

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO EM GESTÃO DO TERRITÓRIO

MARCOS MARCONDES CARNEIRO

DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA EM VERTENTE NA FLORESTA
NACIONAL DE PIRAÍ DO SUL, PARANÁ

PONTA GROSSA
2019

MARCOS MARCONDES CARNEIRO

DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA EM VERTENTE NA FLORESTA
NACIONAL DE PIRAÍ DO SUL, PARANÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia, curso de Mestrado em Gestão do Território da Universidade Estadual de Ponta Grossa, para obtenção do título de mestre.

Orientadora: Dra. Maria Ligia Cassol Pinto

PONTA GROSSA
2019

C289 Carneiro, Marcos Marcondes
Dinâmica hidrogeomorfológica em vertente na Floresta Nacional de Pirai do Sul, Paraná / Marcos Marcondes Carneiro. Ponta Grossa, 2019.
82 f.

Dissertação (Mestrado em Gestão do Território - Área de Concentração: Gestão do Território: Sociedade e Natureza), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Lígia Cassol Pinto.

1. Hidrogeomorfologia. 2. Sistema pedológico. 3. Toposequência. 4. Erosividade. 5. Floresta Nacional de Pirai do Sul. I. Pinto, Maria Lígia Cassol. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Gestão do Território: Sociedade e Natureza. III.T.

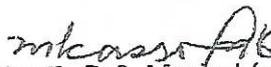
CDD: 912

TERMO DE APROVAÇÃO

MARCOS MARCONDES CARNEIRO

“PROCESSOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS EM VERTENTES DA FLONA -
FLORESTA NACIONAL DE PIRAÍ DO SUL, PR/BR”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado em Gestão do Território, Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:


Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Lígia Cassol Pinto
UEPG


Prof^ª. Dr^ª. Selma Simões de Castro
USP


Prof. Dr. Valdemir Antoneli
UNICENTRO

Ponta Grossa, 22 de abril de 2019.

AGRADECIMENTOS

À UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA pela oportunidade de cursar a pós-graduação.

AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA e corpo docente pelos ensinamentos e apoio durante todo o curso.

À CAPES pelo apoio financeiro que muito auxiliou no desenvolvimento da pesquisa.

AO INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE que permitiu a realização desta pesquisa na Unidade de Conservação.

À toda equipe da Floresta Nacional de Piraí do Sul pelo acolhimento, auxílio em campo incentivo, nas pessoas de Karina Ferreira Barros, Elaine Teixeira da Silva, João Leonardo Martins Bueno, Arnaldo Félix da Silva, João Batista, Elias dos Santos Pires, Adriana Woiczack, Tania Javorski e Leatrice Talita Rodrigues.

À UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO OESTE – CAMPUS IRATI, na pessoa do Prof. Dr João Anésio Bednarz pela recepção e auxílio na realização das análises de estabilidade de agregados.

À Professora Dra. Maria Ligia Cassol Pinto que se tornou uma super mãe e um exemplo de pessoa a ser seguido. Que sempre me apoiou, principalmente nos momentos mais difíceis, e que mais uma vez aceitou o desafio de me orientar. Obrigado por não desistir de mim.

Aos membros da banca Professora Dra. Selma Simões de Castro, Professor Dr. Valdemir Antoneli e Professor Dr. Marcel Hideyuki Fumiya pelas sugestões e ensinamentos que contribuíram para a avanço do trabalho.

Às colegas de Laboratório de Geografia Física Luciane Gryczak e, em especial Diely Cristina Pereira, por todo apoio, incentivo e por dividir as alegrias das descobertas e momentos de frustrações.

À Jessyka Franquito e ao Bruno Asato pela disponibilidade de realizar o aerolevanteamento com o drone.

A minha família e todos aqueles que acreditaram que seria possível.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo compreender a dinâmica hidrogeomorfológica e sua relação com as perdas de materiais - água e solo - em uma vertente na Floresta Nacional de Piraí do Sul, Paraná. Este estudo de caso quali-quantitativo teve como base procedimentos metodológicos que permitiram reconhecer o sistema pedológico realizado em topossequência, identificando as propriedades físico-químicas e hídricas dos solos. Acrescenta-se a caracterização da distribuição das chuvas ocorridas na área de estudo entre maio de 2018 a fevereiro de 2019, contribuindo para a análise de perdas de solo e escoamento superficial ao longo de uma vertente. Foram realizadas 7 sondagens a trado ao longo da vertente de estudo para reconhecimento das características principais dos solos e suas mudanças ao longo do perfil. Posteriormente, realizaram-se aberturas de 4 trincheiras para classificação dos solos em topossequência, dos quais foram analisados textura por análise granulométrica, argila dispersa em água, densidade do solo e químicas de rotina além de estabilidade de agregados para os solos com monitoramento de erosão. Foi realizado o monitoramento em campo das precipitações ocorridas na área de estudo, por meio de pluviômetros digital e analógico que possibilitaram identificar a intensidade, duração, energia cinética e erosividade das chuvas do período. Para o monitoramento das perdas de solo e água foram instaladas 3 parcelas, sendo terço superior, terço médio e terço médio-inferior, com dimensões de 10m², com calha coletora tipo Gerlach de sedimentos e galão de 20 litros para coleta do volume escoado. De tal modo, foi possível obter a perda de sedimentos (g/m²), taxa de escoamento (%) e relação precipitação/escoamento. Realizaram-se testes de infiltração com infiltrômetros de anéis duplos nos três segmentos da vertente, sendo os mesmos cujas parcelas estavam instaladas. Os dados obtidos mostram que os solos são distintos na vertente e que seu desenvolvimento muito se dá pela forma da vertente, na qual foi identificado um sistema pedológico composto por Latossolo-Cambissolo-Gleissolo, sendo as classes Latossolo Vermelho, Cambissolo Háplico, Gleissolo Melânico e Gleissolo Háplico. As chuvas que possuem maior efeito erosivo foram as chuvas causadas por influência dos sistemas frontais, com chuvas abaixo da média histórica, exceto o mês de outubro com 255mm total. Isto fez com que as parcelas no terço superior e no terço médio-inferior tivessem pouca perda de solo em relação a parcela do terço médio, com taxa de 365,8g/m², em outubro contra 0,5g/m² e 0,007g/m² nas parcelas 1 e 3, respectivamente. A baixa perda de solos é devida principalmente pela boa agregação dos solos, maior que 86%, e seus atributos físicos como textura argilosa, estrutura granular, densidade do solo acima de 0,94g/cm³, alta velocidade de infiltração acima de 29,6 cm.h⁻¹. Os solos são ácidos e pouco férteis e podem dificultar a regeneração vegetal.

Palavras-chave: Hidrogeomorfologia, sistema pedológico, topossequência, erosividade, Floresta Nacional de Piraí do Sul.

ABSTRACT

The objective of this work is to understand the hydrogeomorphological dynamics and its relation with the losses of materials - water and soil - in a slope in the National Forest of Piraí do Sul, Paraná. This qualitative-quantitative case study was based on methodological procedures that allowed the recognition of the pedological system performed in topossequence, identifying the physical-chemical and water properties of soils. It is added the characterization of the rainfall distribution occurred in the study area between May 2018 and February 2019, contributing to the analysis of soil losses and surface runoff along one slope. Seven surveys were carried out along the study strand to recognize the main characteristics of the soils and their changes along the profile. Subsequently, four trenches were opened to classify the soils in topossequence, which were analyzed by grain size analysis, clay dispersed in water, soil bulk density and routine chemistry, as well as aggregate stability for soils with erosion monitoring. Field measurements of rainfall in the study area were carried out by means of digital and analogue rain gauges that allowed the intensity, duration, kinetic energy and erosivity of rainfall during the period. For the monitoring of soil and water losses, plots were installed, being upper third, middle third and lower middle third, with dimensions of 10m², with Gerlach type collecting trough of sediments and gallon of 20 liters for collection of the drained volume. In this way, it was possible to obtain sediment loss (g / m²), flow rate (%) and precipitation / flow ratio. Infiltration tests with double-ring infiltrater were performed in the three segments of the slope, the same ones whose plots were installed. The data obtained show that the soils are distinct in the slope and that their development is very much due to the shape of the slope, in which a pedological system composed of Ferralsol-Cambisol-Gleysol. The rains that have the greatest erosive effect were the rains caused by the influence of the frontal systems, with rains below the historical average, except for the month of October with 255mm total. This meant that the plots in the upper third and mid-lower third had little soil loss compared to the middle third plot, with a rate of 365.8 g / m² in October against 0.5 g / m² and 0.007 g / m² in plots 1 and 3, respectively. The low soil loss is mainly due to good aggregation of soils, greater than 86%, and its physical attributes such as clay texture, granular structure, soil density above 0.94g / cm³, high infiltration rate above 29.6 cm.h⁻¹. The soils are acid and poorly fertile and may hinder plant regeneration.

Key-words: Hydrogeomorphology, pedological system, topossequence, erosivity, National Forest of Piraí do Sul.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Modelo teórico dos segmentos de vertentes.....	15
Figura 2.	Escalas espaciais nos estudos em Hidropedologia.....	19
Figura 3.	Representação da Zona Crítica do solo.....	20
Figura 4.	Localização da Floresta Nacional de Piraí do Sul, Paraná.....	26
Figura 5.	Litologias, formas e feições de relevo, no município de Piraí do Sul, Paraná.....	28
Figura 6.	Características da Serra das Pedras e relevo nos municípios de Castro e de Pirai do Sul, Paraná.....	30
Figura 7.	Floresta Nacional de Piraí do Sul e rede hidrográfica local.....	32
Figura 8.	Fluxograma das etapas e procedimentos da pesquisa.....	33
Figura 9.	Segmentos da vertente de Estudo: distribuição dos pontos de coletas de amostras.....	37
Figura 10.	Tipo de Infiltrômetro utilizado para os testes de infiltração.....	39
Figura 11.	Posições das parcelas de <i>runoff</i> , na vertente de estudo na FLONA de Pirai do Sul.....	40
Figura 12.	Teste de estabilidade de agregados: Agitador Yoder.....	42
Figura 13.	Direção dos fluxos superficiais na vertente de estudo, FLONA de Pirai do Sul, Paraná.....	43
Figura 14.	Distribuição, em perfil, dos solos na vertente de estudo.na FLONA de Pirai do Sul, Paraná.....	45
Figura 15.	Ponto de exfiltração e escoamento na estrada.....	46
Figura 16.	Distribuição das classes de solos na vertente de estudo.....	51
Figura 17.	Distribuição granulométrica dos solos e de argila dispersa em água na vertente de estudo.....	52
Figura 18.	Média das precipitações pluviométricas entre 1989-2018, no município de Piraí do Sul, PR.....	60
Figura 19.	Índice de erosão do município de Piraí do Sul, Paraná.....	61
Figura 20.	Monitoramento das precipitações totais mensais na área de estudo.	62
Figura 21.	Cartas sinópticas da América do Sul, para os dias 13 e 16/10/ 2018.	63
Figura 22.	Análise de agrupamento da perda de solo, em parcelas de <i>runoff</i> , para a vertente de estudo.....	67
Figura 23.	Velocidade de infiltração da água nos solos nas parcelas de <i>runoff</i> ..	70
Figura 24.	Poros gerados por raízes de Pinus, em Cambissolo Háplico, no terço médio da vertente de estudo.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.	Taxonomia de relevo da FLONA de Piraí do Sul, adaptado de ROSS (1992) e MINEROPAR (2006)	29
Quadro 2.	Tratamento matemático e estatístico dos dados referentes à vertente de estudo.....	35
Quadro 3.	Descrição morfológica dos solos ao longo da vertente estudada.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Propriedades físico-químicas do Latossolo Vermelho distrófico típico.....	55
Tabela 2.	Propriedades físico-químicas do Cambissolo Háplico alítico típico.....	55
Tabela 3.	Propriedades físico-químicas do Gleissolo Melânico Ta distrófico típico.	57
Tabela 4.	Propriedades físico-químicas do Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico.....	57
Tabela 5.	Propriedades físico-químicas do Cambissolo Háplico Tb distrófico típico.....	59
Tabela 6.	Propriedades físico-químicas do Gleissolo Háplico Tb distrófico típico...	59
Tabela 7.	Dados do monitoramento de chuvas com intensidade e índice de erosão no período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019 na área de estudo.....	64
Tabela 8.	Perda de materiais nas parcelas analisadas na vertente de estudo.....	65
Tabela 9.	Parâmetros da estabilidade dos agregados nas parcelas de <i>runoff</i>	68
Tabela 10.	Correlação dos dados de estabilidade de agregados e variáveis físicas dos solos amostrados na vertente.....	69
Tabela 11.	Dados de umidade antecedente ao experimento de infiltração em relação à argila e densidade do solo.....	71

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
OBJETIVOS.....	14
JUSTIFICATIVA.....	14
CAPÍTULO 1 - VERTENTES E PROCESSOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS...	15
1.1 A ESCALA ESPACIAL: AS VERTENTES.....	15
1.2 RELAÇÕES MORFOPEDOLÓGICAS: A COBERTURA PEDOLÓGICA DAS VERTENTES.....	16
1.3 ATUAÇÃO DA ÁGUA NAS VERTENTES E NOS SOLOS.....	18
1.4 ASPECTOS FÍSICOS HÍDRICOS EM SOLOS, NA ESCALA DE VERTENTES.....	21
1.5 PROCESSOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS E O MODELADO DO RELEVO.....	23
CAPITULO 2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	26
2.1 HISTÓRICO DOS USOS DA TERRA NA ÁREA DA FLONA DE PIRAI DO SUL (1948- 2018).....	26
2.2 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICAS DA FLONA DE PIRAI DO SUL, PARANÁ.....	28
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1 PESQUISA NO NÍVEL TEÓRICO-METODOLÓGICO.....	33
3.1.1 Critérios e Definição da Área para o Estudo dos Processos Hidrogeomorfológicos.....	34
3.1.2 Escolha e Seleção dos Procedimentos Metodológicos.....	34
3.2 PESQUISA NO ÂMBITO DOS TRABALHOS DE CAMPO: IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO SOLOS EM TOPOSSEQUÊNCIA.....	36
3.3 MONITORAMENTO DOS PROCESSOS HIDROPEDOLÓGICOS NA ESCALA DE VERTENTE.....	38
3.3.1 Levantamento de Dados Sobre Pluviosidade Local: Município de Pirai do Sul	38
3.3.2 Infiltração da Água nos Solos na Vertente em Estudo.....	38
3.3.3 Monitoramento das Parcelas de <i>Runoff</i> na Vertente em Estudo.....	39
3.4 PESQUISA NO ÂMBITO DOS TRABALHOS EM LABORATÓRIO.....	41

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
4.1 CARATERIZAÇÃO DA VERTENTE, FLONA DE PIRAÍ DO SUL, PARANÁ.....	43
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA TOPOSSEQUÊNCIA E SISTEMA PEDOLÓGICO NA VERTENTE EM ESTUDO.....	44
4.2.1 Descrição Morfológica e Físico-Químicas dos Solos Amostrados na Vertente de Estudo, FLONA de Pirai do Sul, PR.....	47
4.2.2 Caracterização Granulométrica dos Solos na Vertente.....	51
4.2.3 Características Químicas dos Solos.....	53
4.3 REGIME PLUVIOMÉTRICO DO MUNICÍPIO DE PIRAÍ DO SUL.....	60
4.3.1 Dados de Precipitação na Área de Estudo Durante o Tempo Monitorado.....	61
.4.4 EROSIVIDADE DA CHUVA NA ÁREA DE ESTUDO.....	64
4.5 PROCESSOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS NA VERTENTE.....	65
4.5.1 Perda de Solos e Água na Vertente.....	65
4.5.2 Propriedades Físicas do Solo nas Parcelas.....	68
4.5.3 Infiltração da Água nos Solos.....	69
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....	74
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
REFERÊNCIAS.....	77

INTRODUÇÃO

Os processos hidrogeomorfológicos referem-se, de maneira geral, às interações entre os fluxos hídricos e as formas das vertentes. Estes processos respondem a interação da água com o meio e como esta é capaz de modelar o relevo, iniciando-se pelo processo de intemperismo das rochas, seguido dos processos erosivos até a formação de solos, pela ação dos rios que escavam os mais diversos relevos. Além destes destaca-se a ação da água do mar para a esculturação em áreas litorâneas.

Processos semelhantes são compreendidos por outra ciência denominada de Hidropedologia, que se referem às interações dos fluxos hídricos com os solos. Tais processos respondem às relações entre os constituintes do solo, sejam eles sólidos, líquidos e o seu espaço poroso, sendo também influenciados pelos indicadores da vertente, em diferentes escalas temporais e espaciais.

Os estudos referentes à Hidropedologia são semelhantes aos quais os franceses abordavam há algum tempo em estudos sobre a cobertura pedológica em regiões tropicais.

Os processos que atuam no modelado do relevo fazem parte do desenvolvimento dos solos, pois estes proporcionam uma estrutura e morfologia tanto vertical quanto lateral que, de certa maneira, obedecem às superfícies geomórficas. Destaca-se a importância de se conhecer o comportamento dos fluxos hidrológicos nas vertentes e sua relação com os solos que as recobrem.

Acrescenta-se o fato de que o uso e o manejo do solo podem afetar as condições de fluxos superficiais e por consequência os fluxos subsuperficiais. Sendo assim essas alterações podem implicar em perdas de solo e água devido a compactação do topo do solo, decréscimo da infiltração pela retirada da cobertura vegetal protetora, linhas de escoamento preferenciais, processos erosivos, acelerando os processos morfogenéticos que são naturais.

