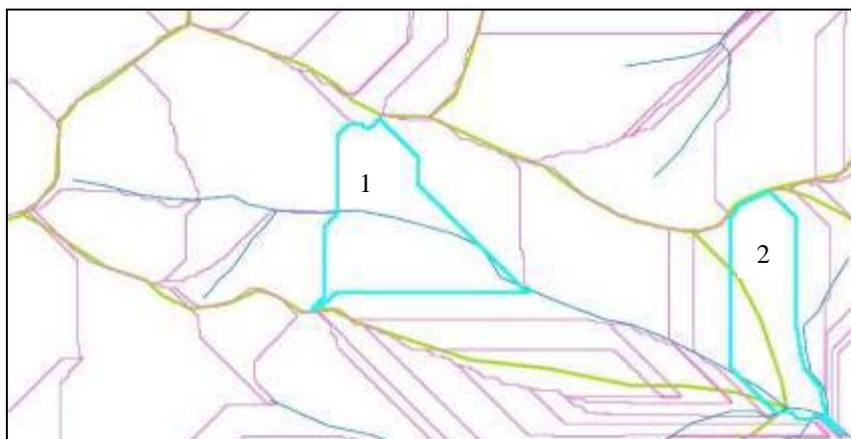


Figura 22: Comparação dos limites das Bacias de segunda ordem (linha verde), fornecidas pelo PARNASO com as de 1ª ordem e zero ordem (linha rosa) geradas pelo *ArcHydro* com tamanho de 2.000 células.

Para solucionar esses problemas, o limite das sub-bacias de primeira ordem e zero ordem pelas quais as trilhas em análise passam tiveram que ser reformulados, adequando-se aos limites das bacias de 2ª e 3ª ordem fornecidas pelo PARNASO e também das bacias maiores em que estão inseridas (do Paquequer e do Soberbo). Os limites internos também foram revistos, com base na curvatura em planta da vertente e da própria hidrografia. A partir das áreas convergentes e divergentes foi possível melhor precisar os limites e, quando possível e necessário, unir os polígonos, uma vez que em algumas áreas eles se encontravam muito fragmentados, não estando em concordância com a curvatura em planta, conforme polígonos em azul destacados na Figura 23.

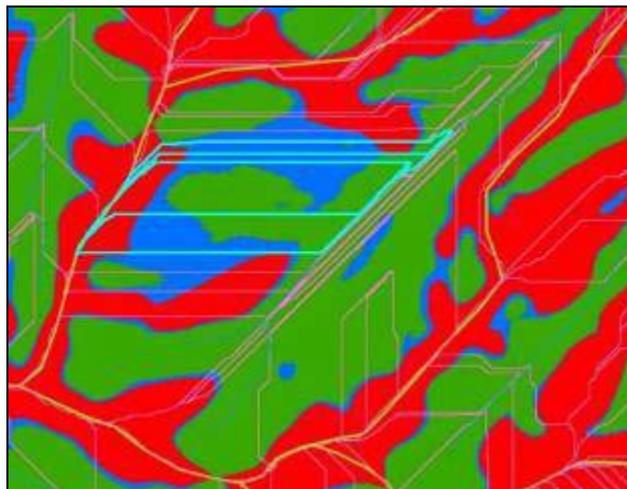


Figura 23: Bacias de 2ª ordem (linha em verde) e 1ª ordem e zero ordem (linha em rosa) sobre curvatura em planta da vertente (vermelho = divergente, azul = retilínea, verde = convergente). Destaque para os polígonos em azul que não respeitaram a curvatura.

Com as sub-bacias bem definidas, as mesmas foram ordenadas de acordo com a classificação de Strahler (1952) e foi avaliado o local onde as trilhas se cruzavam. O índice de circularidade foi calculado a partir da fórmula proposta por Christofolletti (1980):

$$IC = 4 \pi A / P^2$$

Legenda: $\pi = 3,14$; A = área da sub-bacia; P = perímetro da sub-bacia

Também se calculou a amplitude altimétrica, a partir do cálculo da diferença da cota superior e inferior das sub-bacias. Posteriormente, esse valor foi classificado, para fins de análise, segundo as classes de desnivelamento altimétricos propostas por Silva (2002). Na escala de 1:50.000, Silva (2002) adotou seis classes de amplitude altimétrica para classificação das feições do relevo. Foram elas planícies fluviais e/ou flúvio-marinhas (0-20 m), colinas suaves (20-80m), colinas com encostas íngremes (80-100m), morros (100-200m), degraus reafeiçoados (200-400m), degraus e serras escarpados (> 400m). Ainda que não se possa adotar essas feições do relevo nesta pesquisa, uma vez que as bacias de drenagem mapeadas não são de mesma ordem, correspondendo, portanto, a outras dinâmicas do relevo, utilizar-se-á os valores das classes de amplitude altimétrica apenas como parâmetro para avaliação do grau de entalhamento erosivo das encostas.

4.1.4 Curvatura da Vertente

Estimou-se que a forma das vertentes seria um fator de grande importância na prevenção de processos erosivos mais acentuados. Esta seria a segunda variável - conjuntamente com a localização na sub-bacia e a declividade - de extrema importância nos processos morfogenéticos. A curvatura equivale à função derivada da declividade, ou derivada segunda da altitude, mais utilizada segundo as componentes horizontal e vertical em cada pixel. As unidades mais usuais de curvatura são $^{\circ}/100\text{m}$ e $\%/100\text{m}$.

... áreas mais suscetíveis à erosão localizam-se nas cabeceiras das bacias, principalmente nas maiores declividades; e que, em vertentes com perfil convexo-côncavo, a energia do fluxo chega próxima do máximo na parte mais íngreme, geralmente na porção central do perfil, de modo que a maior parte da ação erosiva ocorre abaixo desta zona, onde os fluxos tornam-se canalizados e se formam as ravinas (Bigarella 2003 *apud* Stabile e Vieira, 2009).

A curvatura vertical, ou em perfil, refere-se à forma convexo/côncavo e/ou retilínea das vertentes, enquanto a curvatura horizontal, ou em planta, ao caráter divergente/convergente/planar dos fluxos de matéria e água, resultando em nove combinações possíveis, conforme Figura 24. Kirkby e Chorley (1967 *apud* Stabile e Vieira, 2009) afirmam que a curvatura côncava em perfil, potencializando os fluxos hídricos, e a curvatura côncava em planta, produzindo a convergência destes fluxos, estão entre os principais fatores associados aos processos erosivos.

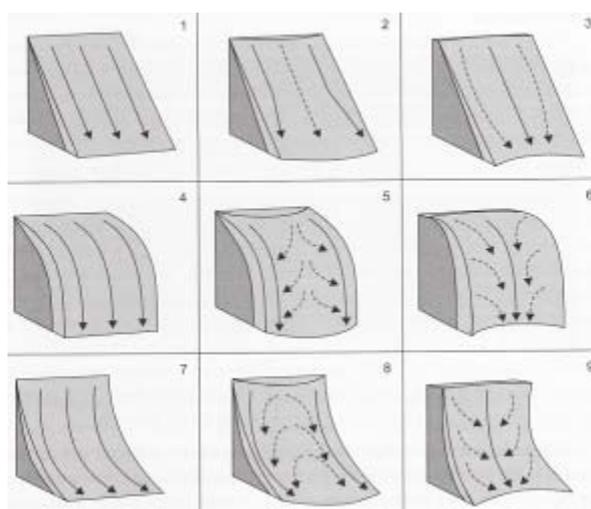


Figura 24: Modelos de fluxos em segmentos de encosta. 1: Retilínea (R) x Planar (P); 2: R x Divergente (D); 3: R x Convergente (C); 4: Convexo (CX) x R; 5: CX x D; 6: CX x C; 7: Côncavo (CC) x R; 8: CC x D; 9: CC x C. Fonte: Valeriano, 2008 adaptado de Ruhe (1975).

Casseti (2005) cita Ruhe (1975) para reafirmar a importância da forma da vertente nos processos geomórficos: “a forma convexa proporcionaria o predomínio do

fluxo laminar, com velocidade crescente em função do gradiente, ao contrário da forma côncava que tenderia à redução dessa velocidade”; porém não negligencia a atenção necessária à vulnerabilidade do material do solo. O autor ressalta ainda que “o fluxo concentrado resulta da convergência do escoamento superficial em função de microdepressões no terreno, ou ainda da própria geometria da vertente, como aquelas correspondentes a radiais côncavas e contornos côncavos na classificação de Troeh (1965 *apud* Casseti, 2005)”.

Mediondo e Tucci (1997b) destacam que as áreas fontes de escoamento rápido foram ligadas com a evidência de convergência do fluxo, citam Kirkby e Chorley (1967) para reafirmar as áreas prioritárias ao escoamento superficial de saturação, associadas à convergência do fluxo: (i) as concavidades da declividade em planta; (ii) as concavidades encontradas no perfil; e (iii) naquelas áreas com diminuição dos horizontes superficiais.

Resumidamente, a curvatura de perfil, ou curvatura vertical, relaciona-se com a dinâmica do fluxo de água no tocante à aceleração. Nas porções convexa e retilínea do relevo, ocorre aceleração de fluxo associada aos processos erosivos, na parte côncava há uma desaceleração favorável aos processos deposicionais. A curvatura de perfil tem valor negativo nas partes convexas, nulo nas retilíneas e positivo nas côncavas (Valeriano, 2003).

A curvatura em planta, ou curvatura horizontal, vincula-se à característica de convergência/divergência dos fluxos de água superficiais e subsuperficiais, que carregam sedimentos, inclusive matéria orgânica de pedogênese (Valeriano, 2003). Trata-se da curvatura das curvas de nível em seus respectivos planos horizontais. Assume valores negativos nas partes côncavas, em que há convergência das linhas de fluxo; valor nulo nos trechos retilíneos e valores positivos nas partes convexas onde há divergência de fluxos (Valeriano, 2003).

Ambas as curvaturas, em planta e em perfil, foram geradas através da ferramenta *3D Analyst Tools* do ArcGis 9.2. Nas variáveis morfométricas geradas pelo ArcGis são aplicadas janelas de varredura, ou máscara, de 3x3 *pixels*; porém, conforme coloca Correia (2008) nem sempre esse tamanho de máscara é suficiente.

... Trata-se de janela pequena, sensível a diminutas variações locais, o que pode se tornar inadequado em algumas situações. De um lado, os MDEs oferecem descrição analítica detalhada do terreno, *pixel a pixel*,

mas de outro lado a análise morfométrica desenvolve-se em contexto mais regional de formas de relevo. A maneira mais usual de contornar essa dificuldade compreende a aplicação de filtragens digitais de suavização dos MDEs (Correia, 2008).

De fato, nesta pesquisa, a janela 3×3 *pixels* não se mostrou válida, por gerar informações muito fragmentadas, passíveis de poucas análises, conforme Figura 25. Correia (2008) coloca que diversos pequenos polígonos são gerados em cada classe (côncava, retilínea e convexa), em função de pequenas variações locais. A alternativa para tanto seria aplicação de filtros de suavização.

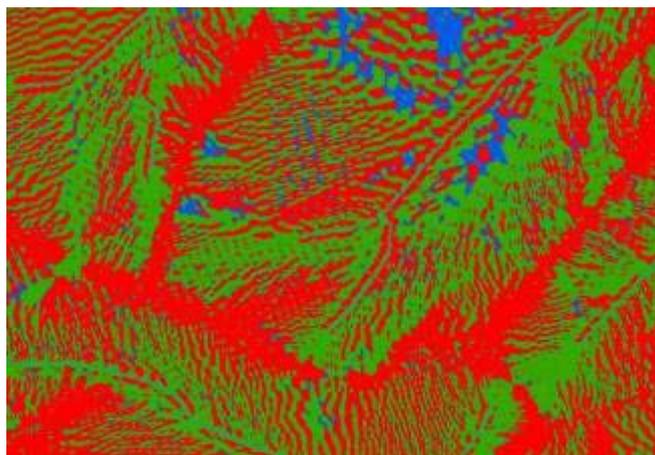


Figura 25: Curvatura em Planta Gerada pelo MDT, nota-se curvaturas muito fragmentadas.

Filtros de suavização, também conhecidos como filtros de passa baixa, são empregados na remoção de ruídos de alta frequência espacial em imagens digitais. Entre as técnicas de suavização conhecidas existem as de suavização não conservativas, como os filtros de média, os quais geralmente eliminam detalhes como linhas finas e curvas agudas, causando o efeito de *blurring* (efeito de suavização, diminuição do ruído).

O filtro de média é implementado por meio de uma janela, sendo as mais comuns as 3×3 , 5×5 e 7×7 *pixels*, a qual percorre a imagem; o elemento central dessa janela receberá a média de todos os elementos da janela. Quanto maior for a janela, maior será a influência que o *pixel* sofrerá dos vizinhos. Assim como em Correia (2008), a adoção de janelas 7×7 *pixels* com filtro passa baixa não surtiu efeito considerável; adotou-se então a mesma janela do referido autor, 21×21 *pixels*, porém com duas iterações já se percebeu o efeito desejado – de suavização das arestas e menor fragmentação dos polígonos (Figura 26) – ao contrário daquele autor, em que isso só ocorreu com 100 iterações.

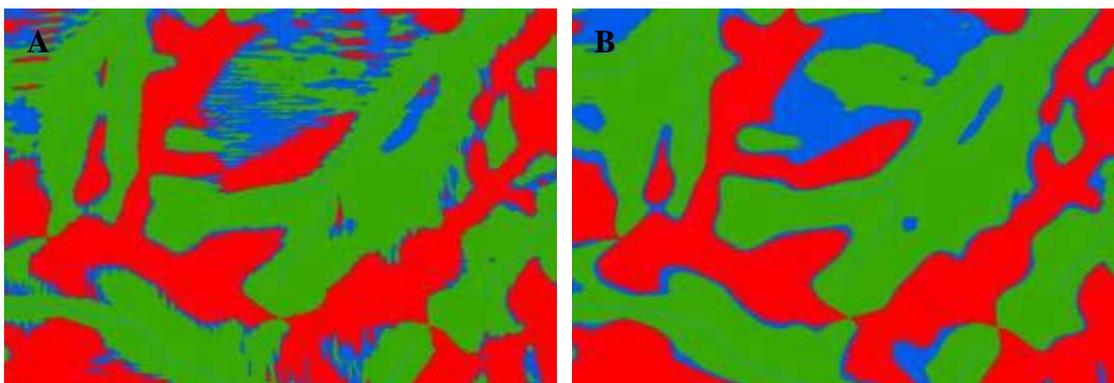


Figura 26: Curvaturas em Planta. **A:** Suavizada com filtro média 21x21 *pixels*, uma iteração. **B:** Suavizada com filtro média 21x21 *pixels*, duas iterações.

Ao se gerar curvas de nível, a partir do MDT suavizado, também se percebe a suavização consequente nelas. Na Figura 27 se percebe que os contornos ficam menos aguçados à medida que o número de iterações dos filtros aumenta, o que gera polígonos mais retilíneos.



Figura 27: Ilustração da suavização das curvas de nível originais (linha verde), com filtro passa baixa 21x21, uma iteração (linha amarela) e com duas iterações (linha rosa).

Após esse procedimento foram determinados os intervalos das classes de cada curvatura, mediante vários ensaios e comparação com a dinâmica das curvas de nível, no caso da curvatura em planta, e do perfil das curvas, na curvatura em perfil. Os ensaios realizados compreenderam valores positivos e negativos de 0,1 a 0,001. A determinação do intervalo do zero é bastante polêmica, não havendo um consenso na literatura; os mesmos devem ser adaptados para cada área, preferencialmente com averiguações em campo, o que não foi realizado nesta pesquisa.

As comparações com as curvas de nível e perfil das curvas levaram a constatação de que intervalos maiores que $-0,1^{\circ}/100\text{m}$ a $+0,1^{\circ}/100\text{m}$ para as áreas

retilíneas são inválidas para esta área de estudo, já intervalos de $-0,04$ a $+0,06$ $\%$ /100m se adequaram bem; seguindo os padrões aproximados determinados por Stabile e Vieira (2009) e as proposições de Valeriano (2003) em que afirma que “uma parcela muito pequena do que estimamos ser retilíneo apresenta curvatura rigorosamente nula, sendo necessária assim uma faixa de tolerância”.

Quanto ao filtro de suavização, Correia (2008) constata que “em termos qualitativos, os efeitos locais são minimizados, entretanto acentua a convexidade nas partes de transição de declividade”. Não se chegou a avaliar as diferenças das áreas de curvatura com a declividade, mas comparou-se as áreas de cada classe de curvatura com os diferentes filtros em um polígono delimitador da Bacia do Paquequer. Percebeu-se uma diminuição significativa do número de polígonos, a medida que o tamanho da janela e das iterações aumentava, conforme os exemplos da Tabela 3 e Tabela 4 ilustram, o que esteve em concordância com o esperado. De maneira geral, a curvatura em perfil demonstrou diferenças percentuais mais expressivas do que a em planta, conforme Tabela 5 e Tabela 6; porém, ambas apresentaram diferenciais mais significativos na classe retilínea. Na curvatura em perfil, talvez tenha havido um subdimensionamento da classe convexa e um superdimensionamento da classe retilínea, isso, pois, o diferencial de representação destas classes é significativo.

Tabela 3: Comparação das Áreas e Polígonos das Classes de Curvatura em Planta com Diferentes Filtragens Média.

| Comparações de Intervalos de Curvatura em Planta em $\%$ /100m | MDT | | Filtro 21x21 1 iteração | | Filtro 21x21 2 iterações | |
|--|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| | Área em km ² | Polígonos | Área em km ² | Polígonos | Área em km ² | Polígonos |
| Convergente: menor que -0,04 | 13,98 | 60299 | 13,97 | 1360 | 14,01 | 624 |
| Retilínea: entre -0,04 e +0,06 | 1,88 | 228332 | 3,39 | 29607 | 3,73 | 1075 |
| Divergente: maior que +0,06 | 15,37 | 53835 | 13,87 | 1596 | 13,49 | 626 |

Tabela 4: Comparação das Áreas e Polígonos das Classes de Curvatura em Perfil com Diferentes Filtragens Média.

| Comparações de Intervalos de Curvatura em Perfil em $\frac{m}{100m}$ | MDT | | Filtro 21x21 1 iteração | | Filtro 21x21 2 iterações | |
|--|----------------|-----------|-------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| | Área em km^2 | Polígonos | Área em km^2 | Polígonos | Área em km^2 | Polígonos |
| Convexa: menor que -0,06 | 14.15 | 31494 | 12.58 | 2762 | 11.72 | 1405 |
| Retilínea: entre -0,06 e +0,06 | 1.83 | 197927 | 4.09 | 50747 | 5.06 | 15432 |
| Côncava: menor que -0,06 | 15.26 | 26453 | 14.57 | 2074 | 14.45 | 1171 |

Tabela 5: Comparação do Diferencial das Áreas das Classes de Curvatura em Planta com Filtragens Média 21x21pixels uma e duas iterações.

| Comparações de Intervalos de Curvatura em Planta em $\frac{m}{100m}$ | % Diferencial Área | | % Diferencial da Representação de cada Classe | |
|--|-----------------------|-----------------------|---|-----------------------|
| | MDT x FILTRO 11x11 1x | MDT x FILTRO 11x11 2x | MDT x FILTRO 11x11 1x | MDT x FILTRO 11x11 2x |
| Convergente: menor que -0,04 | -0.07 | 0.21 | -0.03 | 0.09 |
| Retilínea: entre -0,04 e +0,06 | 80.11 | 98.44 | 4.82 | 5.93 |
| Divergente: maior que +0,06 | -9.74 | -12.23 | -4.79 | -6.02 |

Tabela 6: Comparação do Diferencial das Áreas das Classes de Curvatura em Perfil com Filtragens Média 21x21pixels uma e duas iterações.

| Comparações de Intervalos de Curvatura em Perfil em ‰/100m | % Diferencial Área | | % Diferencial da Representação de cada Classe | |
|--|-----------------------|-----------------------|---|-----------------------|
| | MDT x FILTRO 11x11 1x | MDT x FILTRO 11x11 2x | MDT x FILTRO 11x11 1x | MDT x FILTRO 11x11 2x |
| Convexa: menor que -0,06 | -11.10 | -17.16 | -5.03 | -7.78 |
| Retilínea: entre -0,06 e +0,06 | 123.86 | 177.29 | 7.24 | 10.37 |
| Côncava: menor que -0,06 | -4.54 | -5.31 | -2.22 | -2.59 |

4.1.5 Declividade

A análise da declividade da vertente justifica-se, conjuntamente com sua forma e segmentos do perfil da vertente, por ser condicionante dos processos morfogenéticos atuantes. Conforme afirma Casseti (2005), “de forma geral quanto maior o declive da vertente, maior a intensificação da componente paralela, reduzindo a ação da componente perpendicular. Assim, com o escoamento mais intenso, tem-se o acréscimo do transporte de detritos, adelgaçando o solo ou o material intemperizado”. Por componente paralela entende-se a retirada, transporte e acumulação dos materiais e perpendicular a infiltração. É claro que a resistência mecânica dos agregados do solo também exerce influência considerável nos processos predominantes.

Mediondo e Tucci (1997b), afirmam que “a forma convergente em planta e as declividades acentuadas, favorecem a aparição de caminhos preferenciais a montante e fluxo de retorno e intumescência a jusante”, o que justifica a avaliação da curvatura da vertente.

A declividade foi gerada a partir da ferramenta *Slope* do *3D Analyst Tools*, com uma resolução de dois metros, o qual trabalha com uma máscara de 3x3 pixels. Os dados de entrada foram os MDT's das Bacias do Paquequer e do Soberbo; portanto, o método de suavização utilizado foi o *Topo to Raster*. A declividade gerada foi classificada em seis classes de relevo, com base no Sistema Brasileiro de Solos: plano

(0% a 3% de declividade); suave ondulado (3 a 8%); ondulado (8 a 20%); forte ondulado (20 a 45%); montanhoso (45 a 75%) e escarpado (> 75%).

No entanto, a grande fragmentação das classes, com áreas descontínuas, arestas pontudas e polígonos muito pequenos, conforme Figura 28, levaram a posterior suavização da declividade por meio de filtros passa-baixa, a fim de atenuar os ruídos, prejudiciais às análises.

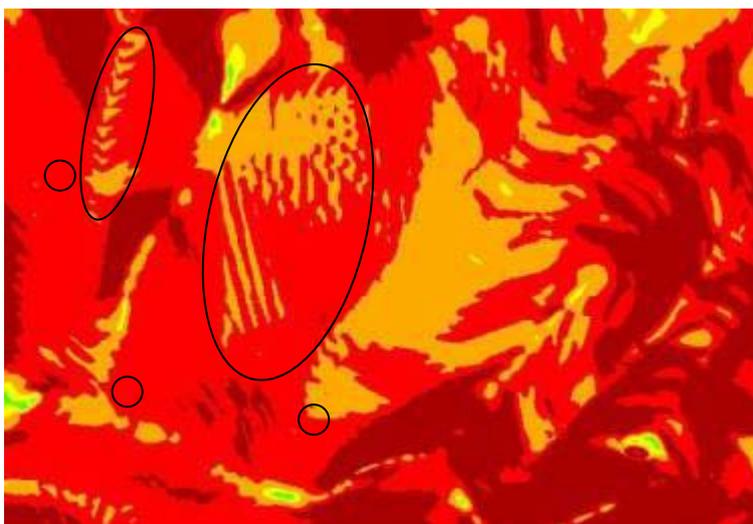


Figura 28: Declividade gerada a partir do MDT. Os círculos destacam polígonos de áreas pequenas e áreas descontínuas e fragmentadas.

Embasado nas constatações de Valeriano (2003), optou-se por aplicar o filtro na imagem de declividade gerada pela ferramenta *Slope* e não no próprio MDT, ainda que o autor tenha utilizado o interpolador por krigagem, ao contrário desta pesquisa, que utilizou o *Topo to Raster*, o que talvez tornasse a comparação inválida. Valeriano (2003) comparou a declividade gerada por MDT suavizado à geração de declividades com altas resoluções, em que ocorre o aumento da dispersão e diminuição da correlação: “A suavização mostrou efeitos inversos quando aplicada antes ou depois do cálculo da declividade pelo SIG. (...) a suavização do MDT diminuiu a exatidão do cálculo da declividade, enquanto a suavização da própria imagem de declividade aumentou a correlação” (Valeriano, 2003). Ainda que neste trabalho não tenha se avaliado geostaticamente as diferentes técnicas – suavização do MDT e da declividade –, como foi feito por Valeriano, em que o autor aplicou análises de regressão (coeficientes de correlação/determinação, equações de ajuste e erro médio) para cada amostra de valor de declividade; constatou-se visualmente que as diferenças das classes de declividade para o MDT suavizado e não suavizado eram mínimas.

Diante disso, aplicou-se, num primeiro momento, o filtro de média (o mesmo aplicado na curvatura da vertente) no arquivo de declividade gerado pelo MDT original. Testou-se tamanhos de janelas aleatórios de 7x7, 11x11 e 21x21 *pixels*, a fim de verificar as diferenças de suavização. Nestas, ainda se percebeu muitas áreas fragmentadas, dessa forma se optou por testar outros filtros.

O material didático consultado demonstrou que a suavização conservativa, precisamente o filtro de mediana, apresentaria resultados mais condizentes com os esperados. Define-se a suavização conservativa como uma técnica de redução de ruídos que tem seu nome derivado do fato de empregar um algoritmo simples e rápido de filtragem que elimina o ruído de forma a manter os detalhes de altas frequências como os contornos da imagem.

Os filtros de mediana reduzem o *blurring* (ruído) e preservam o *edging* (contorno), através da determinação do valor da mediana no elemento central da janela. Nesta técnica, o nível de cinza de cada *pixel* é substituído pelo valor mediano de níveis de cinza na vizinhança daquele *pixel*. A fim de implementar o filtro da mediana o primeiro passo é ordenar os valores da vizinhança que pode ser 3x3, 5x5, 7x7 *pixels* ou até maiores de acordo com a necessidade. Em seguida toma-se o valor central da classificação e atribui-se esse valor ao *pixel* que deverá ser substituído. Desta forma, a função principal do filtro da mediana é reforçar os pontos cujas intensidades são próximas dos seus vizinhos eliminando pontos isolados que apareçam na área de filtragem. Esse é considerado o melhor filtro para a preservação do contorno.

Com o filtro de mediana se testou as máscaras mais usadas de 3x3, 5x5 e 7x7 *pixels*. Evitou-se máscaras maiores, a fim de não gerar grandes atenuações, as quais poderiam comprometer o valor original. De acordo com Valeriano (2003) a suavização da declividade obtida em SIG trouxe vantagens até a quarta aplicação sucessiva, quando o coeficiente de determinação atingiu o máximo. Novamente, embasando-se na constatação de Valeriano (2003), realizou-se quatro iterações de filtro de mediana em cada máscara, a fim de comparar os resultados, tanto com relação às áreas de cada classe de declividade, como o número de polígonos e também uma avaliação visual.

As comparações percentuais das áreas entre as classes geradas por diferentes máscaras do filtro mediana demonstraram variações negativas um pouco mais expressiva na classe 1, de 0 a 3% (Tabela 8), ainda que à área representada por essa

classe na área de estudo não tenha sido expressivas. Com relação às diferenças de áreas representadas por cada classe no terreno, as variações foram mais expressivas, com aumento positivo, na classe 5, de 45 a 75% (Tabela 9). Já o número de polígonos gerados entre as classes apresentaram variação significativa equiparável em todas as classes (Tabela 8), como se esperava. Estranhamente, não se percebeu uma variação linear entre a representação percentual dos polígonos em cada classe ao longo do aumento da máscara do filtro (Tabela 9).

Tabela 7: Variação de Área e do Número de Polígonos das Classes de Declividade entre as Diferentes Máscaras do Filtro Mediana Aplicadas.

| Compara- ções | MDT | | Filtro Mediana 3x3 4 iterações | | Filtro Mediana 5x5 4 iterações | | Filtro Mediana 7x7 4 iterações | |
|---------------------|----------------------------|--------|-----------------------------------|--------|-----------------------------------|--------|-----------------------------------|--------|
| | Área em Km ² | Políg. | Área em Km ² | Políg. | Área em Km ² | Políg. | Área em Km ² | Políg. |
| 1 = 0 A 3% | 0,13 | 245 | 0,13 | 149 | 0,12 | 85 | 0,11 | 60 |
| 2 = 3 A 8% | 0,89 | 677 | 0,89 | 471 | 0,86 | 286 | 0,83 | 212 |
| 3 = 8 A 20% | 2,71 | 1478 | 2,72 | 1245 | 2,66 | 829 | 2,60 | 635 |
| 4 = 20 A 45% | 8,13 | 2072 | 8,12 | 1785 | 8,16 | 1134 | 8,18 | 834 |
| 5 = 45 a 75% | 10,38 | 1951 | 10,39 | 1775 | 10,53 | 1114 | 10,70 | 778 |
| 6 = acima de 75% | 8,99 | 1749 | 8,98 | 1318 | 8,90 | 868 | 8,81 | 631 |

Tabela 8: Diferença Percentual das Áreas e Número de Polígonos entre as Classes de Declividade.

| Compara- ções | % MDT X 3x3 | | % MDT X 5x5 | | % MDT X 7x7 | |
|------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | Área | Polígonos | Área | Polígonos | Área | Polígonos |
| 1 = 0 A 3% | -0,39 | -39,18 | -11,08 | -65,31 | -18,75 | -75,51 |
| 2 = 3 A 8% | 0,18 | -30,43 | -2,98 | -57,75 | -6,13 | -68,69 |
| 3 = 8 A 20% | 0,25 | -15,76 | -1,68 | -43,91 | -4,10 | -57,04 |
| 4 = 20 A 45% | -0,08 | -13,85 | 0,40 | -45,27 | 0,67 | -59,75 |
| 5 = 45 a 75% | 0,08 | -9,02 | 1,37 | -42,90 | 3,06 | -60,12 |
| 6 = acima de 75% | -0,11 | -24,64 | -0,98 | -50,37 | -2,03 | -63,92 |

Tabela 9: Diferença do Percentual Representativo das Áreas e Número de Polígonos de Cada Classe de Declividade no Terreno Analisado.

| Compara- ções | % MDT X 3x3 | | % MDT X 5x5 | | % MDT X 7x7 | |
|------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | Área | Polígonos | Área | Polígonos | Área | Polígonos |
| 1 = 0 A 3% | 0,00 | -0,79 | -0,05 | -1,03 | -0,08 | -1,09 |
| 2 = 3 A 8% | 0,01 | -1,30 | -0,08 | -1,66 | -0,17 | -1,55 |
| 3 = 8 A 20% | 0,02 | 0,38 | -0,15 | 1,12 | -0,36 | 2,07 |
| 4 = 20 A 45% | -0,02 | 1,12 | 0,10 | 0,92 | 0,18 | 1,12 |
| 5 = 45 a 75% | 0,03 | 2,45 | 0,46 | 1,94 | 1,02 | 0,82 |
| 6 = acima de 75% | -0,03 | -1,86 | -0,28 | -1,29 | -0,58 | -1,37 |

As baixas variações das diferenças percentuais de cada classe nos filtros analisados, aliado a maior suavização do filtro mediana 7×7 pixels com quatro iterações (Figura 29), levaram a escolha deste nas análises em questão.



Figura 29 **A**: Exemplo de Área de Declividade com Filtro Mediana 3x3 com 4 iterações. **B**: Declividade com Filtro Mediana 5x5 com 4 iterações. **C**: Declividade com Filtro Mediana 7x7 com 4 iterações. Círculo destaca a área com maior suavização.

4.1.6 Orientação da Vertente

A orientação da vertente é uma derivada de primeira ordem da altimetria. É uma medida de ângulo horizontal, geralmente expressa em azimuth, isto é, em relação ao norte geográfico, onde o valor é 0° ou 360° , crescendo dessa direção, no sentido horário. A variável orientação da vertente foi considerada por sua possível influência nos gradientes de insolação e umidade o que condicionaria ambientes físicos diferentes nas vertentes. Supôs-se que elas poderiam ter influência na dinâmica das trilhas, principalmente com relação aos trechos com maior ou menor acúmulo de água.

Assim como nas variáveis curvatura da vertente e declividade, a orientação da vertente também foi gerada a partir da ferramenta *3D Analyst Tools* do ArcGis 9.2. Pelos polígonos gerados pelo programa também serem muito fragmentados, aplicou-se um filtro passa baixa (média) a fim de suavizar a imagem. Neste caso, o filtro 7×7 pixels com duas iterações se mostrou eficiente (Figura 30); ainda que a diferença para com uma iteração não tenha sido tão expressiva, optou-se por adotá-lo, tendo em vista que houve uma suavização um pouco maior das arestas.

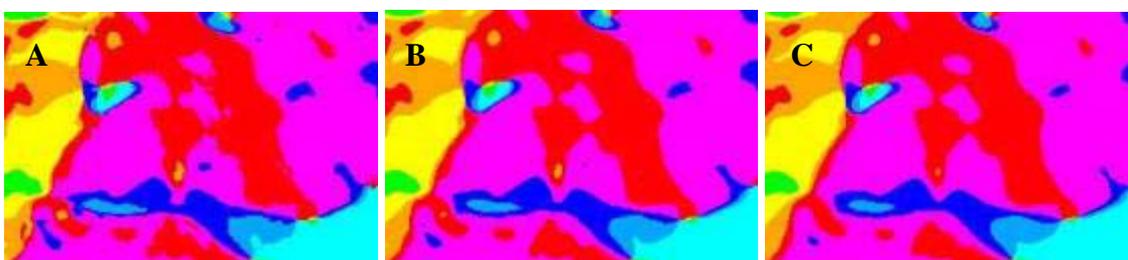


Figura 30: Exemplo de Orientação da Vertente gerada do MDT (**A**), com filtro passa baixa 7×7 , uma iteração (**B**) e duas iterações (**C**).

Adotou-se as próprias dez classes de orientação da vertente geradas pela ferramenta *3D Analyst Tools*, foram elas: -1° : plano; $0-22,5^\circ$ e $337,5-360^\circ$: norte; $22,5-$

67,5°: nordeste; 67,5-112,5°: leste; 112,5-157,5°: sudeste; 157,5-202,5°: sul; 202,5-247,5°: sudoeste; 247,5-292,5°: oeste; 292,5-337,5°: noroeste.

4.1.7 Alinhamento com as Curvas de Nível

Com base no referencial bibliográficos de trilhas (Bryan, 1977; Leung e Marion, 1996; e Olive e Marion, 2009), o alinhamento das trilhas com as curvas de nível é considerado um fator de grande importância nas condições de degradação dessas; portanto, considerou-se relevante o avaliar. Trilhas com baixo ângulo de alinhamento, perpendiculares à declividade, seriam mais susceptíveis à degradação. Trilhas que são paralelas às curvas de nível possuem um alto alinhamento com o ângulo da encosta, o que diminuiria a probabilidade de incisões.

Essa variável não foi passível de ser medida quantitativamente, sua avaliação foi apenas qualitativa, a partir da verificação do acompanhamento dos trechos do traçado das trilhas – estabelecidos na etapa de levantamento das variáveis de nível 0, conforme será exposto – às curvas de nível e ao MDT. Devido a isso e à escala relativamente reduzida do traçado das trilhas, decorrente da utilização de um GPS de navegação, atribui-se a essa variável um grau moderado de incerteza e subjetividade.

4.1.8 Distância da Drenagem

A distância da drenagem também foi avaliada, a fim de correlacioná-la com solos mais úmidos, encharcados e com concentração de água ao longo das trilhas. Pretendeu-se indicar aos planejadores a partir de qual distância da drenagem das trilhas seria necessário implantar técnicas de manejo de drenagem, como a colocação de pontes ou canais de drenagem nas distâncias mais próximas e cascalho ou rochas na superfície das trilhas naquelas um pouco mais afastadas.

A distância da drenagem foi gerada a partir da ferramenta *Path Distance* do *Spatial Analyst Tools* do ArcGis 9.2, tendo como informação de entrada os rios da base cartográfica fornecida pelo PARNASO. As distâncias geradas foram classificadas em 13 classes, a cada 10 metros (0-10m, 10-20m, 20-30m e assim sucessivamente) até 100 metros (resultando em 10 classes), e de 100-200m, 200-400m e acima de 400m. Essa classificação levou em consideração, primeiramente, o erro planimétrico do traçado das

trilhas, o qual é provável que estivesse ao redor de 15m, logo, distanciamento muito menores do que esses seriam inválidos. Também levou em consideração a resolução número 303 do Conama que determina as áreas de preservação permanente ao longo das faixas marginais das drenagens com diferentes dimensões.

Ressalta-se que os intervalos determinados deveriam ter sido melhor fundamentados e possivelmente não sejam os mais adequados; no entanto, enfatiza-se que são apenas intervalos norteadores, fundamentados primordialmente no erro planimétrico atingido nesta pesquisa. Caso se tivesse atingido um erro menor, teria se optado por um intervalo menor, principalmente pelos rios da área serem bastante encaixados, consequência de um relevo escarpado. Em regiões mais planas esse intervalo pode ser maior.

4.2 Variáveis das Trilhas: Nível 0

As informações do nível 0 referem-se às trilhas, objeto de estudo da presente pesquisa. Nesse âmbito foi realizada uma pesquisa descritiva, a partir de um inventário das trilhas relacionado às suas características gerais, um levantamento da manutenção e de suas condições gerais, relacionadas principalmente aos distúrbios mais correntes. A definição das variáveis específicas levantadas em cada grupo (Figura 31) foi embasada na bibliografia consultada. O método para avaliação da manutenção e condições das trilhas foi o censal (*census-based*), a fim de subdividi-las em trechos homogêneos.



Figura 31: Fluxograma das Variáveis Associadas às Trilhas, Nível 0. Elaborado por L. Kroeff.

As características gerais averiguadas das trilhas, relacionadas ao inventário, foram extensão do percurso, tempo de existência, intensidade de uso e declividade do leito. O tempo de existência e a intensidade de uso das trilhas foram avaliados por meio de entrevistas com os planejadores do PARNASO e de informações contidas no Plano de Manejo do Parque.

As variáveis relacionadas às condições gerais, ou distúrbios, verificadas foram mensuradas em campo com utilização de trena, fita métrica, clinômetro (para mensuração da declividade do leito em graus) e GPS Garmin Map 60csx. A Tabela 10 foi preenchida ao longo de cada trilha. Essas variáveis permitiram a subdivisão delas em trechos similares. Posteriormente, procurou-se obter uma amostra de solo – para gerar as variáveis de nível -1 – em cada trecho das trilhas.

Tabela 10: Informações contidas nas fichas de campo para análises de nível 0.

| Nº pto. | Coordenada | | Exposição Raízes | | | | Exposição Rochas | | | | Acumulação H ² O | | | |
|---------|------------|---|------------------|-------|-------|---------|------------------|-------|-------|---------|-----------------------------|-------|-------|---------|
| | E | N | Não ocorre | pouca | média | elevada | Não ocorre | pouca | média | elevada | Não ocorre | pouca | média | elevada |
| | | | | | | | | | | | | | | |

| Formação de Degraus | | | Altura Degrau | Declividade | Registro Fotos | Observações de Manejo |
|---------------------|----------------|----------------|---------------|-------------|----------------|-----------------------|
| ausente | Pouco presente | Muito presente | | | | |

Autoria: L.L. Kroeff, 2010.

Realizou-se também um levantamento geral das técnicas de manejo implantadas ao longo da trilhas, principalmente com referência aos troncos no leito da trilha, à colocação de rochas em áreas mais declivosas ou úmidas e à drenagem da água por meio de tubos, quando a trilha cruza riachos (cursos d'água de menor porte) e pontes, quando ela cruza rios (cursos d'água de maior porte). Objetivou-se diagnosticar de maneira geral se ocorreu atenuação dos impactos nessas áreas.

Os fatores depreciativos em foco avaliados foram existência de sulcos, degraus, acúmulo de água, exposição de raízes e rocha no leito da trilha. Esses buscaram estimar em âmbito qualitativo a intensidade da erosão no leito das trilhas e avaliar a necessidade de intervenção com técnicas de manejo, ou a eficiência delas, quando já foram feitas. Essas características foram classificadas em quatro intensidades: não ocorre, pouca, média (somente em alguns parâmetros) e elevada. As duas dispensariam a intervenção de técnicas de manejo e as duas últimas alertariam para a necessidade de, ou, quando já existente, para a melhoria das mesmas. As especificações de cada parâmetro a seguir buscaram diminuir o grau de subjetividade das análises.

Para avaliações quantitativas, seria necessária a medição da área da seção transversal, ação que não se fez por considerá-la muito imprecisa em terrenos declivosos, como os das trilhas avaliadas, conforme foi exposto por Farrel e Marion (2002). A averiguação se a área da seção foi gerada pela abertura da trilha ou pelos processos erosivos seria duvidosa. Previu-se, inicialmente, avaliar também a largura da trilha, porém ela demonstrou uma regularidade muito grande em campo, sempre ao redor de 0,80 metros, o que levou a sua desconsideração.

A constatação da existência de sulcos ocorreu quando visualmente foi averiguado o aprofundamento anormal do leito da trilha, decorrente, principalmente, do fluxo concentrado de águas. Caseti (2005) afirma que os sulcos:

... encontram-se relacionados ao fluxo por terra, que se concentra em função das condições topográficas (caminhos preferenciais), entendidos como rotas de organização do escoamento superficial. O fenômeno encontra-se associado às características dos componentes intrínsecos, como declividade e resistência mecânica dos agregados que compõem o material intemperizado, favorecendo o grau de incisão vertical da erosão.

A formação de sulcos foi classificada como ausente, quando não observado nenhum sulco; pouco presente, quando observados sulcos ocasionais e muito presente, quando observados sulcos contínuos.

A formação de degraus foi associada aos trechos em que a trilha aparenta uma escada, conforme Figura 32, enfatizada, muitas vezes, pela colocação de troncos no leito da trilha; devido a isso se buscou avaliar a validade dessa técnica de manejo. Constatações de campo levaram ao questionamento de sua efetividade, uma vez que em algumas áreas eles parecem acentuar ainda mais os degraus.

Os degraus tendem a ser mais correntes nas declividades mais acentuadas do leito da trilha. A formação de degraus foi classificada como ausente, quando não observado nenhum degrau; pouco presente, quando observados degraus ocasionais; e muito presente, quando observados degraus contínuos, por grandes extensões.



Figura 32: Exemplo de formação de degraus no leito da trilha, com manejo de troncos. Foto: Lia Kroeff (abril/2009).

O acúmulo de água no leito foi associado às áreas sem presença de água (não ocorre), pouca, quando o solo está barroso, média, quando o solo está encharcado, e elevada quando se formam poças e até pequenos canais no leito da trilha, como na Figura 33. As duas primeiras classificações não necessitariam intervenção de manejo, já as duas últimas sim. Na classe ‘média’, a colocação de pedras tende a solucionar o problema, já na elevada se torna necessária a intervenção com drenagem ou até instalações de pequenas passarelas/pontes, para distanciar a trilha da drenagem.



Figura 33: Trecho com elevada concentração de água, em que ocorrem poças no leito da trilha. Foto: Lia Kroeff (abril/2009).

A exposição de raízes de espécies arbóreas na superfície do leito da trilha foi classificada da seguinte forma: nenhuma, pouca, média ou elevada, as quais correspondem a aproximadamente 0%, 1 a 10%, 11 a 50% e > 50% de raízes expostas no leito da trilha. Esse parâmetro também dimensiona qualitativamente a quantidade de solo perdido. As classificações estão associadas ao tipo de vegetação; mas, em geral, a classe pouca, costumou ser a mais comum, dificilmente não houve nenhuma exposição de raiz ao longo do leito da trilha. Média ou elevada, Figura 34, são parâmetros mais subjetivos, associados a maior presença ou à dominância do leito por raízes.



Figura 34: Elevada exposição de raízes. Foto: Lia Kroeff (abril/2009).

A exposição de rocha na superfície do leito da trilha foi classificada utilizando as seguintes classes: nenhuma, pouca, média ou muita, as quais correspondem a 0%, 1 a 10%, 11 a 50% e > 50% de rocha exposta na extensão avaliada. Neste caso é importante salientar se as rochas são fruto de manejo, ou de afloramentos, consequentes da erosão. Assim como a vegetação, possivelmente esse fator esteja muito mais relacionado às variáveis do meio, como segmentos da encosta, do que ao grau de degradação da trilha.

As análises de nível 0 envolveram ainda a segmentação das trilhas em áreas homogêneas, resultado dos levantamentos de campo. Somente após essa etapa, as análises de nível -1 foram realizadas.

Devido à grande extensão da trilha do Sino, cerca de 11km, o levantamento de suas condições neste trabalho não foi tão detalhado como nas outras trilhas, não tendo sido preenchida a Tabela 10. Foram realizadas duas saídas de campo, uma em julho e outra em novembro, nas quais se verificou, mediante anotações pontuais, as condições gerais da trilhas, os pontos com concentração de água, existência de sulcos, elevada exposição de raízes e rochas e pontos com técnicas de manejo, como colocação de rochas e/ou serrapilheira e escoamento da água do leito da trilha. Os cruzamentos de rios e riachos também foram demarcados, conforme já foi mencionado.

Na trilha do Cartão Postal foram realizados quatro levantamentos de campo (abril, julho, setembro e novembro), devido às dúvidas que surgiram nos primeiros, decorrência da inexperiência de campo, em todos a Tabela 10 foi preenchida. Já na trilha

do Poço Verde foi realizado apenas dois levantamentos, um em setembro e outro em novembro.

4.3 Nível -1: Variáveis e Propriedades do Solo:

As análises em nível mais detalhado se limitaram ao solo, por estarem mais intimamente relacionadas ao impacto mais expressivo e de maior preocupação dos administradores, a erosão das trilhas. Uma vez que as trilhas estão desprovidas de vegetação, as pesquisas não se centraram na variável vegetação. Nesse nível -1, o impacto do pisoteio humano aparenta obter uma maior influência.

As propriedades avaliadas fundamentam-se nas pesquisas realizadas por Takahashi *et al.* (2005), em que são verificados os melhores indicadores de avaliação de impacto ambiental de trilhas, e em Seabra (1999). Foram avaliadas a densidade real ou de partículas e a densidade aparente ou do solo e a textura do solo. Além dessas, também foi averiguada a variável do solo umidade, conforme Figura 35.



Figura 35: Fluxograma de Variáveis Avaliadas em Nível -1, Propriedades do Solo. Elaborado por L. Kroeff.

Ainda que Takahashi *et al.* (2005) tenha alertado para a relevância da avaliação da macroporosidade e microporosidade, essas análises não foram realizadas pela indisponibilidade de tais equipamentos no Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Geografia da UFRJ. A resistência à penetração nas camadas de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm de profundidade foi averiguada em campo com o equipamento penetrômetro. Porém, a grande discrepância desses dados e a dificuldade para zerá-lo, levam a crer que ele estava desregulado; por isso esses dados não foram considerados.

A fim de que os preceitos das pesquisas comparativas entre áreas impactadas e não-impactadas fossem seguidos, as variáveis e propriedades do solo foram mensuradas

no leito das trilhas e fora da área de influência delas, a fim de se realizar mensurações em áreas com e sem distúrbio e posteriormente compará-las com as variáveis ambientais das trilhas, para estimar as mudanças ocasionadas pelo uso recreativo e também ao longo do tempo. Além das diferentes localidades, foram realizadas mensurações em diferentes profundidades, precisamente de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm. As avaliações buscaram a verificação do quanto o pisoteio humano altera as propriedades físicas do solo, principalmente até qual profundidade, além daquelas mais afetadas e se elas alcançam níveis críticos que tornariam o solo muito susceptível à erosão.

Ao todo foram coletadas 152 (cento e cinquenta e duas) amostras de solo nos dias 19, 21 e 26 de novembro de 2009 – um dia em cada trilha – sendo 76 (setenta e seis) amostras indeformadas (19 amostras de solo de 0-5cm e 19 de 5-10cm no leito da trilha e mais 19 amostras de solo de 0-5cm e 19 de 5-10cm a três metros da trilha), retiradas com o extrator e armazenadas no anel volumétrico – os quais foram protegidos com o tecido morim e embalados com papel filme de plástico – para análise da densidade real e aparente e da umidade volumétrica do solo. Outras 76 (setenta e duas) amostras deformadas foram retiradas com o trado e colocadas em um saco plástico para análise da textura. Todas as amostras foram armazenadas em um isopor com serragem, para conservarem a temperatura. As especificidades de cada amostra e a escolha dos pontos estão expostas no capítulo de resultados, uma vez que se associam com os distúrbios averiguados nas trilhas.

Para melhor organização das amostras, todas foram identificadas em campo com os códigos das trilhas onde foram coletadas: S (Trilha do Sino), C (Trilha do Cartão Postal) e P (Trilha do Poço), do local: L (leito) ou B (*buffer*, a três metros do leito), número da amostra e profundidade: 0-5 cm ou 5-10 cm. Posteriormente, as amostras foram analisadas com base nos procedimentos previstos no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (1997) no Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Geografia da UFRJ.

A comparação dos resultados entre as amostras de diferentes localidades – leito da trilha e a 3 metros – e profundidades – 0 a 5cm e de 5 a 10cm -, assim como, entre as diferentes trilhas, igualmente por localidade e profundidade, foram feitos pela análise da variância ou ANOVA; a qual é considerada um procedimento muito útil para comparações, uma vez que é um teste de hipóteses de médias de duas ou mais populações. Ressalta-se que para este trabalho as comparações mais importantes são por

localização nas diferentes profundidades e por trilhas, porém, como se obtinha os dados, optou-se por realizar também as comparações por profundidades no leito das trilhas e a três metros e nas diferentes trilhas, a fim de averiguar alguma discrepância dos dados, ou tendências. O objetivo da análise de variância é avaliar se as diferenças observadas entre as médias das amostras são estatisticamente significantes; logo, buscou-se compreender não o quanto as médias amostrais estão distantes, mas o quão distantes estão relativamente à variabilidade de observações individuais.

Foram aplicadas as análises ANOVA simples (*one-way*), pelo fato das análises terem um único fator, ou seja, por existir uma única variável de interesse. Em particular, a partir da ANOVA, testou-se se as várias populações possuíam a mesma média, mediante a comparação do afastamento entre as médias amostrais com a variação existente dentro das amostras, a partir da estatística F da ANOVA. O ponto de referência de F é 3,84, valores menores não são significantes. A partir do valor F, avaliou-se a probabilidade de significância (p-valor) da amostra. Utilizou-se o p-valor padrão de 5% (0,05); logo, quanto mais próximas de zero, mais significativas foram consideradas as comparações entre as amostras.

Cada amostra obtida no leito das trilhas também foi comparada com a amostra obtida a três metros, a partir do coeficiente de variação. Tendo em vista que as maiores alterações se dão nas superfícies das trilhas (de 0-5cm), verificou-se o coeficiente de variação das amostras superficiais (0-5cm) e das duas juntas (0-5cm e 5-10cm), a fim de avaliar até que profundidade foram as alterações.

O coeficiente de variação é a estatística utilizada quando se deseja comparar a variação de conjuntos de observações que diferem da média ou que são medidos em grandezas diferentes (unidades de medição diferentes), logo, caracteriza a dispersão ou variabilidade dos dados em termos relativos ao seu valor médio. Esse coeficiente é dado pela razão entre o desvio-padrão e a média referentes aos dados de uma mesma série. Segundo Pimentel Gomes (2000), um coeficiente de variação considerado alto é inferior a 10%, logo, o experimento possui alta precisão, valores de 10 a 20% são considerados médios e de boa precisão; 20 a 30% alto, com baixa precisão e acima de 30% muito alto. Este trabalho levará em consideração a classificação de Pimentel Gomes (2000), ainda que se saiba que ela não leva em consideração as especificidades deste estudo. A inconveniência do coeficiente de variação é a inexistência de valores negativos, o que torna mais difícil sua análise, tendo que ser feita em conjunto com avaliações

diferenciais percentuais. Mesmo assim, considera-se interessante a utilização desse coeficiente para facilitar a comparação dos dados em pesquisas futuras.

A avaliação do coeficiente de variação objetivou justificar diferenças significativas, para tanto, averiguou-se, a partir das comparações entre as próprias propriedades do solo e, quando essas não eram suficientes, a partir de comparações entre as variáveis de nível +1 e 0, condições do meio diferenciadas. No entanto, algumas delas, principalmente associadas à variável textura, não foi possível explicar, por não haver correlação com as demais variáveis. Supõe-se então que elas sejam decorrentes de alterações em nível de microtopografia.

4.3.1 Densidade Real ou de Partículas

A densidade de partículas é uma característica intrínseca do solo, dependente apenas dos constituintes da fração sólida do solo e determinada pela proporção relativa de material mineral e orgânico e suas respectivas densidades. “Pelo fato da densidade da matéria orgânica variar de 1,0 a 1,3 Mg/m³ e a densidade da parte mineral variar de 2,50 a 5,20 Mg m⁻³ (Ferreira & Dias Júnior, 1996 *apud* Mendes *et al.* 2006), valores próximos a estes podem indicar dominância de partículas orgânicas ou minerais em sua fase sólida”.

Assim como na densidade aparente, exposto a seguir, os valores padrão da densidade real parecem não ser consenso, Kiehl (1979, *apud* Mendes *et al.*, 2006) afirma que os valores variam entre 2,30 e 2,90 g/cm³. Segundo o autor, seu valor médio, para efeito de cálculos, é de 2,65 g/cm³, o que se justificaria pelos minerais predominantes nos solos serem o quartzo, os feldspatos e os silicatos de alumínio coloidais, cujas densidades reais estão em torno de 2,65 g/cm³. Dessa forma, seus valores auxiliariam na identificação dos minerais preponderantes no solo, principalmente com relação aos componentes minerais ou orgânicos.

A densidade de partículas foi mensurada a partir do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico como solo seco no fundo.

$$\text{Densidade de Partículas (g/cm}^3\text{)} = a/50-b$$

Legenda: a = peso da amostra seca a 105°C; b = volume de álcool gasto

4.3.2 Densidade do Solo, Aparente ou Global

O principal impacto a ser avaliado é a compactação do solo. A compactação ocorre quando é aplicada pressão à superfície do solo. A pressão altera as propriedades do solo, nomeadamente a porosidade e a permeabilidade. Com a compactação, os poros deixam de estar interligados, consequência da redução principalmente dos macroporos ou porosidade de aeração (poros maiores que 50 μ m). Isso impede a circulação do ar e da água no solo, reduzindo a disponibilidade destes e prejudicando o crescimento das raízes. A compactação reduz a capacidade do solo para reter água e fornecer oxigênio às raízes das plantas. Quando a capacidade de retenção de água do solo baixa, os rendimentos diminuem, o escoamento de água aumenta e o solo se torna mais vulnerável à erosão (Projeto SoCo, p. 1).

Quanto maior a compactação, menor a porosidade total, maior a densidade aparente do solo e a resistência à penetração. A densidade aparente, ou densidade do solo, é a relação entre a massa de solo seco a 110°C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros (Prevedello, 1996 *apud* Vashchenko, 2006).

A densidade aparente, em geral, aumenta com a profundidade do perfil devido às pressões exercidas pelas camadas superiores provocando a compactação, reduzindo a porosidade. A movimentação de material fino dos horizontes superiores (eluviação) também contribui para a redução dos espaços porosos aumentando a densidade aparente dessas camadas.

Avaliar-se-á somente as camadas de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm por estudos do efeito do pisoteio animal sobre as propriedades físicas do solo demonstrarem à limitação dos mesmos às camadas mais superficiais do solo (Trein *et al.*, 1991 *apud* Bragagnolo *et al.*, 2007). Bragagnolo *et al.* (2007) verificaram também que a compactação do solo decorrente do pisoteio bovino, durante os três anos de duração do estudo, segundo os valores de densidade do solo, limitou-se à camada superficial do solo, de 0 a 5 cm de profundidade.

Mendes *et al.* (2006) afirmam que é difícil definir padrões críticos de densidade do solo, ou aparente. No entanto, o autor afirma que “valores em torno de 1,0; 1,1 e 1,3 g/cm⁻³ podem ser encontrados em solos sem interferência antrópica, em solos cultivados ou sob intenso tráfego, respectivamente”. A inconstância nos valores críticos de DA pode ser percebida pelos valores citados como normais por outros autores, Sengik

(2005) afirma que em solos minerais os valores costumam variar de 1,10 a 1,60 g/cm⁻³, já em solos orgânicos, a densidade do solo é inferior a unidade, achando-se valores entre 0,60 a 0,80 g/cm⁻³.

Valores de relações entre densidade aparente (ou global), porosidade total e tamanho de poros em solos mais arenosos e argilosos são considerados consenso, conforme demonstra Tabela 11.

Tabela 11: Relações entre Dg, Pt e o tamanho de poros em função da textura do solo

| Textura | Densidade Global | Porosidade Total | Varição da Dg em g/cm ³ | Tamanho de Poros |
|----------|------------------|------------------|------------------------------------|------------------|
| Arenosa | Maior | Menor | 1,4 a 1,8 | Macroporos |
| Argilosa | Menor | Maior | 0,9 a 1,6 | Microporos |

Valores inconstantes de densidade do solo, justificam a recomendação de Mendes *et al* (2006) de se comparar valores obtidos nas áreas em estudo com outros valores de áreas comprovadamente não compactadas, preferencialmente com mesmo tipo de solo e relevo, para fins de avaliação da qualidade do solo. Suzuki *et al* (2008) ainda salientam que a densidade inicial do solo permite avaliar a susceptibilidade deste à compactação; solos com maior densidade inicial apresentaram menor susceptibilidade à compactação e menor deformação, quando submetidos a pressões externas. Essas constatações determinaram a verificação das variáveis do solo nesta pesquisa tanto no leito da trilha como a aproximadamente três metros, em áreas não pisoteadas.

A densidade aparente foi calculada a partir do anel volumétrico de aço (Kopecky) com volume de 50cm³.

$$\text{Densidade aparente (g/cm}^3\text{)} = a / b$$

Legenda: a = peso da amostra seca a 105°C, b = volume do cilindro

4.3.3 Textura

A textura, ou análise granulométrica, foi mensurada a partir do método da pipetagem da Embrapa (1997), o qual se baseia na velocidade de queda das partículas do solo. Os percentuais de areia grossa e fina foram calculados a partir da separação da fração de areia por uma peneira de malha 0,2mm (nº 70). As amostras foram classificadas perante os parâmetros da USDA (Departamento de Agricultura do Estados Unidos), em que a partir da proporção de areia, silte e argila o solo é dividido em doze classes (anexo 1).

Devido à grande umidade das amostras, foi necessário esperar até 4 dias para a sua análise, do contrário, o processo de destorroar se tornava complicado. Em algumas amostras mais úmidas foi necessário retirá-las do saco plástico e colocá-las em potes de alumínio para secarem.

Lima (2004) coloca que fatores externos e internos condicionam a resposta do solo à compactação e conseqüentemente à degradação da sua qualidade estrutural. Os fatores externos são caracterizados pelo tipo, intensidade e frequência da pressão exercida; já os internos pelas propriedades físicas, mais especificamente pelo teor de carbono orgânico, pela textura e umidade do solo. Bragagnolo *et al.* (2007) também destacam a importância da textura no grau de compactação.

A textura refere-se à proporção das frações argila, areia e silte. Lepsch (2002) classifica as frações granulométricas em calhaus (diâmetro médio de 200 a 20 mm), cascalho (20 a 2 mm), areia (2 a 0,05mm), silte (0,05 a 0,0002 mm) e argila (< 0,002 mm). É a propriedade física do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo. A textura depende da rocha de origem e de seu grau de intemperização.

Medeiros *et al.* (2006) classifica o solo perante três classes principais com suas características predominantes:

Solos de Textura Arenosa (Solos Leves) - Possuem teores de areia superiores a 70% e o de argila inferior a 15%; são permeáveis, leves, de baixa capacidade de retenção de água e de baixo teor de matéria orgânica. Altamente susceptíveis à erosão, necessitando de cuidados especiais na reposição de matéria orgânica, no preparo do solo e nas práticas conservacionistas. Possuem baixa capacidade de retenção de água, o que ocasiona uma alta taxa de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, elevadas perdas por percolação.

Solos de Textura Média (Solos Médios) - São solos que apresentam certo equilíbrio entre os teores de areia, silte e argila. Normalmente, apresentam boa drenagem, boa capacidade de retenção de água e índice médio de erodibilidade.

Solos de Textura Argilosa (Solos Pesados) - São solos com teores de argila superiores a 35%. Possuem baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água. Esses solos apresentam maior força de coesão entre as partículas. Embora sejam mais resistentes à erosão, são altamente susceptíveis à compactação.

Pela relevância desse fator essa variável também foi mensurada a partir de amostras indeformadas nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm.

4.3.4 Umidade Volumétrica

A medida da umidade é importante para o melhor entendimento do comportamento de distribuição e armazenamento de água no solo. Os teores médios de umidade e os gradientes mudam conforme o lugar na vertente. Nos experimentos realizados, por exemplo, por Mediondo e Tucci (1997b) foram verificados gradientes de umidade de 28,4 % e 6,1 % por metro de profundidade, nas partes baixas e altas da vertente, respectivamente. Destaca-se que a umidade não é uma propriedade do solo, uma característica intrínseca, mas sim, uma variável, um valor mutante de acordo com o regime de chuvas.

O teor umidade do solo parece influenciar no grau de compactação do mesmo. “Além da textura, a umidade é o fator que determina a magnitude de deformação que pode ocorrer no solo no momento de aplicação da pressão, pois atua como lubrificante entre as partículas, permitindo o deslocamento das mesmas, o qual é favorecido à medida que a umidade aumenta (Lima, 2004, p. 6)”.

Segundo Hillel (1980), o solo com baixo conteúdo de água torna-se mais resistente em razão da dureza de sua matriz, que exibe alta resistência friccional às deformações impostas por pressões externas aplicadas ao solo. Quando a umidade do solo aumenta, filmes de água reduzem a fricção entre as partículas do solo, agindo como lubrificante e favorecendo o rearranjo (Silva e Cabeda, 2006).

Silva e Cabeda (2006) verificaram maior resistência do solo às pressões externas na medida em que diminui o conteúdo de água do solo. Betteridge *et al* (1999, *apud* Lima, 2004, p. 6) afirmam que os maiores efeitos da compactação são evidenciados principalmente quando o solo encontra-se com umidade elevada.

A umidade volumétrica foi mensurada a partir da diferença de peso das amostras úmidas das amostras secas na estufa (a 105°C). As amostras coletadas em campo foram armazenadas em um isopor com serragem, a fim de manterem a temperatura. As amostras do Poço Verde foram pesadas um dia após a coleta, as do Cartão Postal foram pesadas no mesmo dia e as do Sino dois dias após a coleta.

As amostras da trilha do Poço foram coletadas no dia 19 de novembro de 2009, precisamente das 11hrs até às 15hrs. A coleta se deu dois dias depois de ter ocorrido

uma chuva rigorosa no município, a qual atingiu 100mm em um dia, com consequências drásticas, como a interdição da BR 116 devido à queda de uma barreira. O dia da coleta estava nublado, ocorrendo alguns eventos chuvosos, porém de baixa intensidade.

As amostras da trilha do Sino foram coletadas no dia 21 de novembro de 2009 das 8hrs às 16hrs. Este dia se apresentava parcialmente nublado, não tendo ocorrido eventos chuvosos. No entanto, o solo ainda estava bastante encharcado e havia muitos trechos da trilha com concentração de água.

Por fim, as amostras da trilha do Cartão Postal foram coletadas no dia 26 de novembro, das 10hrs às 17hrs. O tempo estava ensolarado e o solo já não estava encharcado, por conta das fortes chuvas da semana anterior.

4.3.5 Panorama Geral da Metodologia de Avaliação das Trilhas Ecoturísticas

O levantamento das variáveis propostas buscou uma avaliação ampla do sistema de trilhas, envolvendo mais de uma escala de análise, a fim de suprir um déficit percebido por Cole (1991 e 2004). Este levantamento acabou englobando mais de um caráter de pesquisa de trilhas, conforme exposto no referencial bibliográfico.

As doze variáveis avaliadas, relacionadas às condições gerais das trilhas, nível 0 (Figura 36), estariam em concordância com as pesquisas descritivas de avaliação dos impactos existentes ao longo de um sistema de trilhas. As quatro variáveis do grupo das características gerais das trilhas se enquadram na técnica de inventário, que objetiva o mapeamento das trilhas, a averiguação da sua extensão, tempo de existência, intensidade do uso e declividade do leito. As três variáveis relacionadas às técnicas de manejo implantadas, ou não (existência de troncos, rochas e drenagem da água), enquadram-se na técnica de avaliação da manutenção das trilhas. Já as cinco variáveis relacionadas aos distúrbios existentes (sulcos, degraus, acúmulo de água, exposição de raízes e de rochas) compreendem a averiguação das condições gerais das trilhas, as quais foram levantadas pelo método censual.

O levantamento das variáveis e propriedades do solo, nível -1, ao longo do leito das trilhas e a três metros caracteriza as pesquisas comparativas entre áreas impactadas e não-impactadas. As condições gerais das trilhas, averiguadas pelos levantamentos de nível 0 e -1, foram posteriormente correlacionados com as variáveis de nível +1, as hidrogeomorfológicas, caracterizando as pesquisas que têm como foco as relações degradação-meio.

Foram levantadas cinco variáveis hidrogeomorfológicas (distância da drenagem, alinhamento com as curvas de nível, declividade, orientação da vertente, curvatura da vertente e sub-bacias hidrográficas), sendo a curvatura subdividida em curvatura em planta (horizontal) e em perfil (vertical) e às sub-bacias avaliadas perante seus parâmetros de ordem, amplitude altimétrica, índice de circularidade (IC) e local em que as trilhas as cruzam. A Figura 36 resume de forma geral a metodologia desenvolvida e as variáveis avaliadas.

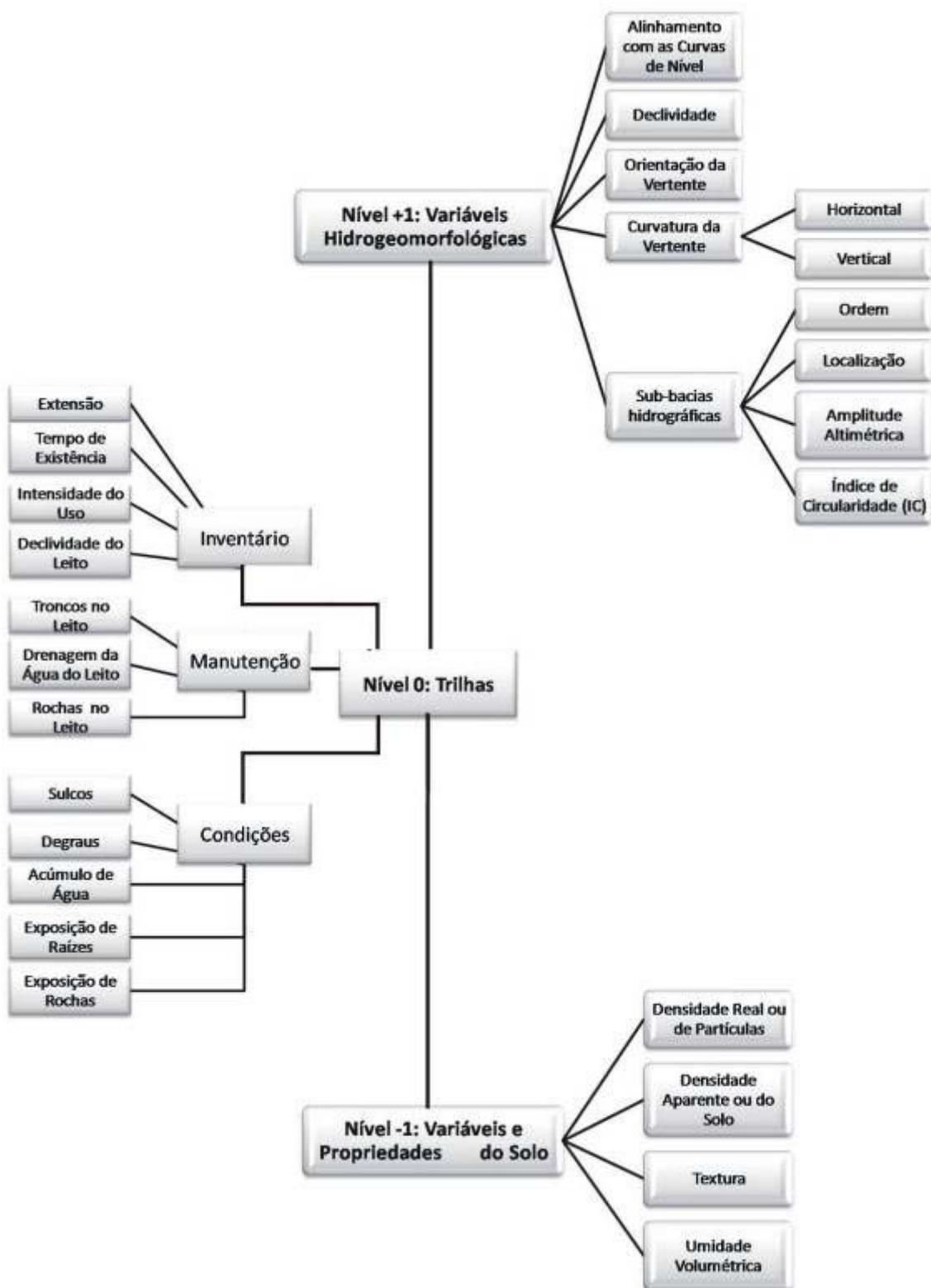


Figura 36: Fluxograma preliminar da proposta metodológica aplicada ao planejamento, avaliação e determinação do traçado de trilhas. Elaborado por L. Kroeff

5 ATINGINDO O CUME: RESULTADOS

A metodologia proposta foi aplicada em três trilhas com condições diferenciadas. Para tanto, levantou-se as variáveis sugeridas nos respectivos níveis hierárquicos em cada uma das trilhas, a fim de se obter uma avaliação geral de suas características ambientais, assim como, as suas condições de degradação. Foram levantadas primeiramente as variáveis de nível 0 – a partir de levantamentos de campo, em que se averiguou as condições gerais das trilhas – e +1 – as hidrogeomorfológicas, geradas por técnicas de geoprocessamento – para melhor se conhecer o meio e as condições das trilhas. O nível -1 se constituiu as variáveis e propriedades do solo, para tanto, foram levantadas amostras de solo em campo, em locais previamente definidos, que amostrassem diferentes condições das trilhas. As amostras foram avaliadas em laboratório.

A geração das variáveis de cada nível exigiu um aprimoramento de conhecimento das suas especificidades, principalmente com relação às ferramentas utilizadas – tanto em relação aos equipamentos de campo, como as ferramentas de geoprocessamento, conforme foi exposto no capítulo anterior. As variáveis de nível +1 foram as que mais exigiram testes e refinamento da informação, para que melhor se adequassem à escala de estudo das trilhas. As variáveis de nível 0 exigiram diversos trabalhos de campo, para a compreensão da condição das trilhas, até mesmo em diferentes estações. Por fim, as variáveis de nível -1 necessitaram do conhecimento de técnicas de campo para coleta de amostras de solo, assim como de laboratório, para posterior análise.

Primeiramente, foram feitas avaliações das variáveis de cada nível hierárquico, num segundo momento as mesmas foram cruzadas entre os níveis hierárquicos. As avaliações em cada nível visaram a obtenção de um diagnóstico geral da preponderância de seus valores. As variáveis relacionadas às propriedades e variáveis do solo foram primeiramente cruzadas entre si, a partir de análises ANOVA e também de coeficientes de variação, a fim de averiguar, conjuntamente com as variáveis de nível 0, relacionadas às trilhas, o grau de degradação delas. Posteriormente, as variáveis de todos os níveis foram cruzadas entre si, a fim de que fosse alcançado o entendimento da influência de

cada uma nos diferentes níveis hierárquicos, ou escalas, assim como, constatado aquelas que mais contribuem para a degradação das trilhas.

5.1 Variáveis Hidrogeomorfológicas: Nível +1

As variáveis hidrogeomorfológicas foram avaliadas com base no traçado das três trilhas trabalhadas; ou seja, delimitou-se as sub-bacias pelas quais cada trilha passa e avaliou-se a predominância das formas das vertentes, assim como os valores preponderantes da declividade e da orientação da vertente nas sub-bacias. Logo, possivelmente os traçados das trilhas estejam localizados em proporções diferenciadas das classes de declividades, formas e orientação das vertentes apontadas; isso, pois, as predominâncias de valores de cada variável se referem à área total das sub-bacias de primeira e zero ordem pelas quais as trilhas passam, uma vez que elas foram consideradas os limites das áreas de influência das dinâmicas hidrogeomorfológicas das trilhas.

5.1.1 Sub-bacias Hidrográficas

As trilhas do Sino e do Cartão Postal estão localizadas no curso superior da Bacia do Paquequer. A Trilha do Sino percorre segmentos do relevo de meia encosta e atinge o topo da mesma, entre altitudes de 1180 a 2200 metros. Já a trilha do Cartão Postal, percorre segmentos de meia encosta, em altitudes de 1100 a 1290 metros, conforme Figura 37B. A Trilha do Poço Verde se localiza na base da encosta e no curso médio da Bacia do Soberbo, o seu curto percurso condiciona a passagem por altitudes entre 395 a 430 metros - Figura 37C.

A Trilha do Sino passa por duas bacias de 3ª ordem, precisamente a do próprio Rio Paquequer e a do Rio Beija Flor, por 5 bacias de 2ª ordem, por 10 bacias de 1ª ordem e por 17 bacias de zero ordem; logo, a Trilha estaria contida, majoritariamente (63%), em bacias de zero ordem (Figura 38B). A amplitude altimétrica média das sub-bacias é de 259 metros e o índice de circularidade 0,43; logo, a maioria das bacias é mais alongada do que circular e possui uma amplitude altimétrica considerável, correspondente à classe de 200-400m (degraus reafeiçoados / serras escarpadas) do mapeamento de Silva (2002), o que está em concordância com o relevo extremamente escarpado em que estão localizadas.

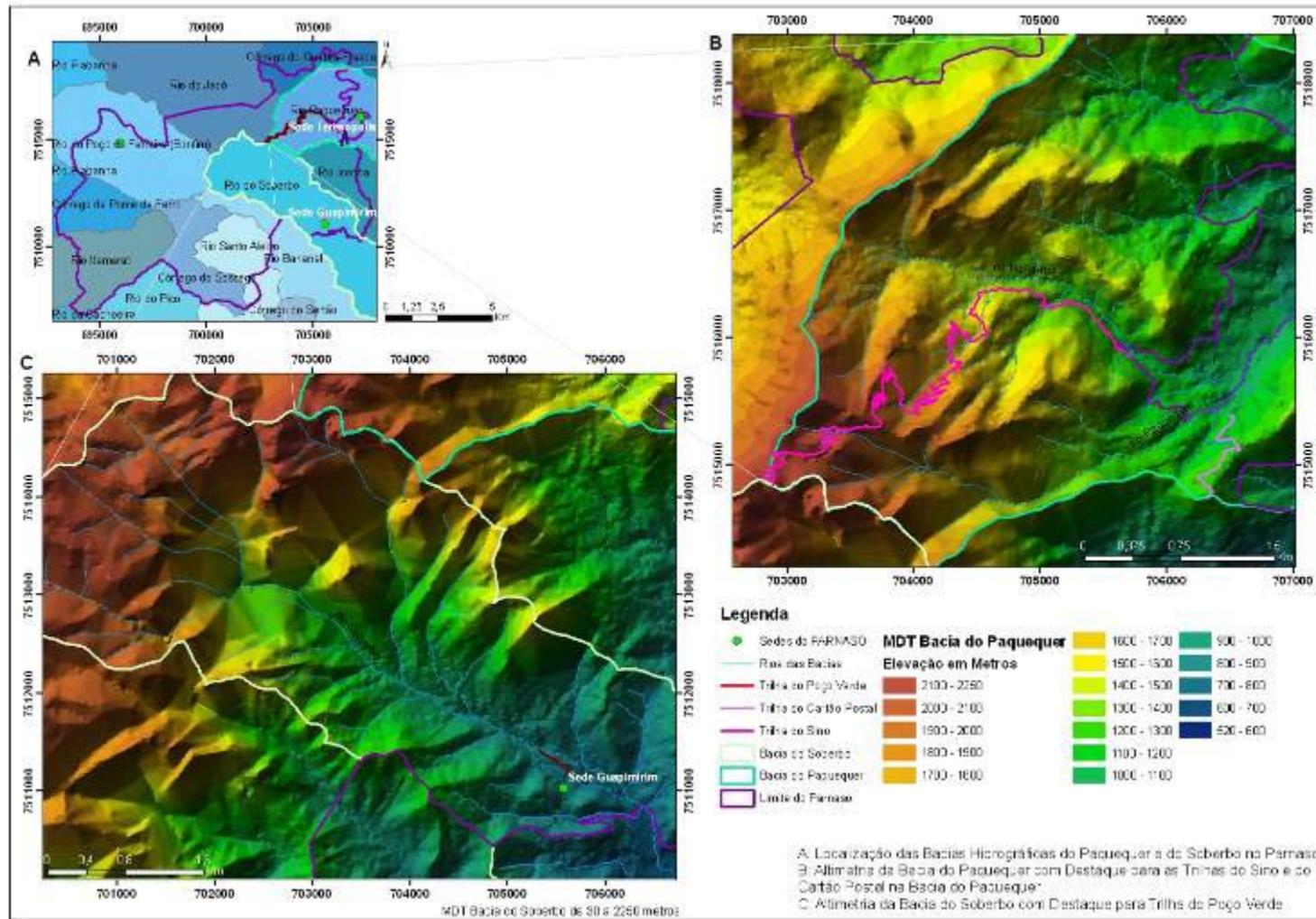


Figura 37: MDT das Bacias das Trilhas em Análise. Fonte: Parnaso, adaptado por L. Kroeff.

A Trilha do Sino passa predominantemente no baixo curso das sub-bacias (44% do percurso) de 1ª e zero ordem; porém é preciso ressaltar que em várias bacias (10), ela passa por mais de um trecho da mesma, principalmente nos trechos em que o percurso é mais curvilíneo e as sub-bacias são mais alongadas. Procurou-se, posteriormente, correlacionar se os trechos com maiores concentrações de água coincidiam com bacias com maiores amplitudes altimétricas e índices de circularidade, assim como, às bacias em que a trilha cortava seu baixo curso.

A maior parte da Trilha do Cartão Postal está contida em uma bacia de 2ª ordem, pertencente à bacia do Rio Paquequer; ela passa por duas bacias de 1ª ordem e quatro bacias de zero ordem (Figura 38B). A amplitude altimétrica média é de 133 metros, correspondente à classe intermediária (100-200m) adotada por Silva (2002), e o índice de circularidade de 0,53. Da mesma forma que na Trilha do Sino, percebe-se que as bacias são mais alongadas do que circulares e que não possuem uma amplitude altimétrica considerável, sendo menos expressiva do que na Trilha do Sino, consequência de sua localização mais próxima do médio curso da Bacia do Paquequer. Essa Trilha passa numa mesma proporção pelo médio e alto curso das sub-bacias, ocorrendo, como na Trilha do Sino, bacias em que ela percorre mais de um trecho; porém somente em uma percorre o baixo curso.

Já a Trilha do Poço Verde pertence à Bacia do Soberbo (Figura 38C), localiza-se em seu curso médio, no local em que esta é uma bacia de 4ª ordem; por sua curta extensão, está contida em somente uma bacia de 1ª ordem e uma de zero ordem. A trilha corta o curso médio da primeira e o baixo curso da segunda, respectivamente. A bacia de 1ª ordem possui amplitudes altimétricas e índices de circularidade um pouco menos elevados, 380 metros e 0,21 respectivamente, do que a de zero ordem, 450 metros e 0,26. Ainda que as amplitudes altimétricas das sub-bacias pela qual a Trilha do Poço passe sejam maiores do que as outras duas trilhas em análise, é necessário se considerar que elas possuem uma área bem mais extensa do que as outras, consequência de um relevo menos escarpado. As maiores áreas das sub-bacias da Trilha do Sino, associadas à menor extensão de seu percurso (apenas 570 metros), representariam uma menor influência desta na dinâmica do relevo.

Na Figura 39, p. 97, é possível melhor perceber a delimitação das sub-bacias de 1ª ordem e zero ordem de cada Trilha de acordo com a curvatura em planta dos terrenos pelo qual as trilhas percorrem.

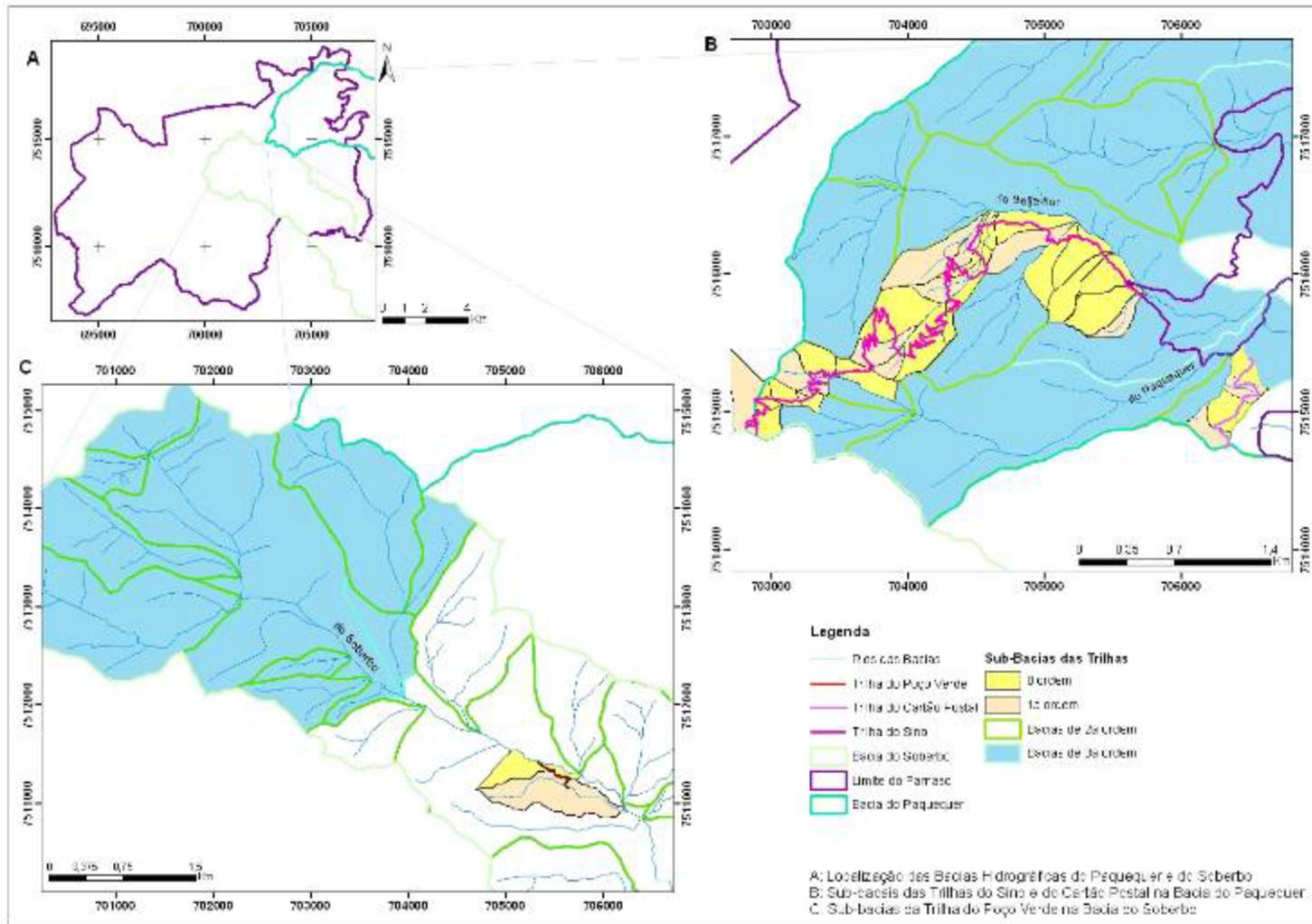


Figura 38: Sub-bacias Hidrográficas das Trilhas. Elaborado por L. Kroeff.