Desta forma, o objetivo geral desta pesquisa foi compreender a dinâmica hidrogeomorfológica e sua relação com as perdas de materiais - água e solo - em uma vertente na Floresta Nacional de Piraí do Sul, Paraná.

A vertente em questão é composta por classes de solos diferentes em seus segmentos. Isto também reflete os estágios morfogenéticos e os processos de retirada, transporte e deposição ao longo destes segmentos.

Procurando compreender estas questões, adotou-se como área de estudos a Floresta Nacional de Piraí do Sul. Esta Unidade de Conservação tem um histórico de usos ao longo do tempo como pastagem, agricultura e na década de 1960 teve o plantio de espécies exóticas (*Pinus* e *Eucalyptus*) e espécies nativas (*Araucaria angustifolia* e *Ocotea Porosa*) como forma de incentivo para o desenvolvimento da silvicultura na região. Desde sua criação, a vegetação exótica deixou de ser compatível com os objetivos de uma Floresta Nacional e, em 2015, essa vegetação foi retirada com a técnica de corte raso¹ para recuperação natural das espécies nativas, deixando os solos desprotegidos sujeitos ação das águas pluviais e superficiais.

Ressalta a importância deste estudo pela necessidade de informações a respeito de processos hidrológicos, pedológicos e geomorfológicos em unidades de conservação, principalmente em florestas que originalmente caracterizam-se por serem zonas de recarga hidrológica. O estudo possui relevância também, pois os resultados obtidos podem auxiliar no manejo de áreas degradadas e auxiliar na gestão de recursos naturais. A área da pesquisa será destinada a uso público, com finalidade de educação ambiental relacionadas aos processos de formação de solos, processos erosivos entre outros, além da área ser de vital importância na produção de água.

Para alcançar os objetivos, a metodologia se baseia na coleta de dados pluviométricos locais, reconhecimento dos tipos de solos, da vertente em topossequência, experimentos de infiltração de água nos solos, bem como o monitoramento de processos de escoamento superficial e perda de materiais ao longo da vertente.

A dissertação está organizada em 5 capítulos, distribuídos em:

O capítulo 1, denominado de Vertentes e Processos Hidrogeomorfológicos é constituído da Revisão de Literatura, abordando o estado da arte sobre os temas que dão suporte ao entendimento do problema de pesquisa; dos conceitos fundantes como o de vertentes, de sistemas pedológicos, de hidrogeomorfologia, hidropedologia e algumas pesquisas referentes ao tema abordado.

No capítulo 2 apresenta-se a Caracterização da Área de Estudo, necessária descrição das características físico-naturais bem como do histórico processo de

¹ A técnica de corte raso consiste na retirada da vegetação deixando o mínimo possível, ou seja, apenas as raízes permanecem no solo.

construção daquele espaço, hoje uma Unidade de Conservação de uso sustentável, que se enquadra na categoria de Floresta Nacional.

No capítulo 3, apresenta os Materiais e Métodos que permitiram a realização da pesquisa, ou seja, as atividades realizadas em gabinete, campo e em laboratórios. Ali descreve-se os procedimentos e as técnicas realizados para alcançar os objetivos delimitados nesta pesquisa.

O capítulo 4 é constituído pelos Resultados e pelas Discussões dos referidos resultados: estes foram obtidos a partir dos trabalhos de levantamento e monitoramentos em campo, a exemplo dos dados de precipitações pluviométricas referentes à área de estudo e do município de Pirai do Sul; da distribuição das classes de solos na vertente de estudo e a dinâmica dos processos hidrológicos superficiais.

Por fim, no capítulo 5 apresentam-se as Conclusões e as Considerações finais, seguindo-as estão as Referências Bibliográficas.

OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa é compreender a dinâmica hidrogeomorfológica e sua relação com as perdas de materiais - água e solo - em uma vertente na Floresta Nacional de Piraí do Sul, Paraná.

Os objetivos específicos de ordem operacional e metodológica foram:

- Reconhecer o sistema pedológico, em topossequência, quanto às suas propriedades físico-químicas e hídricas.
- Caracterizar a distribuição das chuvas durante o período de monitoramento da pesquisa (9 meses – maio de 2018 a fevereiro de 2019).
- Analisar a relações de perdas de solo e escoamento superficial ao longo da vertente.

JUSTIFICATIVA

- Levantamento de informações sobre processos hidropedológicos em unidades de conservação;
- Os resultados obtidos podem auxiliar no manejo de áreas degradadas e auxiliar na gestão de recursos naturais;
- Área destinada para educação ambiental.

CAPÍTULO 1- VERTENTES E PROCESSOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS

1.1 A ESCALA ESPACIAL: AS VERTENTES

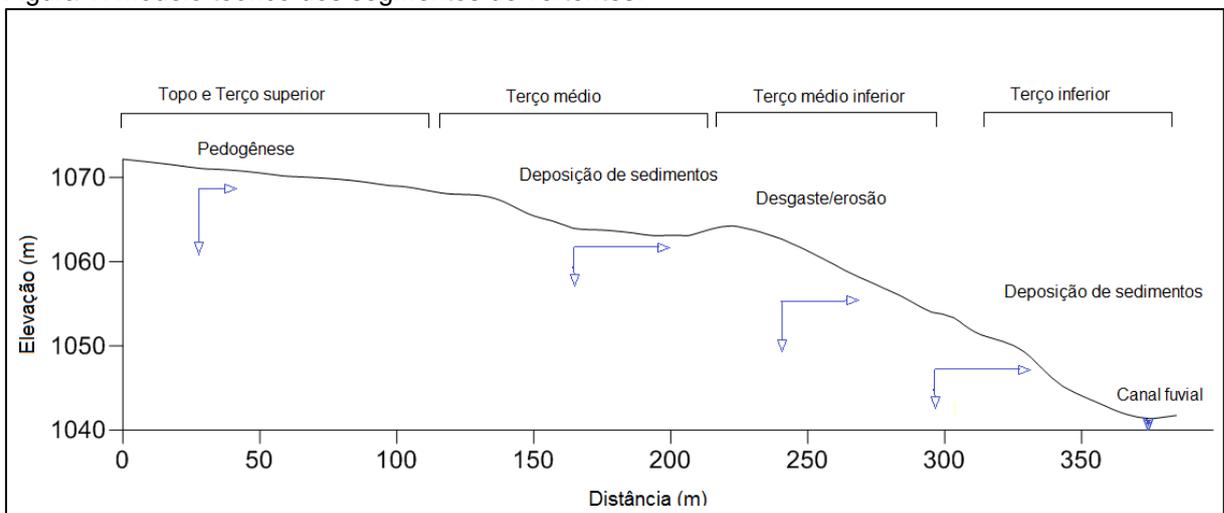
As vertentes, geomorfologicamente, podem ser entendidas de uma maneira ampla como uma forma inclinada do terreno, possuindo diversas formas, sendo convexas, côncavas e retilíneas e suas mais diversas variações (CHRISTOFOLETTI, 2006).

De acordo Dylik (1968) a vertente é uma forma tridimensional resultado de processos de erosão, que atuaram no passado ou atuam no presente, representando uma conexão entre o interflúvio e o fundo de vale. A vertente pode ser tratada como um sistema (CHRISTOFOLETTI, 2006), onde ocorrem entrada e saída de materiais e energias, que podem dar respostas satisfatórias para a compreensão dos processos atuais.

Thomaz e Ross (2006, p. 24) consideraram que o sistema vertente é “resultante da inter-relação entre as formas, os materiais e os processos que o configuram como seus elementos”. Os processos geoquímicos e o comportamento da água em superfície e subsuperfície determinam as propriedades básicas, mecanismos, agentes e rupturas geométricas nas vertentes.

Sobre estes processos e como eles podem ser especializados nos segmentos de vertente, Dalrymple, Blong e Conacher (1968) propuseram um modelo teórico e elencaram nove unidades de segmentos nas vertentes, destacando quais processos são mais atuantes (figura 1).

Figura 1. Modelo teórico dos segmentos de vertentes.



Fonte: Carneiro, M.M (2019) . Adaptado de Ruhe (1968)

Para os autores a alta vertente é representada pelos interflúvios e segmentos convexos que apresentam maiores intensidades de processos de alteração da rocha e pedogenéticos, associados com a movimentação vertical da água no solo. Nos segmentos de declive ou escarpado as formas estão mais susceptíveis à ação da gravidade e à movimentação lateral da água, caracterizando uma zona de transporte de material. Já nos segmentos da baixa vertente os processos predominantes são aqueles de deposição – também fluvial.

1.2 RELAÇÕES MORFOPEDOLÓGICAS: A COBERTURA PEDOLÓGICA DAS VERTENTES

O conceito de solo adotado nesta pesquisa é de um corpo natural organizado tridimensionalmente, que é constituído por sólidos, líquidos e gases e organismos vivos formados a partir dos materiais orgânicos e minerais. Sua organização é influenciada pelo material de origem e está constantemente sendo alterada pelos processos de adição, perda, translocação e transformação que acontecem ao longo tempo sob os regimes climáticos (EMBRAPA, 2013).

Dokuchaev (1948) buscou entender a origem dos solos e identificou cinco fatores que formam os solos que são eles: material de origem, clima, tempo, relevo e organismos vivos, resultando em uma sucessão vertical de camadas horizontais.

A partir disto, vários estudos foram realizados a fim de determinar o melhor método de classificação e entender a formação dos solos e sua distribuição espacial. Porém, as classificações para fins agrícolas buscam compreender os solos na vertical não levando em consideração sua distribuição e continuidade no espaço.

Desta forma, em 1935, Milne propôs o conceito de catena, buscando reconhecer o solos através de perfis ao longo da vertente, bidimensionalmente. Influenciados por Milne (1935) surgiram outras propostas, como litotopossequências, topossequências entre outras. A topossequência busca compreender a distribuição dos solos ao longo da vertente, buscando suas transições e espacializando-as bi e tridimensional. Muitos estudos foram realizados, principalmente por pesquisadores franceses, destacando-se Bocquier (1973), Boulet, Chauvel e Lucas (1982) e Ruellan e Dosso (1993).

As relações entre as vertentes e os solos são explicadas por Tricart (1968) que argumenta que a pedogênese é parte da morfogênese, pois altera as

características superficiais da litosfera, com a formação dos horizontes do solo e que poderão ser afetados pela erosão ou cobertos por sedimentação.

O estudo da relação entre a morfogênese e pedogênese muito auxilia no entendimento dos processos de erosão, transporte e sedimentação numa vertente, que representam a sua evolução. Entretanto, demorou-se alguns anos para que os pesquisadores das ciências de Geomorfologia e Pedologia se dessem conta que a essas duas ciências poderiam atuar em conjunto (QUEIROZ NETO, 2011).

Boulet et al. (1982) utilizando o método de análise estrutural de cobertura pedológica, consideram o solo como um corpo organizado e estruturado, estabelecendo-se em um continuum ao longo das vertentes, sendo possível fazer observações das transições verticais e laterais. Existe, portanto, uma continuidade tridimensional ao longo da vertente (BOULET, 1993).

Assim, a cobertura pedológica revela o papel fundamental do intemperismo na formação do manto de alteração, principalmente em ambientes úmidos. Existe, portanto, uma continuidade tridimensional ao longo da paisagem (BOULET, 1993).

Esse método foi muito aplicado no Brasil desde a década de 1980 e estudado por vários autores como aqueles relatados por Queiroz Neto (2002). Desde então vários estudos vem sendo realizados para entender como ocorre a formação de solos e os processos modeladores das vertentes utilizando a topossequência.

Vervloet (2012) analisou a evolução pedológica e geomórfica dos processos responsáveis pelas rupturas geométricas de uma vertente e a relação com a distribuição das sequências pedológicas no Espírito Santo. O autor encontrou resultados que evidenciam que a cobertura pedológica está em processo de transformação pedológica, com a presença de blocos e matacões, que interferem na pedogênese e nos processos geomórficos subsuperficiais.

Ainda para Vervloet (2012), as altas taxas de infiltração nos segmentos superior e médio da vertente remetem à ideia de que há predomínio de fluxo d'água em subsuperfície em detrimento aos fluxos superficiais, podendo afiançar que a vertente evolui pela retirada de material em subsuperfície, relacionada a rede de tubos instaladas com destruição lateral da sequência argilosa e transformando-a em areno-argilosa, formando uma concavidade na vertente.

Rosolen (2012) avaliou o desenvolvimento do relevo como um produto das transformações morfológicas, químicas e mineralógicas em uma topossequência composta por um sistema Cambissolo Háplico – Gleissolo Húmico localizada na

Amazônia. O estudo mostrou que a relação estabelecida entre pedogênese-morfogênese está relacionada com a erosão geoquímica que aprofunda e alarga a depressão lá existente. Tal evolução resulta em lento rebaixamento da superfície topográfica.

Cunha et.al (2016) avaliaram a susceptibilidade à erosão da cobertura pedológica ao longo das vertentes no noroeste do Paraná que é recoberta por um sistema pedológico constituído por Latossolo e Argissolo. Seus experimentos permitiram verificar que o escoamento superficial iniciava mais rapidamente e com maior volume na cobertura latossólica do que na cobertura argissólica. Ainda assim, a susceptibilidade a erosão foi maior na cobertura argissólica devido ao maior fluxo hídrico superficial e subsuperficial em decorrência da declividade e do gradiente textural. Estes resultados mostraram que os tipos de solos e sua posição na vertente interferem na resposta aos processos desencadeados por chuvas de igual intensidade e duração.

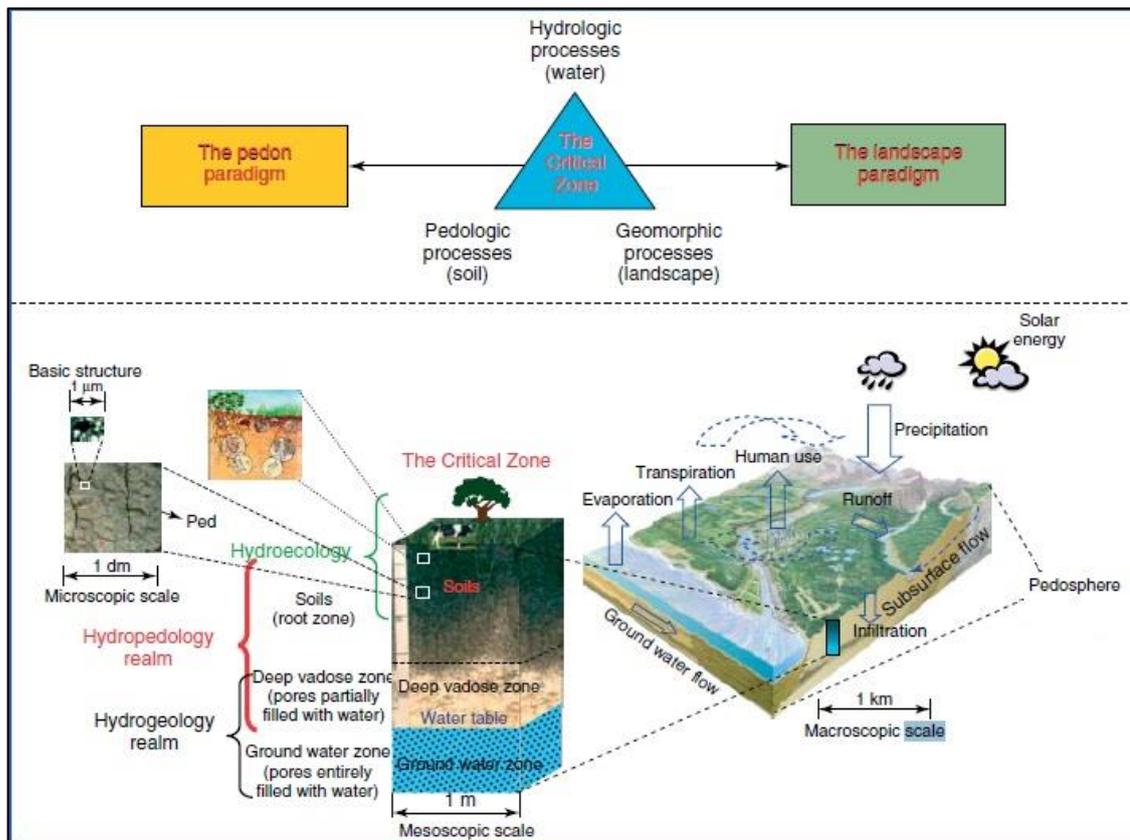
1.3 ATUAÇÃO DA ÁGUA NAS VERTENTES E NOS SOLOS

A água possui a capacidade de transformar paisagens, seja no estado líquido ou no estado sólido, dando suporte à proposição de Scheidegger (1973) ao apresentar um novo ramo de estudo nas geociências: Hidrogeomorfologia- bem apropriado, visto que o termo relaciona o estudo das formas decorrentes da ação da água.

O modelado das vertentes pode ser gerado por diversos estados físicos da água, e diferentes fases erosivas como: a) pela ação de geleiras que têm o poder de desgastar e transportar grandes quantidades de sedimentos, b) pelos rios que conseguem escavar rochas e solos, erodindo, transportando e sedimentando; c) as águas pluviais que além de participarem da formação dos solos, também causam erosão (*splash*); ou, d) pelo consequente escoamento superficial concentrado é capaz de produzir sulcos, ravinas. Ainda, e) a ação do mar, responsável pela erosão costeira/marinha, desenhando tipos de costas ou esculpindo feições rochosas. Geralmente os solos recobrem todas as vertentes e são eles que dão suas formas. Essas formas comumente ocorrem devido processos de intemperismo das rochas, do transporte de sedimentos através da erosão e da sedimentação destes materiais. Este processo está sujeito à ação da gravidade visto que muitas encostas possuem declividades, além das características físicas dos solos.

Recentemente, surgiu uma nova ciência chamada Hidropedologia (LIN, 2003; KUTÍLEK; NIELSEN, 2007), que se caracteriza por ser múltipla e que busca integrar os conhecimentos de Hidrologia e Pedologia. A novidade está em ir além dos estudos em laboratório, percorrendo desde a microescala, como estudo de agregados, até escala regional, como as regiões fisiográficas, utilizando escalas espaciais e temporais, conforme apresentado figura 2.

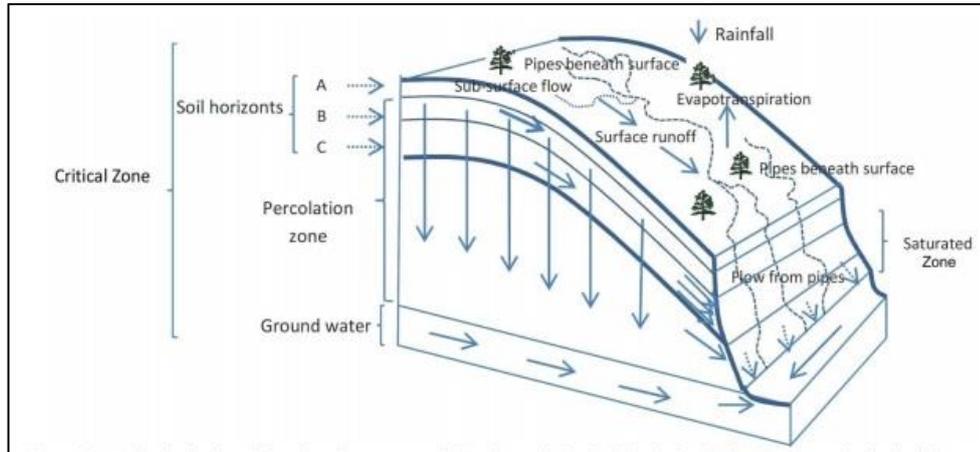
Figura 2. Escalas espaciais nos estudos em Hidropedologia.



Fonte: Adaptado de Lin et al (2008).

Esse campo busca entender as relações entre o ciclo hidrológico e sua relação com os solos distribuídos na paisagem. O estudo compreende a chamada Zona Crítica (LIN, 2010) que consiste nas relações entre a atmosfera, biosfera e pedosfera, abrangendo desde o topo das plantas até o lençol freático (figura 3). Assim, o entendimento passa a ser de certa forma como um sistema com entradas e saídas de materiais e energia.

Figura 3. Representação da Zona Crítica do solo.



Fonte: Mello e Curi, 2012.

De acordo com Lin (2010), os solos encontram-se na parte central da Zona Crítica, compreendendo uma geomembrana fazendo com que ocorra trocas de água, solutos, energia, gases, sólidos e organismos vivos na atmosfera, biosfera e hidrosfera, criando um ambiente favorável à sustentação da vida. Para o autor a água tem papel fundamental pra que ocorram essas trocas entre matéria e energia na Zona Crítica, pois a água que percorre através do solos, além da paisagem é a essência da vida.

O autor supracitado ainda defende que as interações do solo e da água estão muito interligadas e que não podem ser estudadas de maneira separada, exigindo uma abordagem sistêmica e de multiescalas. Assim sendo, a hidropedologia é o estudo que aborda as relações entre a pedosfera e a hidrosfera *in situ* (LIN, 2011).

Shoenemberger e Wysocky (2005) relatam que houve avanços recentes na pesquisa em hidropedologia, porém, muitos casos referem-se a estudos laboratoriais ou se limitam a apenas dados pontuais, fato este reforçado por Lin (2011).

Lin (2010) elenca duas categorias gerais de padrões de distribuição do solo que podem ser diferenciados em termos de seus principais controles em diferentes escalas

“(1) Nas escalas de encosta e paisagem, os padrões de solo são heterogêneos principalmente devido a fatores que variam em distâncias curtas como topografia e materiais-mãe (isto é, os fatores locais da formação do solo). Tal padrão de solo é frequentemente referido como uma “paisagem de solos”, isto é, a porção pedológica de uma paisagem (...), que inclui catena e outros padrões de distribuição de solo mais localizados. (2) Nas escalas regional e global, os padrões de solo zonal podem ser expressos por uma mudança gradual nos solos em grandes áreas, resultando de gradientes” (LIN, 2010, p.35).

Portanto, a movimentação de materiais nas vertentes ocorre devido aos fluxos hídricos e sedimentos que podem variar no tempo e espaço. Essa movimentação está intrinsicamente associada com a ação da água nos sistemas pedológicos.

1.4 ASPECTOS FÍSICO-HÍDRICOS EM SOLOS, NA ESCALA DE VERTENTES

A água tem um papel fundamental na esculturação do relevo e com os solos não é diferente. Um ambiente onde o regime de chuvas é bem distribuído, as condições de formação de solos são mais favoráveis do que em regiões onde a água é escassa.

A água se move dentro e através do solos sempre do ponto de maior potencial para pontos de menor potencial. Esse movimento pode ser entendido pela equação de Darcy que quantificou o movimento da água em materiais porosos saturados e de Buckingham que adaptou a equação para solos não saturados (REICHARDT; TIMM, 2012).

Mas o movimento de água no solo é influenciado pelas características físicas dos solos, como a textura, estrutura, permeabilidade, entre outros. O teor de água no solo reflete diretamente no desenvolvimento das plantas, da fauna do solo e toda a dinâmica pedogeomorfológica. Solos que apresentam umidade relativamente alta passam por processos pedogênicos mais intensos, pois a água é uma agente intempérica e erosiva de grande expressividade (HILLEL, 1998).

A partir da precipitação, a entrada da água no solo inicia o processo de infiltração. A este respeito, Harden e Scruggs (2003) argumentam que a infiltração não é um processo único, mas um conjunto de processos envolvendo a gravidade e as forças de atração das moléculas de água e as partículas de solo. Este conjunto integra três processos sendo eles: a) entrada através da superfície; b) armazenamento no solo; c) transmissão através do solo.

O balanço entre a infiltração e o escoamento superficial tem a ver com a quantidade de entrada de água pelas chuvas e a capacidade de absorção do solo, cujo modelo é proposto por Horton (1937). Para o autor, quando a chuva tem intensidade superior que a capacidade de infiltração do solo a água fica disponível para o escoamento. O escoamento superficial gerado pode carregar os sedimentos dos solos devido ao turbilhamento da água em direção à baixa vertente.

Entretanto, novas pesquisas mostram que o modelo proposto por Horton, tem mais significância em estudos de regiões áridas, onde o escoamento é resultado da intensidade da chuva excedendo a capacidade de infiltração. O modelo complementar é o escoamento de excesso de saturação, ou seja, gerado pela precipitação em solos que têm pouco ou nenhum armazenamento disponível (LIN et al, 2008). Assim, o fluxo hortoniano pode não se aplicar quando refere-se às mudanças ocorridas em solos decorrentes de seu uso por atividades antrópicas.

O processo de infiltração tem influência tanto das condições de cobertura do solo, da topografia e declividade da vertente assim como das propriedades do solo. Os fluxos de água no solo são influenciados diretamente pelos atributos físicos, sendo eles a textura, a estrutura, porosidade, a permeabilidade, entre outros. Ao longo do perfil estes atributos podem ter diferenciações, fazendo com que o arranjo de partículas, de poros ocupados pela água interfiram no comportamento físico.

A propriedade textura diz respeito à distribuição dos tamanhos das partículas do solo, sendo as classes areia, silte e argila. Esta distribuição e seu arranjo são fundamentais para a constituição do espaço poroso do solo, que podem ser ocupados por gases ou mesmo a água. Os solos arenosos possuem maior macroporosidade facilitando a movimentação de água por gravidade, enquanto isso, nos solos argilosos, o espaço de microporos é maior permitindo uma maior retenção de água e uma distribuição mais lenta no perfil do solo (FERREIRA, 2016).

Neste sentido, cita-se também a estrutura, atributo que se refere ao grau, tamanho, forma e estabilidade dos agregados. Assim como a textura, a estrutura influencia os fluxos de ar e água, a acomodação das raízes e a presença de poros, bem como a erosão do solo. Como este atributo é afetado pela atividade biológica, usos do solo, ação das precipitações e os agentes cimentantes, o reconhecimento da estrutura de um solo que passou por diferentes usos e vegetação, torna-se fundamental, já que grandes raízes podem desestruturar os agregados acelerando a infiltração da água (BRADY; WEIL, 2013).

Coutinho et al (2017) avaliaram as características físicas como carbono orgânico, porosidade e diâmetro dos agregados de um Cambissolo Háplico sob fragmentos de florestas da Mata Atlântica e compararam com pastagem e agricultura. Os autores concluíram que as áreas com florestas possuem parâmetros que melhoram a qualidade física do solo, aumentando o carbono orgânico total e a macroporosidade, reduzindo os valores de densidade do solo, diâmetro médio

ponderado de agregados. Estes fatores contribuem para melhor estruturação do solo e mais estabilidade de seus agregados.

A influência dos condicionantes da infiltração tem sido avaliadas em solos sob condições climáticas semelhantes aos encontrados na área de estudo. Desta forma apresenta-se alguns trabalhos referentes a infiltração.

Minosso, Antoneli e Freitas (2017) avaliaram a infiltração de água no solo em uma bacia hidrográfica localizada em Irati-PR, com diferentes usos e em duas estações do ano, verão e inverno. Os dados mostram que as maiores taxas de infiltração ocorreram no inverno, onde os eventos de chuvas foram menores, porém com índices mais volumosos do que no verão. Os autores perceberam que as maiores taxas de infiltração no inverno ocorreram pelo fato da umidade do solo ter sido menor que na estação do verão. Também identificaram que em diferentes usos a infiltração ocorreu de forma distinta e que na área de floresta as taxas de infiltração são maiores do que nas demais, devido ao fato de possuir maior teor de matéria orgânica e menor densidade de solo o que facilita a infiltração.

Em estudo realizado numa bacia hidrográfica em Guamiranga, Paraná, Antoneli e Thomaz (2009) buscaram avaliar as taxas de infiltração em diferentes tipos de solo, incluindo florestas com araucárias, agricultura e reflorestamento. Os testes foram realizados com infiltrômetros de anéis duplos em período seco (agosto) e úmido (dezembro). Os autores encontraram as maiores taxas de infiltração no período seco e em áreas onde predomina a atividade de agricultura as taxas de infiltração foram maiores do que nas demais, devido a revolvimento da camada superficial do solo por meio do uso de implementos agrícolas.

Quanto ao escoamento superficial Thomaz e Ross (2006) verificaram que eventos pluviométricos abaixo de 10 mm, praticamente não geraram escoamento superficial, assim como mobilização de sedimentos e que eventos acima de 30 mm são significativos para ambos os processos. Além disso, os autores salientam que a baixa mobilização de material pode resultar da boa agregação do solo e elevada quantidade de argila.

1.5 PROCESSOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS E O MODELADO DO RELEVO

Os processos erosivos são responsáveis pela esculturação das vertentes, sendo importante sua mensuração não apenas para identificar tais mudanças, mas também pela importância que esses processos possuem para as atividades

antrópicas. Assim, a erosão é definida nesta pesquisa como sendo o processo de desprendimento e transporte de partículas do solo causado pela água e pelo vento (BIGARELLA, 1985; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Ainda que estes processos sejam naturais quando se trata da dinâmica geomorfológica e da evolução do solo, tendo em vista o uso e a ocupação humana os efeitos destes processos são vistos como negativos. A perda de fertilidade e do solo propriamente dita, afetam diretamente a produtividade agrícola, a qualidade e a funcionalidade do solo, além disso, o material erodido pode ser transportado até os rios causando assoreamento e diminuindo na sua vazão.

Estes processos são resultantes de forças endógenas, exógenas e de atividades antrópicas (JIANHUA; NANSHAN, 1992). A erosão consiste em um fenômeno natural complexo causado pela retirada, transporte e deposição dos materiais erodidos, que regem o equilíbrio no sistema-vertente.

O principal agente dos processos erosivos é água, como as águas do mar, dos rios, geleiras e, principalmente, a chuva. Esta última é responsável pelas maiores perdas de materiais, principalmente quando os solos estão expostos aos seus impactos.

O primeiro passo para ocorrer a erosão é quando o solo nu é impactado pelas gotas de chuva causando a desagregação das partículas menores dos solos arremessando-os aos arredores. A quantidade de chuva precipitada e as propriedades físicas dos solos fazem com que a água se mova dentro e através do solo. Quando é atingido o ponto de saturação inicia-se o processo de escoamento superficial, que acarretará no deslocamento das partículas desagregadas. Com o escoamento a velocidade do fluxo de água causa o turbilhamento acelerando mecanicamente o desgaste das camadas superficiais (BIGARELLA, 1985; MORGAN, 2005; ANGULO- MARTÍNEZ et. al, 2012).

Selby (1987) relacionou os fatores responsáveis pelos processos erosivos que incluem o clima, topografia, tipos de rochas, vegetação e as características dos solos. Para o autor a erosão é função entre o poder de erosão das chuvas reconhecido como erosividade e a erodibilidade dos solos, que está ligada com as características físicas e químicas dos solos atribuindo a sua resistência a erosão

O impacto das gotas da chuva, ou seja, a erosividade tem como base a energia cinética que é função da sua velocidade terminal e o tamanho das gotas,

assim, a erosividade é definida como a capacidade da chuva em causar erosão, pelo impacto das gotas de chuva e também pelo volume precipitado.

Como existem diversos tipos de solos, nem todos possuem a mesma capacidade de serem erodidos, devido suas propriedades físico-químicas. Entre as principais características destacam-se a textura, estrutura, capacidade de infiltração, matéria orgânica entre outros, como já comentado anteriormente. Sendo assim, essas características podem definir a capacidade do solo em resistir aos impactos da chuva determinando sua erodibilidade (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

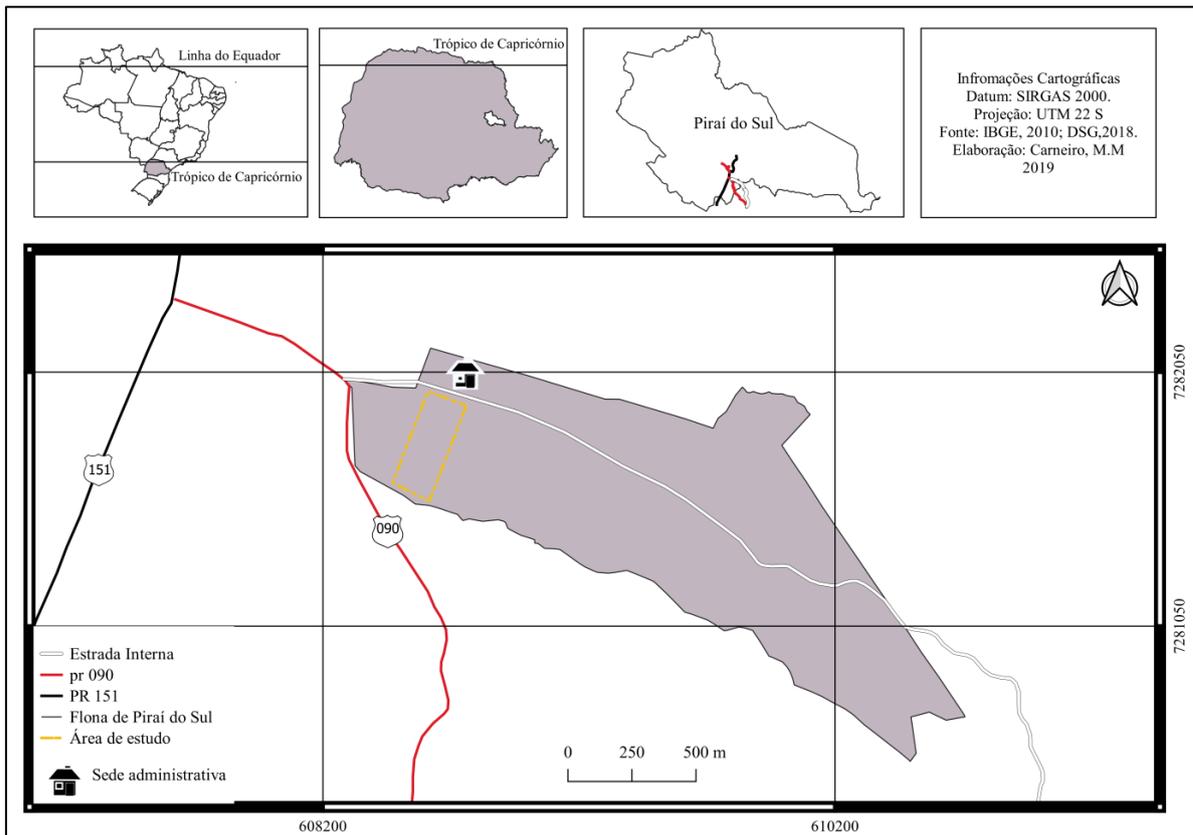
A erosão pluvial pode ocorrer de duas maneiras: linear ou laminar. Os dois processos podem acontecer simultaneamente, sendo a laminar o estágio inicial. A erosão laminar se caracteriza por não apresentar uma concentração de fluxos, ou seja, ocorre de maneira uniforme na vertente. A erosão linear por sua vez, ocorre quando os solos já estão saturados iniciando a formação de poças e, por conseguinte o escoamento superficial em caminhos preferenciais. A erosão linear pode resultar em sulcos, ravinas e voçorocas.