5.1.2 Curvatura da Vertente

A fim de se comparar as proporções de cada classe das curvaturas, uniu-se os polígonos das sub-bacias pelas quais cada trilha passa e, posteriormente, comparou-se as áreas predominantes. Pelo fato do intervalo da classe retilínea ser mais estreito, nas sub-bacias das trilhas em análise essa foi a classe com menor ocorrência (Figura 39 e Figura 40), o que já se esperava. Com relação à curvatura em perfil, nas sub-bacias da trilha do Sino, percebe-se (Tabela 12) uma leve preponderância da classe divergente, já nas sub-bacias da trilha do Cartão Postal (Tabela 12) a classe convergente possui uma área levemente mais significativa. O mesmo ocorre com relação à curvatura em planta, uma área convexa um pouco mais significativa nas sub-bacias da Trilha do Sino e côncava nas da Trilha do Cartão Postal. Porém, em nenhuma das sub-bacias das trilhas, as curvaturas convergente/côncavo e divergente/convexo chegaram a possuir um predomínio significativo, sendo bastante equiparáveis; o que ocorreu de forma ainda mais enfática nas sub-bacias da Trilha do Poço.

Diante disso, afirmar qualquer tendência à degradação nas sub-bacias e, conseqüentemente, nas trilhas, representaria forçar resultados. Além disso, deve-se levar em consideração que essas comparações englobam toda a área das sub-bacias pelas quais as trilhas passam e não somente uma faixa marginal a elas. Por isso a avaliação da posição da trilha na sub-bacia se torna tão importante. Destaca-se como exemplo que a Trilha do Cartão Postal passa principalmente pela porção média e superior das sub-bacias. Neste caso, possivelmente fosse mais apropriado avaliar a curvatura da vertente em planta e em perfil a partir de uma faixa marginal à trilha, a qual indicaria a predominância de curvaturas divergentes em planta e convexas em perfil ao longo de seu percurso. Já a diversidade de localidades pela qual a Trilha do Sino passa nas sub-bacias também se reflete numa grande diversidade de classes das curvaturas das vertentes na qual ela se localiza.

Tabela 12: Comparações das Classes de Curvatura em Planta com Filtro Média 21x21 *pixels*, 2 iterações, na área total das sub-bacias de cada Trilha.

| Comparações das Classes da Curvatura em Planta | Área em M ² de cada Classe nas Sub-bacias de cada Trilha | | | Representação de cada Área nas Sub-bacias das Trilhas em % | | |
|--|---|----------|-----------|--|--------|-------|
| | Sino | Cartão | Poço | Sino | Cartão | Poço |
| Convergente: menor que -0,04 | 608491,90 | 85771,15 | 216889,95 | 38,14 | 47,75 | 40,23 |
| Retilínea: entre -0,04 e +0,06 | 230764,91 | 14771,82 | 109493,23 | 14,46 | 8,22 | 20,31 |
| Divergente: maior que +0,06 | 756119,31 | 79069,80 | 212787,11 | 47,39 | 44,02 | 39,47 |
| Soma em Km² | 1,60 | 0,18 | 0,54 | | | |

Tabela 13: Comparações das Classes de Curvatura em Perfil com Filtro Média 21x21 *pixels*, 2 iterações, na área total das sub-bacias de cada Trilha.

| Comparações das Classes da Curvatura em Perfil | Área em M ² de cada Classe nas Sub-bacias de cada Trilha | | | Representação de cada Área nas Sub-bacias das Trilhas em % | | |
|--|---|----------|-----------|--|--------|-------|
| | Sino | Cartão | Poço | Sino | Cartão | Poço |
| Convexa: menor que -0,06 | 725490,55 | 76737,15 | 240894,71 | 45,47 | 42,72 | 44,68 |
| Retilínea: entre -0,06 e +0,06 | 186801,97 | 19826,73 | 49482,44 | 11,71 | 11,04 | 9,18 |
| Côncava: menor que -0,06 | 683083,61 | 83048,90 | 248793,13 | 42,82 | 46,24 | 46,14 |
| Soma em Km² | 1,60 | 0,18 | 0,54 | | | |

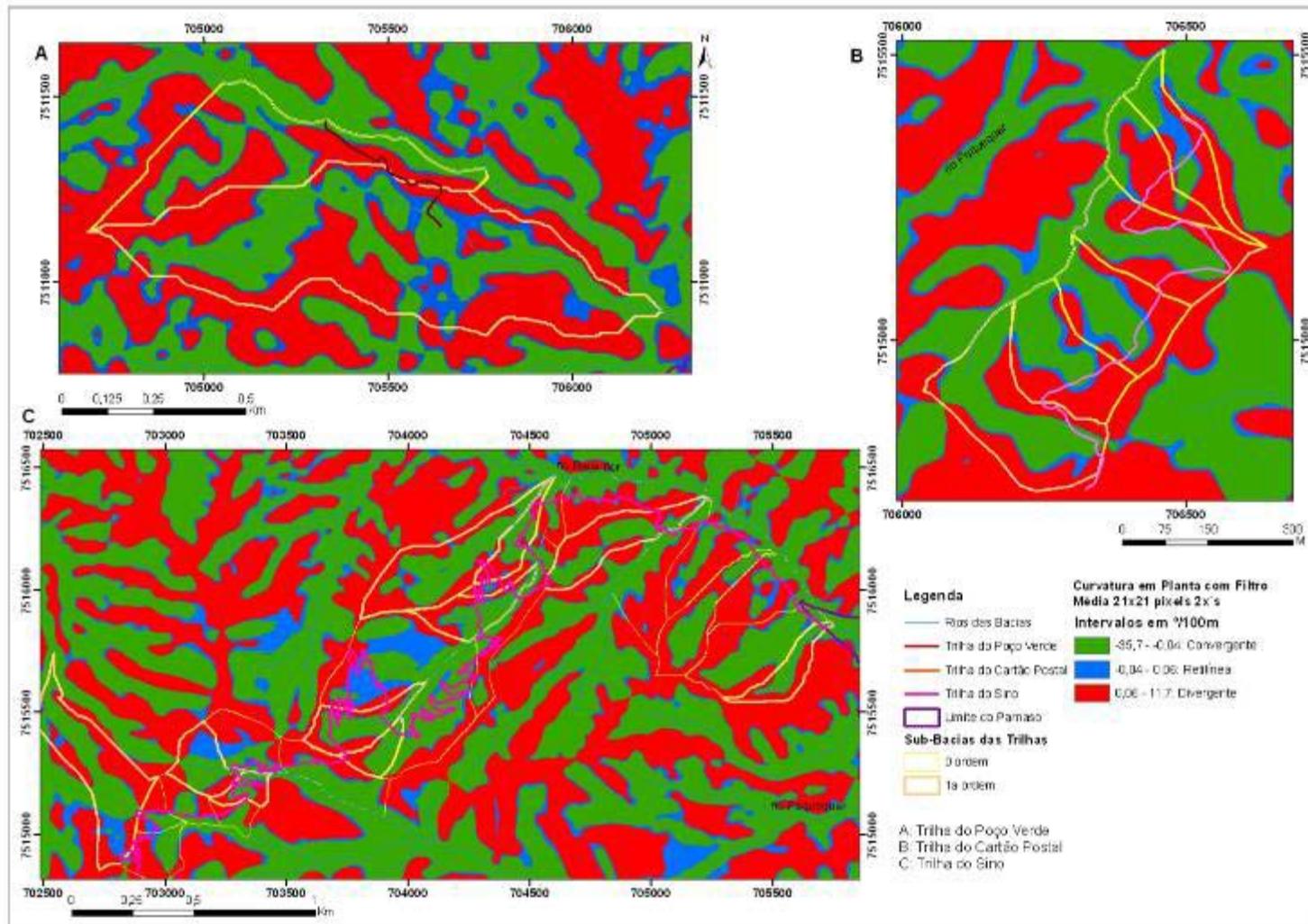


Figura 39: Curvatura em Planta das Sub-bacias das Trilhas. Elaborado por L. Kroeff.

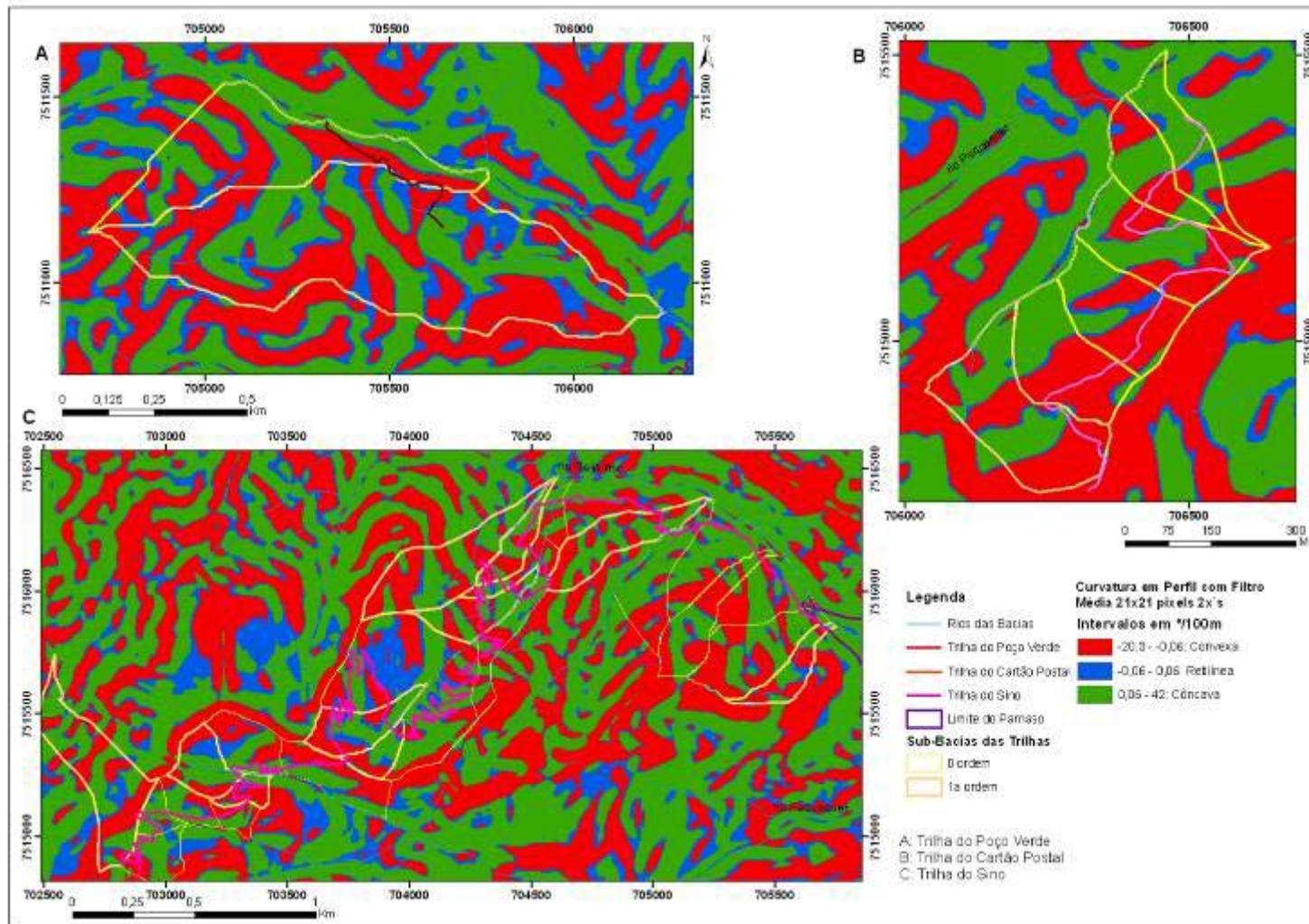


Figura 40: Curvatura em Perfil das Sub-bacias das Trilhas. Elaborado por L. Kroeff.

5.1.3 Declividade

Conforme expõe a Tabela 14 e a Figura 41, as sub-bacias das Trilhas do Sino, Cartão Postal e Poço Verde possuem declividades preponderantes elevadas, entre 20 e 75%, as declividades de 0 a 8% ocupam áreas bem diminutas. Pela Trilha do Sino se localizar na porção mais superior da Bacia do Paquequer, as declividades das sub-bacias acima de 75% são expressivas (19%); na Trilha do Cartão Postal, que se localiza mais perto do curso médio da Bacia do Paquequer, as declividades acima de 75% são menos relevantes (7,92%), já as declividades de 20 a 45% ocorrem em proporção maior (39,24%). A Trilha do Poço Verde que se localiza na porção intermediária da Bacia do Soberbo, possui percentuais de declividades significativos nas classes de 20 a 45% e de 45 a 75%, mas também na faixa de 8 a 20% (17,8%).

Tabela 14: Comparações em cada Trilha das Áreas das Classes de Declividade com Filtro Mediana 7x7 pixels, 4 iterações.

| Comparações das Classes de Declividade | Área em M ² de cada Classe nas Sub-bacias de cada Trilha | | | Representação de cada Área nas Sub-bacias das Trilhas em % | | |
|--|---|----------|----------|--|--------|-------|
| | Sino | Cartão | Poço | Sino | Cartão | Poço |
| 1 = 0 A 3% | 43,22 | 0,00 | 93,6 | 0,003 | 0,00 | 0,02 |
| 2 = 3 A 8% | 6820,73 | 1425,61 | 8782,5 | 0,43 | 0,79 | 1,63 |
| 3 = 8 A 20% | 65706,68 | 15967,09 | 96424,5 | 4,12 | 8,89 | 17,88 |
| 4 = 20 A 45% | 455744,53 | 70472,61 | 180048 | 28,57 | 39,24 | 33,39 |
| 5 = 45 a 75% | 765028,89 | 77520,49 | 211620,6 | 47,95 | 43,16 | 39,25 |
| 6 = acima de 75% | 302031,81 | 14227,01 | 42201 | 18,93 | 7,92 | 7,83 |
| Soma em Km² | 1,60 | 0,18 | 0,54 | | | |

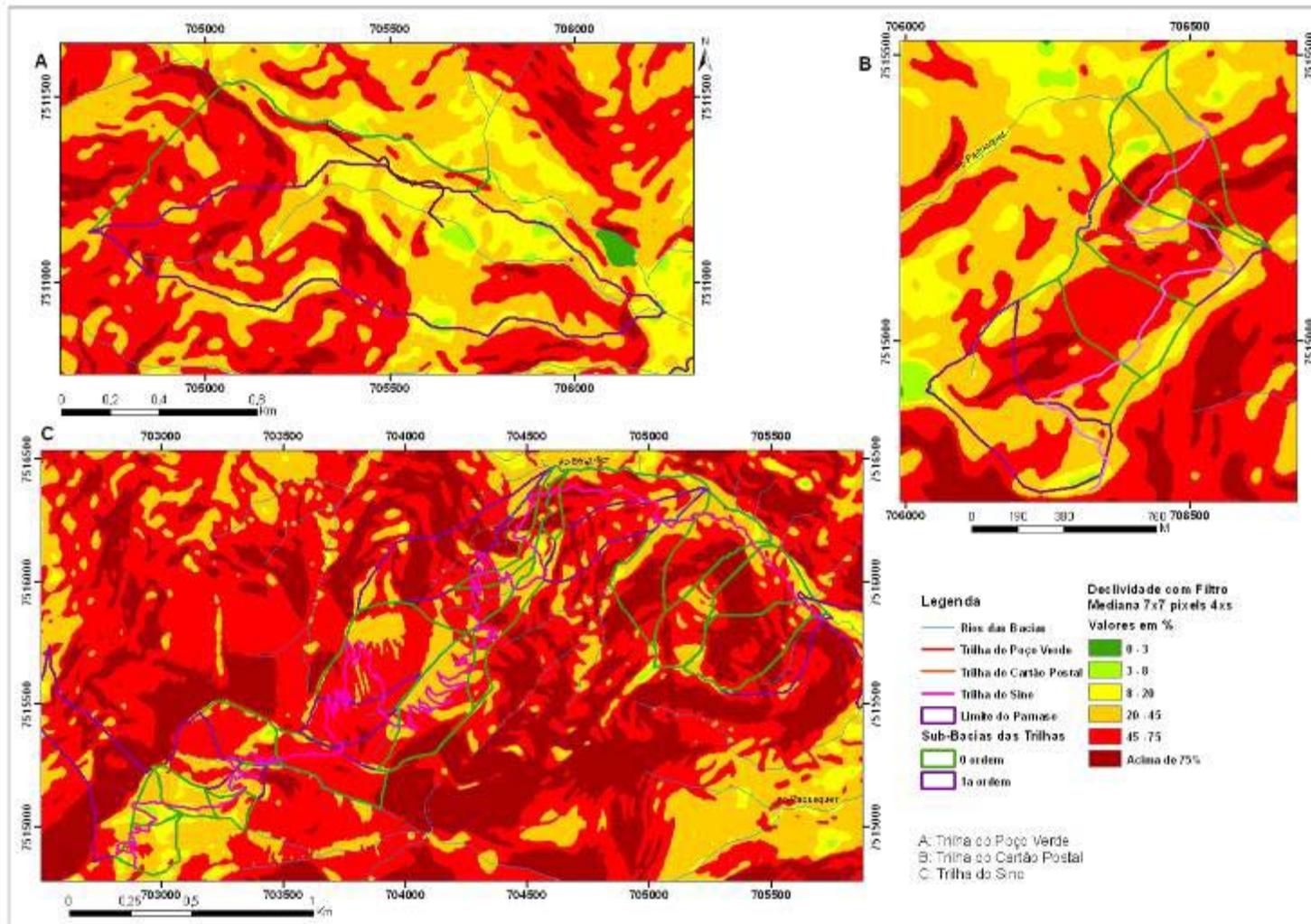


Figura 41: Declividade das Sub-bacias das Trilhas. Elaborado por L. Kroeff.

5.1.4 Orientação da Vertente

Na região da Serra dos Órgãos em que as trilhas em análise estão inseridas as orientações das vertentes de sul a nordeste tenderiam a ser mais úmidas e as com orientação oeste mais secas; porém, possivelmente em decorrência dos altos índices pluviométricos dessa região, essa variável não seja determinante na umidade das vertentes.

A Figura 42 e Tabela 15 demonstram as áreas e respectivos percentuais de cada classe de orientação da vertente nas sub-bacias das trilhas em análise. A partir delas, é possível perceber a predominância das curvaturas com orientação leste, nordeste e norte (em ordem de grandeza) nas sub-bacias da Trilha do Sino. Nas sub-bacias da Trilha do Cartão Postal, as vertentes com orientação noroeste predominam majoritariamente e as de orientação norte possuem uma área significativa. Já nas sub-bacias da Trilha do Poço Verde, as orientações nordeste e leste são dominantes.

Tabela 15: Comparações em cada Trilha das Áreas das Classes de Orientação com Filtro Mediana 7x7 *pixels*, 2 iterações.

| Comparações das Classes e Orientação em Graus | Área em M ² de cada Classe nas Sub-bacias de cada Trilha | | | Representação de cada Área nas Sub-bacias das Trilhas em % | | |
|---|---|----------|-----------|--|--------|-------|
| | Sino | Cartão | Poço | Sino | Cartão | Poço |
| Plano (-1º) | 8,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Norte (0-22,5º e 337,5-360º) | 307818,68 | 58162,23 | 72338,30 | 19,29 | 32,38 | 13,42 |
| Nordeste (22,5-67,5º) | 484269,59 | 6836,50 | 212592,22 | 30,35 | 3,81 | 39,43 |
| Leste (67,5-112,5º) | 497734,25 | 3264,11 | 152354,12 | 31,20 | 1,82 | 28,26 |
| Sudeste (112,5-157,5º) | 110330,05 | 325,47 | 70507,20 | 6,92 | 0,18 | 13,08 |
| Sul (157,5-202,5º) | 127839,86 | 775,46 | 17729,12 | 8,01 | 0,43 | 3,29 |
| Sudoeste (202,5-247,5) | 5409,14 | 3804,95 | 1704,87 | 0,34 | 2,12 | 0,32 |
| Oeste (247,5-292,5º) | 5409,14 | 14835,03 | 379,75 | 0,34 | 8,26 | 0,07 |
| Noroeste (292,5-337,5º) | 56655,68 | 91609,02 | 11564,70 | 3,55 | 51,00 | 2,14 |
| Soma em Km² | 1,60 | 0,18 | 0,54 | | | |

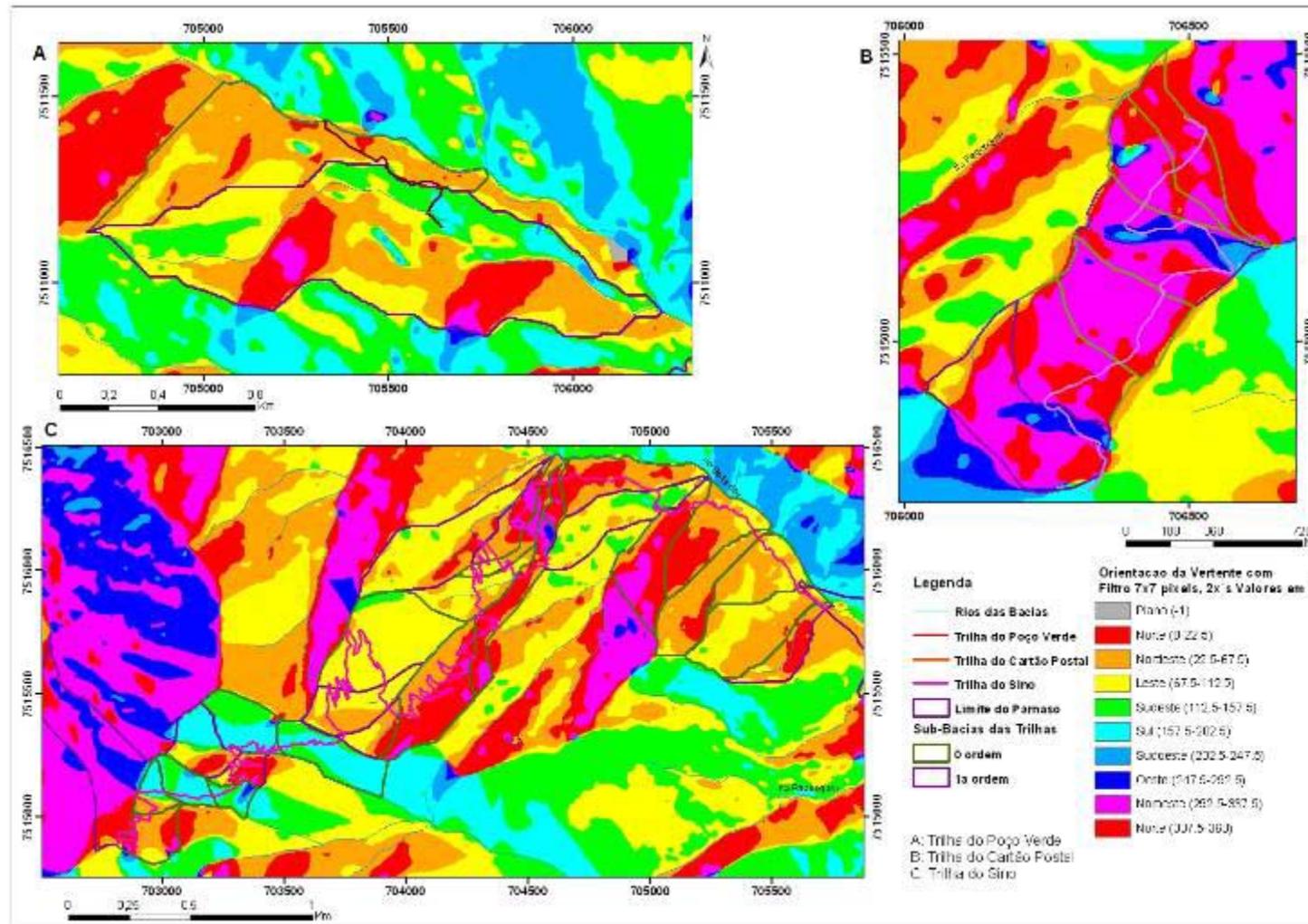


Figura 42: Orientação das Sub-bacias das Trilhas. Elaborado por L. Kroeff.

5.1.5 Alinhamento com as Curvas de Nível

A avaliação dessa variável foi realizada a partir da verificação do acompanhamento dos trechos do traçado das trilhas – estabelecidos na etapa de levantamento das variáveis de nível 0, conforme será exposto – às curvas de nível e ao MDT. A avaliação do acompanhamento dos trechos do traçado da Trilha do Sino ao relevo levou à constatação aproximada de que 63% do traçado acompanham as curvas de nível, enquanto 37% não acompanham (Tabela 16). Os trechos que não acompanham são majoritariamente decorrentes de curvas muito fechadas em áreas de alta declividade (Figura 43C), o que leva a um corte brusco do terreno. Posteriormente foi avaliado se esses trechos coincidiam com as áreas de maior erosão em sulco das trilhas.

Tabela 16: Verificação do Acompanhamento do Traçado da Trilha do Sino às Curvas de Nível.

| Trechos Trilha do Sino | Acompanhamento das Curvas de Nível |
|------------------------|--|
| 1 | Sim |
| 2 | Metade do Percurso |
| 3 | Duvidoso (traçado fornecido pelo Parque difere muito com o obtido por GPS) |
| 4 | Não |
| 5 | Não |
| 6 | Sim |
| 7 | Metade do Percurso (curvas das trilhas muito fechadas, cortando a declividade muito bruscamente) |
| 8 | |
| 9 | Sim |
| 10 | Sim |
| 11 | Metade do Percurso (curvas muito fechadas) |
| 12 | |
| 13 | Sim |
| 14 | Sim |
| 15 | Sim |

| Trechos Trilha do Sino | Acompanhamento das Curvas de Nível |
|------------------------|--|
| 16 | Metade do Percurso (curvas muito fechadas) |
| 17 | Sim |
| 18 | Não |
| 19 | Metade do Percurso (curvas muito fechadas) |

Na Trilha do Cartão Postal se verificou, a partir dos 9 trechos analisados, que 60% acompanham as curvas de nível e 40% não acompanham (Tabela 17). Dos trechos que não acompanham, dois (trecho 3 e 8) possuem um corte brusco no terreno (Figura 43B).

Tabela 17: Verificação do Acompanhamento do Traçado da Trilha do Cartão às Curvas de Nível.

| Trechos Trilha do Cartão Postal | Acompanhamento das Curvas de Nível |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Não |
| 2 | Sim |
| 3 | Não |
| 4 | Sim |
| 5 | Sim |
| 6 | Metade do Percurso |
| 7 | Sim |
| 8 | Não |
| 9 | Sim |

Dos seis trechos definidos na Trilha do Poço Verde (sendo um pavimentado), considera-se que apenas metade do percurso de um deles (trecho quatro) não acompanha a curva de nível; porém a curta extensão da trilha aliada ao seu baixo desnível altimétrico e à baixa declividade do leito e do terreno (Figura 43A), tornam esse trecho irrelevante. Com isso, constata-se que, de forma geral, os traçados das trilhas acompanham as curvas de nível.

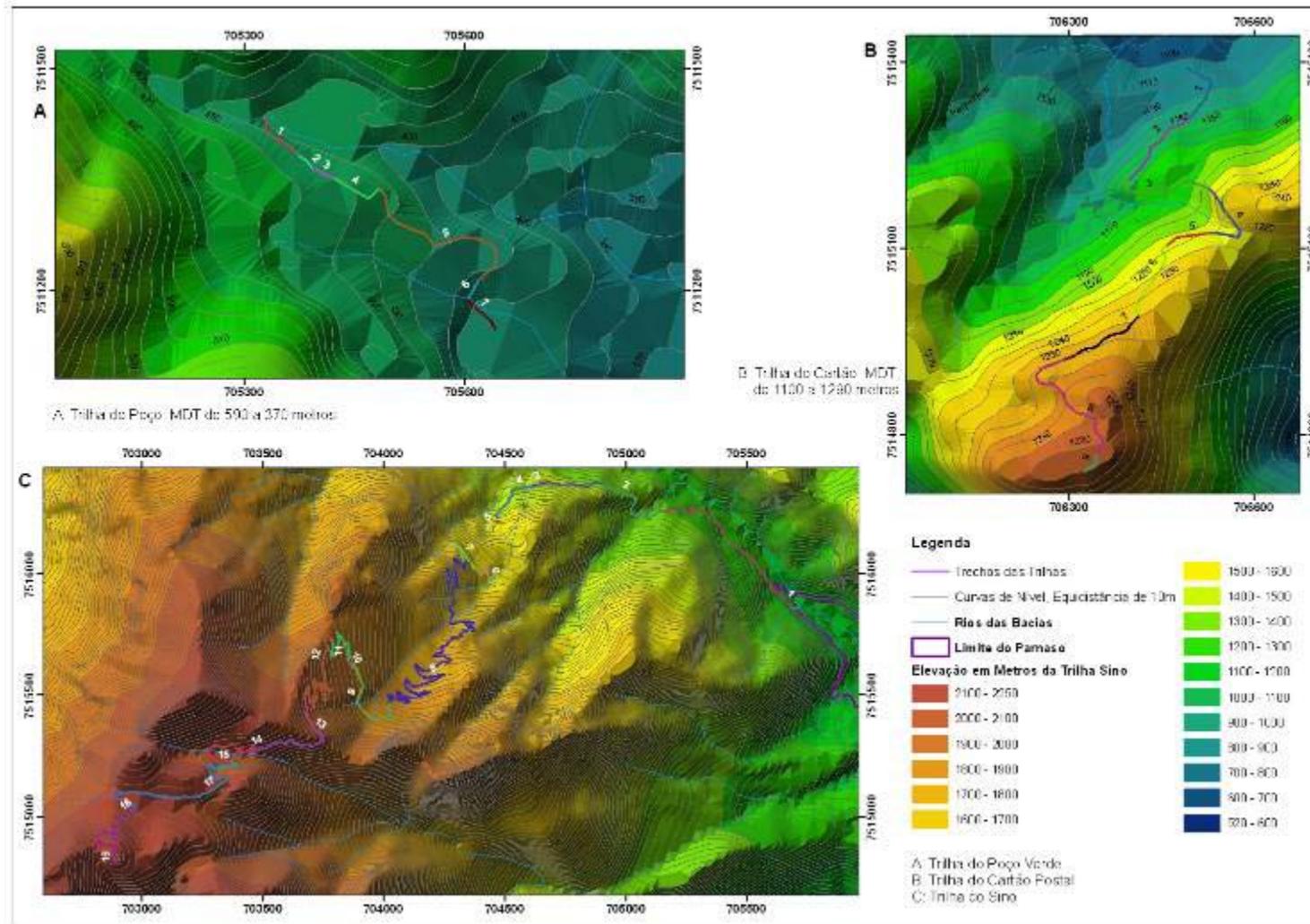


Figura 43: Alinhamento das Trilhas às Curvas de Nível. Elaborado por L. Kroeff.

5.1.6 Distância da Drenagem

Comparou-se a predominância das classes de drenagem da base hidrográfica fornecida pelo parque com aquela gerada pelo *ArcHydro* com 2.000 *pixels* ao longo das sub-bacias das trilhas em análise, com exceção da Trilha do Poço Verde, uma vez que não houve diferença das duas bases nesta trilha, devido à altura da bacia hidrográfica do Rio Soberbo em que ela se encontra. A Tabela 18 demonstra que em ambas as bases hidrográficas, a classe predominante nas três trilhas é de 100 a 200 metros. Nas demais classes, a distribuição percentual das áreas é similar, ocorrendo apenas uma proporção um pouco maior na classe de 0-10m. As maiores diferenças entre as duas bases hidrográficas ocorreram na classe de 200-400m, decorrência de uma maior quantidade de canais de drenagem gerados na base do *ArcHydro* com 2.000 *pixels*. Não há ocorrência de classes acima de 400m.

Esses dados poderiam indicar que uma hidrografia mais detalhada não chega a exercer diferença na análise geral da trilhas; no entanto, essa generalização não é precedente, uma vez que foi considerada toda a área das sub-bacias em que as trilhas passam e não somente uma área marginal às trilhas. Optou-se por essa abordagem, uma vez que não se chegou a um consenso do limite mais adequado da área marginal. Além disso, adotou-se como limite de influência dos processos hidrogeomorfológicos atuantes nas trilhas as sub-bacias de primeira e zero ordem; logo, preferiu-se que essa variável seguisse os mesmos limites.

Analisando detalhadamente a Figura 44 (com a drenagem gerada pelo *ArcHydro* e o respectivo *grid* com as classes de distanciamento), é possível prever problemas de drenagem em 14 das 27 sub-bacias pelas quais a Trilha do Sino passa; pelo traçado desta cruzar, ou passar muito próximo (a menos de 30 metros) de rios e riachos. No entanto, é necessário cruzar essas informações com os pontos com cruzamento de riachos demarcados em campo. Neste caso, em cinco sub-bacias de drenagem não ocorreu o cruzamento com riachos; ainda assim, prevê-se que em chuvas mais expressivas essas sejam áreas propensas ao encharcamento do solo do leito da trilha.

Já na trilha do Cartão Postal somente uma sub-bacia de primeira ordem pela qual ela passa ocorre uma proximidade maior com a drenagem, o mesmo acontece na Trilha do Poço Verde. Posteriormente, a informação de distância da drenagem será cruzada

com os pontos de acúmulo de água ao longo das trilhas, a fim de verificar a correlação dos dados.

Tabela 18: Comparação das Distâncias das Drenagem entre as sub-bacias das Trilhas e entre as Diferentes Bases Hidrográficas.

| Classes de Distância da Drenagem em metros | Área em M ² de cada Classe nas Sub-bacias da <u>Trilha do Sino</u> | | | | Área em M ² de cada Classe nas Sub-bacias da <u>Trilha do Cartão Postal</u> | | | | Área em M ² de cada Classe nas Sub-bacias da <u>Trilha do POCO Verde</u> | |
|--|---|-------|--------------------------------|-------|--|-------|--------------------------------|-------|---|-------|
| | Rios PARNASO | | Drenagem ArcHydro 2.000 pixels | | Rios PARNASO | | Drenagem ArcHydro 2.000 pixels | | Rios PARNASO | |
| | Área m ² | % | Área m ² | % | Área m ² | % | Área m ² | % | Área m ² | % |
| 0-10m | 102489 | 6,42 | 165762 | 10,39 | 12484 | 6,95 | 16818 | 9,36 | 40068 | 7,43 |
| 10 – 20m | 98616 | 6,18 | 127599 | 8,00 | 12000 | 6,68 | 15694 | 8,74 | 38766 | 7,19 |
| 20 – 30m | 91309 | 5,72 | 106872 | 6,70 | 11205 | 6,24 | 14802 | 8,24 | 36436 | 6,76 |
| 30 – 40m | 90416 | 5,67 | 102293 | 6,41 | 11064 | 6,16 | 14620 | 8,14 | 35919 | 6,66 |
| 40 - 50m | 84731 | 5,31 | 95147 | 5,96 | 11046 | 6,15 | 14039 | 7,82 | 33952 | 6,30 |
| 50 – 60m | 84012 | 5,27 | 93631 | 5,87 | 10470 | 5,83 | 13107 | 7,30 | 34189 | 6,34 |
| 60 – 70m | 76677 | 4,81 | 90593 | 5,68 | 10200 | 5,68 | 11956 | 6,66 | 33997 | 6,31 |
| 70 – 80m | 66895 | 4,19 | 84802 | 5,32 | 9299 | 5,18 | 10538 | 5,87 | 28893 | 5,36 |
| 80 – 90m | 62755 | 3,93 | 79005 | 4,95 | 8654 | 4,82 | 10061 | 5,60 | 21619 | 4,01 |
| 90 - 100m | 60862 | 3,81 | 75960 | 4,76 | 7546 | 4,20 | 9813 | 5,46 | 20903 | 3,88 |
| 100-200m | 487315 | 30,55 | 466618 | 29,25 | 57580 | 32,06 | 44911 | 25,01 | 165097 | 30,62 |
| 200-400m | 289294 | 18,13 | 107088 | 6,71 | 18063 | 10,06 | 3249 | 1,81 | 49329 | 9,15 |

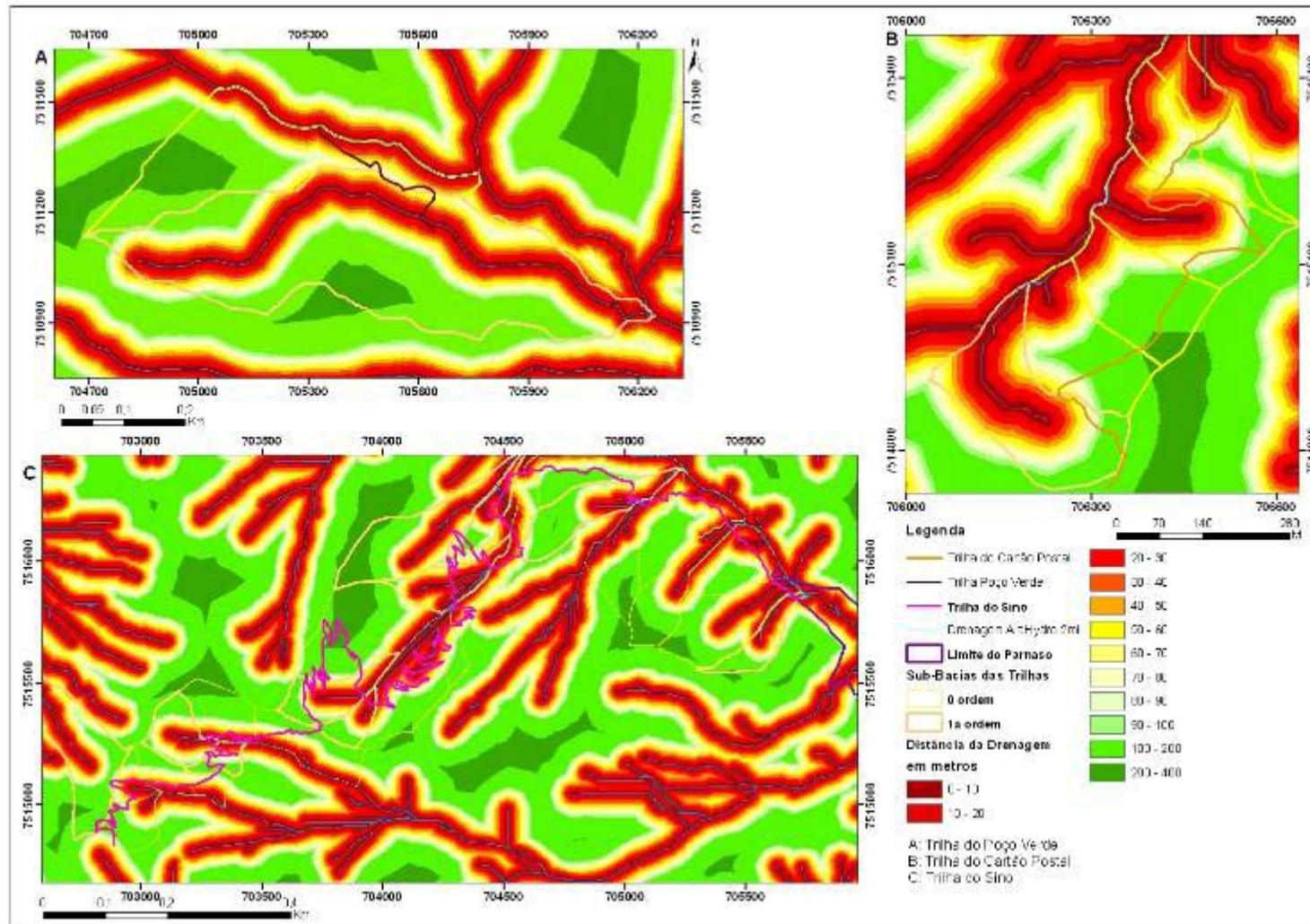


Figura 44: Distância da Drenagem das Sub-bacias pelas quais as Trilhas percorrem. Elaborado por L. Kroeff.

5.1.7 Panorama Geral das Variáveis Hidrogeomorfológicas (Nível +1) das Trilhas do Sino, Cartão Postal e Poço Verde

A Tabela 19 sintetiza as variáveis hidrogeomorfológicas em cada trilha. De maneira geral, essas variáveis demonstraram que a Trilha do Sino está mais propensa à degradação. Ainda que seu traçado esteja majoritariamente alinhado com o terreno, não o cortando bruscamente, a grande amplitude altimétrica (média de 259m) das sub-bacias pelas qual passa – entre as classes mais altas definidas por Silva (2002) – e as altas declividades do terreno – entre as classes montanhoso e fortemente ondulado – tendem a gerar um elevado entalhamento do relevo. Se as características predominantes do relevo pelo qual a trilha percorre (altas declividades e altas amplitudes altimétricas das sub-bacias) estiverem associadas a trechos em que a trilha corta a base de sub-bacias de primeira ordem e com índices de circularidade mais próximos de 1 (um), considera-se que a ocorrência de processos erosivos concentrados e acúmulos de água são quase inevitáveis.

A escolha da utilização da base hidrográfica fornecida pelo Parque, ou a gerada pelo *ArcHydro*, com tamanho celular de 2.000 *pixels*, permaneceu dúbia, uma vez que a gerada por geoprocessamento não contemplou em 100% os arroios que cruzam a trilha, logo, a variável distância da drenagem não se mostrou satisfatória no diagnóstico geral das condições das trilhas. Ainda assim, a partir da análise da curvatura em planta do relevo foi possível verificar as áreas mais propensas à concentração de água, as quais coincidem com as áreas centrais das sub-bacias. Diante disso, o número expressivo de sub-bacias pela qual a Trilha do Sino passa, também consequência de um relevo muito escarpado, e a sua localização mais significativa no baixo curso delas, tornam-na igualmente mais suscetível à degradação. Quanto à orientação da vertente, há um predomínio de leste e nordeste, o que representaria áreas mais úmidas.

A Trilha do Cartão Postal possui condições hidrogeomorfológicas menos agravantes do que a Trilha do Sino, principalmente por se localizar em um relevo menos escarpado, uma vez que a amplitude altimétrica das sub-bacias pela qual passa é menos expressiva (133m), o que pode ser explicado por sua localização mais próxima da porção intermediária da Bacia do Paquequer. Porém, o relevo em que se localiza possui altas taxas de declividade, caracterizando-se por fortemente ondulado a montanhoso. A posição majoritária de seu percurso nas porções superiores das sub-bacias e os consequentes maior distanciamento das drenagens (não cruzando nenhuma), assim

como, predominância da localização nas classes divergentes e convexas das vertentes contribuem para tendências menos agravantes de degradação. Além disso, a orientação oeste (51%) predominante de suas vertentes tenderia a menores taxas de umidade no relevo das sub-bacias.

Por fim, a Trilha do Poço Verde é a que possui condições hidrogeomorfológicas menos agravantes, principalmente, por se localizar na porção intermediária da Bacia do Soberbo, onde as classes de declividade mais suaves são mais expressivas. No entanto, não há como negar que o que mais influencia suas boas condições são as características de seu traçado curto (570 metros) e plano, ainda que essas sejam características associadas às variáveis de nível 0, avaliadas no próximo capítulo. Talvez o curtíssimo percurso desta trilha leve a necessidade de análises ainda mais pontuais, ou seja, talvez o limite das sub-bacias seja muito elevado para a correlação de suas condições, uma vez que ela percorre uma área muito pequena dessas.

Tabela 19: Resumo das Variáveis Hidrogeomorfológicas das Trilhas (Nível +1)

| TRILHA | Propensão à Degradação | MÉDIA DAS SUB-BACIAS | | | | | CURVATURA | DECLIVIDADE | | ORIENTAÇÃO | | ALINHAMENTO C/ AS CURVAS DE NÍVEL | DRENAGEM |
|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------|----------------------------------|------------------|---------------|-----------------------------------|--|
| | | Amplitude Altimétrica | | Índice de Circularidade | Localização Majoritária | Ordem Majoritária | | Valor Predominante | Classe do Relevo | Predomínio | Propensão | | |
| | | Média Valor | Classe | | | | Classe Predominante | | | | | | |
| SINO | ALTA | 259 m | Degraus Reafeiçoados | 0,43 | Baixo Curso | Zero ordem | Convergente e Divergente em Planta | 45 a 75% | Montanhoso | Leste e Nordeste | Maior Umidade | 63% do traçado | Em 14 das 27 sub-bacias de 1ª e zero ordem pela qual a trilha passa, a distância da drenagem é menor que 30m. Trilha cruza riachos em 11 locais. |
| CARTÃO POSTAL | MÉDIA | 133m | Morros | 0,53 | Alto e Médio Curso | Zero ordem | Convergente e Divergente em Planta | 20 a 75% | Fortemente Ondulado a Montanhoso | Noroeste e Norte | Menor Umidade | 60% do traçado | Em apenas uma sub-bacia ocorre proximidade menor que 30m com a drenagem. |
| POÇO VERDE | BAIXA | 415m | Degraus e Serras Escarpados | 0,23 | Baixo e Médio Curso | 1ª e Zero ordem | Convergente e Divergente em Planta | 20 a 75% | Fortemente Ondulado a Montanhoso | Leste e Nordeste | Maior Umidade | 90% | Cruza riacho em apenas um local, em que o leito está pavimentado. |

5.2 Variáveis Associadas às Condições das Trilhas: Nível 0

As variáveis associadas ao grupo características gerais das trilhas, expostas na Figura 31, referente ao fluxograma relativo ao nível hierárquico -1, foram constatadas com base nas informações fornecidas pelo PARNASO, já as demais variáveis relacionadas às técnicas de manejo e aos distúrbios foram averiguadas em campo.

5.2.1 Inventário

A Trilha do Sino é a principal trilha do PARNASO, sendo a mais antiga e famosa por levar ao ponto culminante da Serra dos Órgãos, a Pedra do Sino, com 2.262 metros, localizada em Teresópolis, com vista para a Baía de Guanabara (Figura 45) e parte do Vale do Paraíba, no lado continental. O plano de manejo do PARNASO (Viveiros de Castro, 2007) relata que o acesso até a Pedra era feito antes mesmo da criação do Parque, em 1939. A primeira expedição que se tem conhecimento foi feita em 1841 pelo botânico escocês George Gardner. Mas, a trilha foi realmente aberta por Arnaldo Guinle, proprietário das terras, no início do século XX.

... o caminho facilmente poderia ser transformado em estrada carroçável pela perfeição do traçado de rampas suaves, prolongamento da estrada asfaltada de acesso à parte alta de seu novo e aprazível bairro (Granja Guarani) - Viveiros de Castro, 2007.



Figura 45: Vista panorâmica da Pedra do Sino. Foto: L.L. Kroeff (novembro/2009).

A trilha do Sino é um clássico do montanhismo com nível de dificuldade entre moderado e pesado, devido à sua extensão, cerca de 11 km, com saída na sede de Teresópolis do Parque, a cerca de 1.100 metros de altitude. Ao longo do percurso ocorre a substituição gradual da vegetação densa para campo de altitude. O acesso à trilha é limitado a 200 (duzentas) pessoas por dia, sendo 100 (cem) para pernoite e 100 (cem) para visita diurna. A trilha é também o trecho final da tradicional travessia Petrópolis-Teresópolis (Viveiros de Castro, 2007).

A longa extensão da Trilha inviabilizou a verificação da declividade do leito por todo o seu percurso, mas se pode afirmar que esta é bastante elevada em aproximadamente 60% do percurso, chegando a declividades de 20°.

A trilha Cartão Postal é a mais nova trilha do Parque, foi inaugurada em 2008 com intuito de proporcionar uma visão do Dedo de Deus de mais fácil e breve acesso ao público (Figura 46). Não há limitação máxima diária de usuários. A trilha ainda é pouco conhecida por seu pouco tempo de existência, portanto, ainda não possui um uso extremado; mas estima-se que este ocorrerá em breve, diante do grande atrativo ao final do seu percurso.



Figura 46: Visão Panorâmica do final da Trilha do Cartão Postal. Foto: L. L. Kroeff (abril/2009).

A trilha possui dificuldade moderada e extensão de 1.200 metros. O acesso se dá pela Estrada da Barragem na sede de Teresópolis. O trajeto percorre trechos de floresta fechada. A declividade do leito da trilha é de moderada a elevada, sendo a média de 7,5°.

A Trilha do Poço Verde se localiza na Sede de Guapimirim, em que as principais atrações estão associadas ao rio Soberbo, com ênfase às cachoeiras e poços; além da própria Mata Atlântica e da visão privilegiada do Morro do Escalavrado. Não se dispõe de data precisa de criação da trilha, mas se prevê que seja entre 1850 e 1900, tendo em vista que o casario histórico da Sede de Guapimirim data deste período (Viveiros de Castro, 2007).

O Poço Verde é o principal atrativo natural da Sede, sendo um conjunto de cachoeiras, corredeiras, e poços naturais do rio Soberbo (Figura 47). O local é apropriado para banho e está localizado ao final da Trilha de seu nome, a 20 minutos de caminhada do Centro de Visitantes, ou 570 metros. A trilha se destina ao uso recreativo de fácil acesso, tendo em vista seu curto percurso e seu baixo grau de dificuldade; logo, não possui um limite máximo de visitantes por dia, suas condições levam a um uso intensivo bastante expressivo.



Figura 47: Poço Verde. Fonte: <http://www.pbbase.com/flavioveloso/image/59815904> (Acesso 04/08/2009).

5.2.2 Condições e Manutenções das Trilhas

As variáveis exposição de raízes e afloramento rochoso se tornaram apenas parâmetros das condições gerais das trilhas, pois não demonstraram ser bons indicadores de avaliação do grau de distúrbio das trilhas, tendo em vista que não apontaram satisfatoriamente áreas mais ou menos degradadas. Com isso as variáveis mais atentadas para verificação das condições gerais das trilhas foram existência de sulcos, formação de degraus e acúmulo de água no leito.

O Programa de Monitoramento de Trilhas do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (2007) aponta quatro principais problemas ao longo da travessia e em especial na Trilha do Sino, os quais precisariam de intervenção, entre eles (i) erosão (sulco e laminar); (ii) problemas de traçado (atalhos, fechamento da trilha pela vegetação, e sinalização); (iii) poluição (hídrica e visual); e (iv) má conservação ou funcionamento insatisfatório das estruturas implantadas.

O relatório alerta que a solução da erosão em sulco seria a estruturação da drenagem da trilha, minimizando o escoamento pelo seu leito, com posterior fechamento do sulco formado com a utilização de material rochoso de diversos tamanhos e/ou estrutura de madeira e retaludamento. O relatório também alerta os diversos trechos com erosão laminar, os quais também necessitariam da readequação da drenagem.

No campo de julho, foram demarcados 35 (trinta e cinco) pontos na Trilha do Sino. A averiguação dos mesmos em gabinete levou a delimitação de 19 (dezenove) trechos de condições similares, conforme Tabela 20 e Figura 51. Nestes é possível perceber quatro trechos com erosão em sulco (2, 5, 9 e 19) em que o leito da trilha se tornou extremamente irregular, com muito afloramento de rochas (Figura 48).



Figura 48: Trecho com Erosão em Sulco na Trilha do Sino. Foto: Lia Kroeff (novembro/2009).

Também foram demarcados pontos com concentração de água em quatro trechos; porém, julho é a estação de menos chuvas nesta região. Em novembro, no segundo campo, quando a média de pluviosidade é mais alta, demarcou-se 20 (vinte) pontos com concentração de água, resultando em apenas cinco trechos sem a ocorrência de água na trilha, sendo que um desses possui o manejo com rochas. Em alguns trechos o curso da drenagem foi deslocado para o leito da trilha, transformando-a em um riacho (Figura 49).



Figura 49: Desvio da Drenagem para o leito da Trilha do Sino. Foto Lia Kroeff (novembro/2009).

Os levantamentos concluem que o nível de distúrbio da Trilha do Sino é elevado, principalmente na estação chuvosa, o que sugere a intervenção com técnicas de manejo em diversas áreas da trilha. Nos dois campos realizados, percebeu-se uma área expressiva da trilha (englobando os trechos 9, 10, 11 e 12) com “manejo de serrapilheira”, a partir do corte lateral da vegetação da trilha, o que protege o solo do leito e dificulta a erosão laminar e em sulco (Figura 50). Nestas, as condições da trilha estavam expressivamente melhores. O manejo com rochas nas áreas de maior declividade, como o realizado no primeiro trecho da trilha, também colaboram para a erosão em sulco e laminar menos acentuada.

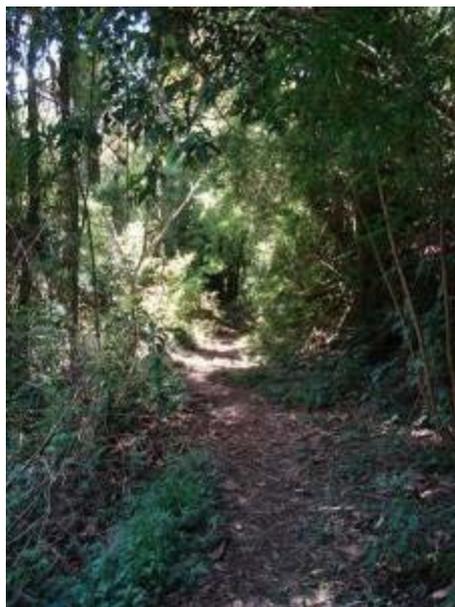


Figura 50: Corte Lateral da Vegetação, gerando acúmulo de serrapilheira, no leito da Trilha do Sino. Foto Lia Kroeff (novembro/2009).

Tabela 20: Trechos Delimitados na Trilha do Sino.

| Id | Observação |
|----|--|
| 1 | manejo com rochas, declividade mediana |
| 2 | declividade mediana |
| 3 | erosão em sulco concentrada, alta declividade |
| 4 | manejo com pedras, declividade baixa a média |
| 5 | erosão em sulco,degradações pontuais,alta declividade |
| 6 | trecho mais rochoso, com mais raiz, média declividade |
| 7 | trecho mais no topo, mudança de vegetação,baixa declividade |
| 8 | manejo com rochas, declividade mediana, sem acúmulo de água |
| 9 | erosão em sulco |
| 10 | trecho mais barroso, água correndo na trilha |
| 11 | boas condições |
| 12 | manejo com pedras, gramínea e folhas |
| 13 | pontos com acúmulo de água, alta declividade |
| 14 | solo mais arenoso, vegetação mais aberta |
| 15 | trecho barroso,trechos com água escorrendo,trilha mais fechada |
| 16 | ponto mais alto, vegetação mais baixa, rochas e matacões |
| 17 | muito acúmulo água,mudança de vegetação, mais arbustiva |
| 18 | sem focos de degradação intenso |
| 19 | topo do morro,alguns pontos com erosão em sulco |

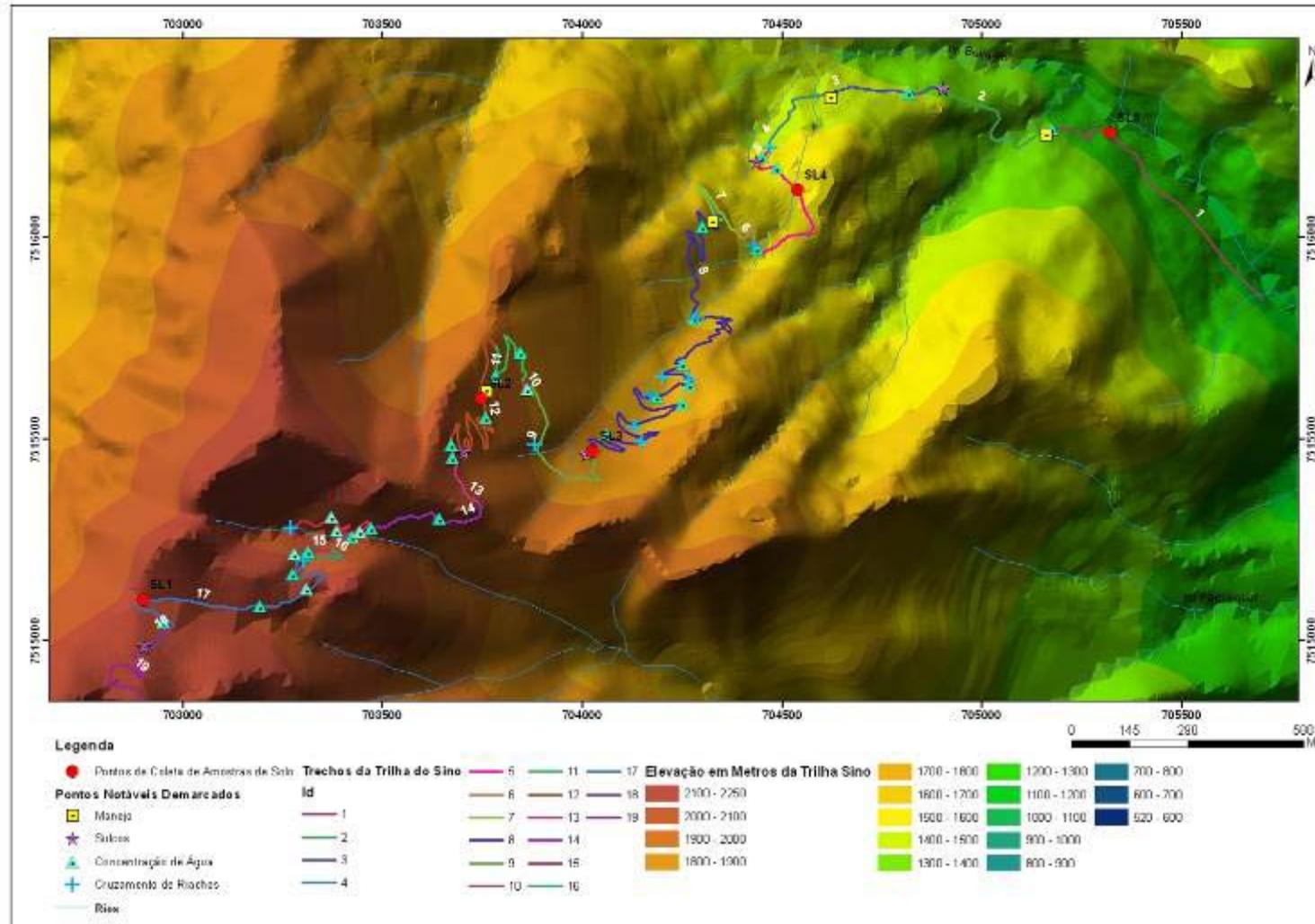


Figura 51: Pontos e Trechos Marcados e Delimitados na Trilha do Sino. Elaborado por L. Kroeff

Na trilha do Cartão Postal, no primeiro campo, em abril de 2009, foram levantados 15 (quinze) trechos diferentes. Em campo, considerou-se esses trechos com condições homogêneas; porém, foram demarcados 56 (cinquenta e seis) pontos com problemas específicos mais acentuados, como acúmulo de água e ocorrência de degraus. No segundo campo, em julho de 2009, 9 (nove) trechos foram delimitados, tendo sido feitas ao todo ponderações de 21 (vinte e um) pontos ao longo da trilha. Já no terceiro campo, demarcou-se apenas 17 (dezesete) pontos com concentração de água e degraus.

As informações levantadas nos três campos foram cruzadas, a fim de se chegar a um consenso sobre a homogeneidade dos trechos. Neste caso, 21 (vinte e um) trechos foram delimitados ao longo da trilha, conforme Tabela 21. Para a posterior coleta de amostras de solo, esses trechos foram simplificados mais uma vez, a fim de que mostrassem problemas específicos, o que resultou em 9 (nove) trechos (Figura 52A).

Tabela 21: Trechos Delimitados para Trilha do Cartão Postal pelos três levantamentos de campo.

| Trechos | Exposição Raiz | Exposição Rocha | Acumulação H ² O | Formação Degraus |
|---------|----------------|-----------------|-----------------------------|------------------|
| 1 | não ocorre | não ocorre | não ocorre | ausente |
| 2 | pouca | não ocorre | não ocorre | muito presente |
| 3 | não ocorre | não ocorre | pouca | ausente |
| 4 | pouca | media | não ocorre | muito presente |
| 5 | não ocorre | não ocorre | não ocorre | ausente |
| 6 | pouca | pouca | pouca | pouco presente |
| 7 | não ocorre | pouca | não ocorre | ausente |
| 8 | pouca | pouca | não ocorre | muito presente |
| 9 | media | não ocorre | não ocorre | ausente |
| 10 | pouca | não ocorre | pouca | muito presente |
| 11 | pouca | pouca | media | pouco presente |
| 12 | pouca | não ocorre | não ocorre | ausente |
| 13 | media | pouca | não ocorre | muito presente |
| 14 | media | media | não ocorre | pouco presente |
| 15 | elevada | media | media | muito presente |
| 16 | elevada | pouca | não ocorre | pouco presente |
| 17 | media | não ocorre | pouca | pouco presente |
| 18 | media | não ocorre | não ocorre | muito presente |
| 19 | media | não ocorre | elevada | muito presente |
| 20 | elevada | não ocorre | pouca | muito presente |
| 21 | pouca | não ocorre | não ocorre | ausente |

O diagnóstico geral da Trilha do Cartão Postal é de condições medianas. Ainda que atualmente não existam trechos críticos, há vários pontos com ocorrência potencial de erosão laminar, tendo em vista suas condições de grande declividade do leito. Dos 21

(vinte e um) trechos demarcados, 10 (dez) possuem manejo com troncos no leito da trilha (na A estão demarcados como degraus), restritos principalmente às áreas mais declivosas. Há oito pontos com concentração de água no leito da trilha, sendo três mais expressivos (com ocorrência de poças); porém, o curso das águas não chega a ser alterado para o leito da trilha, como ocorre em diversos pontos da Trilha do Sino; posteriormente estes pontos foram correlacionados com as curvaturas em planta e em perfil.

A curta extensão da Trilha do Poço Verde e a maior homogeneidade de seu relevo, levou à delimitação de 7 (sete) trechos em apenas um trabalho de campo (Tabela 22 e Figura 52B), realizado em setembro de 2009. Nestes, 10 (dez) pontos foram demarcados com características específicas.

De acordo com o Programa de Monitoramento de Trilhas do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (2007), “as trilhas da Sede Guapimirim, de uma forma geral, se encontram bem sinalizadas e apresentam um razoável estado de conservação geral”. O relatório destaca que nos trechos de maior declividade é perceptível o processo de erosão laminar, ainda que a declividade média da trilha seja baixa, 3°, com apenas dois pontos de declividade um pouco mais acentuada, entre 7° e 8°. No entanto, o relatório aconselha a colocação de degraus de rochas ao longo de praticamente todo o percurso da trilha.

O levantamento realizado neste trabalho também levou à constatação de boas condições da trilha, ainda mais se for considerado o seu uso intensivo. Não há trechos críticos, com erosão em sulco e tampouco aparente tendência para tanto. Há um trecho em que a compactação do solo está mais acentuada, mas sem sinais expressivos de degradação. Há três trechos com solo úmido e encharcado, porém não chega a ocorrer escoamento de água no leito da trilha e nem formação de poças. O aparente manejo frequente da trilha, com colocação de troncos certamente contribuem para melhores condições.

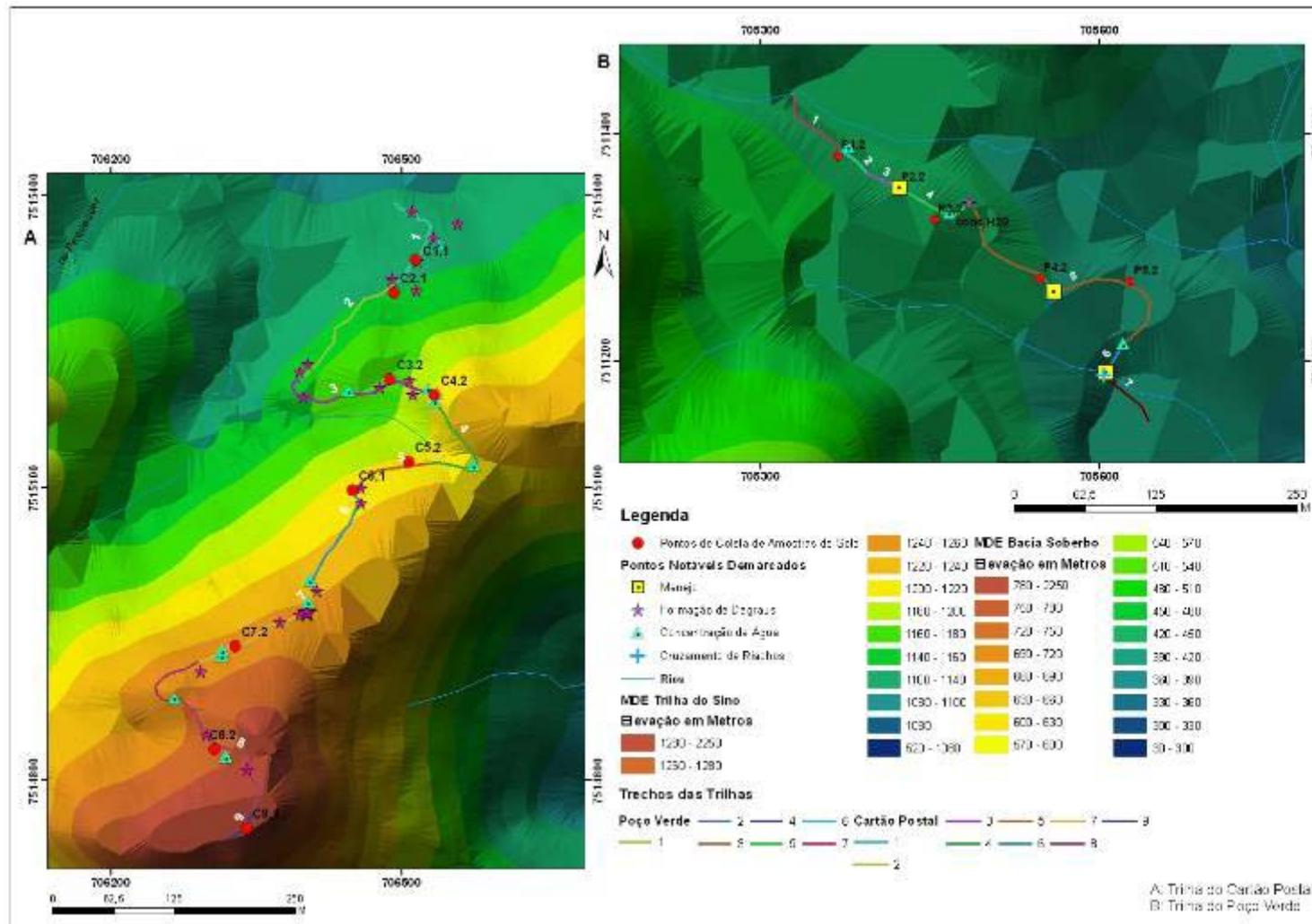


Figura 52: Pontos e Trechos Marcados e Delimitados nas Trilhas do Cartão Postal e Poço Verde. Elaborado por L. Kroeff.

Tabela 22: Informações coletadas em campo na Trilha do Poço Verde.

| Trechos | ALT | Larg. Total | Larg. Trilha | Expos. Raiz | Expos. Rocha | Acúmulo H ² O | Formação Degraus | Observação |
|---------|-------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------------------|------------------|--|
| 1 | 431,5 | 2,4 | 0,9 | pouca | pouca | pouca | ausente | pequeno acúmulo Água |
| 2 | 435,6 | 1,5 | 0,7 | pouca | media | não ocorre | ausente | declividade leito um pouco maior, trecho não completamente plano |
| 3 | 436,8 | 2,2 | 0,7 | pouca | pouca | não ocorre | pouco presente | manejo com troncos no leito, trilha mais larga, menos blocos de rocha |
| 4 | 431,5 | 2,3 | 1,4 | não ocorre | não ocorre | não ocorre | ausente | trilha mais larga, menos folhas, mais plana |
| 5 | 431,3 | 2,2 | 1,4 | pouca | Pouca | não ocorre | muito presente | trecho com pequena declividade, manejo com troncos, leito mais encaixado |
| 6 | 408,9 | 1,0 | 1,0 | não ocorre | Pouca | não ocorre | pouco presente | trecho mais plano, sem degraus, com delimitação lateral da trilha e contenções |
| 7 | 405,1 | 1,3 | 0,8 | pouca | não ocorre | não ocorre | ausente | trecho pavimentado |

5.2.3 Panorama Geral das Variáveis Associadas às Trilhas do Sino, Cartão Postal e Poço Verde (nível 0)

As variáveis associadas às trilhas se mostraram bastante importantes para melhor justificar as condições averiguadas em campo, principalmente o tempo de existência e a intensidade do uso. As técnicas de manejo mais constatadas ao longo das trilhas foram a colocação de troncos no leito da trilha quando a declividade do leito era muito acentuada, ainda que na Trilha do Sino ela não tenha sido implantada, possivelmente devido a longa extensão desta. Verificou-se que os troncos não se mostraram úteis na contenção dos impactos, tornando-se muitas vezes, mais um obstáculo a ser ultrapassado pelos usuários das trilhas. Em alguns pontos eles aparentaram exacerbar a erosão laminar, acentuando ainda mais as diferenças de declividade do leito da trilha. Por outro lado, a colocação de rochas no leito das trilhas se mostrou bastante útil, tanto para o menor encharcamento do solo, em áreas mais propícias, como também, para a contenção da erosão em sulco, nos leitos mais declivosos. Verificou-se poucos pontos com instalação de canos para a dispersão da drenagem do leito da trilha; porém quando

houve, eles se mostraram extremamente importantes, por evitarem o desvio da drenagem e, conseqüentemente, a erosão em sulco e também o alargamento da trilha, tendo em vista que os usuários procuram desviar desses trechos.

As variáveis relacionadas às condições, ou distúrbios, das trilhas que mais se mostraram válidas foram sulcos e acúmulo de água, essas mostrarem-se bastante relevantes no diagnóstico geral das condições das trilhas. A variável formação de degraus se mostrou dúbia, uma vez que foi associada à técnica de manejo de colocação de troncos no leito das trilhas. Logo, não se pode afirmar que ela sempre esteve relacionada a uma condição mais degradada. A exposição de rochas e raízes não foram determinantes na constatação das condições das trilhas, mas sim, apenas parâmetros balizadores, tendo em vista estarem muito condicionadas ao meio; ou seja, é necessário que haja uma maior quantidade de matacões no solo, para que eles aflorem com a erosão, ou que a vegetação seja de maior porte, para que as raízes das árvores aflorem.

A Tabela 23 sintetiza as variáveis de nível 0 em cada trilha. O levantamento delas na Trilha do Sino demonstrou que ela está em piores condições entre as três analisadas, principalmente pelos trechos com erosão em sulco e os diversos trechos e pontos com concentração de água. A inexistência ou precariedade do manejo em diversos trechos acarretam condições bastante precárias, como o leito bastante irregular, ou a transformação da trilha em um riacho, consequência do desvio da drenagem. O seu longo percurso, associado às características hidrogeomofológicas predominantes do relevo em que está inserida, facilitam a ocorrência de muitos pontos de degradação.

A Trilha do Cartão Postal demonstrou condições medianas, uma vez que as variáveis de nível 0 não apontaram trechos com erosão em sulco e tampouco acúmulos de água exacerbados, com água escoando no leito da trilha, porém em dois trechos poças chegaram a ser formadas, principalmente nos dias chuvosos. As condições referidas também são enfatizadas pelo leito mais declivoso e a conseqüente grande quantidade de troncos; a partir destes se pode apontar maiores propensões à erosão, principalmente a laminar; no entanto não foi possível determinar se ela é significativa.

O levantamento das variáveis de nível 0 averiguou boas condições na Trilha do Poço Verde, uma vez que foram verificados apenas dois pontos com um pequeno acúmulo de água, poucos expressivos, já que poças não foram formadas. Considerou-se

os troncos colocados uma medida de manejo despropositada para as condições da trilha, uma vez que em nenhum trecho o leito apresentou declividades expressivas.

Tabela 23: Resumo das Condições das Trilhas (Nível 0)

| TRILHA | Nível de Distúrbio | CARACTERÍSTICAS GERAIS | | | | TÉCNICAS DE MANEJO MAIS CORRENTES | DISTÚRBIOS MAIS CORRENTES | | |
|----------------------|--------------------|------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------------|---|---|---------------------------------------|-----------------|
| | | Extensão | Tempo de Existência | Intensidade do Uso | Declividade do Leito Predominante | | Sulcos | Degraus | Acúmulo de Água |
| SINO | ALTO | 11 km | Desde 1840 | Alta | Elevada | Rochas nos trechos com maior declividade e em alguns locais mais úmidos; colocação de canos para drenagem da água em alguns locais que a trilha cruza riachos; e corte lateral da vegetação em alguns trechos para maior acúmulo de serrapilheira no leito. | Presente (em 2 trechos e nas curvas com desnível altimétrico menor de 10m). | Não ocorre | Muito presente |
| CARTÃO POSTAL | MÉDIO | 1,2 km | 2008 | Média | Elevada | Troncos nos leitos mais declivosos e rochas nos pontos com acúmulo de água. | Não ocorre | Muito presente | Pouco presente |
| POÇO VERDE | BAIXO | 570 m | Entre 1850 e 1900 | Alta | Baixa | Pavimentação no início da trilha e troncos nos trechos com declividade mediana. | Não ocorre | Pouco presente (decorrente de manejo) | Não ocorre |

5.3 Variáveis Associadas às Propriedades e variáveis do Solo: Nível -1

Objetivava-se realizar a coleta de amostras de solo em todos os trechos das trilhas; no entanto, a falta de tempo hábil para as análises das amostras e a longa extensão e dificuldade da Trilha do Sino – o que requereria a coleta em diversos dias – levaram a diminuição do seu número. Buscou-se então obter pelo menos uma amostra de solo para cada condição das trilhas, ou seja, nas áreas mais ou menos degradadas, com maior ou menor intensidade de determinado distúrbio (tendo sido dada maior ênfase aos sulcos, degraus e acúmulos de água). Nas três trilhas foram coletadas amostras de solo no leito da trilha e a aproximadamente três metros do mesmo, a fim de comparar o grau de distúrbio das mesmas, além de nas profundidades de 0-5cm e de 5-10cm tanto no leito como a 3 metros de distância.

Na Trilha do Sino foram coletadas 5 (cinco) amostras de solo no leito, cada uma teve como foco uma condição diferenciada (Tabela 24), por esse motivo, em campo, alguns pontos foram levemente deslocados, a fim de obter uma amostra mais fidedigna ao objetivo da mesma.

Tabela 24: Pontos de Coleta de Amostra de Solo na Trilha do Sino.

| ID Amostra | LAT | LONG | FOCO |
|------------|--------|---------|---|
| S1 | 702901 | 7515101 | Mudança de vegetação: arbustiva |
| S2 | 703748 | 7515601 | Manejo com pedras, gramínea e folhas |
| S3 | 704027 | 7515470 | Trecho mais úmido, com erosão em sulco, muitas curvas bruscas |
| S4 | 704539 | 7516120 | Maior declividade, maior degradação, erosão em sulco |
| S5 | 705322 | 7516263 | Manejo com rochas |

Na trilha do Cartão Postal os 21 (vinte e um) trechos demarcados inicialmente, foram simplificados em 9 (nove, onde se deram as coletas) - (Figura 52A), a fim de que as coletas de solo tivessem como foco alguns problemas principais, ou a combinação deles, conforme Tabela 25.

Tabela 25: Pontos de Coleta de Amostra de Solo na Trilha do Cartão Postal.

| ID Campo | LAT | LONG | Foco |
|----------|--------|---------|--|
| C1 | 706514 | 7515330 | Formação de degrau |
| C2 | 706491 | 7515300 | Ponto "ideal", sem acúmulo água e degraus |
| C3 | 706488 | 7515211 | Exposição de raízes, formação de degraus |
| C4 | 706534 | 7515195 | Acúmulo H ₂ O |
| C5 | 706507 | 7515127 | Condições "ideais" |
| C6 | 706448 | 7515100 | Exposição de raízes, rochas e formação de degraus |
| C7 | 706327 | 7514937 | Exposição de raízes e rochas, acúmulo H ₂ O e formação de degraus |
| C8 | 706307 | 7514832 | Exposição de raízes, acúmulo H ₂ O e formação de degraus |
| C9 | 706340 | 7514750 | Topo do morro |

Por fim, na trilha do Poço Verde, foram coletadas mais 5 (cinco) amostras de solo, buscando, assim como nas outras duas trilhas, amostrar problemas pontuais (Tabela 26).

Tabela 26: Pontos de Coleta de Amostras de Solo na Trilha do Poço Verde.

| ID | LAT | LONG | FOCO |
|----|--------|---------|-----------------------------------|
| P1 | 705368 | 7511380 | Pequena concentração de água |
| P2 | 705420 | 7511352 | Exposição de rochas, leve declive |
| P3 | 705453 | 7511324 | Trecho "ideal" |
| P4 | 705546 | 7511272 | Degraus |
| P5 | 705626 | 7511270 | Solo compactado |

Para fins de cruzamento estatístico entre as propriedades do solo, o tamanho da amostra deste trabalho foi 76 (setenta e seis). No entanto, para fins de cruzamento com as variáveis de nível 0 e +1, o tamanho amostral foi de 38, correspondente às amostras de solo do leito da trilha, nas áreas que obtiveram impactos. Porém, levando-se em consideração o conceito de amostra em estatística, um subconjunto de um universo, ou melhor, um conjunto de indivíduos retirados de uma população, a fim de que o estudo

estatístico dessa amostra possa fornecer informações cruciais sobre a população; não se pode afirmar que o conjunto de amostras de solo desse trabalho se caracterize por amostras estatísticas, devido ao seu número muito reduzido. Apenas 38 amostras de solo não representariam o universo de estudo e inviabilizam a comprovação de qualquer tendência verificada nesse trabalho. Diante disso, sempre que o termo amostra for mencionado neste trabalho ele terá o sentido de amostra de solo e não de amostra estatística.

5.3.1 Textura

Majoritariamente, as amostras (considerando todas as trilhas e todos os pontos, tanto no leito, quanto a três metros e nas profundidade de 0-5cm e de 5-10cm) apresentaram um padrão franco-arenoso, uma vez que em média os percentuais de areia foram aproximadamente 60% e os de silte 26%, ocorrendo o predomínio de areia grossa (Tabela 28). Percebe-se que os solos da Trilha do Sino são um pouco mais arenosos do que os da Trilha do Cartão Postal e Poço, nestes as porções de argila são mais expressivas (10%).

Seis amostras apresentaram textura barrenta ou solo franco (Tabela 48, Tabela 49, Tabela 50 e Tabela 51 do Anexo II) três na Trilha do Cartão Postal e três na Trilha do Poço Verde, sendo duas no leito de 0-5cm (CL8_0-5 e PL5_0-5) e duas de 5-10cm (CL8_5-10 e PL5_5-10) e duas a 3 (três) metros (CB4_0-5cm e PB3_5-10). Nessas a proporção de areia foi menor que 50% e as de argila maiores que 8,5%, ocorrendo uma proporção de areia grossa menos elevada, menor que 35%. Uma amostra apresentou textura areno-argilo-barrenta (CB3_0-5), pela proporção de argila ser de 20%, e uma limo-argilosa (SB2_0-5), pela proporção de silte ser maior que 40%, ambas ocorreram em amostras a 3 (três) metros da trilha, nas profundidades de 0-5cm. A maior parte dessas amostras foi refeita, porém elas mantiveram os mesmos padrões.

As análises das médias das amostras tornam possível apontar algumas tendências, mesmo que incipientes, como, por exemplo, as maiores concentrações de areia e areia grossa e menores de silte no leito da trilha do que a três metros (Tabela 27).

Tabela 27: Médias de Textura e Percentuais de Areia Grossa e Areia Fina das Amostras do Leito das Trilhas e a 3 (três) metros do eixo da trilha.

| Localização | % de areia | % de argila | % de silte | % Areia Grossa | % Areia Fina |
|-----------------------|------------|-------------|------------|----------------|--------------|
| Leito 0-5 e 5-10 | 65,89 | 9,04 | 25,07 | 47,31 | 18,70 |
| a 3 metros 0-5 e 5-10 | 61,74 | 9,44 | 28,82 | 44,24 | 18,29 |

Comparando-se as médias texturais entre as trilhas também é possível perceber uma maior proporção de areia e menor de argila e silte nas amostras do leito da Trilha do Sino e do Poço do que a três metros de distância. Este fato pode ser correlacionado aos processos erosivos laminares que tendem a carrear as menores partículas do solo, logo, primeiramente a argila e posteriormente o silte. Da mesma forma, percebe-se uma tendência a maiores concentrações de areia grossa e menores de areia fina no leito da Trilha do Sino do que a três metros de distância; porém, maiores proporções de areia fina nas amostras do leito das Trilhas do Cartão Postal e do Poço Verde (Tabela 28) do que a três metros. Igualmente, as menores proporções de areia fina no leito da Trilha do Sino do que a três metros, poderiam refletir processos erosivos ainda mais significativos, uma vez que teriam tido a capacidade de transportar também as partículas de areia fina que possuem maiores dimensões.

Tabela 28: Média da Textura e percentuais de areia grossa e areia fina das Amostras na Trilha do Sino, Cartão Postal e Poço Verde.

| Amostras | Média Textura em % | | | | | CLASSE |
|----------------------|--------------------|-------------|------------|----------------|--------------|----------------|
| | % de areia | % de argila | % de silte | % Areia Grossa | % Areia Fina | |
| SL_0-5 | 72,45 | 6,14 | 21,41 | 53,81 | 18,64 | Franco Arenosa |
| SL_5-10 | 71,65 | 5,56 | 22,79 | 50,37 | 22,01 | Franco Arenosa |
| SB_0-5 | 59,28 | 7,37 | 33,35 | 44,48 | 19,66 | Franco Arenosa |
| SB_5-10 | 65,86 | 5,40 | 28,74 | 40,39 | 25,33 | Franco Arenosa |
| Média Trilha do Sino | 67,31 | 6,12 | 26,57 | 47,26 | 21,41 | Franco Arenosa |
| CL_0-5 | 65,16 | 11,03 | 23,81 | 47,86 | 17,30 | Franco Arenosa |

| Amostras | Média Textura em % | | | | | CLASSE |
|----------------------|--------------------|-------------|------------|----------------|--------------|----------------|
| | % de areia | % de argila | % de silte | % Areia Grossa | % Areia Fina | |
| CL_5-10 | 60,65 | 12,63 | 26,73 | 42,91 | 17,74 | Franco Arenosa |
| CB_0-5 | 62,48 | 11,61 | 25,91 | 46,04 | 16,44 | Franco Arenosa |
| CB_5-10 | 65,44 | 11,14 | 23,42 | 48,48 | 16,96 | Franco Arenosa |
| Média Trilha Cartão | 63,43 | 11,60 | 24,97 | 46,32 | 17,11 | Franco Arenosa |
| PL_0-5 | 61,86 | 9,39 | 28,75 | 43,40 | 18,46 | Franco Arenosa |
| PL_5-10 | 63,59 | 9,51 | 26,90 | 45,53 | 18,06 | Franco Arenosa |
| PB_0-5 | 59,41 | 10,11 | 30,48 | 44,27 | 15,14 | Franco Arenosa |
| PB_5-10 | 57,98 | 11,01 | 31,00 | 41,79 | 16,19 | Franco Arenosa |
| Média Trilha do Poço | 60,71 | 10,00 | 29,28 | 43,75 | 16,96 | Franco Arenosa |
| Média Geral | 63,82 | 9,242 | 26,94 | 45,78 | 18,49 | Franco Arenosa |

Legenda: S (Trilha do Sino), C (Trilha do Cartão Postal) e P (Trilha do Poço); L (leito) e B (buffer, a três metros do leito), número da amostra e profundidade: 0-5 cm ou 5-10 cm.