CAPÍTULO 2- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

2.1 HISTÓRICO DOS USOS DA TERRA NA ÁREA DA FLONA DE PIRAÍ DO SUL (1948- 2018)

A Floresta Nacional de Pirai do Sul é uma unidade de conservação de uso sustentável que permite usos com finalidades para pesquisa, educação ambiental e uso público. A Flona está situada no município de Pirai do Sul que lhe dá o nome, localizado na mesorregião administrativa Centro Oriental do Paraná, como visto na figura 4. O histórico econômico do município está relacionado com atividades agrícolas e atualmente, é a principal base das atividades desenvolvidas, como a pecuária e a silvicultura (IPARDES, 2018).

Figura 4. Localização da Floresta Nacional de Pirai do Sul, Paraná.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

O território onde está a atual Flona também passou por diversos usos ao longo das décadas. A área fazia parte da Fazenda Pirai, antiga Sesmaria, que foi concedida e dividida pelos proprietários em forma de herança, o uso da terra era predominantemente para atividades agrícolas e pecuárias (LOPES, 2004).

Em 1948 a área foi doada ao Estado que a transformou em um Posto Agropecuário, sendo gerido pelo Ministério da Agricultura com o objetivo de criação de matrizes de suínos, bovinos e produção agrícola (BARROS, 2015). Em 1967, a área foi transferida para o controle do extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IDBF), transformado em Posto Agropecuário com o objetivo de desenvolver a política florestal nacional e de preservação de recursos naturais renováveis, baseando-se no até então recente Código Florestal de 1965. Essa nova política de gestão de florestas buscava o crescimento econômico acelerado.

Nesse período ainda, a área passou a se chamar Posto de Fomento Florestal (POFOM), sendo uma categoria regional do IDBF, com o objetivo de realizar experimentos de reflorestamento, com o plantio de talhões de espécies nativas (*Araucaria angustifolia* e *Ocotea Porosa*) e exóticas (*Pinus ellioti* e *Pinus taeda*). A produção de mudas de árvores se apresentou maior do que a demanda de saída devido aos preços altos cobrados pelo IDBF, que não vendo outra maneira, intensificou o plantio dentro da área que hoje é a Flona (ICMBIO, 2016).

Em 1989 com uma nova mudança em âmbito governamental, todos os órgãos ambientais, inclusive o IDBF, passaram para responsabilidade do órgão recém-criado Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA). Deste modo o POFOM não se enquadraria com a proposta do IBAMA, que desassistiu os talhões e as pesquisas desenvolvidas.

As dificuldades de gestão combinadas com o interesse da prefeitura municipal de Piraí do Sul na área, para fins de lazer, fizeram com que em 2004, pelo decreto s/n de 04 de junho em 2004, fosse constituída a Floresta Nacional, possuindo uma área de 152 hectares. A criação da Floresta Nacional tem como base promover o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, por meio de um processo contínuo, gradativo, flexível e participativo (ICMBIO, 2016).

Para se adequar à categoria em que foi enquadrada e também por questões sanitárias, em 2015 teve início a retirada dos talhões de *pinus*. Os talhões onde as vegetações foram retiradas estão em processo de regeneração natural, porém em algumas áreas o *pinus* conseguiu se desenvolver novamente dificultando o crescimento das vegetações nativas.

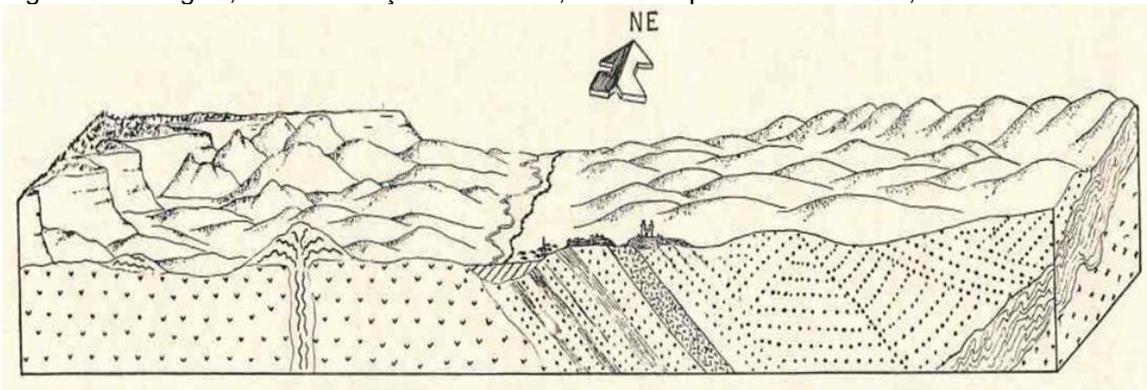
2.2 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA FLONA DE PIRAI DO SUL, PARANÁ

A Flona objeto de estudo desta pesquisa está localizada no município de Pirai do Sul que se situa entre o contato da unidade morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico que é base da Bacia Sedimentar do Paraná. As unidades morfoesculturais são o Primeiro Planalto Paranaense e Segundo Planalto Paranaenses cortadas pela feição escarpada da borda da Bacia Sedimentar do Paraná, conhecida como Escarpa Devoniana.

Esta configuração regional é condição para a diversidade de litologias, estruturas geológicas, formas de relevo que refletem em diferentes fisionomias de paisagens no município. Enquanto que no Segundo Planalto o arenito da Formação Furnas proporciona formas e feições como cânions, grandes paredões escarpados, topos planos, com predomínio da vegetação de campos. No Primeiro Planalto predominam rochas metamórficas e ígneas bastante intemperizadas, produzindo formas suave-onduladas (à exceção de Serra das Pedras), observam-se fragmentos florestais em conjunto com a produção agrícola.

A figura 5 apresenta um perfil esquemático de Pirai do Sul, onde observa-se no canto esquerdo a Escarpa Devoniana, oriunda da Formação Furnas. A área onde encontra-se o rio Pirai e a cidade, encontram-se rochas Vulcano sedimentar do Grupo Castro. À direita da imagem observa-se a Serra da Pedras formada por quartzitos do Proterozoico além de rochas graníticas do Cunhaporanga.

Figura 5. Litologias, formas e feições de relevo, no município de Pirai do Sul, Paraná.



Fonte: Adaptado de Coutinho (1955).

Nota: À esquerda encontra-se a Escarpa Devoniana sustentada por arenitos da Formação Furnas; na área de centro-esquerda encontram-se rochas Vulcano-sedimentares do Grupo Castro; à direita encontram-se rochas a Serra das Pedras sustentadas por Quartzitos do Grupo Açungui.

A unidade morfoescultural do Primeiro Planalto Paranaense, na qual está assentada a Flona de Pirai, divide-se em várias subunidades morfoesculturais entre

elas o Planalto de Castro. De acordo com Mineropar (2006), o Planalto de Castro caracteriza-se por apresentar um relevo de dissecação média, com topos alongados e aplainados, com vertentes convexo-côncavas, apresentando vales abertos com fundo chato.

Destaca-se no contexto desta subunidade a Serra das Pedras, conforme figura 6, que possui um relevo fortemente ondulado com formas de vertentes côncavo-convexas e fundos de vales em forma de U, em alguns casos apresenta formas escarpadas.

Na área de estudo são reconhecidas características similares ao contexto regional. Observa-se topos alongados, vertentes de padrão convexo-côncavas de dissecação média, vale em U, como estão sintetizadas no quadro 1.

Quadro1. Taxonomia de relevo da FLONA de Pirai do Sul, adaptado de ROSS (1992) e MINEROPAR (2006).

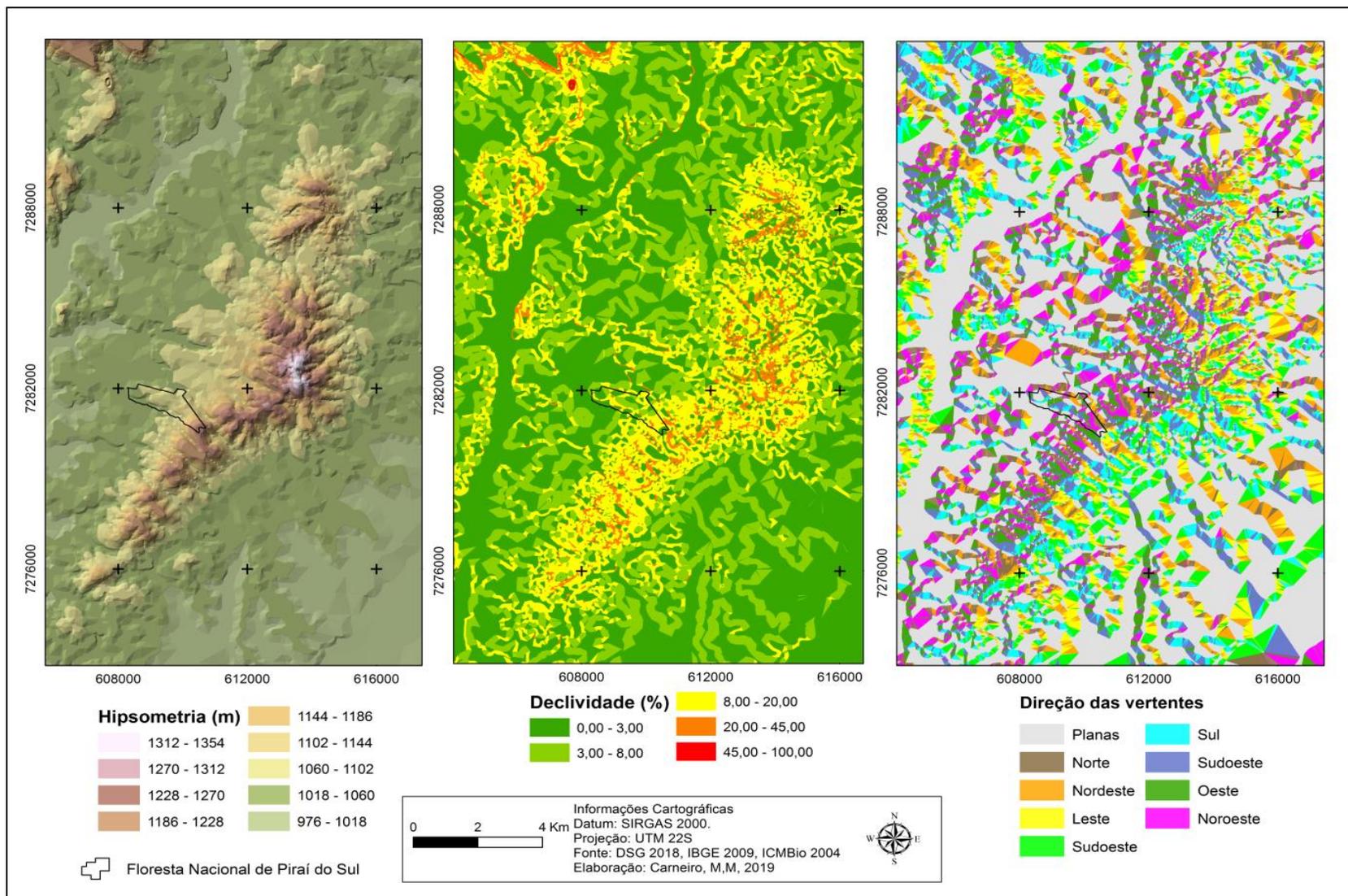
Unidade Morfoestrutural	Unidade Morfoescultural	Subunidade morfoescultural	Tipos de formas de relevo	Tipos de vertentes	Tipos de topos
Cinturão Orogênico do Atlântico	Primeiro Planalto Paranaense	Planalto de Castro	Suave ondulado	convexo-côncavas	Alongados



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Nota: Foto tirada de uma das estradas da vertente ilustrando a Serra das Pedras ao fundo (tomada Sul), como parte da Sub unidade morfoescultural do Planalto de Castro.

Figura 6. Características da Serra das Pedras e relevo nos municípios de Castro e de Pirai do Sul, Paraná.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Tais formas são sustentadas pela unidade litoestratigráfica denominada como Complexo Granítico Cunhaporanga e divide-se em rochas metamórficas (quartzitos) e ígneas (granitoides) de idade Paleozoica a Neoproterozoica (MINEROPAR, 2005).

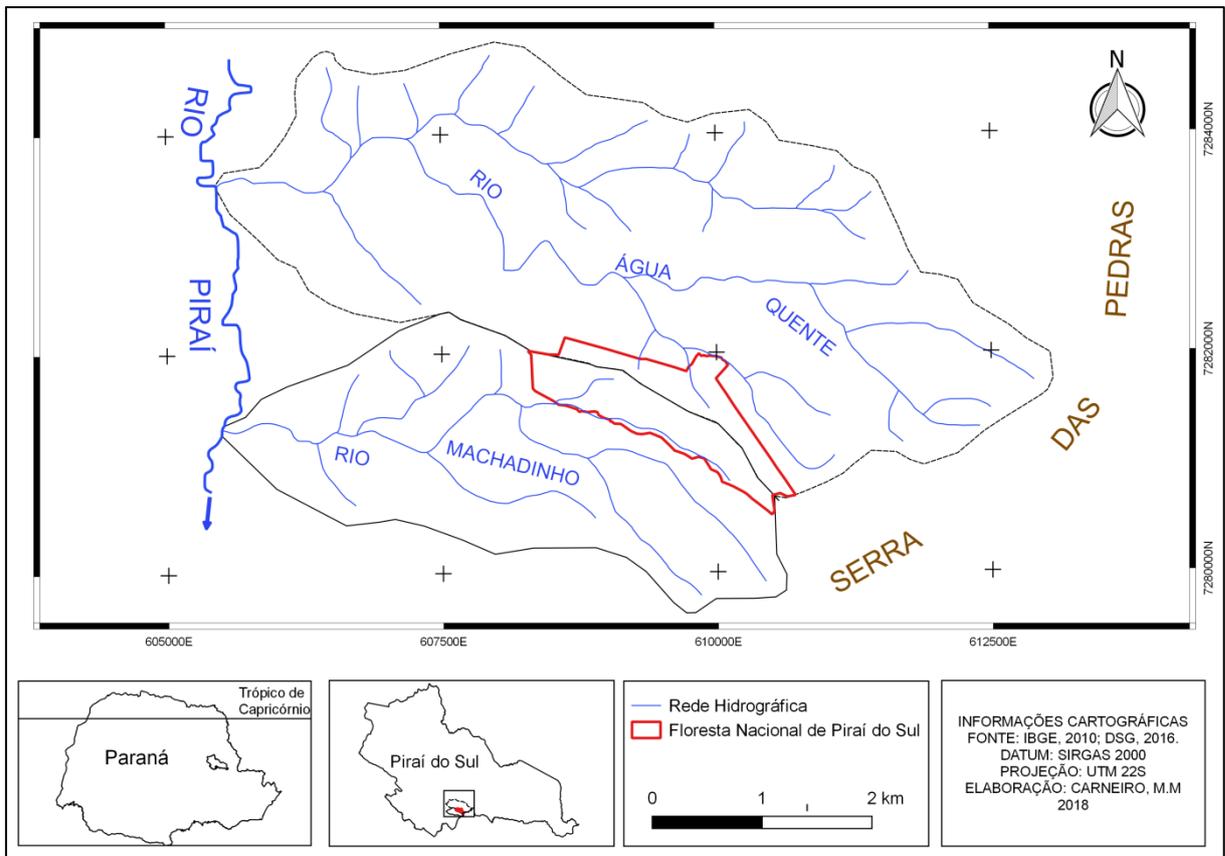
As rochas metamórficas são denominadas de Quartzitos Serra das Pedras descritas por Guimarães (1995; 2000) como metarenitos e metarcósios esbranquiçados e friáveis apresentando grãos médios a grossos que foram recristalizados. São encontrados ainda minerais opacos com magnetita que geralmente se convertem em óxidos e hidróxidos de ferro, além de muscovita que em maior presença, pode resultar em muscovita (feldspato) quartzito xistos.

Os quartzitos da Serra das Pedras são rochas intrusivas que se comportam como encaixantes nos granitos do Complexo, formando um grande teto pendente Guimarães (2000). Lopes Junior et. al (1977) comentam que a resistência maior à erosão dos quartzitos da Serra das Pedras e ressaltam-se em relação ao Complexo Granítico Cunhaporanga, em avançado grau de alteração com raros afloramentos.

O ponto com maior altitude da Flona é de aproximadamente 1300 metros estando na linha de cimeira da Serra das Pedras que é sustentada pelos quartzitos, compõe um interflúvio que divide em duas sub-bacias do rio Piraí, sendo Arroio Água Quente e o Arroio Machadinho, como se observa na figura 7.

A Serra das Pedras é um divisor de drenagem que separa a bacia do rio Iapó e bacia do rio Piraí. As sub-bacias que cortam a Flona se caracterizam por apresentar uma drenagem dendrítica, com canais de primeira ordem segundo a classificação de Strhaler (1951). Esses cursos d'água são pequenos com largura inferior a dois metros, mas possui uma importância significativa para as populações ao entorno da Flona, que utilizam esse recurso para abastecimento.