As inconstâncias entre as médias demonstram a falta de um padrão de comportamento mais significativo entre os grupos. Isso se comprova a partir das análises ANOVA simples, por localização e por profundidade entre as trilhas, na qual a tendência de maiores diferenças se dá nos grupos do que entre os grupos, ou seja, na textura a média nos grupos tendeu a ser maior do que entre os grupos, não ocorrendo, em sua maioria, significância para essas variáveis.

Porém, algumas poucas tendências observadas nas análises das tabelas são comprovadas através da ANOVA pela significância constatada, principalmente nas relações entre as localidades (amostra do leito e a três metros). Nas comparações das variáveis entre o leito das trilhas e a 3 (três) metros de distância, as amostras de areia fina, de 0-5cm, da Trilha do Poço e areia e silte, também de 0-5cm, da Trilha do Sino apresentaram significância, com valores de F e p-valor significativos. Isso comprovaria a disposição apresentada de maiores concentração de areia fina no leito da Trilha do

Poço e maiores proporções de areia e menores de silte no leito da Trilha do Sino. Apesar de não ter havido significância nas médias de argila, ela foi a variável que apresentou as maiores diferenças de médias percentuais nas comparações entre as trilhas das amostras do leito.

Atribui-se a tendência de maiores concentrações de areia fina no leito das trilhas do Cartão Postal e do Poço Verde (ocorrendo nesta significância da amostra pela análise ANOVA) do que a 3 (três) metros às condições do meio diferenciadas, uma vez que não se poderia correlacioná-las com maiores taxas de erosão, pelo contrário. O mesmo ocorre na significância verificada na Trilha do Sino nas comparações das médias de areia fina nas profundidades de 0-5cm e de 5-10cm a 3 (três) metros de distância. Essas poucas constatações foram correlacionadas num segundo momento com as variáveis de nível 0 e +1; porém, de antemão, estima-se que não se consiga explicá-las, tendo em vista suas inconstâncias.

A Tabela 29 destaca os coeficientes de variação altos entre as comparações das amostras do leito com as a 3 (três) metros da trilha do Sino. A amostra S1 foi a que apresentou a maior quantidade de coeficientes de variação altos, em ambas as profundidades, não ocorrendo somente na variável areia grossa. Estes valores refletem aumentos significativos de areia e areia fina e diminuição de argila e silte no leito da trilha. Também se percebeu diminuição significativa das proporções de silte na amostra SL5_0-5cm. Diminuição considerável de argila só foi percebida na amostra SL3_0-5cm e 0-5 e 5-10, já na amostra SL4_0-5 percebeu-se um aumento das porções de argila. Aumentos consideráveis das proporções de areia grossa e diminuição de areia fina foram percebidos nas amostras SL2_0-5 e 0-5 e 5-10cm.

Tabela 29: Coeficiente de Variação em % entre as Texturas do Leito da Trilha do Sino e a 3 (três) metros de 0-5 cm e de 0-5 e de 5-10cm.

| Coeficientes de Variação em % | AREIA | ARGILA | SILTE | Areia GROSSA | Areia FINA |
|---------------------------------|-------|--------|-------|--------------|------------|
| SL1_0-5 X SB1_0-5 | 34,38 | 74,88 | 96,88 | 6,70 | 44,87 |
| SL1_0-5 e 5-10 x SB1_0-5 e 5-10 | 27,60 | 47,40 | 79,49 | 18,80 | 15,94 |
| SL2_0-5 X SB2_0-5 | 11,72 | 11,02 | 17,06 | 56,86 | 21,33 |
| SL2_0-5 e 5-10 x SB2_0-5 e 5-10 | 6,35 | 11,33 | 10,42 | 40,24 | 22,39 |
| SL3_0-5 X SB3_0-5 | 11,09 | 55,89 | 19,26 | 12,33 | 7,01 |
| SL3_0-5 e 5-10 x SB3_0-5 e 5-10 | 7,90 | 39,97 | 17,03 | 8,73 | 5,01 |
| SL4_0-5 X SB4_0-5 | 3,36 | 27,81 | 3,25 | 7,18 | 4,48 |
| SL4_0-5 e 5-10 x SB4_0-5 e 5-10 | 2,04 | 21,92 | 5,97 | 5,79 | 5,54 |
| SL5_0-5 X SB5_0-5 | 13,30 | 3,13 | 34,61 | 21,35 | 6,02 |
| SL5_0-5 e 5-10 x SB5_0-5 e 5-10 | 8,33 | 8,92 | 20,39 | 14,44 | 4,19 |

Na Trilha do Cartão Postal (Tabela 30), as amostras CL3_0-5cm e CL4_0-5, apresentaram aumentos significativos de areia e areia grossa e diminuição de argila e silte no leito da trilha, estas últimas também foram percebidas na amostra CL7_0-5. Comportamento oposto foi percebido nas amostras CL6_0-5 e 0-5 e 5-10, CL7_5-10cm, CL9_0-5 e 0-5 e 5-10, em que ocorreu aumento de argila e silte. Diante disso, a amostra CL7 possui um comportamento anômalo, uma vez que nas primeiras camadas (0-5) ocorreu diminuição das proporções de argila e silte e nas camadas abaixo, de 5-10cm, ocorreu aumento dessas partículas. Aumentos das proporções de argila e silte no leito da trilha demonstram que os solos não estão erodidos, pelo contrário, estão bastante conservados.

Tabela 30: Coeficiente de Variação em % entre as Texturas do Leito da Trilha do Cartão Postal e a 3 (três) metros de 0-5 cm e de 5-10cm.

| Coeficientes de Variação em % | AREIA | ARGILA | SILTE | Areia GROSSA | Areia FINA |
|---------------------------------|-------|--------|-------|--------------|------------|
| CL1_0-5 X CB1_0-5 | 4,64 | 19,77 | 1,51 | 8,22 | 12,48 |
| CL1_0-5 e 5-10 x CB1_0-5 e 5-10 | 2,61 | 13,78 | 3,56 | 5,06 | 9,36 |
| CL2_0-5 X CB2_0-5 | 3,33 | 4,47 | 3,84 | 1,22 | 4,16 |
| CL2_0-5 e 5-10 x CB2_0-5 e 5-10 | 1,83 | 6,23 | 3,59 | 0,90 | 2,17 |
| CL3_0-5 X CB3_0-5 | 27,88 | 58,00 | 42,97 | 32,39 | 22,31 |
| CL3_0-5 e 5-10 x CB3_0-5 e 5-10 | 16,47 | 30,18 | 20,80 | 18,13 | 15,25 |
| CL4_0-5 X CB4_0-5 | 27,03 | 26,61 | 39,97 | 32,44 | 5,33 |
| CL4_0-5 e 5-10 x CB4_0-5 e 5-10 | 16,46 | 12,90 | 27,23 | 20,28 | 2,98 |
| CL5_0-5 X CB5_0-5 | 2,34 | 5,18 | 5,20 | 1,97 | 17,11 |
| CL5_0-5 e 5-10 x CB5_0-5 e 5-10 | 4,83 | 16,72 | 9,23 | 2,18 | 22,31 |
| CL6_0-5 X CB6_0-5 | 9,34 | 8,68 | 22,83 | 16,37 | 25,65 |
| CL6_0-5 e 5-10 x CB6_0-5 e 5-10 | 9,38 | 5,40 | 23,68 | 16,02 | 15,93 |
| CL7_0-5 X CB7_0-5 | 10,34 | 34,74 | 33,58 | 12,76 | 35,10 |
| CL7_0-5 e 5-10 x CB7_0-5 e 5-10 | 15,19 | 60,25 | 40,89 | 17,86 | 19,63 |
| CL8_0-5 X CB8_0-5 | 9,82 | 16,59 | 8,90 | 17,71 | 5,81 |
| CL8_0-5 e 5-10 x CB8_0-5 e 5-10 | 8,36 | 11,64 | 11,21 | 12,62 | 5,63 |
| CL9_5-10 X CB9_5-10 | 21,83 | 80,61 | 64,85 | 22,42 | 19,82 |
| CL9_0-5 e 5-10 x CB9_0-5 e 5-10 | 19,72 | 80,94 | 55,07 | 17,06 | 21,52 |

Por fim, na Trilha do Poço Verde (Tabela 31), nas profundidades de 0-5 cm, ocorre um aumento significativo apenas na proporção de areia fina (64%) da amostra P1. A maior frequência de altos coeficientes de variação é percebida nas proporções de silte, no entanto, ao contrário do que se esperava, nem sempre estes representaram diminuições. Na amostra PL4_0-5 ocorreram diminuições nas proporções de silte, no entanto, nas amostras PL5, em ambas as profundidades, ocorreram aumentos. O aumento significativo de silte da amostra PL5_5-10cm (47%) faz com que a classe textural do leito (franco) seja diferente da a três metros (franco-arenoso). Ainda que o coeficiente de variação não seja significativo, na amostra PL5 também se percebeu aumento das proporções de argila, o que refletiria processos erosivos pouco atuantes.

Tabela 31: Comparações Percentuais das Texturas do Leito da Trilha do Poço Verde e a 3 (três) metros de 0-5 cm e de 5-10cm.

| Coefficientes de Variação em % | AREIA | ARGILA | SILTE | Areia GROSSA | Areia FINA |
|--|--------------|---------------|--------------|---------------------|-------------------|
| PL1_0-5 X PB1_0-5 | 2,73 | 18,50 | 10,53 | 15,87 | 34,15 |
| PL1_0-5 e 5-10 x PB1_0-5 e 5-10 | 2,19 | 20,04 | 9,74 | 13,84 | 28,20 |
| PL2_0-5 X PB2_0-5 | 9,57 | 17,77 | 13,78 | 12,60 | 2,73 |
| PL2_0-5 e 5-10 x PB2_0-5 e 5-10 | 9,89 | 17,67 | 15,12 | 11,64 | 5,96 |
| PL3_0-5 X PB3_0-5 | 10,31 | 12,25 | 19,13 | 11,00 | 8,46 |
| PL3_0-5 e 5-10 x PB3_0-5 e 5-10 | 20,12 | 18,34 | 42,87 | 26,35 | 5,59 |
| PL4_0-5 X PB4_0-5 | 12,99 | 0,36 | 28,73 | 11,22 | 18,19 |
| PL4_0-5 e 5-10 x PB4_0-5 e 5-10 | 10,53 | 3,58 | 23,26 | 9,44 | 13,53 |
| PL5_0-5 X PB5_0-5 | 17,48 | 18,09 | 22,05 | 27,96 | 7,56 |
| PL5_0-5 e 5-10 x PB5_0-5 e 5-10 | 16,77 | 10,80 | 24,33 | 24,43 | 5,11 |

Conforme já foi colocado, as inconstâncias das tendências e significâncias e principalmente coeficientes de variação, com diferenças em cada trilha e até mesmo dentro da própria trilha e entre as diferentes profundidades de uma mesma amostra, tornam as correlações com outras variáveis mais difíceis e possivelmente especulativas. Provavelmente, um tamanho de amostras mais significativo teriam indicado mais significâncias para a variável textura; porém, neste caso, ela não se mostrou uma variável muito indicativa de maior degradação.

5.3.2 Densidade Real (DR) ou de Partículas (DP)

A média geral da densidade de partículas das amostras foi de 2,36 g/cm³, bem próxima da média de 2,4 g/cm³ encontrada por Monsueto *et al* (p.5) em seis amostras no alto curso da Bacia do Paquequer. O valor encontrado também está em concordância com a predominância dos tipos de solo da região, solos minerais, em que a média da densidade de partículas fica entre 2,3 e 2,9 g/cm³.

A avaliação da Tabela 32 demonstra uma tendência de valores de DP mais elevados no leito das trilhas nas profundidades de 0-5 cm do que a 3 (três) metros (em área não impactada). Essas diferenças ficam ainda mais enfáticas se avaliarmos somente as médias dos valores na Trilha do Sino e do Poço, as mais antigas, em que ocorre um aumento médio de 12% dos valores das amostras do leito da trilha em comparação com os valores das amostras a 3 (três) metros. Nelas é possível perceber uma tendência a valores mais elevados no leito das trilhas, tanto nas profundidades de 0-5 cm como de

5-10 cm, ainda que nas camadas superiores essas sejam ainda mais enfáticas. Essas tendências são comprovadas na análise ANOVA, que apontou significância nas médias das amostras do leito das Trilhas do Sino e do Poço Verde em ambas as profundidades (Tabela 33).

Tabela 32: Médias de Densidade de Partículas nas Diferentes Localidades e Profundidades.

| Densidade de Partículas ou Real em g/cm ³ | MÉDIAS | | | | Média de cada Trilha |
|--|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| | Leito da trilha de 0 a 5 cm | Leito da Trilha de 5 a 10 cm | Buffer (a 3 m) de 0 a 5 cm | Buffer (a 3 m) de 5 a 10 cm | |
| Trilha do Sino | 2,47 | 2,32 | 2,32 | 2,33 | 2,36 |
| Trilha do Cartão Postal | 2,29 | 2,38 | 2,22 | 2,41 | 2,33 |
| Trilha do Poço Verde | 2,48 | 2,51 | 2,21 | 2,42 | 2,41 |
| Média Geral | 2,41 | 2,40 | 2,25 | 2,39 | 2,36 |
| Média das T. Sino e Poço | 2,48 | 2,42 | 2,27 | 2,38 | |

Os valores mais elevados do leito das trilhas estão associados a solos mais minerais. Ainda que os valores mais baixos não cheguem ao padrão daqueles encontrados em solos orgânicos (1,89 g/cm³), pode-se associar essas diferenças a perdas de matéria orgânica no leito da trilha, consequência provável do pisoteio humano e da erosão.

Tabela 33: Valores das Análises ANOVA por Profundidade e Localização nas Trilhas do Sino, Cartão Postal e Poço Verde.

| Densidade de Partículas ou Real em g/cm ³ | ANOVA | | | |
|--|--|---------|-----------------------------|---------|
| | Análise por Localização (Leito e a 3m) | | | |
| | Entre amostras de 0 a 5 cm | | Entre amostras de 5 a 10 cm | |
| | F | p-valor | F | p-valor |
| Trilha do Sino | 10,547 | 0,012 | 14,882 | 0,005 |
| Trilha do Cartão Postal | 0,259 | 0,618 | 0,035 | 0,853 |
| Trilha do Poço Verde | 17,281 | 0,003 | 5,399 | 0,049 |

Nas amostras a 3 (três) metros das trilhas, em áreas não impactadas, a média das DP's nas camadas superficiais, de 0-5cm, é de 2,25 g/cm³, valor considerado abaixo da média dos solos minerais, o que demonstra uma grande quantidade de matéria orgânica. Em algumas amostras, como SB1_0-5 e PB5_0-5 o valor, 1,96 g/cm³, chega a ser bem próximo ao padrão dos solos orgânicos, diferindo fortemente – ao redor de 26% - dos encontrados no leito das trilhas, 2,47 e 2,50 g/cm³ para SL1_0-5cm e PL5_0-5cm, respectivamente.

A partir da Tabela 34 é possível perceber que em seis (C1, C4, C6, C7 e C9) dos nove pontos da Trilha do Cartão Postal as amostras do leito da trilha de 0-5cm chegam a obter valores menores do que as a três metros da trilha na mesma profundidade, ainda que em nenhuma dessas diferenças o coeficiente de variação tenha sido significativo, pelo contrário, bastante baixo. No entanto, cabe destacar essas diminuições, pois elas representam baixo impacto, o que não ocorre nas Trilhas do Sino e Poço Verde. Atribui-se a esse fato a recente implantação (em 2008) da Trilha do Cartão Postal. Nas amostras de 5-10cm também ocorrem diminuições de valores do leito da trilha com relação aos a 3 (três) metros nas amostras C3, C4, C7 e C9.

Tabela 34: Valores de Densidade de Partículas em cada Amostra de Solo.

| Densidade de Partículas ou Real em g/cm ³ | Leito da trilha de 0 a 5 cm | Leito da Trilha de 5 a 10 cm | Buffer (a 3 m) de 0 a 5 cm | Buffer (a 3 m) de 5 a 10 cm |
|--|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| S1 | 2,47 | 2,50 | 1,96 | 2,20 |
| S2 | 2,27 | 2,38 | 2,22 | 2,41 |
| S3 | 2,56 | 2,53 | 2,35 | 2,38 |
| S4 | 2,56 | 2,53 | 2,25 | 2,25 |
| S5 | 2,50 | 2,53 | 2,22 | 2,20 |
| C1 | 2,33 | 2,27 | 2,47 | 2,11 |
| C2 | 2,38 | 2,38 | 2,38 | 2,27 |
| C3 | 2,35 | 2,17 | 2,17 | 2,25 |
| C4 | 2,27 | 2,20 | 2,30 | 2,26 |
| C5 | 2,30 | 2,41 | 2,22 | 2,41 |
| C6 | 2,41 | 2,47 | 2,44 | 2,41 |

| Densidade de Partículas ou Real em g/cm ³ | Leito da trilha de 0 a 5 cm | Leito da Trilha de 5 a 10 cm | Buffer (a 3 m) de 0 a 5 cm | Buffer (a 3 m) de 5 a 10 cm |
|--|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| C7 | 1,94 | 2,02 | 2,20 | 2,44 |
| C8 | 2,41 | 2,60 | 2,35 | 2,35 |
| C9 | 2,22 | 2,33 | 2,35 | 2,47 |
| P1 | 2,47 | 2,50 | 2,30 | 2,38 |
| P2 | 2,41 | 2,56 | 2,25 | 2,56 |
| P3 | 2,47 | 2,50 | 2,27 | 2,35 |
| P4 | 2,53 | 2,53 | 2,25 | 2,38 |
| P5 | 2,50 | 2,47 | 1,96 | 2,41 |

Legenda: S: Amostras da Trilha do Sino; C: Trilha do Cartão Postal e P: Trilha do Poço Verde.

5.3.3 Densidade Aparente (DA) ou do Solo

A densidade aparente, conjuntamente com a densidade de partículas, foi a variável que mais possuiu significância nas comparações entre as amostras do leito das trilhas e a 3 (três) metros e também a com maior quantidade de coeficientes de variação altos; o que demonstra não somente o impacto inerente das trilhas, a compactação dos solos pelo pisoteio humano, mas também, a grande importância dessa variável na averiguação desse impacto.

As densidades médias das amostras a três metros das trilhas, 0,73 g/cm³, foi similar a obtida por Monsueto *et al.* (p.5) nesta região, 0,62 g/cm³, principalmente ao se comparar somente à média das trilhas do Sino e Cartão Postal, 0,67 g/cm³, as quais se localizam na mesma bacia analisada pelos autores, a do Paquequer. Esses valores estariam um pouco discrepantes com a média de densidade aparente encontrada em solos minerais, de 1,1 a 1,6 g/cm³, estando mais condizentes com as médias dos solos orgânicos, 0,6 a 0,8 g/cm³.

A média geral das densidades aparentes das trilhas foi maior, 0,97 g/cm³, e não diferiu consideravelmente em cada trilha; no entanto, a diferença das médias das densidades no leito da trilha e a três metros foi expressiva, principalmente nas amostras de 0-5cm das Trilhas do Sino e do Poço Verde, as mais antigas (Tabela 35); as quais são comprovadas pelas análises ANOVA (Tabela 36), em que o valor F e a significância (p-

valor) foram bastante expressivos. Essas diferenças expressam a consequência do pisoteio humano no solo, o qual tende a gerar solos mais compactados e, conseqüentemente, com valores de densidade aparente maiores.

As diferenças na Trilha do Poço Verde são bastante expressivas, comprovadas pelos valores F e p-valor, pois as médias dos valores de DA de 0-5cm são maiores do que os de 5-10cm, o que contraria a tendência natural, consequência da pressão exercida pelas camadas superiores. Nenhuma dessas diferenças é percebida na Trilha do Cartão Postal, o que demonstra, como na variável densidade de partículas, as melhores condições dessa trilha e, neste caso, a influência ainda inexpressiva do pisoteio humano.

Tabela 35: Médias das Densidades Aparentes das Amostras das Trilhas.

| Densidade Aparente ou do Solo em g/cm ³ | MÉDIAS | | | | |
|--|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------|
| | Leito da trilha de 0 a 5 cm | Leito da Trilha de 5 a 10 cm | Buffer (a 3 m) de 0 a 5 cm | Buffer (a 3 m) de 5 a 10 cm | da Trilha |
| Trilha do Sino | 1,20 | 1,24 | 0,60 | 0,74 | 0,95 |
| Trilha do Cartão Postal | 0,90 | 0,91 | 0,86 | 0,96 | 0,91 |
| Trilha do Poço Verde | 1,20 | 1,17 | 0,73 | 0,90 | 1,00 |
| Média de todas as trilhas | 1,10 | 1,11 | 0,73 | 0,87 | 0,95 |
| Média Sino e Poço | 1,20 | 1,21 | 0,67 | 0,82 | 0,97 |

As análises ANOVA ainda demonstram diferenças significativas entre as amostras do leito e a 3 (três) metros, de 5-10cm, das trilhas do Sino e do Poço, comprovadas pelos valores F e p-valor significativos (Tabela 36) e também pelos coeficientes de variação em ambas as profundidades (Tabela 37). Isso reflete que as camadas mais profundas também sofreram alteração pelo pisoteio humano; do contrário, as médias entre essas amostras seriam mais semelhantes, como ocorre na Trilha do Cartão Postal. A alteração em ambas as camadas dos solos do leito das trilhas, porém mais expressivas nas superficiais, levam a inexistência de significância nas comparações das médias entre as amostras do leito de 0-5 e de 5-10cm.

Percebe-se diferenças significativas das médias das amostras nas comparações entre as profundidades (0-5 e de 5-10cm) a 3 (três) metros da Trilha do Poço Verde

(Tabela 36), as quais refletiriam uma tendência padrão de aumento da densidade aparente com a profundidade (conforme é verificado em todas as trilhas, ainda que as diferenças sejam menores nas outras), devido à pressão exercida pelas camadas superiores. Essa constatação não é válida para este trabalho, mas não terem ocorrido essas mesmas diferenças em todas as trilhas pode ser consequência de camadas superficiais mais ou menos orgânicas, o que diminuiria ou aumentaria os valores da DA.

Tabela 36: Análises ANOVA das Densidades Aparentes das Amostras das Trilhas.

| Densidade Aparente ou do Solo em g/cm ³ | ANOVA | | | | | | | |
|--|--|---------|-----------------------------|---------|--|---------|--------------------------------|---------|
| | Análise por Localização (Leito e a 3m) | | | | Análise por Profundidade (0-5cm e de 5-10cm) | | | |
| | Entre amostras de 0 a 5 cm | | Entre amostras de 5 a 10 cm | | Entre amostras do Leito das Trilhas | | Entre amostras a 3 m da Trilha | |
| | F | p-valor | F | p-valor | F | p-valor | F | p-valor |
| Trilha do Sino | 20,506 | 0,002 | 22,848 | 0,001 | 0,134 | 0,724 | 1,543 | 0,249 |
| Trilha do Cartão Postal | 0,200 | 0,660 | 0,221 | 0,644 | 0,04 | 0,845 | 1,004 | 0,331 |
| Trilha do Poço Verde | 53,770 | 0,000 | 29,463 | 0,001 | 0,255 | 0,628 | 8,757 | 0,018 |

As amostra SL1_0-5 e 5-10 cm e PL4_0-5 cm obtiveram os valores mais altos de densidade aparente (1,6, 1,37 e 1,4 g/cm³ respectivamente), e com as maiores diferenças entre o leito e a 3 (três) metros da trilha. Basicamente todos as amostras de 0-5cm da Trilha do Sino e do Cartão Postal obtiveram coeficientes de correlação bastante altos, demonstrando que as condições das trilhas estão bastante diferentes que o entorno.

Houve três amostras de 0-5cm da Trilha do Cartão Postal que também obtiveram coeficientes altos, foram elas CL2_0-5 e CL3_0-5, representando aumentos. Por outro lado, verificou-se valores menores de DA no leito da trilha do que a 3 (três) metros em quatro amostras de 0-5 cm (C1, C6, C7 e C9), ainda que o coeficiente de variação dessas não seja expressivo. Mais uma vez isso demonstra que a Trilha do Cartão Postal, por ser mais recente, possui uma dinâmica diferenciada e que a degradação dela, em

vários trechos, é inexpressiva. Em outras palavras, a Trilha do Cartão ainda estaria em harmonia com a paisagem.

Tabela 37: Coeficientes de Variação da Densidade Aparente entre as Amostras do leito das trilhas e a 3 metros de 0-5cm e de 0-5 e 5-10cm.

| Coeficientes de Variação em % | DA |
|---------------------------------|--------------|
| TRILHA DO SINO | |
| SL1_0-5 X SB1_0-5 | 91,29 |
| SL1_0-5 e 5-10 x SB1_0-5 e 5-10 | 74,87 |
| SL2_0-5 X SB2_0-5 | 25,80 |
| SL2_0-5 e 5-10 x SB2_0-5 e 5-10 | 11,49 |
| SL3_0-5 X SB3_0-5 | 24,81 |
| SL3_0-5 e 5-10 x SB3_0-5 e 5-10 | 24,84 |
| SL4_0-5 X SB4_0-5 | 41,42 |
| SL4_0-5 e 5-10 x SB4_0-5 e 5-10 | 43,58 |
| SL5_0-5 X SB5_0-5 | 47,68 |
| SL5_0-5 e 5-10 x SB5_0-5 e 5-10 | 50,49 |
| TRILHA DO CARTÃO POSTAL | |
| CL1_0-5 X CB1_0-5 | 9,83 |
| CL1_0-5 e 5-10 x CB1_0-5 e 5-10 | 17,30 |
| CL2_0-5 X CB2_0-5 | 21,30 |
| CL2_0-5 e 5-10 x CB2_0-5 e 5-10 | 17,09 |
| CL3_0-5 X CB3_0-5 | 31,79 |
| CL3_0-5 e 5-10 x CB3_0-5 e 5-10 | 21,89 |
| CL4_0-5 X CB4_0-5 | 17,03 |
| CL4_0-5 e 5-10 x CB4_0-5 e 5-10 | 13,88 |
| CL5_0-5 X CB5_0-5 | 4,58 |
| CL5_0-5 e 5-10 x CB5_0-5 e 5-10 | 4,38 |
| CL6_0-5 X CB6_0-5 | 2,87 |
| CL6_0-5 e 5-10 x CB6_0-5 e 5-10 | 2,12 |

| Coeficientes de Variação em % | DA |
|--|-----------|
| CL7_0-5 X CB7_0-5 | 14,79 |
| CL7_0-5 e 5-10 x CB7_0-5 e 5-10 | 41,90 |
| CL8_0-5 X CB8_0-5 | 5,30 |
| CL8_0-5 e 5-10 x CB8_0-5 e 5-10 | 8,98 |
| CL9_5-10 X CB9_5-10 | 16,89 |
| CL9_0-5 e 5-10 x CB9_0-5 e 5-10 | 19,89 |
| TRILHA DO POÇO VERDE | |
| PL1_0-5 X PB1_0-5 | 23,99 |
| PL1_0-5 e 5-10 x PB1_0-5 e 5-10 | 20,19 |
| PL2_0-5 X PB2_0-5 | 27,80 |
| PL2_0-5 e 5-10 x PB2_0-5 e 5-10 | 26,09 |
| PL3_0-5 X PB3_0-5 | 35,01 |
| PL3_0-5 e 5-10 x PB3_0-5 e 5-10 | 26,03 |
| PL4_0-5 X PB4_0-5 | 47,86 |
| PL4_0-5 e 5-10 x PB4_0-5 e 5-10 | 38,53 |
| PL5_0-5 X PB5_0-5 | 40,38 |
| PL5_0-5 e 5-10 x PB5_0-5 e 5-10 | 21,77 |

5.3.4 Umidade Volumétrica

A média geral das amostras foi de 41%. Não se percebeu tendências entre as amostras do leito e a três metros. Entre as trilhas, houve uma pequena tendência de umidades mais elevadas na Trilha do Sino, seguida pela Trilha do Cartão Postal.

Na Trilha do Sino, percebeu-se uma tendência a solos mais úmidos nas camadas superficiais, 0-5 cm, principalmente a três metros da trilha, se comparadas as do leito. Tendência oposta foi percebida na Trilha do Cartão Postal, em que se averiguou uma leve inclinação a solos mais úmidos no leito da trilha, em ambas as profundidades, do que a três metros. Nenhuma dessas constatações foi verificada na Trilha do Poço Verde (Tabela 38).

Essas tendências poderiam ser associadas à determinada predominância de orientação das vertentes em cada uma das trilhas; para tanto, serão posteriormente correlacionadas para serem averiguadas. Ainda assim, ressalta-se que elas pouco expressivas, uma vez que não foram constatadas significâncias nas comparações a partir das análises ANOVA. Diante disso, a variação de umidade não se mostrou um bom parâmetro de análise.

A maior justificativa a insignificância da variável umidade é o seu cálculo ter obtido os valores de umidade volumétrica, os quais não demonstram ser os mais apropriados, uma vez que não se tem um parâmetro se o solo está muito ou pouco úmido, pois não se tem a medida do grau de saturação do solo. O mais apropriado teria sido a verificação da umidade gravimétrica, a qual mensura a capacidade que determinado solo tem de armazenar água.

Tabela 38: Médias de Umidades das Trilhas, nas Diferentes Amostras.

| Umidade Volumétrica em % | MÉDIAS | | | | |
|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------|
| | Leito da trilha de 0 a 5 cm | Leito da Trilha de 5 a 10 cm | Buffer (a 3 m) de 0 a 5 cm | Buffer (a 3 m) de 5 a 10 cm | Da Trilha |
| Trilha do Sino | 44,55 | 42,31 | 50,40 | 45,17 | 45,61 |
| Trilha do Cartão Postal | 47,09 | 47,88 | 40,71 | 36,97 | 43,16 |
| Trilha do Poço Verde | 33,78 | 37,29 | 34,91 | 33,81 | 34,95 |
| Média de Todas Trilhas | 41,81 | 42,49 | 42,01 | 38,65 | 41,24 |

Foram percebidas algumas diferenças significativas pontuais entre as amostras do leito das trilhas e a três metros, a partir do coeficiente de variação. Em sete amostras (Tabela 39) ocorreu aumento dos percentuais de umidade no leito das trilhas do que a 3 (três) metros, entre elas a SL4_0-5 cm, C1_0-5 cm e de 0-5 e 5-10 cm, CL2_0-5cm, CL7_0-5 e 5-10, e CL9 0-5 e 0-5 e 5-10cm. Porém, em três amostras ocorreu diminuição significativa do percentual de umidade do leito, SL1_0-5 e 0-5 e 5-10cm e PL3_0-5cm.

Tabela 39: Coeficientes de Variação da Umidade entre as Amostras do leito das trilhas e a 3 metros de 0-5cm e de 0-5 e 5-10cm.

| Coeficientes de Variação em % | UMIDADE |
|--------------------------------------|----------------|
| TRILHA DO SINO | |
| SL1_0-5 X SB1_0-5 | 69,85 |
| SL1_0-5 e 5-10 x SB1_0-5 e 5-10 | 48,89 |
| SL2_0-5 X SB2_0-5 | 3,66 |
| SL2_0-5 e 5-10 x SB2_0-5 e 5-10 | 2,53 |
| SL3_0-5 X SB3_0-5 | 2,78 |
| SL3_0-5 e 5-10 x SB3_0-5 e 5-10 | 10,99 |
| SL4_0-5 X SB4_0-5 | 22,12 |
| SL4_0-5 e 5-10 x SB4_0-5 e 5-10 | 16,06 |
| SL5_0-5 X SB5_0-5 | 12,16 |
| SL5_0-5 e 5-10 x SB5_0-5 e 5-10 | 12,10 |
| TRILHA DO CARTÃO POSTAL | |
| CL1_0-5 X CB1_0-5 | 43,23 |
| CL1_0-5 e 5-10 x CB1_0-5 e 5-10 | 36,20 |
| CL2_0-5 X CB2_0-5 | 22,65 |
| CL2_0-5 e 5-10 x CB2_0-5 e 5-10 | 14,46 |
| CL3_0-5 X CB3_0-5 | 6,20 |
| CL3_0-5 e 5-10 x CB3_0-5 e 5-10 | 9,55 |
| CL4_0-5 X CB4_0-5 | 0,37 |
| CL4_0-5 e 5-10 x CB4_0-5 e 5-10 | 1,44 |
| CL5_0-5 X CB5_0-5 | 13,24 |
| CL5_0-5 e 5-10 x CB5_0-5 e 5-10 | 19,57 |
| CL6_0-5 X CB6_0-5 | 15,19 |
| CL6_0-5 e 5-10 x CB6_0-5 e 5-10 | 20,99 |
| CL7_0-5 X CB7_0-5 | 12,10 |
| CL7_0-5 e 5-10 x CB7_0-5 e 5-10 | 34,55 |

| Coefficientes de Variação em % | UMIDADE |
|--|----------------|
| CL8_0-5 X CB8_0-5 | 4,45 |
| CL8_0-5 e 5-10 x CB8_0-5 e 5-10 | 9,62 |
| CL9_5-10 X CB9_5-10 | 33,95 |
| CL9_0-5 e 5-10 x CB9_0-5 e 5-10 | 27,92 |
| TRILHA DO POÇO VERDE | |
| PL1_0-5 X PB1_0-5 | 12,58 |
| PL1_0-5 e 5-10 x PB1_0-5 e 5-10 | 17,89 |
| PL2_0-5 X PB2_0-5 | 8,63 |
| PL2_0-5 e 5-10 x PB2_0-5 e 5-10 | 4,90 |
| PL3_0-5 X PB3_0-5 | 21,11 |
| PL3_0-5 e 5-10 x PB3_0-5 e 5-10 | 10,91 |
| PL4_0-5 X PB4_0-5 | 10,69 |
| PL4_0-5 e 5-10 x PB4_0-5 e 5-10 | 7,58 |
| PL5_0-5 X PB5_0-5 | 11,96 |
| PL5_0-5 e 5-10 x PB5_0-5 e 5-10 | 11,04 |

5.3.5 Panorama Geral das Variáveis Propriedades dos Solos (Nível -1) das Trilhas do Sino, Cartão Postal e Poço Verde

A maior proporção de areia dos solos das trilhas, caracterizando-os como franco-arenosos, alerta para a maior susceptibilidade de erosão desses solos, que tenderia a ser ainda mais enfática na Trilha do Sino, tendo em vista que a média do percentual de areia nas amostras desta trilha são ainda maiores. Os solos com maiores proporções de areia tendem a ser mais friáveis e com baixas capacidades de retenção de água.

As variáveis textura, densidade de partículas e densidade aparente demonstraram ser bons indicativos das condições gerais de degradação das trilhas, tendo em vista que as médias de valores entre as amostras do leito da trilhas, em ambas as profundidades, e a 3 (três) metros, mostraram-se com tendência a alterações quanto mais impactada for a trilha. A comparação das variáveis por ANOVA que sofreram maiores alterações entre o leito das trilhas (em ambas as profundidades) demonstrou significância para areia,

argila, densidade de partículas e densidade aparente; logo, pode-se afirmar que elas seriam bons parâmetros de comparação para avaliação do grau de degradação de diferentes trilhas.

A variável densidade aparente demonstrou ser a mais sensível à variação, uma vez que registrou os maiores e mais numerosos coeficientes de variação, além de ter refletido os impactos tanto nas camadas superficiais de 0-5cm, como também de 5-10cm, demonstrando que os efeitos do pisoteio humano não estão restritos somente às camadas mais superficiais. Esta variável está mais intimamente relacionada com o impacto do pisoteio, o qual causa a degradação mais inerente das trilhas, a compactação dos solos. As variáveis associadas à textura estão mais condicionadas à própria dinâmica do relevo, portanto, à localização das trilhas. A variável textura também demonstrou ser muito sensível à variação, porém essa sensibilidade foi percebida tanto em áreas mais impactadas, como, principalmente, em áreas menos impactadas, o que acabou confundindo o diagnóstico geral das condições das trilhas; logo, ao utilizá-la, deve-se interpretar minuciosamente os dados, principalmente em trilhas pouco impactadas.

A Tabela 40 sintetiza as variáveis e propriedades do solo nas três trilhas. A análise da densidade aparente e de partículas, conjuntamente com a textura, leva a constatação de impactos mais expressivos na Trilha do Sino, tendo em vista não somente ter apresentado significância nas análises ANOVA em maior quantidade de variáveis, mas principalmente pela análise dessas demonstrar perdas mais expressivas de partículas de silte (com mais ênfase, por ter apresentado significância na ANOVA), argila e areia fina, o que apontaria processos erosivos mais consideráveis, até mesmo erosão em sulco, uma vez que houve perda de areia fina (partícula com maiores dimensões, logo mais difícil de ser transportada); no entanto, outras correlações se fariam necessárias para sua comprovação, tendo em vista que as perdas não foram significativas pelas análises ANOVA.

As amostras da Trilha do Poço Verde também apresentaram, em média, perdas das frações argila e silte no leito da trilha, porém em bem menores proporções, já que nestas não se verificou significância pelas análises ANOVA e tampouco altos coeficientes de variação com as amostras a três metros. Porém, seus valores de densidade aparente estavam entre os mais altos, assim como, os coeficientes de variação, apontando impactos expressivos. Isso aponta, mais uma vez, a importância das

variáveis serem avaliadas em conjunto, a fim de que seja analisado não somente a compactação das trilhas, mas também as condições do meio.

Na Trilha do Cartão Postal, as diferenças entre os valores das amostras do leito da trilha e a 3 (três) metros destacadas se referem, majoritariamente (onze das doze amostras), a condições do leito da trilha muito similares ao entorno – na maior parte das amostras em ambas as profundidades, de 0-5cm e de 5-10cm. Nas amostras em que ocorreram diminuições dos valores de densidade aparente e densidade de partículas no leito da trilha, se comparadas com as amostras a 3 (três) metros, a média de diminuição foi de -13,6%, logo, não muito expressiva, porém indicativa de condições similares ao entorno. Menores valores de densidade de partículas podem ser associados com menores proporções de matéria orgânica nesses solos, essa tendência pode ser afirmada por valores igualmente menores de densidades aparentes e por aumentos de densidades de umidade. Essas correlações ocorrem nas amostras CL1_0-5, CL6_0-5, CL9_0-5, de 0-5cm, e CL4_5-10, CL7_5-10, CL9_5-10, de 5-10cm, o que justificaria os aumentos significativos de umidade entre as amostras do leito e a três metros CL1_0-5cm, CL7_5-10cm e CL9_5-10cm.

Em duas amostras da Trilha do Cartão Postal (CL3_0-5 e CL4_0-5) houve aumentos dos valores de densidade aparente e percentuais de areia e areia grossa, assim como, diminuição significativa dos percentuais de argila e silte – todos com altos coeficientes de variação – nas amostras do leito da trilha se comparadas com as a 3 (três) metros. Não se justifica esse comportamento pelas condições de degradação mais expressivas no leito da trilhas, pois seus valores absolutos de densidade aparente não são expressivos (0,93 e 0,92 %/cm³) e tampouco os percentuais da textura. Logo, o fato é justificado pelas médias diferenciadas da amostra de solo a 3 (três) metros da trilha (CB3_0-5cm e CB4_0-5cm), as quais inclusive possuem classes de textura diferenciadas (franco argilo-arenoso e franco, respectivamente) discordantes da média geral das amostras, com maiores proporções de argila (20%).

As diferenças pouco expressivas das médias das variáveis propriedades do solo do leito da trilha do Cartão Postal com as a 3 (três) metros não apontam processos erosivos e tampouco focos de degradação, ocorrendo, em algumas amostras (mencionadas nas análises de cada variável), até mesmo valores indicativos de maiores conservações. Atribui-se a isso sua recente implantação, logo, ela ainda estaria em equilíbrio com a paisagem.

Atenta-se que a variável umidade não demonstrou ser uma boa variável indicativa do grau de degradação das trilhas; uma vez que a média das amostras não apontou tendências. Também não foi passível de correlação com a maior ou menor compactação do solo, a partir da correlação com os valores de densidade aparente, conforme foi sugerido pelo referencial bibliográfico – em que solos mais úmidos seriam mais propensos a uma maior compactação. A inexistência de correlações e significâncias se deve à mensuração da umidade volumétrica e não gravimétrica. Estima-se que a segunda apontaria maiores correlações, ainda que talvez elas igualmente não fossem tão expressivas com relação à compactação, pelos usuários evitarem pisar nas áreas encharcadas e com concentração de água, procurando passar ao lado do leito da trilha, o que normalmente causa o alargamento da mesma. Também devido a uma compactação menos expressiva do pisoteio humano, se comparada ao pisoteio bovino, foco de estudo do referencial bibliográfico utilizado como parâmetro de comparação.

Supõe-se que as diferenças verificadas nos valores da umidade sejam decorrentes das localizações diferenciadas das trilhas, principalmente pela variabilidade das médias de umidade terem ocorrido nas comparações das amostras a 3 metros das trilhas, em ambas as profundidades, e de 5-10cm e não no leito das trilhas, nas áreas impactadas.

Tabela 40 Resumo das Variáveis e Propriedades do Solo (Nível -1)

| TRILHAS | DEGRADAÇÃO | TEXTURA | | DENSIDADE DE PARTICULAS | | DENSIDADE APARENTE | | UMIDADE VOLUMÉTRICA |
|----------------------|------------|--|-------------------------|--|------------------|--|---------------------|---|
| | | Valores | Obs. | Valores | Obs. | Valores | Obs. | |
| SINO | ALTA | Maiores perdas de silte (significância na ANOVA), argila e areia fina. | Maiores taxas de erosão | Maiores valores das amostras do leito de 0-5cm e de 5-10cm com significância ANOVA. | Alta compactação | Maiores valores das amostras do leito de 0-5cm e de 5-10cm com significância ANOVA. | Compactação mediana | Amostras de 0-5cm a 3 metros da trilha mais úmidas. |
| CARTÃO POSTAL | BAIXA | Ganhos de areia fina (significância ANOVA). | Sem erosão | Valores das amostras do leito e a 3m muito similares e em algumas amostras do leito com valores até mais baixos. | Sem compactação | Valores das amostras do leito e a 3 metros muito similares e em algumas amostras com valores até mais baixos. | Sem compactação. | Amostras do leito de 0-5cm e de 5-10cm mais úmidas. |
| POÇO VERDE | ALTA | Ganhos de areia fina (significância ANOVA) e perdas de argila e silte. | Erosão mediana | Maiores valores das amostras do leito de 0-5cm e de 5-10cm com significância ANOVA. | Alta compactação | Maiores valores das amostras do leito de 0-5cm e de 5-10cm com significância ANOVA e altos coeficientes de variação. | Alta compactação. | Sem diferenças |

5.4 Cruzamento das Variáveis

Objetivava-se correlacionar as variáveis a partir de análises de regressão, a fim de verificar como elas estariam relacionadas uma com as outras. A análise de regressão é aplicada para compreender a dependência estatística de uma variável em relação a outras variáveis. O emprego desta técnica pode mostrar que uma proporção de variação se deve à variável dependente e/ou que uma proporção se deve às variáveis independentes.

No entanto, dois fatores determinantes inviabilizaram a aplicação da análise de regressão neste trabalho. Primeiramente, e sobretudo, o número reduzido de amostras de solo frente à grande quantidade de variáveis que se desejava analisar. Conforme foi pontuado no subcaptítulo relacionado aos resultados das variáveis propriedades de solo (nível -1), o número de amostras de solo deste trabalho não tem significância estatística, logo, não se configura em uma amostra estatística, pois seu valor muito reduzido não chega a representar a população do estudo. Aliado a isso, o número elevado de variáveis consideradas (soma das variáveis de cada nível hierárquico) levaria à necessidade de análises de regressão múltipla. A regressão múltipla se fundamenta em uma equação que prevê/estima o valor de uma variável a partir de duas ou mais variáveis independentes, $Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3$. Para conseguir comprovar as variabilidades observadas em cada variável, se faria necessário um número de amostras considerável, a qual provavelmente seria bem maior que 500 amostras (número aleatório sem valor estatístico), o que não foi o caso deste trabalho. Mais do que isso, para cada intervalo das variáveis, ter-se-ia que ter um número significativo de amostras.

O segundo fator complicador para a consecução da análise de regressão foi as variáveis base deste trabalho, referentes à degradação das trilhas, serem qualitativas e não quantitativas. Diversas mensurações da seção transversal ao longo das trilhas levariam a uma estimativa quantitativa do grau de erosão das trilhas, as quais possivelmente poderiam ser correlacionadas através da análise de regressão com as variáveis de nível +1. Por se considerar que essa variável não estime bem a erosão em terrenos muito escarpados, conforme foi explicado no capítulo “resgate dos principais estudos de trilhas turísticas”, optou-se por não utilizá-la; no entanto, em outros trabalhos, ela pode se tornar válida.

O trabalho relatado até então expõe maiores esforços despendidos na avaliação das variáveis que poderiam contribuir para os diferentes tipos de degradação das trilhas e, num segundo momento, como essas foram mensuradas. Avaliou-se as variáveis de nível +1 e -1 e seus respectivos intervalos – ou classes – de valores que mais poderiam contribuir para cada tipo de degradação nas trilhas. Objetivava-se conseguir comprovar se determinadas variáveis e seus respectivos intervalos tinham influência em determinada degradação nas trilhas.

No entanto, conforme já foi exposto, o baixo número de amostras de solo em cada intervalo, ou a inexistência de uma amostra estatística, impossibilitou essa correlação. Ainda que se tenha procurado trabalhar com trilhas localizadas em ambientes diferenciados, em sua maioria houve uma equidade no predomínio de determinadas classes das variáveis analisadas ao longo das trilhas, conforme foi possível perceber nos resultados preliminares expostos. Logo, nos pontos de degradação das trilhas, quando ocorria o predomínio de certa classe, foi necessário verificar, primeiramente, se ele não coincidia com o predomínio geral daquela classe ao longo das trilhas. Diante disso, somente foi possível indicar tendências de correlações nas variáveis com distribuição equiparável em todas as classes ao longo das trilhas; ou, por outro lado, quando o predomínio de determinada classe em uma degradação estava em discordância com o predomínio geral da trilha. Mesmo nestes casos, ressalta-se, novamente, que só foi possível apontar algumas tendências, não ocorrendo a comprovação de nenhuma correlação pela baixa expressividade quantitativa das amostras. Devido a isso, também não se pode afirmar que as tendências percebidas não são consequência de outras variáveis não consideradas neste trabalho.

Nesse sentido, ocorreram algumas suposições, já que diversos fatores poderiam explicar uma resposta inesperada. Como consequência, também não foi possível eliminar a importância de algumas variáveis analisadas, como se esperava, mas somente apontar aquelas com influência menos provável. Pode-se afirmar que se pecou ao não se avaliar previamente como se faria a comprovação das relações, por outro lado, esse trabalho pontua pesquisas futuras que podem ser realizadas para comprovação da correlação entre variáveis específicas no estudo de trilhas.

Diante das problemáticas encontradas, majoritariamente, as variáveis foram cruzadas duas a duas a partir dos pontos de degradação das trilhas, nível 0, realizando-se um diagnóstico geral do predomínio das classes de valores de cada variável analisada.

Também se realizou algumas análises a partir das variáveis de nível +1, a fim de verificar as condições das trilhas nos intervalos em que se estimava maiores degradações. Num segundo momento, tentou-se justificar os valores inesperados das variáveis de nível -1, a partir de correlações com as variáveis relacionadas às condições das trilhas (nível 0) e às hidrogeomorfológicas (nível +1). Têm-se conhecimento das restrições e superficialidades desses cruzamentos, o próprio trabalho buscou desviar das análises duais e restritas a causas e efeitos ao avaliar de maneira ampla as variáveis hidrogeomorfológicas que poderiam influenciar na degradação das trilhas; no entanto, a impossibilidade de análises mais complexas, devido às amostras pouco numerosas, determinou esses cruzamentos. Como consequência, enfatiza-se, novamente, somente a indicação de tendências de correlações e a inexistência de comprovações.

5.4.1 Concentração de Água nas Trilhas

Os pontos, ou trechos, com concentração de água nas trilhas se constituíram naqueles levantados na estação chuvosa, no campo realizado no mês de novembro, pois se desejou levar em consideração o período de chuvas mais intensa, por ser aquele que causa os maiores distúrbios nas trilhas. Os mesmos foram correlacionados com as variáveis associadas às sub-bacias hidrográficas, além da distância do eixo de drenagem, curvatura em planta e em perfil, orientação da vertente e alinhamento com as curvas de nível. Foram correlacionados 20 (vinte) pontos na Trilha do Sino, 7 (sete) na Trilha do Cartão Postal e 3 (três) na Trilha do Poço, totalizando 30 (trinta) pontos.

Predominantemente, os pontos de acúmulo de água se localizaram em bacias de zero ordem (64,5%), o que não difere da tendência natural, tendo em vista que as trilhas passam mais por bacias de zero ordem (64%) do que primeira ordem, logo, a disposição é que nas correlações predominem bacias de zero ordem. A média do índice de circularidade das sub-bacias foi de 0,47; o que também está em concordância com a média geral das sub-bacias pelas quais as trilhas passam, as quais, predominantemente, são mais alongadas do que arredondadas, ou seja, com índices mais próximos de um.

O mesmo ocorreu com a média da amplitude altimétrica das sub-bacias (242m), demonstrando um predomínio (52%) de acúmulo nas bacias com desnível altimétrico entre 200 e 400 metros; o que corresponde ao predomínio de desnível das sub-bacias da Trilha do Sino – a que possui mais pontos de concentração de água. A variável que não

seguiu a média natural foi a localização nas sub-bacias; ocorreu um leve predomínio dos pontos nos cursos altos das bacias – 42%, contra 29% em médios e baixo cursos.

A média geral da declividade do terreno dos pontos de concentração de água foi de 43%, ou seja, eles encontravam-se majoritariamente (52%) em relevos fortemente ondulado (20 a 45% de declividade), seguidos de relevos montanhosos (45 a 75%), sendo que a própria média geral já se aproxima bastante dessas segundas classes mais declivosas. As mesmas ponderações devem ser feitas como nas demais variáveis, nas quais a média está em concordância com o relevo predominante em que as trilhas em análise se encontram, majoritariamente montanhoso e fortemente ondulado.

Com relação à orientação das vertentes, não ocorreu o predomínio de nenhuma nos pontos de concentração de água, percebeu-se uma equidade com relação às vertentes orientadas para leste, nordeste, noroeste e norte (aproximadamente 20%), as quais correspondem as que predominam ao longo do traçado das trilhas. O mesmo foi percebido com relação ao alinhamento com as curvas de nível, ocorrendo em 61% dos pontos, o que coincide com a predominância do traçado. Já nas curvaturas das vertentes houve uma quantidade de pontos mais expressiva nas vertentes convergentes (60%) em planta e em menor proporção nas côncavas (46,7%) em perfil. As primeiras demonstrariam uma preponderância de pontos de acúmulo de água em vertentes convergentes em planta, o mesmo não se pode afirmar das côncavas em perfil, uma vez que seu valor não é maior que 50%.

Na distância da drenagem, os pontos tiveram uma variação expressiva, também pela grande variação das classes, ocorrendo uma maior concentração na distância de 100 a 200m (23%), sendo a média geral de 101m. No entanto, caso se considere a distância da drenagem gerada automaticamente pela ferramenta *ArcHydro*, a qual explicou uma maior quantidade dos pontos demarcados em que a trilha cruzou riachos, esses valores diminuiriam para 76m. Caso se unisse às drenagens da base do PARNASO com as geradas pelo *ArcHydro*, a média diminuiria para 68m, explicando 43% dos pontos de concentração de água. Porém, ter-se-ia que avaliar somente as distâncias das drenagens menores do que 30 metros da drenagem, faixas consideradas mais propensas ao encharcamento dos solos com base na Lei Nº 4.771, de 1965, que determina faixas de preservação permanente de 30 metros para cursos d'água de menos 10 (dez) metros de largura, justamente pela maior sensibilidade dessas áreas.

As variáveis que se estimou justificarem os pontos com maior acúmulo de água não se mostraram satisfatórias, principalmente pelos valores preponderantes encontrados nas variáveis amplitude altimétrica, índice de circularidade e ordem das sub-bacias; além da declividade e orientação da vertente coincidirem com as médias dos valores encontrados em toda a área das sub-bacias pelas quais as trilhas passam; logo, não foi possível saber se elas obtêm influência no grau de concentração de água, conforme Tabela 41. As únicas variáveis que poderiam apontar influência foram a localização nas sub-bacias, o distanciamento da drenagem e as curvaturas. No entanto, a análise dual dessas variáveis não se mostrou satisfatória, uma vez que explicou apenas uma porção reduzida dos pontos de concentração de água, com maior expressividade para a curvatura em planta, cuja classe convergente foi um pouco mais preponderante (60%).

Tabela 41: Validade das Variáveis para Avaliação da Concentração de Água nas Trilhas

| Variável | | % e Média dos Pontos com Concentração de Água | Média Geral das Sub-bacias pelas quais as Trilhas passam | Validade da Variável para Avaliação da Concentração de Água |
|------------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| Sub-bacias | Ordem | 64,5% zero ordem | zero ordem | Baixa |
| | Amplitude Altimétrica | Média de 242m, 52% entre 200 e 400m | 269m | Baixa |
| | Índice de Circularidade | Média de 0,47 | 0,40 | Baixa |
| | Localização | 42% alto curso | Baixo e médio curso | Média |
| Declividade | | Média da declividade: 43%; 52% em relevos com declividade de 20 a 45%, fortemente ondulados | Predominância de relevos montanhosos (declividade de 45 a 75%); seguidos de relevos fortemente ondulados (declividade de 20 a 45%) | Baixa |
| Orientação | | Aproximadamente 20% nas orientações de leste, nordeste, norte e noroeste | Predomínio das orientações de leste, nordeste, norte e noroeste | Baixa |
| Alinhamento com as Curvas de Nível | | 61% com alinhamento | 62% do traçado das Trilhas do Sino e Cartão alinhado com as curvas e 90% do da Trilha do Poço | Baixa |

| Variável | % e Média dos Pontos com Concentração de Água | Média Geral das Sub-bacias pelas quais as Trilhas passam | Validade da Variável para Avaliação da Concentração de Água |
|---|---|--|---|
| Distância da Drenagem fornecida pelo Parnaso, associada à gerada pelo ArcHydro | Média de 68m da drenagem | 29,5% de 100 a 200m | Média |
| Curvatura em Planta | 60% curvatura convergente | Convergente e Divergente | Média |
| Curvatura em Perfil | 46,7% curvatura côncava | Côncava e Convexa | Média |

Analisando conjuntamente as classes das variáveis distância da drenagem (sendo essa a união da base hidrográfica do PARNASO com a gerada pelo *ArcHydro*) e curvaturas em planta e em perfil mais propensas ao acúmulo de água – correspondendo às classes de distâncias menores que 30m, e às curvaturas convergentes e côncavas, respectivamente –, obter-se-ia a explicação de 80% (Tabela 42) dos pontos de concentração, ainda assim, restariam 20%, ou seis pontos, sem explicação. A falta de explicação deve-se à localização dos pontos em curvaturas divergentes em planta (com exceção de um, o qual está numa curvatura plana) e convexos em perfil (também com exceção de um que está em curvatura retilínea).

Ressalta-se que a ocorrência de apenas uma das classes das três variáveis não seria suficiente para gerar acúmulo de água; no entanto, todas elas estão associadas às altas declividades do terreno e algumas a índices de circularidade mais próximos de um, ou a altas amplitudes altimétricas das sub-bacias. Nenhum dos pontos com ocorrência de apenas uma variável de maior propensão se associa à localização no baixo curso das sub-bacias.

Tabela 42: Ocorrência das Variáveis Distância da Drenagem (DD) menor que 30 metros, Curvatura em Planta Convergente e Curvatura em Perfil Côncava nos Pontos de Concentração de Água.

| Ocorrência das Variáveis Distância da Drenagem (DD) menor que 30 metros, Curvatura em Planta Convergente e Curvatura em Perfil Côncava | Número de Pontos com Acúmulo de Água | % Representativo dos Pontos com Acúmulo de Água |
|--|--------------------------------------|---|
| DD menor que 30m, Curvatura Convergente e Côncava | 6 | 20,00 |
| DD menor que 30m e Curvatura Convergente | 5 | 16,67 |
| DD menor que 30m e Curvatura Côncava | 1 | 3,33 |
| Curvatura Convergente e Côncava | 2 | 6,67 |
| Curvatura Côncava | 4 | 13,33 |
| Curvatura Convergente | 5 | 16,67 |
| DD menor que 30m | 1 | 3,33 |
| Total | 24 | 80 |

Quatro dos pontos sem explicação estavam localizados na Trilha do Sino, um na Trilha do Cartão Postal e um na Trilha do Poço. Dois desses pontos na Trilha do Sino poderiam ser justificados por se localizarem em curvas fechadas da trilha, logo, a extensão do acúmulo de água não ultrapassa quatro metros ao longo da trilha, não sendo significativa. Os outros dois – um na Trilha do Poço Verde e outro na Trilha do Cartão Postal – são igualmente mais pontuais, ocorrendo pouco acúmulo de água, o qual apenas encharcou o solo e gerou uma área barrosa numa curta extensão e não verdadeiras poças, o que pode ser consequência de solos mais favoráveis ao acúmulo de água, como os francos (barrento). Porém, ainda restariam dois pontos na Trilha do Sino com concentrações mais expressivas de água; para os quais não se encontrou justificativa aparente.

Destaca-se que não foi realizada distinção entre todos os pontos com concentração de água – caracterizados pela menor extensão e a inexistência de um fluxo de água – versus os trechos com acúmulo de água – caracterizados pelo fluxo de água no leito da trilha. Ressalta-se isso, pois os trechos com acúmulo de água poderiam ser

caracterizados como pontos e trechos com erosão em sulco. Diante disso, supõe-se que os pontos (com curta extensão) com acúmulos de água podem estar associados a curvaturas em planta convergentes e os trechos (com extensão acima de 4 metros e fluxo de água no leito da trilha) com acúmulos de água com curvaturas em planta divergentes. Isso poderia explicar os pontos/trechos de acúmulo de água sem justificativa neste trabalho.

Ao se avaliar pontualmente as sub-bacias hidrográficas com maior acúmulo de água, percebe-se que em uma delas, na Trilha do Sino, ocorre uma concentração de cinco pontos e, principalmente, trechos com acúmulo de água (Figura 53). Esta sub-bacia não possui características que se distingam muito da média; é uma sub-bacia de zero ordem, possui amplitude altimétrica de 310m e índice de circularidade de 0,45. Ou seja, há bacias com maiores amplitudes altimétricas e com índices de circularidades mais próximos de 1 (um) que não possuem tantos pontos de degradação. O diferencial desta sub-bacia é que a trilha do Sino passa por ela em toda a sua extensão, vencendo a vertente a partir de doze cotovelos (curvas fechadas), com desnível altimétrico majoritário de menos de 10 metros. Além disso, essa sub-bacia possui duas drenagens muito próximas, logo, as distâncias das drenagens nos trechos da Trilha do Sino são predominantemente menores que 30metros e a trilha acaba cruzando as drenagens várias vezes, associado a isso, as vertentes são majoritariamente côncavo-convergentes, o que contribui para o acúmulo de água nas trilhas.

Em outra bacia, ao lado da mencionada, também se percebe um número expressivo de pontos ou trechos com acúmulo de água, três ao todo. Ainda que as condições dessa sejam ainda menos propensas ao acúmulo de água, por não ser uma bacia de zero ordem, localizando-se longe das drenagens e possuindo menos áreas convergentes e côncavas, nos poucos trechos em que essas áreas coincidiram com as curvas das trilhas, ocorreu acúmulo de água. A mesma situação ocorreu em mais quatro trechos ao longo da Trilha do Sino, onde as curvas eram muito fechadas.

Pode-se afirmar que curvas de trilhas muito fechadas são, por si só, propensas à degradação, quando essas se localizam próximas a drenagens e em relevos côncavo-convergentes, principalmente, estarão muito propensas à degradação, sendo essa praticamente inevitável. Por outro lado, se estiverem próximas a drenagens, ou em vertentes convergentes ou côncavas, estarão mais propensas à degradação.

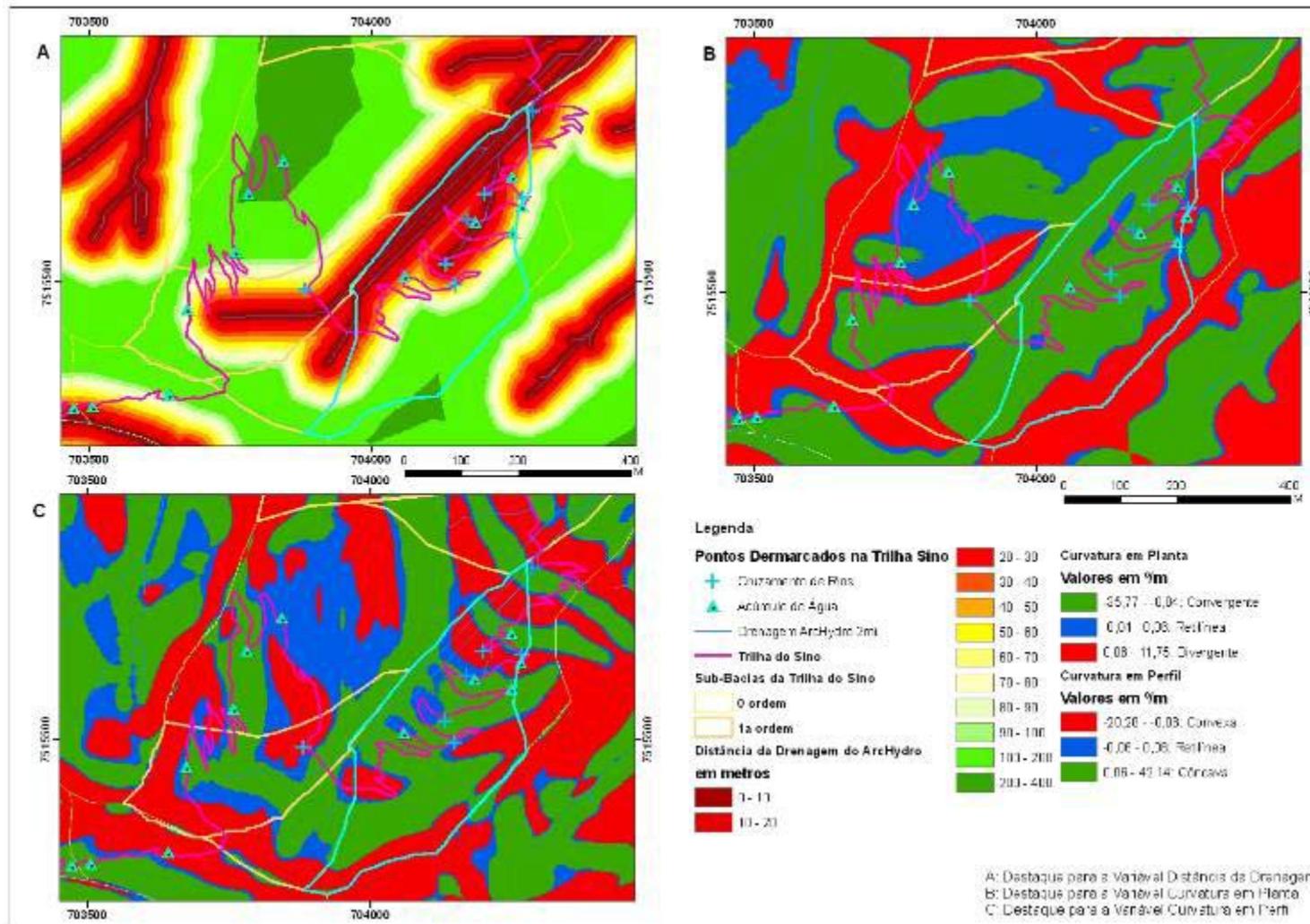


Figura 53: Sub-Bacias da Trilha do Sino com mais Pontos com Acúmulo de Água (destaque para a sub-bacia em azul). Elaborado por L. Kroeff.

5.4.2 Erosão em Sulco

A ocorrência de degradação por erosão em sulco só ocorreu na Trilha do Sino. É sabido, tanto pelo referencial bibliográfico consultado, como pelo estudo da dinâmica do relevo, que trechos de trilha com altas declividades, acima de 10°, tendem a ter tanto erosão em sulco, como degraus no leito da trilha, aliado a isso, o tempo de existência da trilha também contribui enfaticamente, o que também explicaria a ocorrência de erosão em sulco somente na Trilha do Sino. No entanto, também se sabe que esses tendem a ser mais enfáticos em determinados ambientes, o que justificaria a não ocorrência na Trilha do Poço; por esse motivo essa degradação foi correlacionada com as variáveis curvatura em planta e em perfil, declividade do terreno, além de local, ordem, amplitude altimétrica e índice de circularidade das sub-bacias em que estão contidas.

A avaliação dos focos de erosão em sulco foi realizada pontualmente e por trechos das trilhas, onde ela ocorreu em maior extensão e de forma mais expressiva. Isso se deve ao fato de majoritariamente a erosão em sulco ocorrer nas curvas, ou cotovelos, das trilhas, principalmente naqueles com desnível altimétrico menor que 10 metros. Porém, também se percebeu sua ocorrência em dois trechos mais extensos, onde não ocorrem curvas; logo, optou-se por analisá-los separadamente.

Os dois trechos com erosão em sulcos na Trilha do Sino são considerados os piores do percurso da trilha, pois o leito é extremamente irregular, com muito afloramento rochoso. Um dos trechos passa pelo médio curso de uma sub-bacia de zero ordem, enquanto que o outro percorre o médio e baixo curso de três sub-bacias, uma de primeira ordem e duas de zero ordem. A média da amplitude altimétrica dessas sub-bacias é bastante elevada, 284m, correspondendo à segunda classe mais elevada entre as seis definidas por Silva (2002); esse valor é um pouco acima da média geral da amplitude altimétrica das sub-bacias pela qual a Trilha do Sino passa (259m). Já a média do índice de circularidade é bastante abaixo (0,27) da média geral dos índices das sub-bacias (0,43), representando sub-bacias mais alongadas.

Com relação às formas das vertentes, há um predomínio de vertentes divergentes em planta (52%) e côncavas em perfil (51%), nas sub-bacias dos trechos com erosão em sulco significativa. A classe de declividade do terreno preponderante é a montanhosa (48%), de 45 a 75%, estando em concordância com as declividades majoritárias do terreno pelo qual a Trilha do Sino percorre.

Não foi possível obter uma conclusão quanto à tendência de alinhamento, ou não, com as curvas de nível nos trechos com erosão em sulco, tendo em vista que um dos trechos possuiu uma diferença de traçado muito significativa nos dois campos realizados e ainda mais enfática se comparada com o traçado fornecido pelo PARNASO, isso se deve a posição da vertente em que se encontra e a sua localização em mata fechada. Essa diferença representaria o alinhamento, ou não, com as curvas de nível. Já o outro trecho demonstra não acompanhar as curvas de nível. O não alinhamento com as curvas de nível estaria mais condizente com focos de erosão em sulco exacerbados, porém não se pode assumir tal tendência pela análise dos dados.

Considera-se despropositado afirmar tendências diante de um diagnóstico de uma área com erosão em sulco tão diminuta, aproximadamente 766 m; no entanto, as variáveis analisadas demonstraram uma tendência de trilhas que passam pelo médio e baixo curso de sub-bacias com altas amplitudes altimétricas (acima de 200), baixos índices de circularidade, com vertentes majoritariamente divergentes em planta e côncavas em perfil, em áreas de alta declividade do terreno apresentarem processos erosivos em sulco, conforme Tabela 43. A localização dos processos erosivos concentrados abaixo do médio curso e em vertentes com alta declividade, divergentes em planta e côncavas em perfil, estaria em concordância com as afirmações de Bigarella (2003 *apud* Stabile e Vieira, 2009).

Tabela 43: Validade das Variáveis para Avaliação da Erosão em Sulco na Trilha do Sino.

| Variável | | % e Média dos Pontos com Erosão em Sulco | Média Geral das Sub-bacias da Trilha do Sino | Validade da Variável para Avaliação da Erosão em Sulco |
|-------------|-------------------------|--|--|--|
| Sub-bacias | Ordem | zero ordem | zero ordem | Baixa |
| | Amplitude Altimétrica | Média de 284m | 259m | Média |
| | Índice de Circularidade | Média de 0,27 | 0,43 | Média |
| | Localização | Médio e Baixo Curso | Baixo curso | Média |
| Declividade | | 48% em relevos de 45 a 75%, montanhosos | Predominância de relevos montanhosos (declividade de 45 a 75%) | Baixa |

| Variável | % e Média dos Pontos com Erosão em Sulco | Média Geral das Sub-bacias da Trilha do Sino | Validade da Variável para Avaliação da Erosão em Sulco |
|------------------------------------|---|---|---|
| Curvatura em Planta | 52% curvatura divergente | Convergente e Divergente | Média |
| Curvatura em Perfil | 51% curvatura côncava | Côncava e Convexa | Média |
| Alinhamento Curvas de Nível | Análise dúbia devido ao erro planimétrico | 63% do traçado alinhado com as curvas | Baixa |

Devido à grande extensão da Trilha do Sino e a grande quantidade de curvas em seu traçado, não foram demarcados em campo se 100% das curvas bruscas das trilhas (com desníveis altimétricos menores que 10 metros) continham erosão em sulco; porém, observou-se que majoritariamente nestas elas ocorreram. A falta de demarcação desses pontos inviabilizou a correlação com as demais variáveis hidrogeomorfológicas, principalmente associadas às curvaturas da vertente. No entanto, considerando-se as características gerais do relevo pelo qual a trilha percorre, de altas amplitudes altimétricas das sub-bacias e altas declividades, pode-se afirmar uma forte tendência a áreas com curvas bruscas apresentarem erosão em sulco. Logo, recomenda-se que nessas condições, as curvas das trilhas sejam suaves, com desníveis altimétricos de pelo menos 30 metros – ainda que esse valor não seja estatisticamente comprovado, na trilha em análise não se observou erosão em sulco nestas condições.

A ocorrência da erosão em sulco somente na Trilha do Sino é atribuída ao maior tempo de existência dela e ao ambiente em que ela está inserida, o qual favorece esses processos, conforme mencionado. O mesmo não ocorre na Trilha do Poço Verde, as baixas declividades do terreno e do leito da trilha, assim como, da amplitude altimétrica, não predispõem a erosão em sulco. Já a Trilha do Poço Verde possui condições propensas à erosão em sulco; no entanto, sua recente implantação ainda não condicionou a ocorrência do distúrbio.

5.4.3 Degraus no Leito das Trilhas

Foram demarcados 11 (onze) pontos, onde ocorreu o início da formação de degraus no leito das trilhas, sendo 9 (nove) na Trilha do Cartão Postal e 2 (dois) na Trilha do Poço Verde. Também foram avaliados os trechos com degraus no leito, uma vez que essa degradação não se restringia a áreas pontuais, mas sim, a extensões de 20 a 50 metros. Diante disso, na Trilha do Cartão Postal, foram demarcados sete trechos com degraus, os mesmos ocorreram em cinco das seis sub-bacias pelas quais a trilha passa. As características da única sub-bacia que a trilha não possui degraus não são excepcionais, possuindo amplitudes altimétricas e índices de circularidade muito similares às demais. Na Trilha do Poço Verde ocorreram dois trechos com degraus nas duas sub-bacias pela qual a trilha passa. Diante disso, as variáveis associadas às sub-bacias não foram avaliadas, uma vez que não demonstraram obter influência neste tipo de degradação.

Os trechos com degraus estão intimamente associados ao manejo com troncos nas áreas de maior declividade do leito das trilhas; já que não houve esse tipo de manejo na Trilha do Sino, não foi demarcado nenhum ponto. Percebeu-se que nos trechos de maior declividade do leito da Trilha do Sino a tendência foi a ocorrência de erosão em sulco, conforme foi mencionado. Ressalta-se que o manejo só enfatiza o distúrbio já existente; ou seja, ainda que a sua demarcação tenha sido associada à técnica de manejo de colocação de troncos no leito da trilha, os degraus são formados pelo pisoteio e pelas altas declividades do leito, o que justifica a averiguação de sua ocorrência.

A média geral da curvatura em planta dos pontos do início da formação dos trechos com degraus foi de 0,16 %/m, correspondendo a curvaturas divergentes (valores maiores que 0,06 %/m) e da curvatura em perfil de -0,28 %/m, o que corresponde às curvaturas convexas (valores menores do que -0,06 %/m). A média da declividade do terreno foi de 35%, pertencente à classe de relevo fortemente ondulado, de 20 a 45%; 54,5% destes pontos não estavam alinhados com as curvas de nível.

Conforme Tabela 44, as análises por trecho demonstram a predominância da curvaturas em planta divergentes (sete dos nove), ocorrendo apenas um trecho em vertente convergente e um em vertente retilínea e divergente. Na curvatura em perfil, predominaram as convexas (sete dos nove), apenas dois trechos estavam contidos em vertentes côncavas. Com relação à declividade do terreno, os trechos da Trilha do Poço

Verde localizaram-se entre declividades de 8 a 45% e os da Trilha do Cartão Postal de 20 a 75%, todas estando em concordância com as declividades predominantes no terreno pela qual as trilhas passam. Não foi possível indicar influência da variável alinhamento com as curvas de nível, uma vez que elas não ocorreram integralmente ao longo de somente dois trechos, nos outros sete elas não ocorreram somente em algumas porções dos trechos.

As correlações indicaram que trilhas localizadas em vertentes divergentes-convexas estão mais sujeitas à ocorrência de degraus, mesmo se as declividades do terreno e do próprio leito da trilha não forem tão elevadas, como ocorreu na Trilha do Poço Verde. No caso dessas características estarem associadas ao leito da trilha mais íngreme, terrenos mais declivosos e sub-bacias com altas amplitudes altimétricas, os degraus podem facilitar a ocorrência de erosão em sulco.

Tabela 44: Validade das Variáveis para Avaliação de Degraus no Leito das Trilhas do Cartão Postal e do Poço Verde

| Variável | % e Média dos Pontos com Degraus | Média Geral das Sub-bacias da Trilhas do Cartão Postal e do Poço | Validade da Variável para Avaliação dos Degraus |
|------------------------------------|--|--|--|
| Declividade | Média da declividade de 35% relevos fortemente ondulados com declividade de 20 a 45% | Média de 41% em relevos montanhosos (declividade de 45 a 75%) e de 36% em relevos fortemente ondulados (declividade de 20 a 45%) | Baixa |
| Curvatura em Planta | 78% curvatura divergente | Convergente e Divergente | Média |
| Curvatura em Perfil | 78% curvatura convexa | Côncava e Convexa | Média |
| Alinhamento Curvas de Nível | Análise dúbia | 63% do traçado alinhado com as curvas | Baixa |

5.4.4 Correlação das Variáveis Relacionadas às Propriedades do Solo (nível -1) com as de nível 0 e +1

A avaliação conjunta das variáveis hidrogeomorfológicas (nível +1), com as condições das trilhas (nível 0) e as propriedades do solo (nível -1) justifica a grande maioria dos valores discrepantes das amostras das trilhas, como também, melhor caracterizam as condições gerais das trilhas. Primeiramente, foram justificadas as

variáveis com coeficientes de correlação altos, a partir da correlação com as variáveis de nível 0 e +1.

A Trilha do Sino e do Poço Verde foram as que obtiveram os maiores coeficientes de variação da variável densidade aparente nas comparações das amostras do leito das trilhas e a três metros. Justifica-se esse fato por serem as trilhas mais antigas do Parque e com uso intensivo, condição bem diferenciada da Trilha do Cartão Postal, a mais recente do Parque e atualmente com uso menos intensivo. As perdas de argila mais expressivas na Trilha do Sino demonstram que a erosão nesta é mais significativa do que na Trilha do Poço Verde, condicionada principalmente por suas características hidrogeomofológicas mais propícias aos processos erosivos. Observações pontuais serão realizadas nas amostras que obtiveram altos coeficientes de variação em alguma das variáveis analisadas, a fim de melhor justificá-las.

A amostra com maior número de variáveis com altos coeficientes de variação foi a S1, na Trilha do Sino. O motivo principal dessas diferenças deve-se às condições ambientais bastante diferenciadas em que esta amostra se encontra, principalmente relacionadas à vegetação campos de altitude, caracterizada pelo menor porte, principalmente arbustos e gramíneas, porém muito densa. A amostra de solo a 3 (três) metros da trilha se caracterizou por altos índices de matéria orgânica, não somente pelos valores de densidade de partículas serem bem mais baixos do que as demais amostras coletadas, mas também, pela amostra ser extremamente escura. Como consequência, os valores de umidade da amostra SB3_0-5 e 5-10cm também foram muito mais altos que os demais (74%) e os de densidade aparente muito menores, o que está em concordância com solos orgânicos.

Diante disso, ocorreram diferenças dos valores das amostras do leito com as localizadas a 3 (três) metros muito altos, principalmente com relação às variáveis umidade e densidade aparente. Ainda assim, os valores de densidade aparente da amostra SL1_0-5 e 5-10 demonstraram ser os mais elevados (1,6 e 1,37 g/cm³, respectivamente) das amostras coletadas. Esse fato só pode ser atribuído ao solo extremamente mineral, consequência de afloramentos rochosos extremamente próximos, os quais dificultaram até mesmo a extração de amostras de 5-10cm. Esses solos se caracterizam por valores de densidade aparente mais elevados. As altas diferenças de textura podem igualmente serem explicadas pelas características orgânicas da amostra de solo a três metros, frente ao solo mineral/arenoso do leito da trilha.

Interessante apontar que a amostra SL2 foi a única da trilha do Sino que não obteve altos coeficientes de variação na profundidade de 5-10cm e foi a amostra com os menores valores de densidade aparente nas camadas de 0-5cm ($0,95 \text{ g/cm}^3$). Isso reflete uma compactação do solo menos expressiva neste ponto; pode-se afirmar que ela é decorrente da técnica de manejo implantada nesse trecho, a serrapilheira no leito da trilha, a partir do corte lateral da vegetação.

No trecho correspondente à amostra SL3 ocorre erosão em sulco ocasionada principalmente pelas curvas muito fechadas das trilhas (com diferenças entre elas de menos de 10m) e às altas declividades do terreno, 45 a 75%, os quais justificam os altos valores de densidade aparente em ambas as profundidades e as perdas expressivas de partículas de argila na comparação da amostra do leito (SL3_0-5) com a amostra a 3 (três) metros (SB3_0-5). Interpreta-se que a erosão em sulco não é tão expressiva, uma vez que as diferenças dos percentuais de silte (partículas maiores) entre o leito e a 3 (três) metros não foram tão consideráveis, ainda que tenham ocorrido; porém foram suficientes para ocasionar perdas significativas de argila.

Os diferenciais significativos de densidade aparente entre o leito e a 3 (três) metros da amostra S4, tanto de 0-5cm, como de 5-10cm, são atribuídos à alta degradação deste ponto, com erosão em sulco, consequência principalmente das altas declividades do leito da trilha, associadas à alta amplitude altimétrica da sub-bacia em que se encontra. Aliado a isso, às declividades do terreno menos expressivas, de 8 a 20%, fazem com que o solo não seja tão lavado; por esse motivo, o coeficiente de variação das porções de argila e silte não são significativos. Isso explicaria o motivo das perdas de argila no leito da trilha ser mais significativa na amostra SL3_0-5cm do que na amostra SL4_0-5cm.

Os altos diferenciais dos valores de densidade aparente da amostra S5 entre o leito e a três metros, em ambas as profundidades, justificam-se mais pelo manejo com rochas no leito da trilha. Isso faz com que a pressão das camadas superficiais seja mais significativa, somente este fato poderia explicar as diferenças, uma vez que as condições gerais deste trecho da trilha são boas, com a declividade do leito da trilha pouco expressiva e as declividades do terreno mediana.

Os diferenciais expressivos entre as médias das amostras de solo do leito e a três metros da Trilha do Cartão Postal, foram explicados no corpo dessas análises, uma vez

que em sua maioria são pouco expressivos, relacionados mais às variações entre as próprias amostras do que condições diferenciadas dos trechos da trilha ou do meio, o que aponta condições gerais boas desta trilha. Exceção se faz nas três amostras (CL7_5-10, CL9_0-5 e 5-10) em que ocorreu aumento do percentual das partículas de argila e silte, esses obtiveram altos coeficientes de variação nessas variáveis (acima de 40%). Na amostra CL9, esses aumentos são justificados por sua localização no topo do morro, em local mais plano do que o entorno, logo, a amostra a três metros da trilha se localizou em um relevo mais ondulado, o qual, possivelmente, condicione maiores perdas de partículas de argila. Percebe-se também que os solos do leito da trilha possuem mais matéria orgânica do que os a 3 (três) metros, não somente pelos menores valores de densidade de partículas, mas também de densidade aparente e pelo aumento da umidade em ambas as profundidades, de 0-5cm e de 5-10cm.

Os altos valores e coeficientes de variação da variável densidade aparente da Trilha do Poço Verde são justificados por seu uso intensivo e pelo seu relevo mais plano, assim como, e conseqüentemente, as declividades do leito da trilha bastantes suaves, o que potencializa o efeito da compactação pelo pisoteio humano, uma vez que o solo é pouco lavado. Esta tendência pode ser correlacionada aos diferenciais de proporções de argila e silte insignificantes entre as amostras do leito e a 3 (três) metros, ocorrendo, em algumas amostras, até mesmo um aumento da proporção de silte e areia fina (PL5 e PL1, respectivamente).

Várias discrepâncias nas comparações dos valores das variáveis das propriedades do solo do leito da trilha e a três metros puderam ser explicados pelas correlações com as variáveis hidrogeomorfológicas e condições das trilhas. No entanto, algumas variações significativas associadas à textura não puderam ser justificadas, principalmente às relacionadas aos teores de areia grossa e fina, com ênfase ao aumento das proporções de areia fina no leito das trilhas. Neste sentido, pode-se afirmar que as variáveis areia grossa e areia fina não demonstraram neste trabalho serem bons parâmetros; uma vez que suas alterações não puderam ser correlacionadas com as condições das trilhas e do meio, supõe-se que suas explicações estejam em nível de microtopografia. Em geral, a variável textura se mostrou muito sensível à variação, tornando a sua interpretação em algumas amostras bastante penosa. No entanto, entende-se que em trilhas muito impactadas essa variável seja um bom parâmetro de

avaliação do grau de intensidade da erosão, porém se ressalta a necessidade de sua interpretação minuciosa.