Figura 7. Floresta Nacional de Piraí do Sul e rede hidrográfica local.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

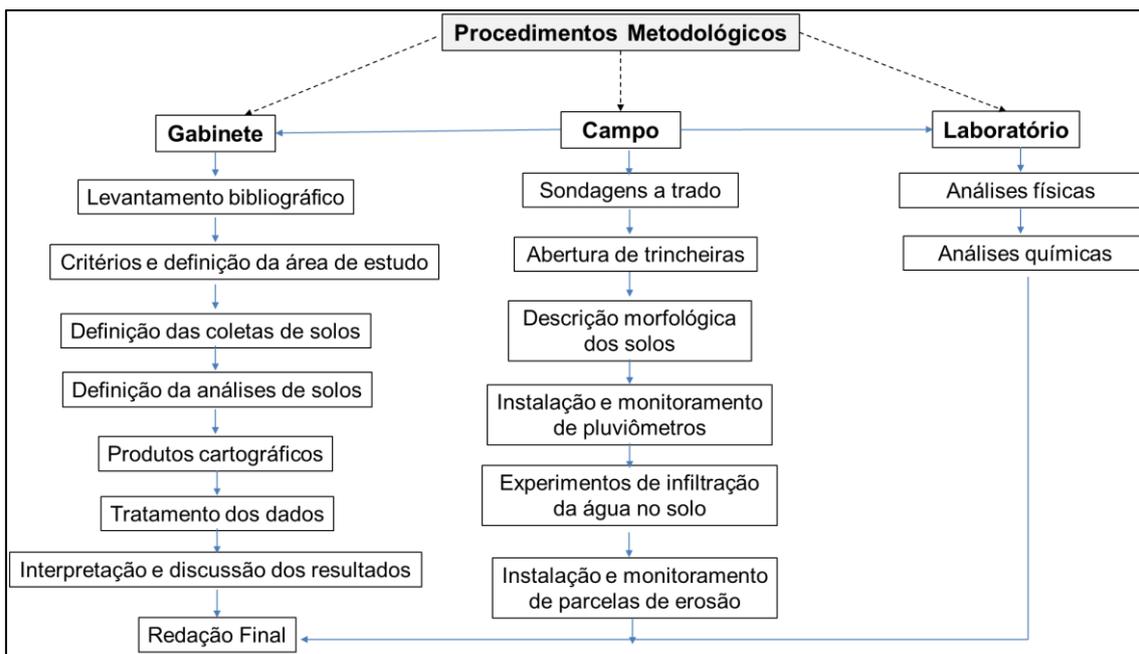
O levantamento de solos realizado por Potter et al. (2002), identificou a presença de Latossolos Vermelhos distróficos, com textura argilosa (LVd2) e Associação de Cambissolos Háplicos com textura argilosa + Neossolos Litólicos (CXbd4) ambos distróficos.

A Flona de Piraí do Sul está inserida no Bioma Mata Atlântica, estando na categoria de Floresta Ombrófila Mista (FOM), denominada também como Mata de Araucária. Barros e Moro (2015) encontraram remanescentes característicos da FOM em estágio médio de regeneração com destaque as espécies *Araucaria angustifolia*, *Matayba elaeagnoides*, *Ilex integerrima*, *Casearia sylvestris*, *Nectandra grandiflora* e *Cryptocaria aschersonia*. Próximo ao topo da Serra das Pedras as autoras encontraram uma vegetação arbustiva fechada de baixo porte denominada de capoeirinha ocupando uma área aproximada de 5 hectares.

CAPÍTULO 3- MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho classifica-se como um estudo de caso quali-quantitativo, de escala local, cujo alcance do objetivo exigiu o delineamento de caminhos convencionais à uma pesquisa: trabalhos em gabinete; levantamento em campo e em laboratório como mostra o organograma da figura 8.

Figura 8. Fluxograma das etapas e procedimentos da pesquisa.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Tendo-se definido o que investigar tornou-se preciso delimitar a unidade espacial de aplicação, a área, as subáreas e/ou as unidades de pesquisa além dos procedimentos metodológicos mínimos indispensáveis à interpretação da dinâmica ambiental.

Estabeleceram-se critérios de natureza físico-natural, socioeconômico e político na orientação da seleção da área de estudo para a definição das unidades de monitoramento dos processos geomorfológicos atuais e, classificação dos solos numa vertente representativa da área.

3.1 PESQUISA NO NÍVEL TEÓRICO-METODOLÓGICO

Para conceber a base teórica-metodológica do trabalho, buscou-se em livros, artigos e revistas científicas, trabalhos que abordassem o tema da pesquisa.

Como parte importante da metodologia de trabalho definiu-se, inicialmente, os critérios para a escolha da área de estudo e os locais para as coletas de amostras de solo e monitoramento temporal dos processos erosivos.

3.1.1 Critérios e Definição da Área para o Estudo dos Processos Hidrogeomorfológicos

Foram considerados como critérios norteadores da área e local de estudo:

a) ordem da significância: área cujo histórico está registrado em documentos oficiais e cuja função hoje é, em especial a conservação dos recursos naturais enquadrada como uma unidade de conservação de uso sustentável, e desenvolver projetos de pesquisa e educação ambiental.

b) ordem topográfica: as características morfológicas das vertentes;

c) ordem pedológica: as mudanças nas propriedades do solo;

3.1.2 Escolha e Seleção dos Procedimentos Metodológicos

a) Definição de coletas de amostras:

A revisão de literatura permitiu a seleção de procedimentos de campo e em laboratórios que fossem viáveis e garantissem o bom termo da pesquisa. Assim, optou-se pela proposição de definir as coletas tanto em perfil quanto em planta, abrindo-se trincheiras em perfil de acordo com Santos et al (2013) e realizando sondagens com trado holandês em planta até uma profundidade de 2m, devido ao limite do trado.

b) Definição das análises das amostras

Para a realização das análises físico-químicas dos solos seguiu-se os métodos Embrapa (2017). As análises realizadas foram: análise do complexo sortivo de rotina; granulometria; densidade do solo e das partículas; porosidade total; argila dispersa em água e estabilidade de agregados.

c) Produtos cartográficos

Os produtos cartográficos foram realizados em diversos programas. Para a construção do mapa de hidrografia e de localização utilizou-se o *software* livre QGIS, onde foi vetorizada a carta topográfica em escala 1:50000 disponível pelo Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG). Os Mapas de declividade, hipsometria e direção de vertentes foram gerados no programa ArcGIS 10 versão livre para estudantes.

Os dados altimétricos foram obtidos através do imageamento aerofotogramétrico por voo do RPA asa fixa, modelo eBee SenseFly, com altura de 120 metros. Os dados foram tratados em ambiente do Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizando o software PhotoScan, versão livre por 30 dias, sendo gerado um modelo digital da superfície (MDS).

As curvas de nível extraídas do modelo foram transformadas em pontos no QGIS e transferidas para o Libre Office e, posteriormente foram abertas no programa Surfer 12, versão demo, onde foram transformados em *grid* utilizando o interpolador Krigagen que foi apresentou a melhor semelhança com o terreno.

O perfil topográfico foi gerado no Surfer 12, versão demo, e posteriormente foram plotados os volumes pedológicos referentes a cada sondagem e trincheira onde foram reconhecidos.

d) Tratamento aos dados

Após coleta de dados iniciou-se a seleção, tratamento matemático e estatístico para a compreensão e discussão dos resultados. Assim, buscou-se recursos de descrição básica com médias, desvio padrão, análises multivariadas com correlação de Pearson e agrupamentos, conforme quadro 2.

Quadro 2. Tratamento matemático e estatístico dos dados referentes à vertente de estudo.

	Procedimento realizado	Tratamento dos dados
Solos	Análise granulométrica	Média, desvio padrão, coeficiente de variação, correlação de Pearson e representação gráfica
	Argila dispersa em água	
	Densidade do solo	
	Densidade da partícula	
	Porosidade	Relação matemática
	Infiltração	Análise de regressão
Dados pluviométricos	Precipitação	Média e desvio padrão e representação gráfica
	Duração	
	Intensidade	
	Energia cinética da chuva	
	Índice de erosão	
Perdas de materiais na vertente	Perda de sedimento	Média e desvio padrão, correlação de Pearson e análise de agrupamento
	Taxa de escoamento	
	Relação precipitação/escoamento	

Fonte: Carneiro, M.M (2019).

e) Dados pluviométricos

Realizou-se o levantamento da série histórica dos últimos 29 anos (1989-2018) de precipitações mensais de três estações pluviométricas, sendo Piraí do Sul,

Guaricanga e Capinzal. Os dados foram extraídos do sítio eletrônico do Instituto Águas Paraná. Estes dados foram sistematizados em planilha eletrônica e posteriormente realizado o gráfico das médias de distribuição de chuvas no município de Piraí do Sul o índice de erosão de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2008).

O cálculo foi realizado utilizando a fórmula obtida por Bertoni e Lombardi Neto (2008).

$$EI = 67,355(r^2/P)^{0,85} \quad (1)$$

Onde:

EI = Índice de erosão (MJ.mm/ha.L);

r = precipitação média mensal (mm);

P = precipitação média anual (mm).

Já o EI_{30} foi calculado utilizando os dados obtidos com o pluviômetro em campo, de acordo com a equação proposta por Wischmeier e Smith (1978).

$$EI_{30} = Ec \cdot I_{30} \quad (2)$$

Onde:

EI_{30} = Índice de erosão em 30 minutos (MJ.mm/ha.L);

I_{30} = Intensidade da chuva em 30 minutos (mm/h);

Ec = Energia cinética da chuva (MJ/ha).

A equação para calcular a energia cinética da chuva é:

$$Ec = 0,119 + 0,0873 \cdot \log I \quad (3)$$

Onde:

Ec = Energia cinética da chuva (MJ/ha);

I = Intensidade da chuva.

f) Interpretação e discussão dos resultados

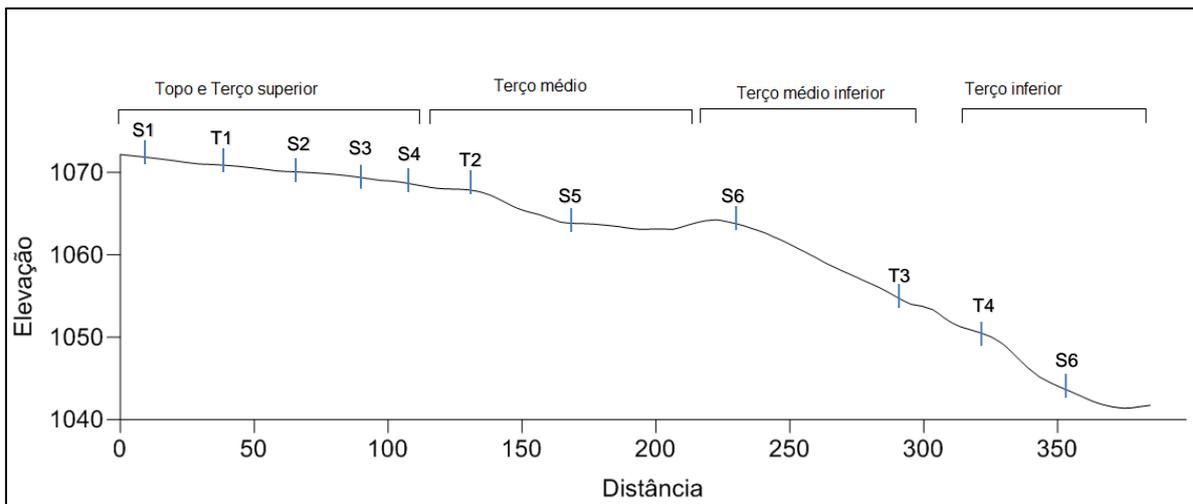
Construída com base na literatura nacional e internacional além das orientações da banca de qualificação, a interpretação dos resultados seguiu a concepção sistêmica, priorizando a análise geográfica da paisagem.

3.2 PESQUISA NO ÂMBITO DOS TRABALHOS DE CAMPO: IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO SOLOS EM TOPOSSEQUÊNCIA

Para avaliar o comportamento da vertente frente aos processos hidropedológicos foi necessário realizar um levantamento de solos na vertente para entender o funcionamento do sistema.

O levantamento de solos na vertente teve como base principal o método da cobertura pedológica (Ruellan e Dosso, 1993; Boulet, 1982). Para o reconhecimento dos solos ao longo da vertente foram definidos os setores da vertente como: a) terço superior; b) terço médio; c) terço médio inferior; d) terço inferior (figura 9).

Figura 9. Segmentos da vertente de estudo: distribuição dos pontos de coletas de amostras.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Nota: (S) corresponde aos locais onde foram realizadas as sondagens a trado e a (T) corresponde aos locais onde foram abertas as trincheiras.

Seguindo a compartimentação da vertente foram realizadas sondagens com um trado holandês ao longo da mesma para a identificação de mudanças ao longo do perfil. Posteriormente, foram abertas 4 trincheiras e 7 perfis a trado para a identificação de horizontes, transições morfopedológicas e sua classificação para o reconhecimento da cobertura pedológica.

Após a abertura das trincheiras, foi realizada a descrição morfológica dos perfis de acordo com a metodologia proposta por Santos et al (2015), levando em consideração os horizontes, cor, textura, estrutura, espessura e consistência – características descritas em condição de campo. Para a identificação das cores foi utilizada a carta de cores de Munsell (2010).

Após a descrição morfológica foram coletadas amostras dos horizontes para fins de reconhecimento em laboratório dos atributos físico-químicos destes solos. E também para a classificação dos solos ao longo da vertente buscando identificar sua relação com processos de pedogênese-morfogênese.

3.3 MONITORAMENTO DOS PROCESSOS HIDROPEDOLÓGICOS NA ESCALA DE VERTENTE

3.3.1 Levantamento de Dados Sobre Pluviosidade Local: Município de Piraí do Sul

Na área estudada foram instalados dois pluviômetros sendo um analógico e outro digital modelo RL-loader versão 2.4 para o monitoramento de chuvas. A cada chuva um operador fazia as medições e anotava em planilha. Já os dados obtidos pelo pluviômetro digital foram armazenados em datalogger e descarregados posteriormente em planilha eletrônica.

As precipitações em milímetros foram registrados a cada 30min, mas foram considerados eventos de chuva individuais, aqueles que foram registrados com intervalos de 6 horas. Também foram desconsideradas aquelas inferiores a 10 mm no evento por se tratarem de chuvas não erosivas (WISCHMEIER; SMITH,1958). Assim determinou-se a duração, intensidade e erosividade em 30 min de cada evento de chuva registrado entre 06 de outubro de 2018 até 28 de fevereiro de 2019.

3.3.2. Infiltração da Água nos Solos na Vertente em Estudo

Os testes de medição das taxas de infiltração de água nos solos foram realizados próximos às parcelas de monitoramento de erosão, sendo no terço superior, médio e médio inferior. Foi utilizado infiltrômetro de anel duplo concêntrico com diâmetros de 50 cm e 25 cm com altura de 25 cm, sendo cravados a 3 cm no solo, apresentado na figura 10.

Os anéis foram preenchidos com água até que a lâmina chegasse a 10 cm sendo proporcional a área de solo exposto e carga hidráulica submetida. A leitura do tempo de infiltração foi realizada a cada minuto ou quando a lâmina de água chegasse a 8cm, evitando grande variação da carga hidráulica.

Figura 10. Tipo de Infiltrômetro utilizado para os testes de infiltração.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

A duração da medição durou 120 minutos ou até que a infiltração de água fosse estabilizada. Desta forma, foi obtida a velocidade de infiltração, até que esta se tornasse constante (correspondendo a carga hidráulica saturada) pela equação de Kostiakov-Lewis (1932), com método de regressão.

Outros testes de infiltração não foram possíveis de serem realizados pois a água que é utilizada na Flona vem do Córrego Machadinho e não foi suficiente para manter o nível de utilização já que também é utilizada por mais de 200 pessoas. Desta forma, para não decorrer em problemas de falta de água para a população do entorno, não foram realizados os testes devido a quantidade elevada de água que foi utilizada no primeiro experimento.

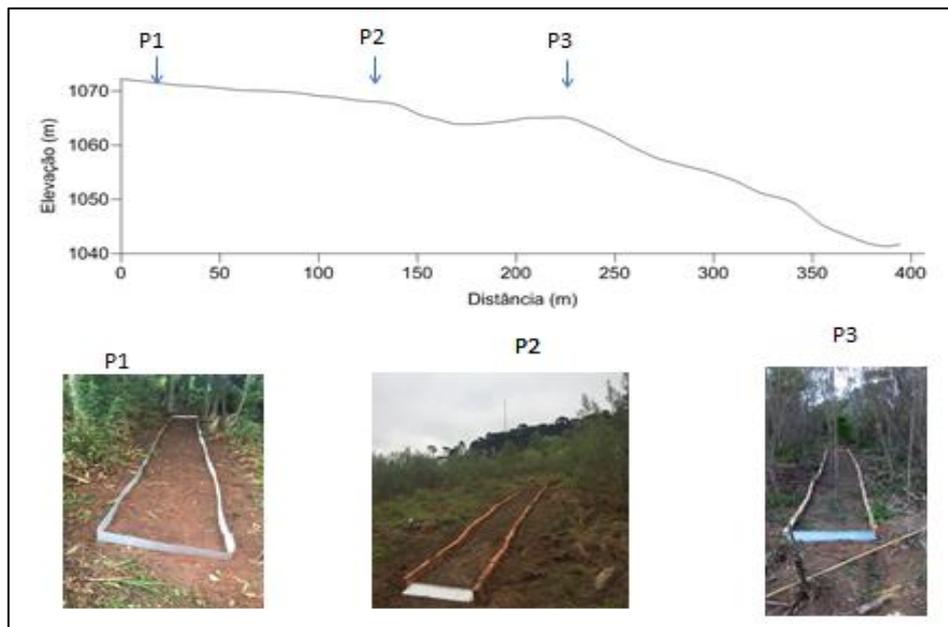
3.3.3. Monitoramento das Parcelas de *Runoff* na Vertente em Estudo

Após a determinação da erosividade local no período analisado, os mesmos foram relacionados às perdas de solo e água nas parcelas de monitoramento de erosão.