A tendência percebida de solos mais úmidos nas camadas superficiais, 0-5 cm, principalmente a três metros da trilha do Sino, poderia ser associada à predominância da orientação das vertentes das sub-bacias pela qual esta trilha passa de nordeste a norte, o que apontaria a disposição de vertentes mais úmidas. A tendência oposta percebida na Trilha do Cartão Postal, em que se averiguou uma leve inclinação a solos menos úmidos nas amostras a três metros do leito da trilha, em ambas as profundidades, poderia ser justificada pelo predomínio de orientação noroeste das vertentes das sub-bacias pela qual a trilha passa, as quais condicionariam solos mais secos, pela maior insolação. A significância apresentada nas comparações das amostras a 3 (três) metros – em ambas as profundidades – entre as trilhas da variável umidade na análise ANOVA daria mais subsídios à indicação dessas tendências.

A correlação geral das variáveis de nível +1, 0 e -1 justifica bastante bem os resultados encontrados, validando a metodologia proposta, conforme Tabela 45. As piores condições da Trilha do Sino, diagnosticadas principalmente pela grande quantidade de trechos e pontos com acúmulo de água ao longo de seu percurso e pelos trechos com erosão em sulco, além dos altos coeficientes de variação e significâncias ANOVA da densidade aparente, são justificadas por suas condições mais favoráveis à degradação, como o relevo mais escarpado, averiguado pela maior amplitude altimétrica das sub-bacias pela qual passa e por suas declividades majoritárias acima de 45% (além de porções consideráveis do relevo acima de 75%). Essas condições hidrogeomorfológicas, associadas a curvaturas de vertentes convergentes em planta e/ou côncavas em perfil e distâncias da drenagem inferiores a 30 metros, favorecem o acúmulo de água, principalmente; já a localização das trilhas no médio e baixo curso das sub-bacias, associadas às vertentes divergentes em planta favoreceriam a erosão. A maior quantidade de pontos de acúmulo de água também poderia estar associada à orientação predominante das vertentes de nordeste a norte, caracterizadas pela menor incidência solar. A ocorrência de erosão mais expressiva também pode ser verificada pela maior perda de partículas de argila, silte e areia fina na Trilha do Sino e também pelos valores menores da densidade de partículas nas amostras do leito da trilha.

Afirma-se que as condições gerais ruins diagnosticadas na Trilha do Sino não são condizentes com a zona de uso extensivo em que está inserida, principalmente por

ela não ser uma zona extensa, mas sim, uma zona criada para implantação da Travessia, caracterizada por apenas uma faixa de 20 (vinte) metros no meio da zona intangível e da zona primitiva – consideradas as mais restritivas, as quais pressupõem um alto grau de preservação, “não se tolerando quaisquer alterações humanas” (Viveiros de Castro, 2007, p. 204). A zona de uso extensivo objetiva a “manutenção de um ambiente natural com mínimo impacto humano” (Viveiros de Castro, 2007, p. 210). Considerando que os impactos verificados nas trilhas não se restringem às dimensões dessas, podendo se propagar por toda a área das sub-bacias em que está inserida, seria apropriado que nos trechos mais críticos sejam implantadas técnicas de manejo ou ainda que seu traçado seja refeito, principalmente os referentes aos com curvas muito fechadas (com desnível altimétrico inferior a 10 metros), nos quais a ocorrência de impactos é inerente.

A avaliação conjunta das variáveis da Trilha do Cartão Postal leva a um rico diagnóstico, principalmente por predispor previsões das condições futuras dessa trilha. A comparação das características hidrogeomorfológicas preponderantes da Trilha do Cartão Postal com as da Trilha do Sino refletem condições menos propensas à degradação, principalmente pela menor amplitude altimétrica das sub-bacias (133m), por sua localização preponderante no curso superior destas, em vertentes divergentes em planta e convexas em perfil, além do maior distanciamento das drenagens – essas condições dificultariam o acúmulo de água e a erosão em sulco. No entanto, ainda que as amplitudes altimétricas das sub-bacias não sejam tão elevadas, as altas declividades do leito da trilha, associadas às declividades medianas a altas do terreno (majoritariamente acima de 45%) e a preponderância de vertentes divergentes em planta e convexas em perfil tendem a facilitar os processos erosivos laminares e a ocorrência de degraus.

Apesar do levantamento das variáveis de nível 0 ter apontado alguns trechos mais críticos na Trilha do Cartão Postal, principalmente pela grande quantidade de troncos e alguns acúmulos de água, as variáveis de nível -1 demonstraram boas condições, uma vez que as comparações apontaram poucas significâncias pelas análises ANOVA e também foram averiguados poucos coeficientes de variação significativos. De maneira geral os valores das variáveis relacionadas às propriedades do solo foram bastante similares, ocorrendo em algumas amostras valores mais indicativos de condições mais conservadas no leito da trilha, por indicarem maior quantidade de matéria orgânica, a partir da densidade de partículas, ou densidades aparentes menos

elevadas, ou ainda maiores proporções das partículas de argila e silte no leito. Diante disso, constata-se, a partir das propriedades do solo, que a Trilha do Cartão Postal ainda está em harmonia com o ambiente, não sendo muito influenciada pelas condições menos propícias do entorno e tampouco o influencia. No entanto, as variáveis do nível 0 e +1 alertam para propensões à degradação, com destaque para a erosão laminar – consequência tanto das características geomorfológicas como da maior compactação do solo –, à medida que o uso se intensificar e o tempo de existência da trilha se prolongar.

As condições gerais medianas a boas diagnosticadas na Trilha do Cartão Postal estão condizentes com a zona de uso extensivo em que ela se localiza. No entanto, a inexistência de uma restrição diária do número de pessoas que a percorre está em discordância com as determinações desta zona. Sugere-se que seja definido um número diário de usuários, uma vez que as características hidrogeomorfológicas predominantes da trilha predispoem processos erosivos mais acentuados. Esta sugestão parece contradizer as afirmações contrárias à capacidade de carga afirmadas ao longo do trabalho; no entanto, o estudo demonstrou que o tempo de existência e a intensidade do uso das trilhas, aliados às características hidrogeomorfológicas mais ou menos propensas à degradação influenciam na ocorrência de impactos mais ou menos expressivos. Logo, permanece a afirmação de que a capacidade de carga, por si só, não evita a ocorrência de impactos, porém, associada a técnicas de manejo e traçados bem formulados pode ser efetiva, principalmente por evitar a maior compactação do solo.

As boas condições gerais da Trilha do Poço Verde estão associadas principalmente à sua curta extensão e sua localização em uma porção mais plana das duas sub-bacias pela qual passa, o que condiciona uma baixa declividade de seu leito. A curvatura da vertente predominante divergente em planta e convexa em perfil não predispoem o acúmulo de água, por outro lado, as baixas declividades de seu leito não tendem a condicionar processos erosivos significativos. As variáveis associadas às trilhas (nível 0) diagnosticaram bem as boas condições da Trilha do Poço Verde.

As consequências do uso intensivo da Trilha do Poço Verde podem ser averiguadas pelos altos valores da variável densidade aparente, o qual obteve significância pelas análises ANOVA, e também pelos altos coeficientes de variação. A alta significância das comparações da densidade de partículas também indicou a maior compactação do solo. No entanto, as perdas pouco significativas – percebidas através das comparações das amostras do leito da trilha com as a três metros – das proporções

de argila e silte, demonstram que os processos erosivos não são muito atuantes, o que estaria condizente com as características da trilha e às baixas declividades do terreno em que se localiza. Suas condições gerais boas estão em concordância com a zona de uso intensivo em que está inserida, a qual pressupõe alterações pelo homem e não determina um número máximo de visitantes por dia.

A Tabela 45 sintetiza a avaliação geral das condições de cada trilha e as degradações mais propensas à ocorrência.

Tabela 45: Avaliação Geral das Condições das Trilhas e das Degradações mais Propensas à Ocorrência.

| TRILHA | Condições Gerais | Variável de Nível +1 | Variável de Nível 0 | Variável de Nível -1 | Condições condizentes com a Zona em que está inserida? |
|-------------------------|------------------|---|---|--|---|
| Trilha do Sino | RUINS | Relevo escarpado e grande amplitude altimétrica das sub-bacias, média de 258m = degraus escarpados. Essas variáveis associadas à: | Maior ocorrência de erosão | Perdas das partículas de argila, em maior proporção, e silte no leito da Trilha. | NÃO: os impactos não são mínimos e há muita alteração humana, divergente com a zona de <u>uso extensivo</u> . Os impactos não se restringem à área da trilha, há indícios que eles se propagam pela área das sub-bacias de 1ª e zero ordem em que a trilha está inserida. |
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Curvatura convergente em planta e/ou côncavas em perfil e distância da drenagem inferior a 30 metros, além de vertentes orientadas de nordeste a norte. | Maior predisposição à concentração de água no leito. | | |
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Localização no médio e baixo curso das sub-bacias, associadas a vertentes divergentes em planta. | Maior predisposição à erosão em sulco no leito. | Altos coeficientes de variação e significância ANOVA da variável densidade aparente e densidade de partículas. | |
| Trilha do Cartão Postal | BOAS | Média da amplitude altimétrica das sub-bacias: 133m, correspondente à classe morros, associada a: | Menor propensão ao acúmulo de água e à erosão em sulco. | Insignificância da ANOVA e baixos coeficientes de variação das variáveis densidade aparente, de partículas e perdas das frações de argila, silte e areia fina. | SIM: ainda em harmonia com o meio e com impactos controláveis, concordante com a zona de <u>uso extensivo</u> . |
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Localização no curso superior das sub-bacias, em vertentes divergentes em planta e convexas em perfil e grande distanciamento das drenagens. | | | |

| TRILHA | Condições Gerais | Variável de Nível +1 | Variável de Nível 0 | Variável de Nível -1 | Condições condizentes com a Zona em que está inserida? |
|-----------------------------|-------------------------|--|---|---|---|
| | MEDIA-NAS | <ul style="list-style-type: none"> • Altas declividades do leito da trilha, altas declividades do terreno (maior que 45%) e curvatura divergente em planta e convexa em perfil. | Maior predisposição à erosão laminar e à ocorrência de degraus. | | |
| Trilha do Poço Verde | BOAS | Localização em porção mais plana do terreno, entre declividades de 20 a 45%; baixa declividade do leito e curvatura divergente em planta e convexa em perfil. | Menor propensão ao acúmulo de água e à erosão em sulco. | Perdas insignificantes das frações de argila, silte e areia fina no leito da trilha. | SIM: impactos condizentes com a zona de uso intensivo. |
| | MEDIA-NAS | Baixa declividade do leito e curvatura divergente em planta e convexa em perfil. | Maior compactação do solo e propensão à ocorrência de degraus. | Altos coeficientes de variação e significância nas análises ANOVA das variáveis densidade aparente e de partículas. | |

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que o objetivo geral desta pesquisa, “contribuir com uma proposta metodológica para o planejamento e a avaliação do traçado de trilhas ecoturísticas” foi alcançado, na medida em que a metodologia proposta, inspirada na ecologia de paisagens, atingiu não somente o entendimento geral das causas e consequências da heterogeneidade espacial nas trilhas, mas também o seu entendimento nas diferentes escalas de análise. Também trouxe um maior entendimento das consequências das interações do homem com o seu ambiente no caso específico da implantação de trilhas ecoturísticas.

A fundamentação da metodologia proposta na Teoria da Hierarquia de Forman (1995) se mostrou extremamente eficiente, uma vez que demonstrou que as condições gerais da trilha (nível 0) dependem das associações existentes entre as propriedades e variáveis do solo (nível -1) e são condicionadas (limitadas) pelas variáveis hidrogeomorfológicas (nível +1). Arrisca-se afirmar que foi proposto um modelo preliminar não sistematizado das trilhas, uma vez que o estudo das mesmas trouxe à tona a necessidade da melhor compreensão e priorização de alguns processos atuantes nelas. Mais do que isso, proporcionou um maior entendimento da “realidade” das trilhas, ainda que a realidade seja sempre uma interpretação, de acordo com Gomes⁶ e Morin⁷. A melhor compreensão de alguns processos atuantes nas trilhas tornaria possível uma posterior simulação mais sistematizada, a qual poderia predizer (com mais fundamentação), com base nas características gerais das trilhas (associadas principalmente à intensidade do uso e ao seu tempo de existência) e nas características hidrogeomorfológicas em que se localizam, as degradações susceptíveis de ocorrência em cada trilha.

Trabalhos posteriores poderão comprovar as tendências verificadas nesta pesquisa, não comprovadas estatisticamente pelo número amostral quantitativamente

⁶ Anotações das aulas de Paulo César da Costa Gomes, assistidas no primeiro semestre de 2008, no curso de Mestrado em Geografia no PPGG da UFRJ.

⁷ “Não, uma teoria não é objetiva; uma teoria não é o reflexo da realidade; uma teoria é uma construção da mente, uma construção lógico-matemática que permite responder a certas perguntas que fazemos ao mundo, à realidade. Uma teoria se fundamenta em dados objetivos, mas uma teoria não é objetiva em si mesma” (Morin, 2008, p. 40).

insignificante e o erro circular elevado do mapeamento das trilhas, consequência da utilização de um GPS de navegação, o qual diminuiu consideravelmente a escala de análise. Uma amostra maior também poderia possibilitar a análise por regressão múltipla, o que traria grandes avanços na comprovação das tendências percebidas.

A escala de investigação adotada de 1:25.000 classe C do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), mostrou-se no limite para o estudo de trilhas, poder-se-ia afirmar que classes menores do que esta tornariam a investigação aqui realizada ainda mais especulativa e quase inválida. Isso, pois, as dimensões aproximadas das trilhas de até dois metros de largura e centenas de metros a dezenas de quilômetros de extensão, se perderiam na análise da paisagem, tornando-se pontos. Pesquisas futuras poderiam averiguar a inter-relação dos processos atuantes nas trilhas com o meio em escalas maiores, a fim de melhor mensurar as suas áreas de abrangência.

Enfatiza-se também a importância de uma escala hidrográfica detalhada. Afirma-se que a base hidrográfica da escala 1:25.000 não é detalhada o suficiente para o estudo de trilhas, pois ela não contém os rios de dimensões menores, os quais também influenciam a dinâmica das trilhas. O planejamento das trilhas requer a delimitação apurada das sub-bacias hidrográficas pelas quais elas passam e que se trabalhe com sub-bacias de zero e primeira ordem. As trilhas ecoturísticas demonstram influenciar e serem influenciadas pelos processos hidrogeomorfológicos predominantes nas sub-bacias de primeira e zero ordem. As trilhas se perderiam no estudo da paisagem calcado em recortes espaciais de sub-bacias de ordens maiores.

A influência mais ou menos ativa e passiva das trilhas demonstrou estar correlacionada principalmente às características hidrogeomorfológicas do local em que ela está inserida e também à sua extensão. Apesar disso, nas trilhas analisadas, a avaliação da interação delas com o meio a partir do recorte espacial das sub-bacias de primeira e zero ordem demonstrou ser a mais indicada. Ressalta-se ainda a importância de se adotar modelos digitais do terreno (MDT) hidrologicamente consistentes e com altas resoluções, com dimensões aproximadas do pixel de 2 (dois) metros, no planejamento de trilhas; a fim de serem correspondentes às suas dimensões.

A delimitação das sub-bacias de primeira e zero ordem pela ferramenta *ArcHydro* disponível no Programa *ArcGis* 9.2, não se mostrou eficiente, possivelmente por utilizar o modelo D8. Sugere-se a utilização da ferramenta *Taudem*, desenvolvida

por Tarboton, em que o modelo utilizado é o D-Infinito e que o número de células a serem mapeadas não ultrapasse 2.000, a fim de que os pequenos riachos também sejam mapeados; ainda que alguns deles representem canais intermitentes e de zero ordem, esses exercem influência nos processos atuantes nas trilhas.

As constatações expostas no início deste capítulo introduziram os resultados alcançados relacionados ao primeiro objetivo específico desta pesquisa “elaborar uma metodologia de investigação que integre a verificação dos impactos das trilhas com a constatação das variáveis que mais o influenciam”. Com relação ao primeiro foco do objetivo, a verificação dos impactos das trilhas, a técnica empregada consistiu uma associação das pesquisas descritivas com as comparativas entre áreas pisoteadas e não pisoteadas; a primeira foi aplicada às variáveis do nível 0, referentes às condições gerais das trilhas e a segunda às variáveis de nível -1, associadas às propriedades do solo. A junção destas duas abordagens foi eficaz na averiguação dos tipos e intensidades de impactos nas trilhas em diferentes focos de variáveis, o que trouxe um caráter amplo de averiguação da interação das trilhas com o meio; ainda mais ao se considerar que elas foram posteriormente relacionadas entre si e com as variáveis do nível +1, o que caracteriza as pesquisas que buscam uma relação do uso e degradação e degradação e meio.

Diante disso, agregou-se mais de um tipo ou forma de pesquisa de trilhas o que poderia ser considerado negativo, de acordo com Leung e Marion (1996), por dificultar as comparações. No entanto, considera-se que a averiguação apenas dos impactos existentes nas trilhas, ou a comparação entre as áreas impactadas e não impactadas, ou ainda apenas a relação com as variáveis do meio são reducionistas e não contribuem para o desenvolvimento de um modelo de trilhas. Conforme foi exposto no início deste capítulo, a metodologia proposta pode ser considerada um modelo preliminar não sistematizado das trilhas, o qual pode vir a ser sistematizado em trabalhos futuros, uma vez que a estrutura foi desenvolvida.

Com relação às avaliações descritivas, o grupo de variáveis relacionado ao inventário foi eficaz na averiguação das características gerais das trilhas, ou seja, para o levantamento da sua localização, mapeamento, logo, extensão, intensidade de uso e declividade do leito e também para averiguação da influência dessas no distúrbio das trilhas.

O levantamento do grupo de variáveis descritivas relacionadas à manutenção e condições das trilhas mediante o método censal de divisão das trilhas em trechos homogêneos, não se mostrou válido; uma vez que ele se tornou dúbio, diante da necessidade de averiguação dos diversos impactos existentes em cada trecho. Considera-se mais relevante o levantamento de todos os pontos com ocorrência dos distúrbios e manejo, do que a delimitação de trechos homogêneos, os quais dificilmente serão realmente homogêneos e dificultarão a correlação posterior com as demais variáveis. Possivelmente a metodologia desenvolvida por Leung e Marion (1999b), TPAM (Trail Problem-Assessment Method), seja mais efetiva, uma vez que objetiva caracterizar a localização, frequência e extensão dos problemas mais comuns das trilhas. Ou talvez apenas seja necessário focar o método censal na documentação da ocorrência de cada impacto percebido ou pré-definido e não na definição de trechos homogêneos. Nesta pesquisa, os trechos delimitados na Trilha do Sino teriam que ser reformulados após o segundo campo, uma vez que as condições das trilhas mudaram consideravelmente.

Nem todas as variáveis relacionadas às condições das trilhas se mostraram determinantes na averiguação de seus distúrbios. Os primeiros levantamentos de campo realizados demonstraram uma grande homogeneidade na variável largura da trilha, o que levou ao seu descarte, uma vez que não diferenciou as áreas mais e menos impactadas; contrariando as afirmações realizadas por Leung e Marion (1996).

Com relação às variáveis levantadas exposição de raízes e rochas, além de existência de sulcos, degraus e acúmulo de água, aconselha-se que trabalhos futuros dêem maior ênfase à verificação da existência das variáveis sulcos e acúmulos de água. Ressalta-se a importância dessas serem levantadas em diferentes estações do ano, pois pontos e trechos com acúmulo de água mudam consideravelmente nas estações mais chuvosas. A variável degraus se mostrou dúbio, uma vez que os trechos mais impactados foram confundidos com as técnicas de manejo (colocação de troncos no leito das trilhas); porém, não se aconselha o descarte total desta variável, apenas a distinção minuciosa do impacto degrau e do manejo com troncos. As variáveis exposição de rochas e de raízes, no leito da trilha, também não se mostraram efetivas, uma vez que estiveram condicionadas às áreas com maior propensão a afloramentos rochosos e com vegetação de maior porte, respectivamente.

Com relação aos sulcos, considera-se que a averiguação apenas da existência, ou não deles, seja superficial; esta pesquisa teve a demanda da quantificação deste distúrbio, até mesmo por sua análise quantitativa possibilitar as análises estatísticas de regressão. A mensuração quantitativa dos sulcos normalmente é feita pelo levantamento da área da seção transversal, porém a bibliografia consultada ressalta os problemas correntes desta. No entanto, a diferenciação realizada por Farrel e Marion (2002) das incisões realizadas pela abertura das trilhas (MIP, Maximum Incision, Post-construction), daquelas geradas pelos processos erosivos (MIC, Maximum Incision, Current tread) pareceram ser uma boa solução para os problemas averiguados.

Da mesma forma, nem todas as variáveis e propriedades do solo, nível -1, mostraram-se válidas. A densidade do solo, ou aparente, demonstrou indicar os solos mais compactados das trilhas, corroborando com as constatações de Takahashi *et al* (2005). Ainda que os trabalhos sobre ecologia da recreação consultados não analisam a densidade de partículas, nesta pesquisa esta propriedade do solo se mostrou igualmente efetiva, por ser auxiliar na averiguação da intensidade do impacto do pisoteio, uma vez que apontou as amostras com maiores perdas de matéria orgânica. Esta variável foi eficaz na mensuração quantitativa da afirmação de Cole (1993) de que quando o pisoteio é frequente, a camada orgânica é drasticamente diminuída ou até eliminada devido à compactação; por esse motivo, aconselha-se o seu levantamento conjunto com a densidade aparente.

A avaliação da umidade volumétrica não se mostrou válida e não conseguiu averiguar as constatações de Bryan (1977) de que solos pouco drenados são mais susceptíveis ao encharcamento, ao alargamento excessivo das trilhas e à erosão, assim como, solos com altos níveis de umidade são mais facilmente deformados. Isso se deve ao fato da umidade volumétrica não avaliar o grau de saturação do solo, logo, não se soube se o solo estava muito ou pouco úmido. Neste sentido, recomenda-se a mensuração da umidade gravimétrica, a fim de averiguar a capacidade que determinado solo tem de armazenar água e também as constatações de Bryan (1977).

A variável textura demonstrou indicar medianamente bem os trechos com maior ocorrência de erosão, uma vez que obteve um comportamento aleatório. Ou seja, a sua interpretação geral indicou que nas amostras de 0-5cm da Trilha do Sino ocorreram perdas significantes (a partir da análise ANOVA) de partículas de silte e perdas menos significativas (pelo p-valor da análise ANOVA não ser significativo) das partículas de

argila. Perdas significativas não foram percebidas nas Trilhas do Cartão Postal e tampouco do Poço Verde, ocorrendo inclusive aumento das partículas de silte e argila em algumas amostras do leito dessas trilhas. Esse fato estaria condizente com a maior quantidade de pontos e trechos com erosão em sulco averiguada na Trilha do Sino. No entanto, esperava-se que perdas significativas também tivessem ocorrido, e em maior grau, nas partículas de argila, uma vez que elas são menores e supostamente mais fáceis de serem transportadas. Também não foi possível averiguar a constatação feita por Bryan (1977) de que solos com textura homogênea e fina possuem incisões mais profundas.

O comportamento aleatório da textura inviabilizou maiores considerações, possivelmente isso seja decorrente da argumentação de Dixon *et al* (2004) de que o grau de inclinação das trilhas é mais influente em termos de valores e mudanças nos impactos do que o substrato; porém, ainda assim, não se obteve constatações suficientes para descartar a importância dessa variável. Aconselha-se que pesquisas futuras averiguem minuciosamente seu comportamento e a correlação com os distúrbios, assim como, avaliem não somente o aspecto da erodibilidade, mas também, da infiltração. Para tanto, aconselha-se também que sejam mensuradas as variáveis ambientais constatadas como representativas por Takahashi *et al* (2005), as quais possibilitariam uma correlação com a infiltração, entre elas, a resistência do solo à penetração nas profundidades de 0-5cm e de 5-10cm.

A avaliação conjunta das variáveis de nível 0 e -1 permitiu averiguações a respeito dos trabalhos com foco nas relações de uso e degradação. O levantamento das variáveis em três trilhas com tempo de existência, intensidades de uso e condições do leito diferenciados permitiu a constatação de um comportamento determinístico em relação à compactação do solo, no sentido de quanto maior o tempo de existência e a intensidade de uso das trilhas, mais expressivo será o impacto do pisoteio humano na compactação do solo. Essa verificação corrobora a afirmação de Cole (2004) de que os impactos são inevitáveis com o uso repetitivo. Porém, a constatação de que a trilha do Cartão Postal ainda está em harmonia com o meio ambiente, mesmo após um ano de existência – uma vez que a comparação dos valores das propriedades averiguadas nas amostras de solo do leito desta trilha com os valores a três metros demonstraram grande similaridade –, contradiz a outra afirmação de Cole, de que os maiores impactos se dão logo após a abertura da trilha, mesmo com uma intensidade de uso baixa. Tendo em

vista que as análises foram realizadas após um ano da abertura da trilha e que a intensidade do seu uso é mediana, considera-se que as averiguações não corroboram as constatações de Cole (1993 e 2004); porém seria necessário uma amostra mais significativa para maiores afirmações.

Acredita-se que a afirmação de Cole (2004) esteja embasada na sua argumentação de que exceto quando o uso é extremamente alto, é raro que os impactos causados pelo pisoteio excedam aqueles causados pela construção/abertura das trilhas. Neste sentido, concorda-se com o autor, porém se ressalta que a intensidade dos impactos decorrentes da abertura da trilha irá depender do local em que a mesma está instalada, ou seja, das características do meio. Isso foi constatado nesta pesquisa, uma vez que as trilhas do Sino e do Cartão Postal, cuja declividade média do leito é bastante alta, excedendo em vários pontos 8°, apresentaram mais distúrbios do que a trilha do Poço Verde, cujo leito é bastante plano. Porém essa constatação foi averiguada com mais intensidade com as demais variáveis hidrogeomorfológicas (nível +1) levantadas, expostas a seguir. Ainda que a variável associada à declividade do leito tenha sido importante nas análises, não se conseguiu averiguar as constatações de Birkby (2005), a respeito das declividades máximas e mínimas aconselháveis das trilhas, e tampouco o alerta das associações e sociedades americanas de trilhas de que a declividade das mesmas não exceda a metade da declividade do terreno.

O impacto do pisoteio humano, quando expressivo, demonstrou atingir não somente as camadas mais superficiais do solo, de 0-5cm, mas também as um pouco menos superficiais, de 5-10cm. Pesquisas futuras poderiam averiguar mais detalhadamente a intensidade do impacto do pisoteio humano mediante a análise da resistência do solo à penetração nas diferentes profundidades, o que poderia levar a uma maior comparação entre o impacto do pisoteio humano com o bovino – principalmente ao relacionar os valores com aqueles constatados por Trein *et al.* (1991) e Braganolo *et al.* (2007) –, a fim de verificar se as técnicas de mitigação aplicadas ao segundo, em pastagens, são válidas para as trilhas com uso apenas humano.

A avaliação conjunta das variáveis de nível 0 com as de nível -1 e +1 permitiu a averiguação dos avanços ou confirmações desta pesquisa com relação aos trabalhos que tem como foco as comparações de degradação-meio; além do alcance da segunda parte do primeiro objetivo: “a constatação das variáveis que mais influenciam os impactos” e também do segundo objetivo: “indicar variáveis hidrogeomorfológicas que possam

contribuir de forma mais enfática para a degradação das trilhas e que, portanto, devem ser atentadas no planejamento do traçado das mesmas”. Verificou-se que trilhas localizadas em sub-bacias com altas amplitudes altimétricas (acima de 200 metros) e altas declividades (acima de 45%) estão mais susceptíveis à ocorrência de impactos. A associação dessas características às expostas a seguir as tornaria mais susceptíveis a impactos específicos.

Pode-se afirmar que quanto mais alta é a amplitude altimétrica e a declividade das sub-bacias pelas quais as trilhas passam mais significativa será a sua influência nos processos atuantes nas trilhas, por outro lado as sub-bacias em que as trilhas estão inseridas também seriam mais influenciadas pelos processos atuantes nas trilhas. Ou seja, as características hidrogeomorfológicas avaliadas influenciam a maior ocorrência de impactos nas trilhas, com foco nos processos erosivos e acúmulos de água; por sua vez, as trilhas tendem a desviar os cursos de água e aumentar os processos erosivo das sub-bacias em que estão localizadas. Arrisca-se a afirmação de que nestes casos, o estudo da trilha calcado nas sub-bacias de primeira e zero ordem se torna ainda mais condizente, uma vez que as trilhas estão influenciando – e sendo influenciadas – quase toda a área das sub-bacias. Além disso, estima-se que se a tendência de erosão for elevada na escala temporal, a longo prazo a trilha poderá interferir tanto para jusante (os rios coletores das sub-bacias pela qual passa), como também ocasionar erosões a montante, ou a partir da própria trilha. No entanto, trilhas que não possuem as características hidrogeomorfológicas expostas parecem influenciar e serem influenciadas por áreas menos abrangentes que não englobariam toda a extensão das sub-bacias, principalmente quando seu percurso é pouco extenso, como na Trilha do Poço Verde. Talvez nestes casos, seja importante avaliar a possibilidade de se trabalhar em uma escala ainda mais detalhada.

Essas constatações representam um avanço na ciência da recreação, uma vez que introduzem uma demanda percebida por Cole (2004) de se explicitar a descrição espacial dos impactos e a sua dimensão escalar. A metodologia proposta demonstrou abordar bastante bem essa questão. Diante disso, a própria afirmação do autor de que os impactos das trilhas são de pequena significância para a integridade da paisagem requer a especificação da dimensão da paisagem referida. Além disso, ainda que se concorde com Cole (2004) a respeito dos impactos da recreação serem mais sérios para indivíduos de plantas, esta pesquisa verificou uma tendência de maior dimensão escalar,

tanto em extensão, como em intensidade dos impactos erosão, concentração de água e degraus em trilhas localizadas em condições hidrogeomorfológicas mais propensas à ocorrência de impactos – conforme ressaltado no parágrafo anterior; nessas condições se percebeu uma maior probabilidade dos impactos se estenderem por toda área das sub-bacias hidrográficas de 1ª e zero ordem.

Trilhas, ou trechos delas, localizadas em sub-bacias com altas amplitudes altimétricas e altas declividades, além de próximas de cursos d'água (menos que 30 metros) e/ou localizadas em vertentes convergentes em planta e/ou côncavas em perfil e/ou em curvas muito fechadas (com desnível altimétrico inferior a 10 metros) estão fortemente propensas ao acúmulo de água; caso estejam localizadas em vertentes com pouca incidência solar, essas propensões seriam ainda mais enfáticas. Essa averiguação está em concordância às evidências de Kirkby e Chorley (1967) de que a saturação está associado às concavidades da vertente em planta e as concavidades encontradas no perfil, os autores ainda associam às áreas com diminuição dos horizontes superficiais, mas isso não foi possível comprovar nesta pesquisa.

Por outro lado, as características iniciais de altas declividades e amplitudes altimétricas expostas associadas à sua localização em vertentes divergentes em planta e convexas em perfil tenderiam a tornar as trilhas mais susceptíveis à ocorrência de degraus em seus leitos e à erosão laminar. Isso afirma uma tendência colocada por Ruhe (1977 *apud* Casseti, 2005) de que a forma convexa proporcionaria o predomínio do fluxo laminar, com velocidade crescente em função do gradiente.

Verificou-se também uma tendência de trilhas localizadas no médio e baixo curso de sub-bacias com altas declividades e amplitudes altimétricas e em vertentes divergentes em planta e côncavas em perfil obterem trechos com erosão em sulco (principalmente se o seu tempo de existência for grande e estiverem associadas a curvas muito fechadas). No entanto, essa afirmação seria incipiente, tendo em vista que foram avaliados somente dois trechos com essa degradação; porém elas estariam em concordância com as afirmações de Bigarella (2003 *apud* Stabile e Vieira, 2009) de que “a energia do fluxo chega próxima do máximo na parte mais íngreme, geralmente na porção central do perfil, de modo que a maior parte da ação erosiva ocorre abaixo desta zona, onde os fluxos tornam-se canalizados e se formam as ravinas”. Com relação às curvas muito fechadas, aconselha-se que em áreas de altas declividades as curvas das trilhas possuam um desnível pelo menos superior a 30 metros.

Ainda que tenha se averiguado algumas tendências, ressalta-se a necessidade e oportunidade de estudos futuros melhor diferenciarem as características hidrogeomorfológicas dos pontos (de curta extensão, aproximadamente 5 metros) com acúmulo de água, dos trechos (caracterizados pela maior extensão e pelo fluxo de água no leito da trilha) com acúmulo de água e dos trechos com erosão em sulco, a fim de melhor diferenciar a tendência verificada da preponderância das curvaturas divergentes em planta e côncavas em perfil nos primeiros tipos citados de degradação e divergente em planta e côncava em perfil na erosão em sulco.

As averiguações relacionadas à degradação versus meio corroboram parte daquelas realizadas pelo referencial bibliográfico da ecologia da recreação consultado, como as de Olive e Marion (2009), em que aconselham que as trilhas evitem declividades muito altas e a proximidade com os cursos d'água, a fim de atenuar o impacto da erosão. Assim como as de Cogo e Bertol (1998 *apud* Vaschenko, 2006) de que as perdas de solo são maiores nos declives convexos, intermediárias nos uniformes e menores nos côncavos. Além do referencial que documenta uma relação positiva entre alta declividade e maior perda de solo (Farrell e Marion, 2002 e Quinn *et al.*, 1980, *apud* Dixon *et al.*, 2004). Quanto ao alinhamento das trilhas com as curvas de nível, esta pesquisa não obteve uma conclusão eficaz, como o citado pela bibliografia consultada (Bryan, 1977; Leung e Marion, 1996; e Olive e Marion, 2009), que afirma que trilhas que possuem um alto alinhamento com o ângulo da encosta facilitam o escoamento da drenagem e diminuem a probabilidade das incisões. Talvez isso se deva à maior parte dos trechos das três trilhas avaliadas estarem alinhados ao relevo. Logo, sugere-se que a definição do traçado das trilhas não negligencie este aspecto, tendo em vista as ressalvas feitas pelo referencial.

Porém, esta pesquisa extrapola as constatações realizadas tanto com relação às relações de degradação versus meio como de planejamento do traçado de trilhas nas pesquisas da ecologia da recreação. Isso, pois, além das variáveis ressaltadas pelo referencial bibliográfico (declividade, forma da vertente, distância da drenagem e alinhamento com as curvas de nível) com influência na degradação das trilhas, constatou-se outras variáveis hidrogeomorfológicas de grande influência nos impactos mais correntes das trilhas, com destaque para as variáveis associadas às sub-bacias pelas quais as trilhas passam, como ordem, amplitude altimétrica e posição da trilha na vertente, associado ao baixo, médio ou alto curso das sub-bacias, e orientação da

vertente. Ressalta-se que a variável índice de circularidade (IC) das sub-bacias não demonstrou ter influência com a degradação das trilhas, especificamente com os pontos e trechos com acúmulo de água, logo poderia ser descartada ou teria que ser melhor averiguada em pesquisas futuras com amostras quantitativamente significativas.

Além disso, essa pesquisa apontou os intervalos das variáveis com maior propensão a determinado impacto. Neste sentido, foi possível realizar uma correlação entre os processos atuantes no relevo com aqueles averiguados ao longo das trilhas, conforme especificado nos parágrafos anteriores e destacado na Tabela 46.

Tabela 46: Variáveis com Maior Influência em Impactos Específicos das Trilhas.

| CARACTERÍSTICAS DA LOCALIZAÇÃO DAS TRILHAS | | Impacto de Maior Propensão à Ocorrência |
|--|---|--|
| Hidrogeomorfológicas Gerais | Hidrogeomorfológicas Específicas | |
| Sub-bacias com Altas Amplitudes Altimétricas (acima de 200 metros) e Altas Declividades (acima de 45%) | <ul style="list-style-type: none"> – Distâncias menores do que 30 metros de cursos d'água, – Vertentes convergentes em planta e/ou côncavas em perfil, – Curvas muito fechadas (com desnível altimétrico inferior a 10 metros), – Vertentes com pouca incidência solar. | Acúmulo de Água |
| | <ul style="list-style-type: none"> – Vertentes divergentes em planta, – Vertentes convexas em perfil. | Degraus e Erosão laminar |
| | <ul style="list-style-type: none"> – No médio e baixo curso de sub-bacias, – Vertentes divergentes em planta, – Vertentes côncavas em perfil. | Erosão em Sulco |

A análise conjunta das variáveis ainda permitiu outras averiguações, como a inexistência de uma forte correlação entre o pisoteio humano e os processos erosivos, estes demonstram ter maior relação com as características hidrogeomorfológicas, uma vez que a correlação entre as amostras com os maiores valores de densidade aparente e coeficientes de variação (nas comparações dos valores de densidade aparente das amostras do leito da trilha e a três metros delas) e as amostras com perdas significativas de partículas de argila e silte mostraram-se aleatórias. Da mesma forma, a relação entre as amostras com os maiores valores de densidade aparente e coeficientes de variação e os trechos com erosão em sulco também foram aleatórias, isso, pois nem todas as

amostras com tais características estavam situadas em trechos com erosão em sulco, ainda que todas as amostras dos trechos de erosão em sulco obtivessem altos coeficientes de variação da variável densidade aparente. Essa evidência também confirma a afirmação de Cole (2004) de ser raro que os impactos causados pelo pisoteio excedam aqueles causados pela construção da trilha.

A ocorrência de erosão laminar e erosão em sulco, além de pontos de concentração de água demonstraram correlação com as variáveis hidrogeomorfológicas. Esses impactos ocorreram em maior número na Trilha do Sino; é claro que se deve levar em consideração sua maior extensão, o que condicionaria uma maior quantidade de pontos e trechos impactados; no entanto, proporcionalmente eles também foram mais significativos, além da maior intensidade. As características hidrogeomorfológicas preponderantes da Trilha do Sino, associadas aos pontos de degradação mais numerosos e com maior intensidade, sugerem que ela está localizada em áreas mais susceptíveis à ocorrência de impactos. Essas últimas constatações enfatizam ainda mais a conclusão corrente no meio e corroborada nesta pesquisa de que as condições das trilhas são mais influenciadas por sua localização do que pela intensidade do uso (por exemplo Kuss, 1986 e Cole, 1991).

Neste sentido, sugere-se que seja definida uma capacidade de carga das trilhas calcada na sensibilidade da paisagem em que ela está localizada, ou seja, na sua susceptibilidade à degradação e também na zona em que ela está inserida, por essa definir as condições desejadas. Esses argumentos estão em concordância com os de Hammitt e Cole (1998) de que a limitação de usuários não deve ser a primeira estratégia para diminuir os impactos do uso, assim como de Linberg *et al.* (1997 *apud* Magro, 1999, p. 18) de que o foco da capacidade de carga deveria ser “quais são as condições desejadas?” e também de Siles (2003) de que a capacidade de carga deve estar em concordância com a resistência e resiliência do ecossistema.

Nas trilhas analisadas, considera-se que o número máximo de usuários de 200 pessoas por dia, delimitados na Trilha do Sino, é alto para as condições hidrogeomorfológicas em que ela se encontra; no entanto, sabe-se que esse limite é atingido em poucos dias por ano, logo, considera-se que seja possível permanecer com ele, desde que sejam realizadas manutenções nos trechos mais críticos. Para trilha do Cartão Postal também se aconselha que seja definido um limite de usuários por dia, a partir da aplicação da fórmula de Limite Aceitável de Mudança (LAC) de Stankey *et al.*

(1985). Não se considera necessário a determinação de um limite de usuários para a Trilha do Poço Verde, tendo em vista que suas condições hidrogeomorfológicas são menos propensas aos impactos.

Outras contribuições para as pesquisas que tem como foco as comparações de degradação-meio poderiam ser feitas, entre elas uma averiguação dos processos morfogenéticos e pedogenéticos atuantes nas trilhas, de acordo com a sua posição nas sub-bacias hidrográficas (alto, médio ou baixo curso), a partir, principalmente, da quantificação da taxa de infiltração em cada ponto. Essas análises poderiam levar à averiguação do quanto as trilhas influenciam nos caminhos preferenciais da água (CPAS), a exemplo das pesquisas de escalas hidrológicas realizadas por Mediondo e Tucci (1997b). Além disso, enfatiza-se a importância de um estudo mais aprofundado com relação aos intervalos adotados em cada variável hidrogeomorfológica, não somente por esses deverem ser adaptados a cada área de estudo, mas também, para que os limites dos valores sejam mais científicos. Por exemplo, nesta pesquisa se adotou intervalos previamente definidos pelo referencial bibliográfico consultado, porém alguns não se mostraram válidos, principalmente a distância da drenagem. Seria necessário avaliar qual a distância da trilhas à drenagem em que o encharcamento do solo realmente diminui e qual o intervalo limite em que a trilha não é mais influenciada e tampouco exerce influência na dinâmica hidrográfica do relevo.

Por fim, o terceiro objetivo estipulado nesta pesquisa “sugerir as técnicas de manejo mais efetivas para a prevenção dos impactos ambientais causados nas trilhas” também foi atingido, a partir da constatação conjunta das variáveis dos diferentes níveis hierárquicos e trouxe as últimas colaborações para as pesquisas descritivas com ênfase à abordagem de manutenção das trilhas. Recomenda-se que nos pontos em que a trilha cruza riachos, mesmo que intermitentes, sejam colocados canais de drenagem da água, a fim de que o seu curso não seja desviado para o leito da trilha. Nos pontos com maior propensão ao acúmulo de água, recomenda-se a colocação de rochas no leito da trilha, elas evitam que o leito fique ainda mais encharcado com o pisoteio e também o alargamento da trilha, uma vez que os usuários tendem a desviar dessas áreas. Birkby (2005) também destaca a importância da instalação de um sistema de drenagem eficiente nas trilhas, a fim de manter a água difusa e fora dela.