Foram instaladas três parcelas do tipo Gerlach na vertente de estudo sendo uma no topo, a segunda no terço médio e a terceira no terço médio inferior, todas com 10m². No terço inferior da vertente não foi possível a instalação pois a área está recoberta pela mata de galeria. Adverte-se aqui, que a calha do terço médio foi alocada em maio de 2018, e as demais no início de outubro. Desta forma a parcela dois apresentou um maior tempo de monitoramento.

Na figura 11 são apresentadas as parcelas de monitoramento de perda de solo e água ao longo do perfil. Para a instalação das parcelas foram retiradas a vegetação para evitar a interceptação, com exceção da parcela 2 que não continha vegetação.

Figura 11. Posições das parcelas de *runoff*, na vertente de estudo na FLONA de Pirai do Sul.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

O monitoramento do material escoado foi realizado inicialmente a cada precipitação, mesmo que inferior a 10mm. Com esta prática verificou-se que chuvas com intensidade inferior a 20mm/h não geravam escoamento e nem transporte de materiais. Assim, adotou-se coletar os dados por períodos de tempo em que os eventos de chuva somados geravam movimento dos materiais.

O material escoado e armazenado foi medido em campo e deste, separadas 4 amostras de 500ml, totalizando 2l, enviadas ao Laboratório de Geografia Física de UEPG onde foram medidas a massa de sedimentos finos. O material armazenado na calha foi todo recolhido e levado a secagem no referido laboratório para aferição da massa de sedimentos total, somadas aquelas de sedimentos finos.

Os cálculos utilizados para as quantificações, conforme Antoneli e Bednarz (2016) são:

$$P_s = \frac{T_{sa} \cdot T_{esc}}{A} \quad (4)$$

Onde:

P_s = Perda de solo (g/m^2);

T_{sa} = Total de sedimentos na amostra (g);

T_{esc} = Total de escoamento armazenado (L);

A = Área de contribuição da parcela (m^2).

3.4 PESQUISA NO ÂMBITO DOS TRABALHOS EM LABORATÓRIO

Foram coletadas amostras deformadas de solos nos horizontes de cada trincheira para determinação da textura pela análise granulométrica, utilizando o método da pipeta descrito pela Embrapa (2017), utilizando dispersão química com solução hidróxido de sódio a 1 mol e hexametáfosfato de sódio a 1 mol. O material foi colocado em tubos e levados para agitador mecânico do tipo Wagner, permanecendo por 16 horas sob agitação lenta a 62 rpm.

Utilizando o mesmo procedimento acima citado, realizou-se análise de argila dispersa em água (ADA) para determinar o grau de flocculação das argilas (EMBRAPA, 2017). Neste caso, não se aplica soluções químicas para dispersão.

Nos horizontes dos solos foram coletadas 3 amostras indeformadas com anéis cilíndricos para obtenção de relações massa e volume dos solos, de acordo Embrapa (2017). A densidade do solo é obtida aferindo a massa de solo com estrutura indeformada que ocupa o volume conhecido do anel. Com amostras coletadas nas mesmas condições foi obtida a densidade de partículas que considera apenas o volume ocupado pela massa de sólidos, descontando a porosidade. Por relação matemática, entre densidade do solo e densidade da partícula obtém-se a porosidade total.

Para as análises de estabilidade de agregados foram coletadas 1 amostra em cada parcela de solos nos horizontes superficiais em monólitos com dimensões de 10x10x10cm das quais foram retiradas 3 subamostras, onde foram conhecidos as classes dos agregados e o índice de estabilidade de agregados conforme é apresentado pela Embrapa (2017) e Salton et al (2012).

O peneiramento via seca foi realizado no Laboratório de Geografia Física da UPEG, considerando as malhas de peneiras 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 0,105mm, 0,053mm e <0,053. Já o peneiramento das amostras via úmida (figura 12) foi realizado no Laboratório de Solos, da UNICENTRO-Campus Irati, com o agitador Yoder.

Figura 12. Teste de estabilidade de agregados: Agitador Yoder.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Para as análises químicas, encaminharam-se as amostras de solos para o Laboratório de Fertilidade-UEPG, as quais seguiram a metodologia descrita pela Embrapa (2017) e a interpretação dos dados foi de acordo com o Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná (2017). Foram analisados: C-orgânico pelo método Walkley-Black, H+AL solução tampão SMP; Al, Ca, Mg, K e P trocáveis utilizando o extrator Mehlich e KCL, soma de bases, saturação de bases pelo extrator Mehlich e KCL; pH utilizando CaCl_2 e em água. O cálculo de matéria orgânica foi obtido através da multiplicação do teor de C-orgânico por 1,724.

CAPÍTULO 4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

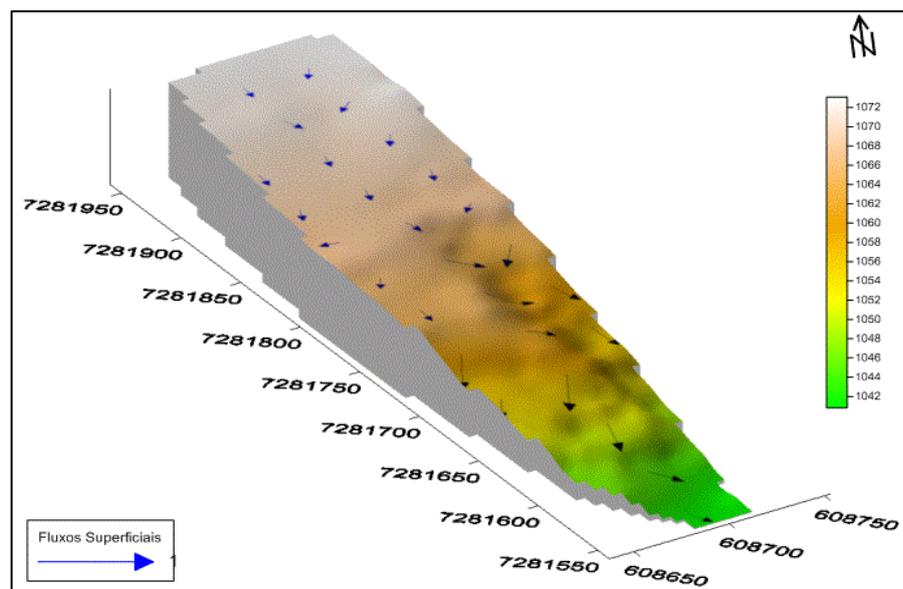
4.1 CARATERIZAÇÃO DA VERTENTE, FLONA DE PIRAÍ DO SUL, PARANÁ

A atual Flona de Piraí do Sul esteve ao longo dos últimos 80 anos de sua história sob diferentes usos do solo, pastagem, agricultura e desde a década de 1960 com práticas de silvicultura, tornando-se uma UC apenas em 2004.

A vertente selecionada para este estudo está inserida na margem direita da bacia hidrográfica do córrego “Machadinho”², possuindo um comprimento de aproximadamente 350 metros. O Córrego Machadinho, é um canal de 2ª ordem, com largura variável entre 2 a 3 m, em forma de U, com uma profundidade que varia entre de 0,50 a 0,80 m, apresenta-se em equilíbrio, e com capacidade para transportar a carga de sedimentos de textura média atestada em campo. Acrescenta-se que no período monitorado não houve transbordamento do seu leito, apesar da ocorrência de chuvas cujos índices ultrapassaram os 200mm/mês, o que pode ser explicado pela boa porosidade dos solos e densidade florestal à montante do ponto de observação.

A figura 13 representa um modelo da vertente e suas feições. Os segmentos em planta e em perfil orientam os fluxos superficiais preferenciais que convergem para o segmento côncavo.

Figura 13. Direção dos fluxos superficiais na vertente de estudo, FLONA de Pirai do Sul, Paraná.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Nota: Exagero vertical de 10 vezes.

² Denominação dada para este estudo fazendo-se referência ao bairro onde está localizada a Flona.

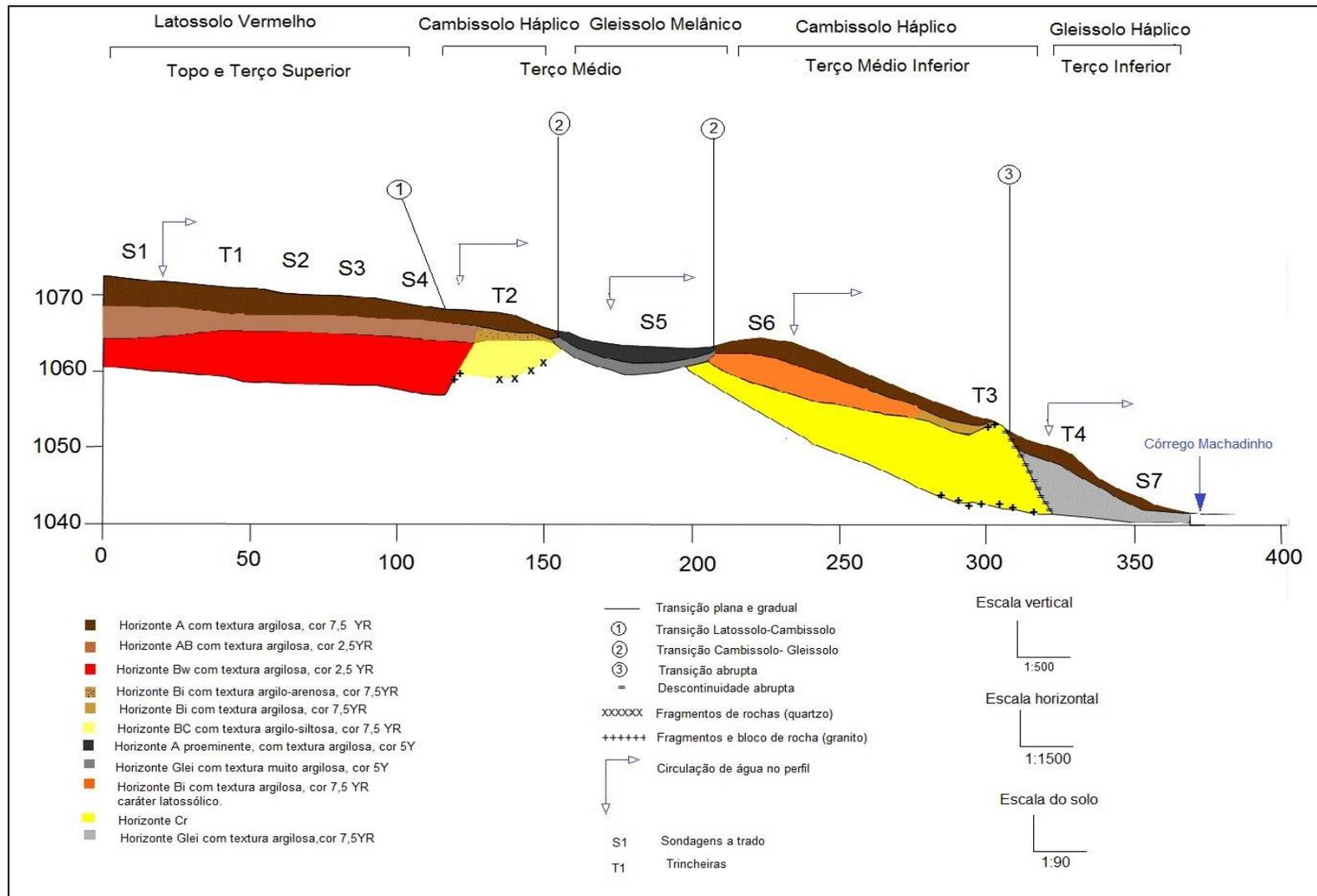
A forma de relevo é considerada suave ondulada, mas a declividade varia de acordo com o segmento da vertente. No terço superior o perfil é convexo-côncavo e apresenta declividade de 0 a 3%. O terço médio apresenta no seu compartimento inferior um segmento côncavo convergente de significativa descontinuidade de nível com declividade entre 8 e 20%. No terço inferior da vertente, com perfil côncavo divergente, a declividade é de até 3%.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA TOPOSSEQUÊNCIA E SISTEMA PEDOLÓGICO NA VERTENTE EM ESTUDO

O sistema é caracterizado como um sistema pedológico Latossolo Vermelho distrófico típico - Cambissolo Háplico-Gleissolo Melânico e Háplico (figura 14). O Latossolo Vermelho possui textura muito argilosa que abrange desde o topo da vertente até as proximidades da borda superior da concavidade. Na área de estudo verifica-se que as diferenciações nas classes de solos muito têm a ver com as formas e feições do relevo, que proporcionam diferentes sentidos dos fluxos hidrológicos tanto verticalmente quanto lateralmente.

No topo da vertente percebe-se a ocorrência do Latossolo Vermelho, onde a pedogênese é mais atuante, o solo é mais desenvolvido, neste ponto os fluxos hídricos no perfil são maiores verticalmente do que lateralmente. Entre S2 e T2 verifica-se a transição gradual para o Cambissolo Háplico, em que os fluxos hídricos é ligeiramente maior lateralmente. Entre S3 e a S5 ocorre uma transição abrupta dos horizontes. Verifica-se que neste ponto, os fluxos hídricos são menores verticalmente e maior lateralmente, gerando acúmulo de água e exfiltração.

Figura 14. Distribuição, em perfil, dos solos na vertente de estudo.na FLONA de Pirai do Sul, Paraná.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Na S6 verifica-se um Cambissolo que apresenta um caráter latossólico com mais de 60 cm, entretanto suas semelhanças de textura, coloração e estrutura se assemelham com as características do Cambissolo da T3 devido a isso foi classificado como tal. Essa diferenciação pode estar relacionada com a posição na vertente, onde está mais elevado e por isso os fluxos hídricos tendem a ser direcionados verticalmente. Entre S6 e T3 percebe-se que os horizontes superficiais diminuem até a estrada que devido ao corte expõe o saprólito.

Após a estrada verifica-se uma descontinuidade abrupta onde encontra-se a T4, porém o horizonte superficial não se diferencia dos horizontes A anteriormente identificados. Neste ponto percebe-se a ocorrência do lençol freático, indicando um solo com drenagem deficiente, ou seja, os fluxos hídricos lateralmente são maiores que na vertical.

Ao redor da concavidade até o terço médio inferior encontra-se o Cambissolo Háplico alítico típico com textura argilo-arenosa, percebem-se alguns fragmentos de rochas na profundidade de 1,70 m. Na concavidade encontra-se um Gleissolo Melânico Ta distrófico típico com textura argilosa. Neste trecho, com o acúmulo de água nesta concavidade faz com que em períodos chuvosos, ocorra um ponto de exfiltração gerando um fluxo de água contínuo por vários dias que segue em direção a estrada provocando uma linha de erosão, observado na figura 15. Foram observados nessa área alguns períodos de encharcamento.

Figura 15. Ponto de exfiltração e escoamento na estrada.



Em sequência, no terço médio inferior percebe-se a influência de material de origem composto por granito bem intemperizado cujo solo foi classificado como Cambissolo Háplico Tb distrófico típico com textura argilosa. Na parte inferior da vertente verifica-se que a estrada foi construída aproveitando uma descontinuidade no terreno que formou um degrau. Após esse degrau verifica-se um ambiente diferenciado dos demais acima. Essa descontinuidade no relevo e na disposição dos solos pode estar relacionado com erosão subsuperficial, assim como encontrado por Vervloet (2012).

O solo nesta área foi classificado como Gleissolo Háplico Tb distrófico típico com textura argilosa. No horizonte subsuperficial Glei encontra-se um material de estrutura maciça, além da influência do lençol freático.

4.2.1 Descrição Morfológica e Físico-Químicas dos Solos Amostrados na Vertente de Estudo, FLONA de Pirai do Sul, PR

Serão apresentados os dados da descrição morfológica realizada em campo dos solos encontrados na área de estudo no quadro 3. Os Latossolos Vermelhos em geral, são solos com bom desenvolvimento pedogenético e geralmente localizados em topos, são solos que possui muitos poros facilitando a infiltração e o movimento de água fazendo com que sejam geralmente bem drenados que lhe conferem uma coloração mais avermelhada devido a quantidade de óxidos de ferro.

- O Latossolo Vermelho encontrado no topo e terço superior da vertente apresenta uma camada de serapilheira de 7 cm além de três horizontes (A; AB e Bw). O horizonte A de coloração 7,5YR 2,5/3 apresenta textura argilosa, estrutura granular e consistência pegajosa. Neste horizonte são encontrados muitas raízes finas e algumas médias e muitos microporos. Sua transição pra o horizonte AB é plana e gradual. O horizonte AB é uma transição para o horizonte B, porém apresenta mais características do A, possui textura muita argilosa com estrutura granular e consistência pegajosa. Apresenta uma transição gradual e plana com coloração 2,5 YR 2,5/3. O horizonte Bw apresenta também textura argilosa com estrutura granular com consistência muito pegajosa e sua coloração é 2,5YR 3/6.]