A colocação de serrapilheira no leito da trilha também se mostrou extremamente válida, uma vez que diminuiu os valores da densidade aparente, tornando-a

insignificante nas profundidades de 5-10cm. Considerou-se a técnica adotada na Trilha do Sino de corte lateral da vegetação do leito da trilha extremamente interessante, pois, além de manter o percurso com menos obstáculos, conserva uma camada de serrapilheira no solo, o que aumenta os teores de matéria orgânica e evita os efeitos nocivos do pisoteio.

Não se recomenda a colocação de troncos no leito das trilhas, pois se considera que eles enfatizam ainda mais os processos erosivos, formando degraus ainda maiores nos trechos com alta declividade do leito. Isso, pois, o tronco tende a reter os sedimentos em sua parte superior e propicia o trabalho da água na parte inferior, “cavando” um buraco. Recomenda-se que ao invés de troncos sejam colocadas rochas, cascalho ou brita no leito. Na Trilha do Sino as rochas demonstraram atenuar os processos erosivos em sulco e ajudar os usuários a vencer mais facilmente as áreas de maior declividade do leito. O Appalachian Mountain Club possui uma série de recomendações com relações às técnicas de construção e manutenção de trilhas, com diversos tipos de materiais, para tanto vale consultar o livro *AMC's (Appalachian Mountain Club) Complete Guide to Trail Building and Maintenance*.

Diante das considerações realizadas, o fluxograma da metodologia proposta teria que ser refeito, a fim de se retirar as variáveis que não se mostraram válidas, as quais no nível +1 seriam o índice de circularidade, no nível 0, a exposição de raízes e de rochas, relacionadas às variáveis das condições das trilhas, e no nível -1 a umidade volumétrica deveria ser modificada pela gravimétrica e se aconselha a inserção da resistência do solo à penetração. A Figura 54 contém as alterações do fluxograma da proposta metodológica elaborada (Figura 36, p. 89) para o planejamento, avaliação e determinação do traçado de trilhas, ressalta-se, portanto, a importância da atenção às ressalvas realizadas ao longo do texto na sua aplicação.

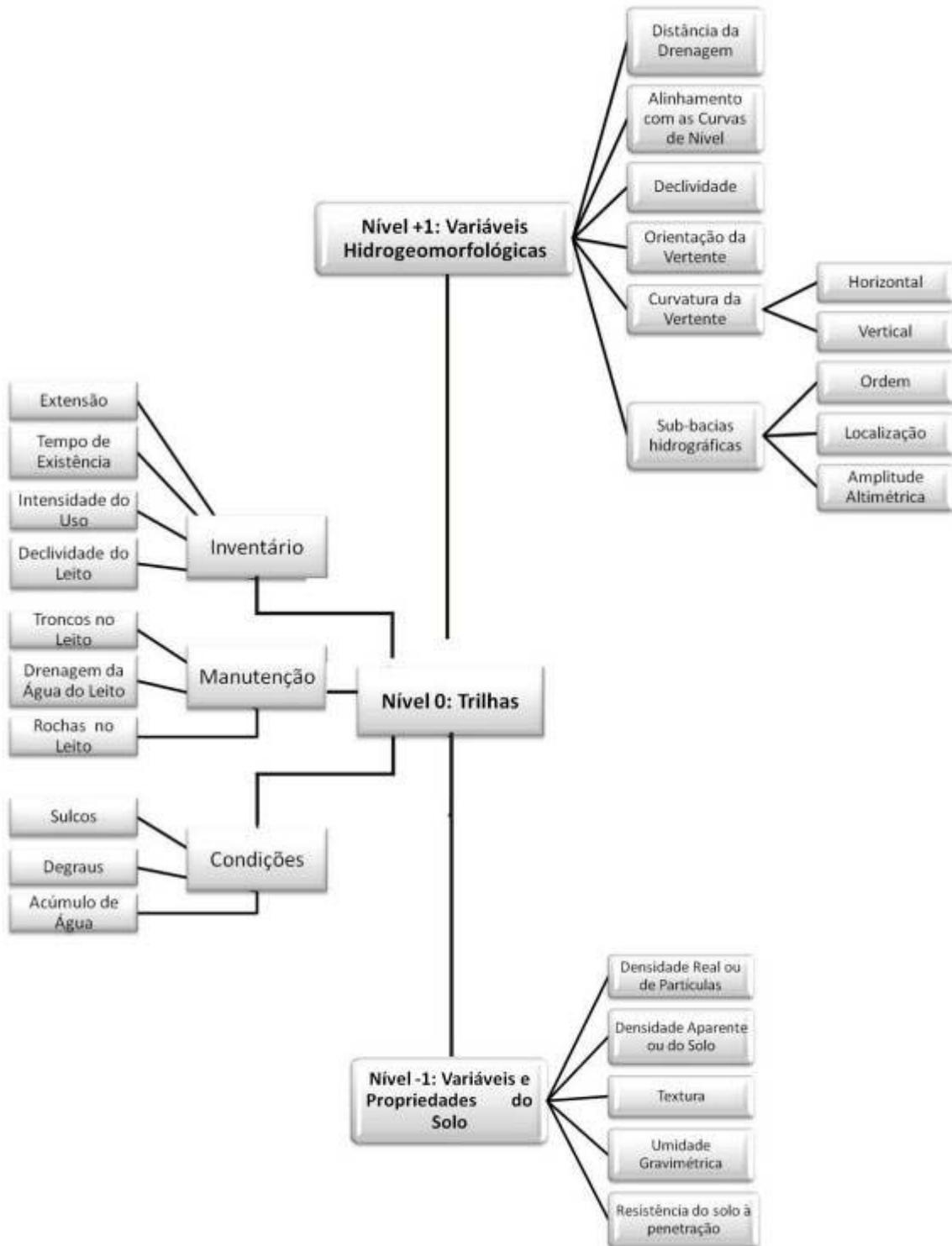


Figura 54: Fluxograma da proposta metodológica para o planejamento, avaliação e determinação do traçado de trilhas. Elaborado por L. Kroeff.

7 CONCLUSÕES

Afirma-se que a proposta metodológica elaborada aplicada ao planejamento, à avaliação e à determinação do traçado de trilhas ecoturísticas calcada em níveis hierárquicos associou satisfatoriamente bem os diferentes focos das pesquisas de trilhas averiguados no levantamento do referencial bibliográfico, com maior intensidade às pesquisas voltadas a descrição das trilhas – tanto as com abordagem no inventário, como manutenção e condições das trilhas –, das pesquisas comparativas entre áreas impactadas e não-impactadas, das que visam a relação de uso e degradação e também de degradação e meio e fundamentalmente daquelas voltadas ao planejamento do traçado das trilhas. A metodologia elaborada representou um avanço na ciência da recreação por integrar os diferentes focos e metodologias de pesquisas do meio e também por sugerir a dimensão escalar dos impactos das trilhas e suas associações com o meio, a partir da constatação das variáveis que mais os influenciam.

Conclui-se que as condições gerais da trilha (nível 0) dependem das associações existentes entre as propriedades e variáveis do solo (nível -1) e são condicionadas (limitadas) pelas variáveis hidrogeomorfológicas (nível +1). A constatação da eficácia das variáveis de cada nível hierárquico levou a conclusão das melhores variáveis e propriedades a serem avaliadas:

- Nível 0:
 - Inventário: extensão, tempo de existência, intensidade do uso e declividade do leito.
 - Manutenção: troncos, drenagem da água e rochas.
 - Condições: sulcos, acúmulo de água e incisões (com base na metodologia de Farrel e Marion, 2002, de MIP e MIC).
- Nível -1: levantamentos de 0-5cm e de 5-10cm da densidade real ou de partículas, densidade aparente ou do solo, textura (relacionando com a erodibilidade e infiltração), umidade gravimétrica e resistência do solo à penetração.

- Nível +1: distância da drenagem, alinhamento com as curvas de nível, declividade, orientação da vertente, curvatura em planta e em perfil, amplitude altimétrica e localização nas sub-bacias de primeira e zero ordem.

A maior contribuição desta pesquisa foi com relação às variáveis hidrogeomorfológicas que devem ser atentadas na definição do traçado de trilhas. Aconselha-se que o planejamento do traçado de trilhas seja espacialmente definido pelo limite das sub-bacias de primeira e zero ordem e que nelas sejam verificadas as áreas mais declivosas, as curvaturas convergentes e divergentes em planta, assim como, as curvaturas convexas e côncavas em perfil (tendo em vista que em cada classe das curvaturas tende a ocorrer um tipo de degradação), o local da sub-bacia pela qual a trilha passa (baixo, médio ou alto curso), as sub-bacias com maiores amplitudes altimétricas e as áreas com menos de 30 metros das drenagens. Porém, ressalta-se que estas se mostraram válidas nas condições da área de estudo, Serra dos Órgãos; em relevos com outras dinâmicas, principalmente mais planos, seria necessário reavaliar as variáveis hidrogeomorfológicas com mais influência nos impactos das trilhas, assim como, os impactos mais correntes nelas.

Conclui-se que é impossível que o traçado das trilhas evite todas as áreas mais susceptíveis à degradação, pois elas seriam muitas, mas que a identificação das mesmas traz uma contribuição enfática ao planejamento de trilhas, pois antevê a localização dos impactos mais susceptíveis de ocorrência e, portanto, os locais mais aconselháveis à implantação das técnicas de manejo, a fim de atenuar seus efeitos e buscar uma maior harmonia dos processos atuantes na trilha com os do relevo.

Averiguou-se que as técnicas de manejo mais efetivas para a atenuação dos impactos nas trilhas são a colocação de rochas nas áreas mais úmidas, de canais de drenagem nos locais em que a trilha os cruze, de rochas, cascalho ou brita nos leitos mais declivosos e de serrapilheira, sempre que possível a partir do corte lateral da vegetação, a fim de atenuar a compactação do solo.

Anseia-se que pesquisas futuras dêem continuidade ao trabalho desenvolvido, que corroborem para as tendências averiguadas e supram as lacunas deixadas por esta pesquisa, alertadas ao longo do texto.

8 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ANDRADE, W. J. (2003) Implantação e Manejo de Trilhas. In: Manual de Ecoturismo de Base Comunitária: ferramentas para um planejamento responsável. Ed. da WWF – Brasil. Org. Silvia W. Mitraud. Brasília – DF.

BIRCHARD, W. PROUNDMAN, R. xxxx and the Appalachian Trail Conference (2000). Appalachian Trail Design, Construction and Maintenance, 2nd Ed.; Appalachian Trail Conference, Harpers Ferry, EW USA.

BIRKBY, R.C. (2005) Lightly on the Land: The SCA Trail Building and Maintenance Manual. Student Conservation Association (U.S.) The Mountaineers Books.

BRAGAGNOLO, J; LANZANOVA, M.E.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F & GIRARDELO, V.C. (2007). Compactação do Solo Induzida por Pisoteio Bovino em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária sob Plantio Direto. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Gramado, RS.

BRYAN, R. B. (1977) The Influence of Soil Properties on Degradation of Mountain Hiking Trails at Grovelsjon. Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography, Vol. 59, N° 1/2, p. 49-65.

CARDOSO NETO, A. Tópicos Básicos de Irrigação, 2^a Fascículo. As propriedades do solo. Disponível em: www.ana.gov.br/.../As%20Propriedades%20do%20solo_Tópicos%20Básicos%20de%20Irrigação%20%20_2º%20Fascículo. Acesso em 30/01/2009.

CASSETI, V. (2005). Geomorfologia. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/>. Acesso em 03/03/2010.

CHORLEY, R. J. (1969) The drainage basin as the fundamental geomorphic unit. In: CHORLEY, R. J. 1969. Water, earth, and man: a synthesis of hydrology, geomorphology, and socio-economic geography. London: Methuen & Co. p. 77-99.

CHRISTOFOLETTI, A. 1980. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher.

CIFUENTES, M. (1992) *Determinación de capacidad de carga turística em áreas protegidas*. Turrialba: CATIE. p. 18-35 (Série Técnica. Informe Técnico, 194).

COELHO NETTO, A. L. (1998) Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 93-148.

COLE, D.N. (1981) Managing ecological impacts at wilderness campsites: an evaluation of techniques. Journal of Forestry 79, 86-89.

COLE, D.N. (1983) Assessing and Monitoring Back-country Trail Conditions. USDA Forest Service, Intermountain Res. Stn., Res. Pap. INT-303, Ogden, UT.

COLE, D.N. (1987) Research on soil and vegetation in wilderness: a state-of-knowledge review. In: Lucas, R.C. (comp) *Proceedings—National Wilderness Research Conference: Issues, State-of-knowledge, Future Directions*. General Technical Report INT-220. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, Utah, p. 135-177.

COLE, D.N. (1989) Low-impact recreational practices for wilderness and backcountry. General Technical Report INT-265. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, Utah, 131 p.

- COLE, D.N. (1991) Changes on trails in the Selway-Bitterroot Wilderness, Montana, 1978-89. Research Paper INT-450. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, Utah, 5 p.
- COLE, D. N. (1993) Minimizing Conflict between Recreation and Nature Conservation. In: Ecology of Greenways: Design and Function of Linear Conservation Areas. D.S. Smith and P.C. Hellmund, eds., Univ. of Minnesota Press, Minneapolis, MN. p. 105 - 122.
- COLE, D. N. (2004) Impacts of Hiking and Camping on Soils and Vegetation: A Review. In: Environmental impacts of ecotourism. Buckley, R. International Centre for Ecotourism Research, Griffith University, Parklands Drive, Gold Coast, Queensland, Australia.
- COLE, D. N., BAYFIELD, N. G. (1993) Recreational Trampling of Vegetation: standard experimental procedures. *Biological Conservation*, 63, p. 209-215.
- CORREIA, J. D. (2008) Metodologia para Mapeamento Semi-Automático de Feições Depositionais Quaternárias por Imagens Orbitais de Alta Resolução Espacial – Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geologia.
- COSTA, S. M. (2004) Contribuição Metodológica ao Estudo da Capacidade de Carga Turística em Áreas Preservadas: O Caso da Unidade de Conservação do Gericinó-Mendanha (RJ). Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro.
- COSTA, N. M. C. e XAVIER DA SILVA, J. (2004) Geoprocessamento Aplicado à Criação de Planos de Manejo: O Caso do Parque Estadual da Pedra Branca-RJ. In: Geoprocessamento & Análise ambiental: aplicações/Jorge Xavier da Silva, Ricardo Tavares Zaidan (organizadores). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- CRONEMBERGER, C. (2007) Uma análise da atividade de condução de visitantes no Parque Nacional da Serra dos Órgãos. In: II Encontro Interdisciplinar de Ecoturismo em Unidades de Conservação e VI Congresso Nacional de Ecoturismo, 2007, Itatiaia. Anais do II Encontro Interdisciplinar de Ecoturismo em Unidades de Conservação (EcoUC) e Congresso Brasileiro de Ecoturismo (CONECOTUR). Disponível em: www.physis.org.br/ecouc/Resumos/Resumo212.pdf. Acesso em 23/06/2008.
- Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br/detalheDocumentos.aspx?cod=8>. Acesso em 02/04/2010.
- DELUCA, T. H., PATTERSON, W. A., FREIMUND, W. A. & COLE, D. N. (1998) Influence of Llamas, Horses, and Hikers on Soil Erosion from Established Recreation Trails in Western Montana, USA. *Environmental Management* Vol. 22, No. 2, p. 255–262 r Springer-Verlag New York Inc.
- DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS (DRM) do Rio de Janeiro (RJ). Disponível em: <http://www.drm.rj.gov.br/>. Acesso em 20/06/2010.
- DIXON, G., HAWESA, M., MCPHERSON, G. (2004) *Journal of Environmental Management* 71 305–320 Monitoring and modelling walking track impacts in the Tasmanian Wilderness World Heritage Area, Australia.
- DRUZINA, A. G. S. (2007). Integração de Dados Altimétricos Obtidos através de Diferentes Técnicas para Geração de um Novo Modelo Digital de Elevação. Dissertação de Mestrado apresentada ao PPGR UFRGS.
- EMBRAPA. (1997) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2. ed. ver. atualiz. Rio de Janeiro. 212p. il. (EMBRAPA/CNPS-RJ Documentos, 1).

- ESRI. How Topo To Raster (3D Analyst) works. ArcGIS Desktop help. Disponível em: <[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?TopicName=How%20Topo%20o%20Raster%20\(3D%20Analyst\)%20works](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?TopicName=How%20Topo%20o%20Raster%20(3D%20Analyst)%20works)>. Acesso em: 24/03/2010.
- FARRELL, T.A., MARION, J.L. (2002). Trail impacts and trail impact management related to ecotourism visitation at Torres del Paine National Park, Chile. *Leisure/Loisir: Journal of the Canadian Association for Leisure Studies* 26:1/2, p. 31–59.
- FERNANDES, M. C., AVELAR, A. S., COELHO NETTO, A. L. (2006) Domínios Geo-Hidroecológicos do Maciço da Tijuca, RJ: Subsídios ao Entendimento dos Processos Hidrológicos e Erosivos. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ Vol. 29 - 2, p. 122-148.
- FIDALGO, E. C. C.; CARVALHO JÚNIOR; W., GODOY, M. D. P. (2009). Análise da qualidade do modelo digital de elevação para representação da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu, RJ. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil. INPE, p. 3785-3791.
- FORMAN, R.T.T. (1995) *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press, Cambridge.
- FORMAN, R.T.T., GODRON, M. (1986) *Landscape ecology*. Wiley & Sons Ed., New York.
- GUERRA, A. J. T.; GUERRA, A. T. (2006) *Novo Dicionário Geológico-geomorfológico*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 5ª ed.
- HALL, C.N., KUSS, F.R. (1989) Vegetation alteration along trails in Shenandoah National Park, Virginia. *Biological Conservation* 48, p. 211–227.
- HAMMITT, W.E., COLE, D.N. (1998) *Wildland recreation – ecology and management*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 361p.
- HELGATH, S.F. (1975) Trail deterioration in the Selway-Bitterroot Wilderness. USDA. Forest Service. Research Note INT-193, 15p.
- HOTT, M. C., FURTADO, A. L. S., RIBEIRO, C. A. A. S. (2007) Determinação Automática de Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas no Município De Campinas – SP. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3381-3388.
- Instituto Brasileiro de Turismo – EMBRATUR. (1994) *Manual operacional do turismo rural*. Brasília: Ministério da Indústria, do Comércio e do Turismo.
- KIRKBY, M. J., CHORLEY, R. J. (1967) Throughflow, Overland Flow and Erosion. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, vol. 12, n. 3, p. 5-21.
- KUSS, F.R. (1986). The effect of two hiking intensities on wildland trail wear. In R.C. Lucas (Compiler), *Proc. National Wilderness Research Conference: Current Research*. USDA Forest Service, Intermountain Res. Stn., Gen. Tech. Rpt. INT-212, Ogden, UT. p. 158-165.
- KUTIEL, P.; EDEN, E., ZHEVELEV, Y. (2000). Effect of experimental trampling and off-road motorcycle traffic on soil and vegetation of stabilized coastal dunes, Israel. *Environmental Conservation*, 27:1:14-23 Cambridge University Press.
- LEI Nº 4.771, DE 15 DE SETEMBRO DE 1965. Institui o Novo Código Floresta. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm. Acesso em 20/03/2010.
- LEI Nº 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm. Acesso em 06/06/2008.

- LEPSCH, I. F. (2002) Formação e conservação dos solos. Oficina de Textos, São Paulo, 178p.
- LEUNG, Y., MARION, J. L. (1999a) The influence of sampling interval on the accuracy of trail impact assessment. In: *Landscape and Urban Planning* 43. p.167-179.
- LEUNG, Y., MARION, J. L. (1999b) Assessing trail conditions in protected areas: application of a problem-assessment method in Great Smoky Mountains National Park, USA. *Environmental Conservation*. 26 (4): 270-279.
- LEUNG, Y., MARION, J. L. (1996) Trail degradation as influenced by environmental factors: a state-of-the-knowledge review. *Journal of Soil and Water Conservation*. 51.n2 March-April: 130 (7). Academic One File. Gale.
- LIMA, C. L. R. (2004). 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.
- MAGRO, T. C. (1999) *Impactos do Uso Público em uma Trilha no Planalto Nacional do Itatiaia*. São Carlos: Tese de Doutorado. Escola de Engenharia – USP.
- MARION, J. L., AUST, W. M., KYLE, K. (2005) *Research for the Development of Best Management Practices to Minimize Horse Trail Impacts on the Hoosier National Forest*. Virginia Tech, Dept. of Forestry, Blacksburg. March. Disponível em: http://www.fs.fed.us/r9/hoosier/docs/VA%20Tech%20HNF%20Trail%20Report_Final.pdf. Acesso em 16/10/2007.
- MARION, J. L., LEUNG, Y. F. (2001) Trail resource impacts and an examination of alternative assessment techniques. *Journal of Park and Recreation Administration* 19, 24-25.
- MEDEIROS, J. C.; CARVALHO, M. C. S. e FERREIRA, G. B. (2006). Embrapa Algodão Sistemas de Produção, 3 - 2a. edição. ISSN 1678-8710. Versão Eletrônica. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado_2ed/solos.html. Acesso em 27/03/2010.
- MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. (2009) Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas. *Revista Brasileira de Cartografia* Nº 61/02, p. 137-151.
- MEIS, M. R. M.; MIRANDA, L. H. G., FERNANDES, N. F. (1982) Desnivelamento de altitude como parâmetro para a compartimentação do relevo: bacia do médio-baixo Paraíba do Sul. In: *Congresso Brasileiro de Geologia (CBG)*, 32., 1982, Salvador (BA). Anais... Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1982. 4:1489-1509.
- MENDES, F. G.; MELLONI, E. G. P. e MELLONI, R. (2006). Aplicação de Atributos Físicos do Solo no Estudo da Qualidade de Áreas Impactadas, em Itajubá/MG. *Cerne, Lavras*, v. 12, n. 3, p. 211-220.
- MENDIONDO, E. M. & TUCCI, C. E. M. (1997a). Escalas Hidrológicas. I: Conceitos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, ABRH, v. 2, n. 1, p. 59-122.
- MENDIONDO, E. M. & TUCCI, C. E. M. (1997b). Escalas Hidrológicas. II: Diversidade de Processos na Bacia Vertente. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, ABRH, v. 2, n. 1, p. 59-122.
- METZGER, J. P. (2001) O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica* V1, n1/2, issn 1676-0611 p. 1-9. Disponível em: homologa.ambiente.sp.gov.br/.../metzger_paisagem_artigo.pdf. Acesso em 23/06/2009.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (2005) Cartilha Noções básicas para a condução de visitantes em Áreas naturais. Brasília: MMA/SCA,.

MONSUETO, R. L.; SILVEIRA, C. S.; AFONSO, F. P. L. A.; QUEIROZ, L. A. V. Análise das Propriedades Físicas do Solo com Base para a Compreensão do Funcionamento Hidrológico de uma Encosta no Município de Teresópolis, RJ. Disponível em: www.fgel.uerj.br/labgis/producao/.../robson_simpos.pdf. Acesso em 22/03/2010.

MONZ, C. (2006) Recreation Ecology and Visitor Impact Research: Past, Present and Future. In: Exploring the Nature of Management. The Third International Conference on Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas. Rapperswill, Switzerland, September. Disponível em: www.wsl.ch/mmv-3/call/MMV3_proceedings.pdf. Acesso em 20/06/2009.

MOURA, J. R. S. & SILVIA, T. M. (2006) Complexo de rampa de colúvio. In: CUNHA, S. B. & GUERRA, A. J. T (Orgs.) Geomorfologia do Brasil. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 143- 180.

MORIN, E. (2008). Ciência com Consciência. 12ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

NAVEH, Z. (2000) What is holistic landscape ecology? A conceptual introduction. *Landscape and Urban Planning*. 50: 7-26.

OLIVE,N.D., MARION,J.L. (2009) The influence of use-related, environmental, and managerial factors on soil loss from recreational trails. *Journal of Environmental Management* 90, p. 1483-1493.

OLIVEIRA,S.N.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS,E.S.; SILVA, T. M.; GOMES, R. A. T.; GUIMARAES, R. F. (2007). Identificação de unidades da paisagem e sua implicação para o ecoturismo no parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 8, p. 87-107.

O'NEILL,R.V. (1998) Hierarchy theory and global change. In: ROSSWALL, T.; WOODMANSEE, R. G.; RISSER, P. G. *Scales and Global Change*. London: John Wiley & Sons, p. 29-45.

PIMENTEL GOMES, F. (2000). Curso de Estatística Experimental. 14 ed. Piracicaba: Degaspari. 477p.

PINTO, L. P. (2008). Unidades de Conservação. Diversa, Revista da Universidade Federal de Minas Gerais. Ano 7, nº 14.

PROJETO SoCo (Sustainable Agriculture and Soil Conservation): Agricultura sustentável e conservação dos solos Processos de degradação do solo. Ficha informativa n.º 2: Erosão hídrica e compactação. Disponível em <http://soco.jrc.ec.europa.eu/documents/PTFactSheet-02.pdf>. Acesso em 31/07/2009.

PROGRAMA DE MONITORAMENTO DE TRILHAS. Versão preliminar. (2007). Projeto "Centro de Referência em Biodiversidade da Serra dos Órgãos: uma Aliança entre Educação, Turismo e Conservação. Parque Nacional da Serra dos Órgãos.

SÁNCHEZ, L. E. (2006) Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos.

SEABRA,L.S. (1999) Determinação da Capacidade de Carga Turística para a Trilha Principal de Acesso à Cachoeira de Deus - Parque Municipal Turístico-Ecológico de Penedo, RJ. Niterói: Tese de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciência Ambiental – UFF.

SENGIK, E. (2005). Roteiros de Aulas Práticas. Curso de Zootecnia, Solos e Adubação. MARINGÁ – PARANÁ. Disponível em: www.dzo.uem.br/disciplinas/Solos/pratica.doc. Acesso em 22/03/2010.

SILES, M. F. R. (2003). Modelagem espacial para atividades de visitação pública em áreas naturais. Dissertação de Mestrado – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia.

SILVA, A. J. N., CABEDA, M. S. V. (2006) Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.30 no.6 Viçosa Nov./Dec.

SILVA, R. V.; KOBAYAMA, M. (2004). Delineamento automático da rede de drenagem em bacias hidrográficas com ênfase em trechos de zero ordem; XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica: XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica, 1, ISBN: Português, Meio digital. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/b295.pdf>. Acesso em 26/03/2010.

SILVA, T.M. (2002). A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro. Tese Doutorado em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia – IGEO/UFRJ.

SILVA, T.M. (2005) Mapeamento Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro com base na técnica desnivelamento altimétrico. In: *Congresso Brasileiro de Cartografia (CBC)*, 22., 2005, Macaé (RJ). **Anais....** São Paulo: Sociedade Brasileira de Cartografia. CD-ROM.

SILVA, T.M. (inédito) Unidades Geomorfológicas do Parque Nacional da Serra dos Órgãos.

SINMAP 2. User's Manual. A Stability Index Approach to Terrain Stability Hazard Mapping. Version for ArcGIS 9.x and Higher. Disponível em: <http://www.engineering.usu.edu/dtarb/sinmap.html>. Acesso em 10/03/2010.

STABILE, R. A., VIEIRA, B. C. (2009) O Papel do Ângulo da Encosta e da Forma das Vertentes na Distribuição das Feições Erosivas da Bacia Água da Faca, Piratininga (SP). In: XIII SBGFA Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Viçosa - MG.

STRAHLER, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin Geological Society of America*. 63: 1117-1142.

SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; LIMA, C. L. R. (2008). Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.32 no.3 Viçosa May/June.

TAKAHASHI, L. Y. (1998) Caracterização dos visitantes, suas preferências e percepções e avaliação dos impactos da visitação pública em duas unidades de conservação do Estado do Paraná. 129f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

TAKAHASHI, L. Y., MILANO, M. S., TORMENA, C. A. (2005) Indicadores de impacto para monitorar o uso público no Parque Estadual Pico do Marumbi – Paraná. Rev. Árvore vol.29 no.1 Viçosa, Jan./Feb. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000100017. Acesso em 15/10/2007.

The International Ecotourism Society (TIES). Disponível em: www.ecotourism.org/, acesso em 20/10/2007.

TURNER, M.G. (2005) Landscape Ecology: What is the State of the Science? *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 36: 319-44.

VALERIANO, M. M. (2003) Curvatura Vertical de Vertentes em Microbacias pela análise de Modelos Digitais de Elevação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande (PB): DEAg/UFCG, v. 7, n. 3, p. 539-546.

VALERIANO, M. M. (2008). Capítulo 3: Dados Topográficos. *Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais*. Teresa G. Florenzano (org.). São Paulo: Oficina de Textos.

VASHCHENKO, Y. (2006) Caracterização da trilha e o impacto do montanhismo nos picos Camapuã e Tucum –Campina Grande do Sul: PR. Curitiba, PR. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

VIVEIROS DE CASTRO, E. (Coord.). (2007) Plano de Manejo do Parque Nacional da Serra dos Órgãos. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

9 ANEXOS

9.1 ANEXO I: CLASSIFICAÇÃO DA TEXTURA DO SOLO DO USDA

Tabela 47: Classificação do solo segundo o USDA, a partir da proporção de areia, silte e argila o solo é dividido em doze classes.

| | |
|--|---|
| 1)- Textura Argilosa (ou Solo Argiloso) | $x < 45\%$ $y \geq 40\%$ $z \leq 40\%$ |
| 2)- Textura Areno-argilosa (ou Solo Argiloso-arenoso) | $x \geq 45\%$ $y \geq 35\%$ |
| 3)- Textura Limo-argilosa (ou Solo Argiloso-siltoso) | $y > 40\%$ $z > 40\%$ |
| 4)- Textura Argilo-barrenta (ou Solo Franco-argiloso) | $20\% < x < 45\%$ $27,5\% < y < 40\%$ |
| 5)- Textura Limo-argilo-barrenta (ou Solo Franco-argiloso-siltoso) | $x \leq 20\%$ $27,5\% < y < 40\%$ |
| 6)- Textura Areno-argilo-barrenta (ou Solo Franco-argiloso-arenoso) | $45\% \leq x \leq 80\%$ $20\% \leq y < 35\%$ $z < 27,5\%$ |
| 7)- Textura Arenosa (ou Solo Arenoso) | $2x - y > 170\%$ |
| 8)- Textura Areno- barrenta (ou Solo Franco-arenoso) | $3x + 14y > 210\%$ $(2y - 27,5) x - 52,5 + 12,5(52,5 - x) < 0$ $z \leq 50\%$ |
| 9)- Textura Barrenta (ou Solo Franco) | $x \leq 52,5\%$ $7,5\% \leq y \leq 27,5\%$ $27,5\% \leq z \leq 50\%$ |
| 10)- Textura Limo-barrenta (ou Solo Franco-siltoso) | $y \leq 27,5\%$ $z > 50\%$ $(2y - 12,5) z - 80 + 12,5(80 - z) \geq 0$ |
| 11)- Textura Barro-arenosa (ou Solo Arenoso-franco) | $2x - y \leq 170\%$ $3x + 14y \leq 210\%$ |
| 12)- Textura Limosa (ou Solo Siltoso) | $y < 12,5\%$ $z > 80\%$ |

Legenda: X, Y e Z as proporções de areia, argila e silte respectivamente. Fonte: Cardoso Neto.

9.2 ANEXO II: TABELAS COM OS VALORES DAS TEXTURAS DAS AMOSTRAS DE SOLO

Tabela 48: Valores das Texturas das Amostras do Leito das Trilhas de 0-5cm

| Amostras do Leito das Trilhas de 0-5cm | Textura em % | | | | | CLASSE |
|--|--------------|-------------|------------|----------------|--------------|-------------------|
| | % de areia | % de argila | % de silte | % Areia Grossa | % Areia Fina | |
| SL1_0-5 | 90,725 | 2,319 | 6,96 | 82,73 | 8,00 | Arenosa |
| SL2_0-5 | 62,890 | 5,270 | 31,84 | 34,25 | 28,64 | Franco Arenosa |
| SL3_0-5 | 75,854 | 3,449 | 20,70 | 58,74 | 17,11 | Franco Arenosa |
| SL4_0-5 | 59,549 | 12,785 | 27,67 | 38,94 | 20,61 | Franco Arenosa |
| SL5_0-5 | 73,212 | 6,900 | 19,89 | 54,37 | 18,85 | Franco Arenosa |
| CL1_0-5 | 56,03 | 12,81 | 31,15 | 38,38 | 17,65 | Franco-arenoso |
| CL2_0-5 | 56,17 | 14,52 | 29,31 | 39,64 | 16,53 | Franco-arenoso |
| CL3_0-5 | 76,20 | 8,35 | 15,44 | 53,66 | 22,54 | Franco-arenoso |
| CL4_0-5 | 68,04 | 10,33 | 21,63 | 47,81 | 20,22 | Franco-arenoso |
| CL5_0-5 | 70,03 | 10,07 | 19,90 | 50,28 | 19,75 | Franco-arenoso |
| CL6_0-5 | 61,69 | 11,88 | 26,43 | 43,85 | 17,84 | Franco-arenoso |
| CL7_0-5 | 82,21 | 4,39 | 13,40 | 70,87 | 11,34 | Franco-arenoso |
| CL8_0-5 | 49,80 | 16,24 | 33,96 | 31,20 | 18,60 | Franco (Barrento) |
| CL9_0-5 | 66,31 | 10,67 | 23,03 | 55,05 | 11,26 | Franco-arenoso |
| PL1_0-5 | 63,890 | 5,668 | 30,44 | 42,64 | 21,25 | Franco-arenoso |
| PL2_0-5 | 64,848 | 8,788 | 26,36 | 45,84 | 19,00 | Franco-arenoso |
| PL3_0-5 | 67,175 | 9,246 | 23,58 | 49,29 | 17,88 | Franco-arenoso |
| PL4_0-5 | 65,317 | 13,006 | 21,68 | 48,18 | 17,13 | Franco-arenoso |
| PL5_0-5 | 48,085 | 10,230 | 41,69 | 31,04 | 17,05 | Franco (Barrento) |

Tabela 49: Valores da Textura das Amostras do Leito das Trilhas de 5-10 cm

| Amostras do Leito das Trilhas de 5-10 cm | Textura em % | | | | | CLASSE |
|--|--------------|-------------|------------|----------------|--------------|-------------------|
| | % de areia | % de argila | % de silte | % Areia Grossa | % Areia Fina | |
| SL1_5-10 | 83,247 | 4,086 | 12,67 | 70,11 | 17,74 | Franco Arenosa |
| SL2_5-10 | 65,948 | 4,178 | 29,87 | 32,96 | 32,04 | Franco Arenosa |
| SL3_5-10 | 76,505 | 2,517 | 20,98 | 60,21 | 16,30 | Franco Arenosa |
| SL4_5-10 | 61,737 | 13,030 | 25,23 | 42,15 | 19,58 | Franco Arenosa |
| SL5_5-10 | 70,792 | 3,992 | 25,22 | 46,39 | 24,40 | Franco Arenosa |
| CL1_5-10 | 56,03 | 15,97 | 28,00 | 38,97 | 17,06 | Franco-arenoso |
| CL2_5-10 | 57,81 | 15,17 | 27,02 | 42,59 | 15,22 | Franco-arenoso |
| CL3_5-10 | 56,56 | 14,48 | 28,96 | 36,98 | 19,57 | Franco-arenoso |
| CL4_5-10 | 60,87 | 14,20 | 24,92 | 43,84 | 17,04 | Franco-arenoso |
| CL5_5-10 | 76,80 | 7,62 | 15,57 | 48,03 | 28,77 | Franco-arenoso |
| CL6_5-10 | 60,31 | 11,74 | 27,94 | 41,65 | 18,66 | Franco-arenoso |
| CL7_5-10 | 63,32 | 12,12 | 24,56 | 50,94 | 12,38 | Franco-arenoso |
| CL8_5-10 | 49,97 | 13,26 | 36,77 | 33,93 | 16,04 | Franco (Barrento) |
| CL9_5-10 | 64,16 | 9,07 | 26,77 | 49,26 | 14,90 | Franco-arenoso |
| PL1_5-10 | 63,918 | 5,827 | 30,26 | 42,01 | 21,90 | Franco-arenoso |
| PL2_5-10 | 66,571 | 7,785 | 25,64 | 46,32 | 20,25 | Franco-arenoso |
| PL3_5-10 | 78,242 | 10,455 | 11,30 | 61,67 | 16,57 | Franco-arenoso |
| PL4_5-10 | 59,341 | 14,945 | 25,71 | 42,69 | 16,65 | Franco-arenoso |
| PL5_5-10 | 49,882 | 8,546 | 41,57 | 34,94 | 14,94 | Franco (Barrento) |

Tabela 50: Valores das Texturas das Amostras a 3m do Leito das Trilhas de 0-5 cm

| Amostras a 3m do Leito das Trilhas de 0-5 cm | Textura em % | | | | | CLASSE |
|--|--------------|-------------|------------|----------------|--------------|-----------------------|
| | % de areia | % de argila | % de silte | % Areia Grossa | % Areia Fina | |
| SB1_0-5 | 55,244 | 7,538 | 37,22 | 75,24 | 4,15 | Franco Arenosa |
| SB2_0-5 | 53,264 | 6,161 | 40,58 | 14,61 | 38,81 | Limo-argilosa |
| SB3_0-5 | 64,819 | 7,958 | 27,22 | 49,32 | 15,49 | Franco Arenosa |
| SB4_0-5 | 62,450 | 8,583 | 28,97 | 43,11 | 19,34 | Franco Arenosa |
| SB5_0-5 | 60,621 | 6,601 | 32,78 | 40,10 | 20,52 | Franco Arenosa |
| CB1_0-5 | 59,83 | 9,67 | 30,50 | 43,12 | 16,72 | Franco-arenoso |
| CB2_0-5 | 53,58 | 15,47 | 30,94 | 38,96 | 14,62 | Franco-arenoso |
| CB3_0-5 | 51,11 | 19,97 | 28,92 | 33,66 | 17,44 | Franco Argilo-Arenoso |
| CB4_0-5 | 46,20 | 15,11 | 38,69 | 29,97 | 16,23 | Franco (Barrento) |
| CB5_0-5 | 67,75 | 10,83 | 21,42 | 48,90 | 18,85 | Franco-arenoso |
| CB6_0-5 | 70,41 | 10,51 | 19,09 | 55,33 | 15,08 | Franco-arenoso |
| CB7_0-5 | 71,01 | 7,25 | 21,75 | 59,14 | 11,87 | Franco-arenoso |
| CB8_0-5 | 57,23 | 12,83 | 29,94 | 40,13 | 17,09 | Franco-arenoso |
| CB9_0-5 | 85,17 | 2,88 | 11,95 | 65,11 | 20,06 | Franco-arenoso |
| PB1_0-5 | 66,403 | 7,375 | 26,22 | 53,42 | 12,98 | Franco-arenoso |
| PB2_0-5 | 56,627 | 11,315 | 32,06 | 38,34 | 18,29 | Franco-arenoso |
| PB3_0-5 | 58,043 | 11,001 | 30,96 | 42,18 | 15,87 | Franco-arenoso |
| PB4_0-5 | 54,329 | 12,940 | 32,73 | 41,10 | 13,23 | Franco-arenoso |
| PB5_0-5 | 61,651 | 7,909 | 30,44 | 46,33 | 15,32 | Franco-arenoso |

Tabela 51: Valores das Texturas das Amostras a 3m do Leito das Trilhas de 5-10 cm

| Amostras a 3m do Leito das Trilhas de 5-10 cm | Textura em % | | | | | CLASSE |
|---|--------------|-------------|------------|----------------|--------------|-------------------|
| | % de areia | % de argila | % de silte | % Areia Grossa | % Areia Fina | |
| SB1_5-10 | 61,903 | 5,325 | 32,77 | 41,73 | 19,45 | Franco Arenosa |
| SB2_5-10 | 67,523 | 3,535 | 28,94 | 22,83 | 44,69 | Franco Arenosa |
| SB3_5-10 | 71,429 | 2,711 | 25,86 | 55,80 | 15,63 | Franco Arenosa |
| SB4_5-10 | 61,102 | 10,303 | 28,60 | 39,61 | 21,49 | Franco Arenosa |
| SB5_5-10 | 67,360 | 5,120 | 27,52 | 41,99 | 25,37 | Franco Arenosa |
| CB1_5-10 | 55,63 | 14,00 | 30,37 | 39,98 | 15,65 | Franco-arenoso |
| CB2_5-10 | 58,15 | 13,53 | 28,32 | 42,95 | 15,19 | Franco-arenoso |
| CB3_5-10 | 53,95 | 15,25 | 30,80 | 36,39 | 17,56 | Franco-arenoso |
| CB4_5-10 | 55,83 | 14,09 | 30,08 | 38,68 | 17,15 | Franco-arenoso |
| CB5_5-10 | 69,39 | 11,60 | 19,01 | 49,69 | 19,70 | Franco-arenoso |
| CB6_5-10 | 68,93 | 11,38 | 19,69 | 52,02 | 16,92 | Franco-arenoso |
| CB7_5-10 | 84,46 | 3,41 | 12,13 | 71,04 | 13,42 | Franco-arenoso |
| CB8_5-10 | 55,07 | 14,53 | 30,40 | 37,75 | 17,32 | Franco-arenoso |
| CB9_5-10 | 87,58 | 2,48 | 9,94 | 67,82 | 19,76 | Franco-arenoso |
| PB1_5-10 | 65,429 | 7,917 | 26,65 | 49,61 | 15,82 | Franco-arenoso |
| PB2_5-10 | 57,605 | 9,991 | 32,40 | 39,81 | 17,80 | Franco-arenoso |
| PB3_5-10 | 51,154 | 14,573 | 34,27 | 33,93 | 17,22 | Franco (Barrento) |
| PB4_5-10 | 53,051 | 13,630 | 33,32 | 38,40 | 14,65 | Franco-arenoso |
| PB5_5-10 | 62,679 | 8,947 | 28,37 | 47,20 | 15,48 | Franco-arenoso |