Os cambissolos são solos geralmente pouco desenvolvidos, são encontrados em grande escala no Paraná com maior ocorrência em áreas de média encosta.

Apresentam capacidade de infiltração variadas sendo de pouco drenados a bem drenados. Em sua maior parte apresentam solos com coloração amarelada.

- Cambissolo Háplico alítico típico: Este solo é encontrado na média vertente apresenta os horizontes um horizonte A com textura argiloarenosa com estrutura granular e consistência ligeiramente pegajosa. Apresenta coloração 7,5 YR 4/4 e uma transição gradual e plana. Abaixo do horizonte A encontra-se o horizonte Bi que apresenta textura argiloarenosa com estrutura granular e consistência pegajosa. Apresenta coloração 7,5 YR 6/8 com transição gradual e descontínua. Abaixo deste horizonte encontra-se um BC com textura argiloarenosa com estrutura granular e consistência ligeiramente pegajosa apresentando um material com características de saprólito. Possui coloração 7,5YR 6/6. Embaixo desse horizonte encontra-se fragmentos de quartzos com tamanhos variados que sugerem um possível veio de quartzo, muito comum em áreas com rochas graníticas.
- Cambissolo Háplico Tb distrófico típico: este solo é encontrado no terço médio inferior da vertente próximo a ruptura de terreno. Possui um Horizonte A com textura argilosa com estrutura granular e consistência ligeiramente pegajosa. Possui coloração 7,5YR 4/4 e transição gradual e plana. Logo abaixo desse horizonte é encontrado alguns fragmentos de granito bem intemperizado. Após esses fragmentos encontra-se o horizonte Bi de textura argilosa com estrutura granular e consistência pegajosa de coloração 7,5YR 6/8 com transição gradual e plana. Abaixo encontra-se um horizonte BC com textura argilo-siltosa e estrutura granular e consistência ligeiramente pegajosa. Possui coloração 7,5YR 6/6 e transição plana. Após esse horizonte encontram-se fragmentos e blocos de rocha granítica em diferentes estádios de intemperismo.

Os Gleissolos são caracterizados como solos hidromórficos com presença de água por períodos com mais de 30 dias com a presença de água. Possui geralmente coloração mis cinza ou escura devido à redução de óxidos de ferro. São geralmente encontrados em planícies de rios e em relevos côncavos.

- Gleissolo Melânico Ta distrófico típico: este solo encontra-se na concavidade localizada no terço médio. Apresenta um horizonte A com

textura argilosa e estrutura granular com consistência pegajosa. Possui uma coloração escura e uma transição gradual e plana. Abaixo deste horizonte encontra-se um B com textura muito argilosa estrutura granular.

- Gleissolo Háptico Tb distrófico típico: este solo é encontrado no terço inferior da vertente após a descontinuidade do terreno. Apresenta um horizonte A com textura argilosa e estrutura granular e consistência ligeiramente pegajosa. Possui coloração escura e uma transição gradual e plana. Após este encontra-se um horizonte Glei com textura argilo-siltosa e estrutura maciça e consistência pegajosa. Possui coloração cinzenta, e com presença de água.

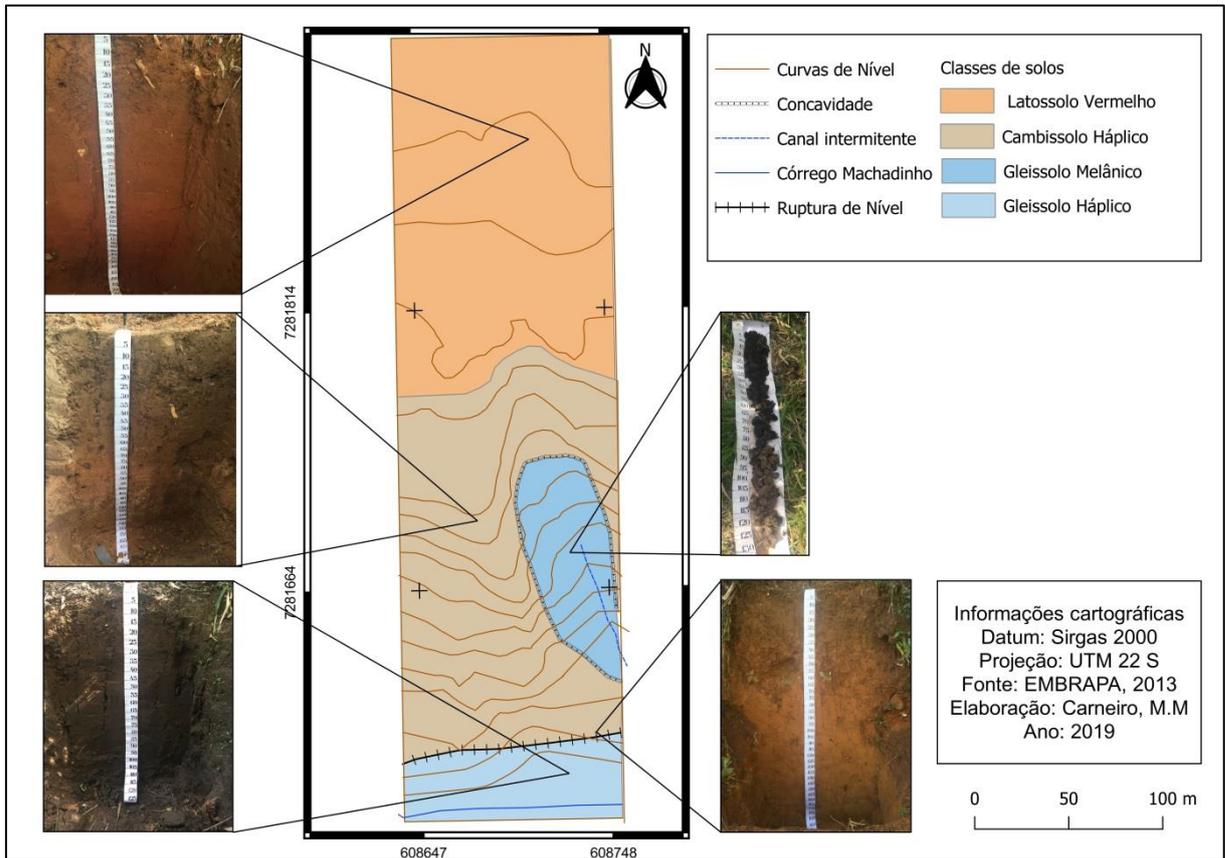
Quadro 3. Descrição morfológica dos solos ao longo da vertente estudada.

Latossolo Vermelho distrófico típico	Cambissolo Háptico alítico típico	Gleissolo Melânico Ta distrófico típico	Cambissolo Háptico Tb distrófico latossólico (?)	Cambissolo Háptico Tb distrófico típico	Gleissolo Háptico Tb distrófico típico
Horizontes					
A 0-60 cm	A 0-40 cm	A Proeminente 0-40 cm	A 0-40cm	A 0-35cm	A 0-45
Estrutura granular Textura argilosa Consistência pegajosa Cor 7,5 YR 2,5/3 Transição Gradual e Plana	Estrutura granular Textura argiloarenosa Consistência Ligeiramente pegajosa Cor 7,5 YR 4/4 Transição Gradual e Plana	Estrutura granular Textura argilosa Consistência pegajosa Cor 5 Y2,5/1 Transição Gradual e Plana	Estrutura granular Textura argilosa Consistência Ligeiramente pegajosa Cor 7,5 YR 4/4 Transição Gradual e Plana	Estrutura granular Textura argilosa Consistência Ligeiramente pegajosa Cor 7,5 YR 4/4 Transição Gradual e Plana	Estrutura granular Textura argilosa Consistência Ligeiramente pegajosa Cor Transição Gradual e Plana
AB 60-90 cm	Bi 40-70 cm	Glei 40-75+cm	Bi 40-105cm	Bi 35-70cm	Glei 45-150cm
Estrutura Granular Textura Argilosa Consistência Pegajosa Cor 2,5 YR 2,5/3 Transição Gradual e Plana	Estrutura granular Textura argiloarenosa Consistência pegajosa Cor 7,5 YR 6/8 Transição Gradual e descontínua	Estrutura maciça Textura Muito argilosa Consistência Muito pegajosa Cor 5 Y 2,5/2 Transição Gradual e Plana	Estrutura granular Textura argilosa Consistência ligeiramente pegajosa Cor Transição Gradual e Plana	Estrutura granular Textura argilosa Consistência pegajosa Cor 7,5 YR 6/8 Transição Gradual e Plana	Estrutura Maciça Textura argilo-siltosa Consistência pegajosa Cor Transição Gradual e Plana
Bw 90-200+cm	C 70-170cm		BC 105-200+cm	BC 70-120cm	
Estrutura granular Textura argilosa Consistência Muito pegajosa Cor 2,5 YR 3/6	Estrutura granular Textura argiloarenosa Consistência Ligeiramente pegajosa Cor 7,5 YR 6/6		Estrutura granular Textura argilosa Consistência pegajosa Cor 7,5 YR 6/6	Estrutura granular Textura argilo-siltosa Consistência Ligeiramente pegajosa Cor 7,5 YR 6/6	
	R			Cr 120-200+cm	
	Fragmentos de rocha			Saprólito e fragmentos de rocha	

Fonte: Carneiro, M.M (2019).

A figura 16 representa o mapeamento das classes de solo de acordo com as suas características e a distribuição ao longo da vertente. Nota-se que os limites de ocorrência de cada classe tem a ver com os segmentos de vertente e as feições de relevo.

Figura 16. Distribuição das classes de solos na vertente de estudo.



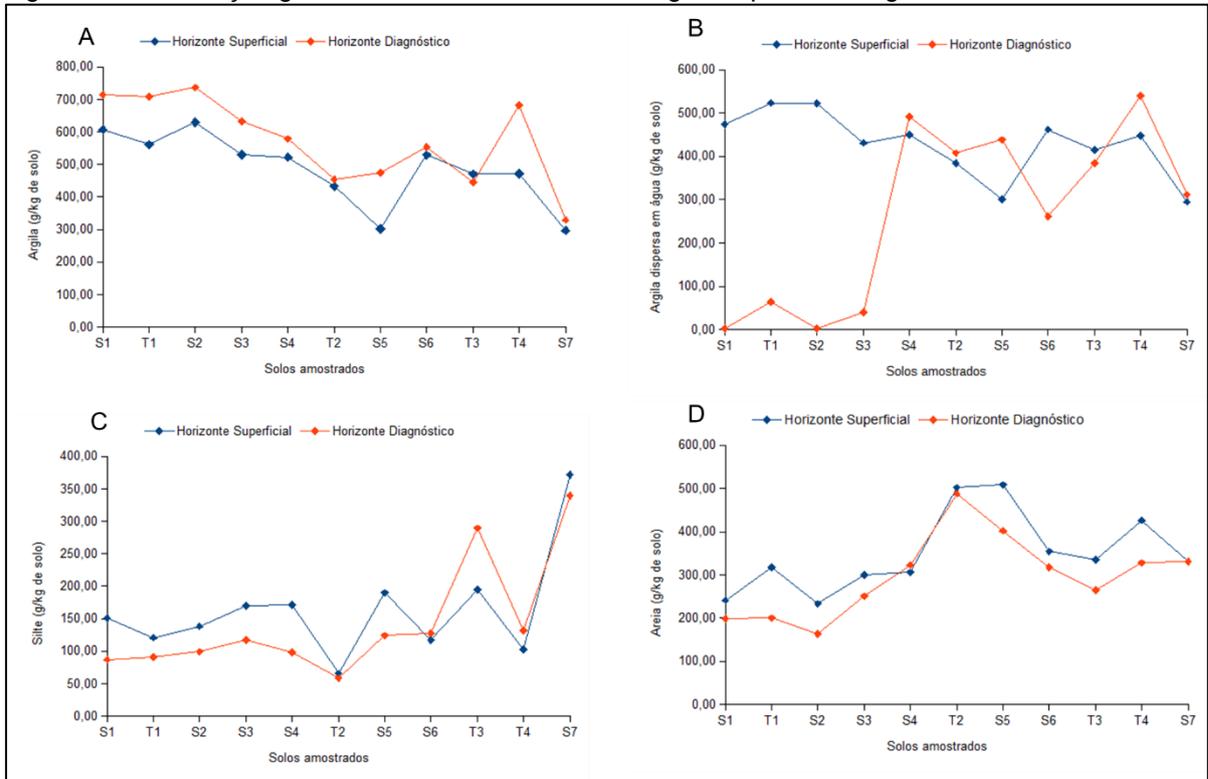
Fonte: Carneiro, M.M (2019).

4.2.2 Caracterização Granulométrica dos Solos na Vertente

A figura 17 apresenta em gráficos os dados de textura e de argila dispersa em água ao longo da vertente. Em A apresentam-se os dados de argila, em B os dados de ADA, em C os dados de Silte e D os dados de Areia dos horizontes superficiais e subsuperficiais.

Percebe-se nos horizontes superficiais que os teores de argila segue entre 550 g/kg a 650 g/kg até chegar na concavidade onde a quantidade de argila cai para 300g/kg. Após a concavidade os teores de argila aumentam novamente para 550 g/kg. Um novo declínio é percebido no S7 próximo aos 300g/kg de solo.

Figura 17. Distribuição granulométrica dos solos e de argila dispersa em água na vertente de estudo.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Nota: A distribuição das análises granulométricas e ADA ao longo da vertente estão representados por letras sendo: (A) distribuição da Argila; (B) distribuição da ADA; (C) distribuição do Silte e (D) distribuição da Areia.

Nos horizontes subsuperficiais³ percebe-se uma um aumento de argila em relação aos horizontes superficiais destacando-se a T4 que apresentou maior disparidade em relação aos demais pontos, onde a argila aumentou do horizonte superficial para o subsuperficial de 500 para 700 g/kg, um aumento de 29%.

No horizonte superficial percebe-se uma tendência de diminuição da argila, porém, na trincheira onde localiza-se o Gleissolo Háptico, verifica-se um aumento na concentração de argila, decrescendo no ponto próximo ao rio. Esse aumento de argila na T4 reforça a ideia de que está ocorrendo o transporte de material dos solos acima e que são depositados neste ponto.

O gráfico B apresenta os teores de argila dispersa em água ao longo do perfil. Verifica-se que a dispersão no horizonte superficial segue uma tendência similar ao da argila com dispersante. A água dispersou bem a argila mostrando que os

³ O horizonte superficial em azul representa o horizonte A e o horizonte diagnóstico refere-se ao horizonte B de cada solo da vertente.

horizontes superficiais possuem possibilidade de serem erodidos. Já nos horizontes subsuperficiais, observa-se que no Latossolo a argila foi pouco dispersa, mostrando que estes solos possuem um bom grau de flocculação e que estes possuem maior resistência a desagregação. Em relação com os demais, percebe-se que os Cambissolos possuem maior suscetibilidade a dispersão de argila.

O gráfico C apresenta os teores de Silte que mostram uma homogeneidade no perfil. Mantendo praticamente estável em todos os pontos. Nos horizontes superficiais a partir de S2 verifica-se um pequeno aumento de silte até a S5. Esse ponto começa a transição de solo onde foi encontrado no S3 a presença de material saprolítico parecido com o encontrado mais abaixo da vertente.

Nos horizontes subsuperficiais é visível o aumento de silte na T3 e no P7. A T3 onde encontra-se o Cambissolo foi presenciado a presença de fragmentos de granito entre as profundidades de 40 a 50 cm, o que pode ter influenciado a presença de silte. Já no P7 a explicação mais plausível é que como está próximo ao canal, pode estar influenciando, principalmente devido a variação do lençol freático.

Em relação a areia, tanto no horizonte superficial quanto no subsuperficial ela se apresenta uniforme, tendo apenas uma elevação na concavidade e também na T4. A explicação para esse aumento pode estar relacionada na concavidade pelo fato de ser uma área de deposição, e quando há a ocorrência de chuvas o material mais leve é transportado enquanto o material mais pesado fica depositado. Já na T4 verificou-se na classificação a presença de minerais grosseiros no perfil.

4.2.3 Características Químicas dos Solos

Os resultados das análises químicas dos solos esclareceram questões para a sua classificação a partir do terceiro nível categórico e também para a fertilidade do solo com vistas a auxiliar futuras pesquisas da regeneração vegetal da área de estudo.

➤ Latossolo Vermelho distrófico típico

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos pelas análises químicas. Este solo apresenta em todo seu perfil acidez de média a alta devido ao baixo pH que aumenta em profundidade. Existe a predominância de cargas negativas e, portanto, os valores de V% são baixos, com baixos teores de Ca, Mg e K. Desta forma a CTC também varia de média no horizonte A e baixa nos demais horizontes.

Os dados de alumínio trocável no perfil variam de alto no horizonte A e AB e baixo no horizonte Bw. A saturação por alumínio apresenta valores muito alto para os três horizontes.

O teor de carbono orgânico e matéria orgânica são maiores no horizonte A e baixo para os demais que é justificado pela presença de material vindo da vegetação, como folhas e raízes, e a presença de micro e mesofauna. Este conjunto proporciona o caráter distrófico ao Latossolo Vermelho.

➤ Cambissolos Háplico alítico típico

As características deste solo estão apresentadas na tabela 2. A acidez varia de alta a muito alta nos horizontes, pois o pH é baixo predominando na solução do solo as cargas negativas, ou seja, possuem maior capacidade de adsorção de cátions em relação aos ânions. Isto faz com que a V% seja muito baixa. A distribuição dos nutrientes Ca, Mg e K nos horizontes é distinta, no horizonte A esses valores são considerados médios e nos demais são considerados muito baixos.

Os teores de matéria orgânica e carbono orgânico ressaltam a contribuição dos restos vegetais (galhos e cascas de *Pinus*) no horizonte A, o qual é considerado alto. Estes teores diminuem em profundidade onde Bi e C é baixo.

O caráter alítico é devido ao teor de alumínio extraível encontrado ser de 9,3 cmolc/dm³ associado a saturação por bases de 3,6%.

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do Latossolo Vermelho distrófico típico.

Horizonte	Profundidade	Areia	Silte	Argila	Argila dispersa em H ₂ O	Grau de flocculação %	Relação Silte/Argila	Densidade do Solo g/cm ³						
	cm	g/kg de solo												
A	0-60	317,6	120,65	561,73	523,46	6,81	0,21	0,941						
AB	60-90	206,68	62,39	730,91	36,38	95,02	0,08	0,915						
Bw	90-200+	199,68	90,89	709,41	63,88	90,99	0,12	0,902						
Características químicas														
Horizonte	pH		H+Al	Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	P	C	MO	V	m
	H ₂ O	CaCl ₂	cmolc/dm ³						mg/dm ³	g/dm ³		%	%	
A	4,7	4,0	12,13	2,6	0,2	0,1	0,04	0,34	12,47	0,5	20	34,4	2,7	88,4
AB	5,0	4,2	8,36	1,1	0,1	0,1	0,01	0,21	8,57	0,1	11	18,92	5,2	84
Bw	5,7	4,6	4,28	0,4	0,2	0,1	0,01	0,31	4,59	0,1	5	8,60	6,8	56,3

Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Tabela 2. Propriedades físico-químicas do Cambissolo Háplico alítico típico.

Horizonte	Profundidade	Areia	Silte	Argila	Argila dispersa em H ₂ O	Grau de flocculação %	Relação Silte/Argila	Densidade do Solo g/cm ³						
	cm	g/kg de solo												
A	0-40	501,91	65,53	432,55	384,25	11,16	0,15	1,19						
Bi	40-70	488,23	58,30	453,46	407,87	10,05	0,12	1,51						
C	70-190	512,32	107,15	380,52	302,74	20,43	0,28	1,12						
Características químicas														
Horizonte	pH		H+Al	Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	P	C	MO	V	m
	H ₂ O	CaCl ₂	cmolc/dm ³						mg/dm ³	g/dm ³		%	%	
A	4,7	4,0	14,61	4,3	1,2	1,0	0,1	2,3	16,91	0,9	18	30,96	13,6	65,2
Bi	4,8	4,1	18,96	9,3	0,4	0,3	0,01	0,71	19,67	0,1	6	10,32	3,6	92,9
C	4,8	3,9	22,0	16,0	0,1	0,8	0,02	0,92	22,92	0,9	5	8,6	4,0	94,6

Fonte: Carneiro, M.M (2019).

➤ Gleissolo Melânico Ta distrófico típico

A tabela 3 contém as propriedades químicas do Gleissolo encontrado na concavidade da vertente. Assim como nos demais solos, o pH é baixo com acidez elevada. Os teores de nutrientes são baixos, indicando V% baixo e CTC baixa.

Em relação ao teor de carbono orgânico e teor de matéria orgânica apresenta valores altos mas não suficiente para serem considerados horizontes orgânicos. Desta forma o horizonte A foi classificado como proeminente.

Destaca-se neste solo o teor de P como maior encontrado na vertente. Isto deve-se ao fato de que o P tem mobilidade superficial e se acumula no interior da concavidade.

➤ Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico

Na tabela 4 estão apresentadas as propriedades do Cambissolo Háplico que possui características latossólicas no horizonte Bi. A acidez é elevada em todos os horizontes e diminuem em profundidade. Os valores de V% e CTC são baixas, refletindo baixos teores de nutrientes Mg, Ca e K. Matéria orgânica e carbono orgânico são altos mas diminuem em profundidade.

O horizonte Bi possui espessura suficiente para ser classificado como Bw, porém, a atividade da argila em 21,17 cmol_c/kg de argila o caracteriza com Bi e classifica o solo como Cambissolo.

Tabela 3. Propriedades físico-químicas do Gleissolo Melânico Ta distrófico típico.

Horizonte	Profundidade	Areia	Silte	Argila	Argila dispersa em H ₂ O	Grau de flocação %	Relação Silte/Argila	Densidade do Solo g/cm ³						
	cm	g/kg de solo												
A Proeminente	0-40	508,48	189,74	301,76	301,09	0,22	0,62	-						
B	40-75	401,96	124,03	474,00	438,34	7,52	0,26	-						
Características químicas														
Horizonte	pH		H+Al	Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	P	C	MO	V	m
	H ₂ O	CaCl ₂	cmolc/dm ³							mg/dm ³	g/dm ³		%	%
A Proeminente	5,0	4,0	17,22	2,54	1,49	0,18	0,08	1,76	18,98	14,17	58,09	100,15	9,27	59,15
B	5,1	3,9	14,44	2,68	0,75	0,08	0,05	0,88	15,33	3,14	25,25	43,53	5,74	75,31

Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Tabela 4. Propriedades físico-químicas do Cambissolo Háplico Tb distrófico latossólico.

Horizonte	Profundidade	Areia	Silte	Argila	Argila dispersa em H ₂ O	Grau de flocação %	Relação Silte/Argila	Densidade do Solo g/cm ³						
	cm	g/kg de solo												
A	0-40	318,13	127,84	554,01	462,14	12,66	0,23	1,08						
B	40-105	260,30	217,31	522,38	261,55	52,79	0,41	-						
BC	105-200	203,46	452,26	344,26	4,20	99,19	1,31	-						
Características químicas														
Horizonte	pH		H+Al	Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	P	C	MO	V	m
	H ₂ O	CaCl ₂	cmolc/dm ³							mg/dm ³	g/dm ³		%	%
A	4,7	4,2	7,78	1,14	1,52	0,36	0,05	1,93	9,71	0,69	19,87	34,26	19,86	37,26
Bi	4,8	4,1	5,47	0,9	0,62	0,15	0,02	0,79	6,26	0,92	9,58	16,52	12,62	53,42
BC	4,9	4,4	2,95	0,17	0,23	0,08	0,1	0,32	3,27	0,57	4,21	7,26	9,79	34,83

Fonte: Carneiro, M.M (2019).

➤ Cambissolo Háplico Tb distrófico típico

São apresentadas na tabela 5 as propriedades químicas dos horizontes do Cambissolo Háplico Tb distrófico típico. O pH é baixo em todos os horizontes e a acidez é alta. V% é considerada muito baixa e os nutrientes Ca, Mg e K nos horizontes é homogênea e muito baixa.

Os teores de matéria orgânica e carbono orgânico são médios e tem contribuição da cobertura vegetal sobre o horizonte A. Assim, pode se dizer que este solo é distrófico e tem sua atividade de argila baixa.

➤ Gleissolo Háplico Tb distrófico típico

Na tabela 6 estão descritas as propriedades químicas deste solo. O pH é baixo com acidez elevada e alta saturação por alumínio. Os teores de nutrientes Ca, Mg e K são baixos, indicando V% baixo e CTC baixa.

Em relação ao teor de carbono orgânico e teor de matéria orgânica apresenta valores altos mas não suficiente para serem considerados horizontes orgânicos. Acrescenta-se que os teores aumentam em profundidade.

Tabela 5. Propriedades físico-químicas do Cambissolo Háplico Tb distrófico típico.

Horizonte	Profundidade	Areia		Silte	Argila	Argila dispersa em H ₂ O	Grau de flocação		Relação	Densidade do Solo					
	cm	g/kg de solo				%	Silte/Argila	g/cm ³							
A	0-35	334,61		194,84	470,53	414,76	11,85	0,41	0,997						
Bi	35-70	264,85		289,41	445,73	383,98	13,85	0,64	1,12						
BC	70-120	374,59		365,40	260,00	36,26	86,05	1,4	1,00						
Características químicas															
Horizonte	pH		H+Al		Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	P	C	MO	V	m
	H ₂ O	CaCl ₂	cmolc/dm ³				mg/dm ³	g/dm ³		%	%				
A	4,7	4,1	11,68		3,6	0,1	0,1	0,03	0,23	11,91	0,5	14	24,08	1,9	94
Bi	4,8	4,2	9,01		2,8	0,1	0,2	0,01	0,33	9,32	1,1	13	22,36	3,3	90
BC	4,6	4,1	8,68		3,1	0,1	0,2	0,01	0,31	8,99	1,3	7	12,04	3,4	90,9

Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Tabela 6. Propriedades físico-químicas do Gleissolo Háplico Tb distrófico típico.

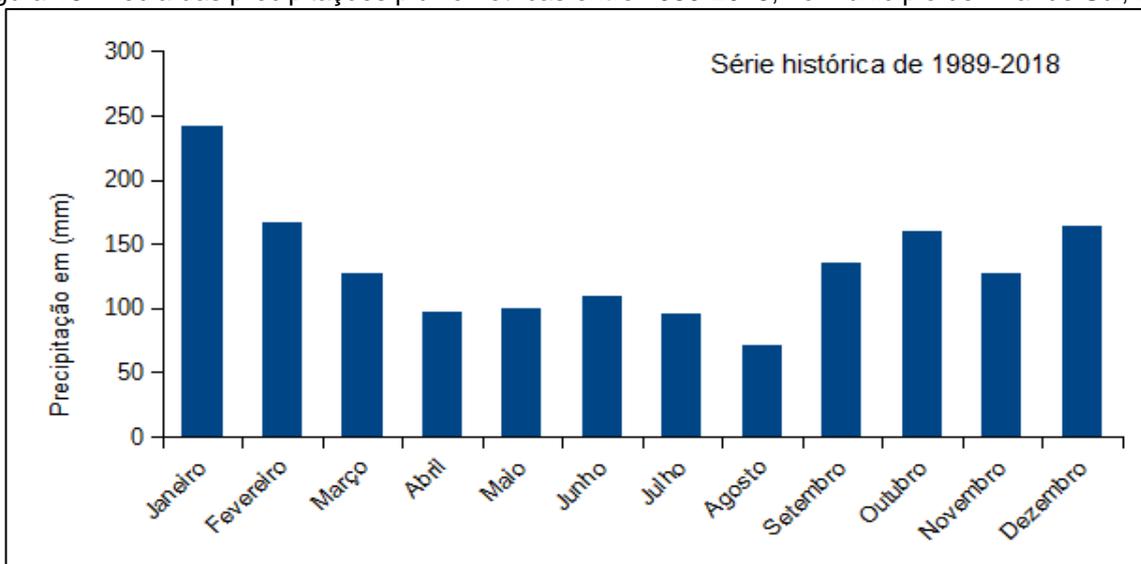
Horizonte	Profundidade	Areia	Silte	Argila	Argila dispersa em H ₂ O	Grau de flocação		Relação	Densidade do Solo					
	cm	g/kg de solo				%	Silte/Argila	g/cm ³						
A	0-45	426,43	102,34	471,21	448,32	4,85	0,21	0,937						
Glei	45-150	327,78	131,76	540,45	682,59	20,82	0,24	1,01						
Características químicas														
Horizonte	pH		H+Al	Al	Ca	Mg	K	SB	CTC	P	C	MO	V	m
	H ₂ O	CaCl ₂	cmolc/dm ³				mg/dm ³	g/dm ³		%	%			
A	4,6	4,0	13,56	3,6	0,2	0,3	0,15	0,65	14,21	1,9	17	29,24	4,6	84,7
Glei	4,6	3,9	15,16	4,4	0,1	0,3	0,05	0,45	15,61	1,3	22	37,84	2,9	90,7

Fonte: Carneiro, M.M (2019).

4.3 REGIME PLUVIOMÉTRICO DO MUNICÍPIO DE PIRAÍ DO SUL

Os dados de precipitação do município de Piraí do Sul são apresentados na figura 18 e mostram que as chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, tendo as maiores concentrações médias de chuvas em janeiro e a menor média em agosto. As chuvas ocorridas no verão são do tipo convectivas que geralmente ocorrem no fim da tarde em pontos distintos, ou seja, a chuva não ocorre de maneira uniforme em todos os locais.

Figura 18. Média das precipitações pluviométricas entre 1989-2018, no município de Piraí do Sul, PR.

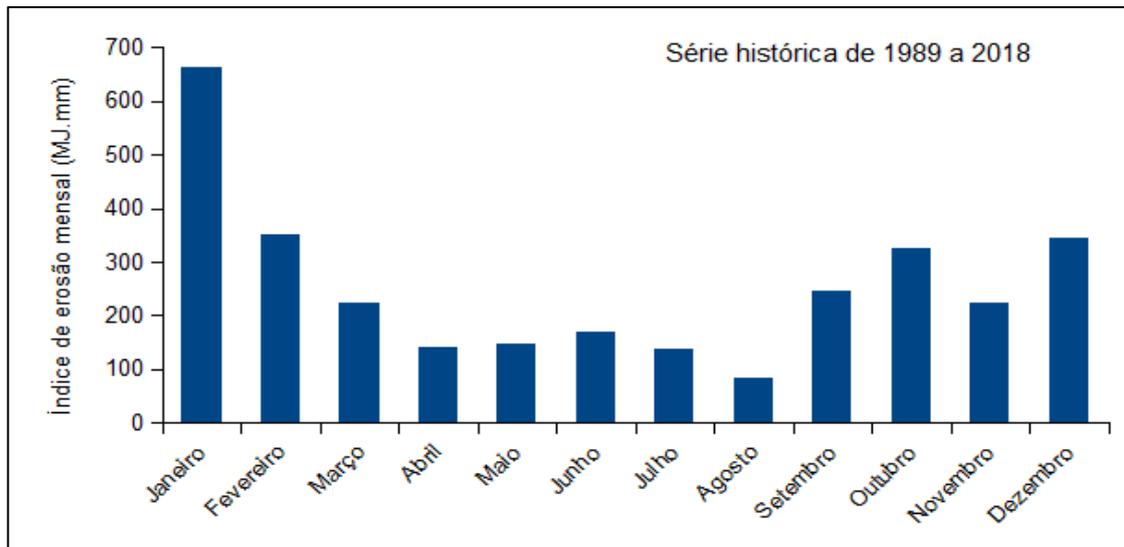


Fonte: Águas Paraná (2019).

As chuvas que ocorrem entre o outono e inverno são do tipo frontal, oriundas de massas polares que se encontram com massas continentais. Essas chuvas são uniformes abrangendo uma grande área e podem permanecer por dias com intensidades diferentes. As constatações de campo permitem inferir que a Serra das Pedras e Escarpa Devoniana atuam como barreiras naturais que afetam a direção das chuvas originando chuvas orográficas.

Com os dados de precipitação das três estações localizadas no município foi calculado o índice de erosão (EI) que está apresentado na figura 19. Percebe-se que o maior índice de erosão é verificado nas estações primavera e verão e que os menores índices são encontrados na estações outono-inverno.

Figura 19. Índice de erosão do município de Piraí do Sul, Paraná.



Fonte: Águas Paraná (2019).

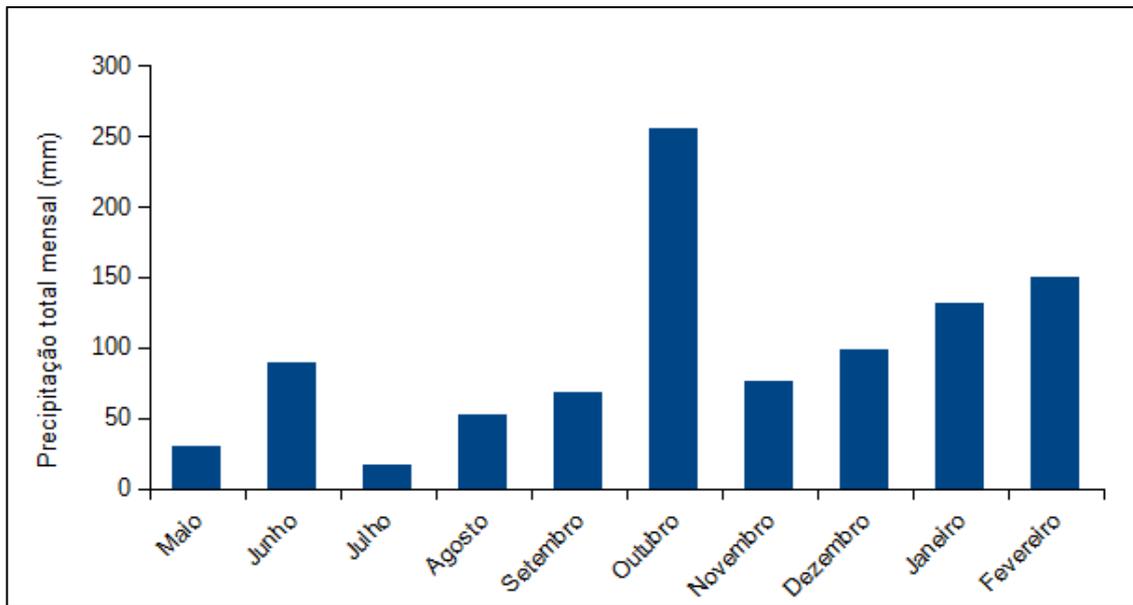
Destaca-se que janeiro com valor de E_i superior aos 600 MJ.mm e que agosto encontra-se o menor valor com valor próximo a 100 MJ.mm. Tal fato justifica-se em função da maior ocorrência de precipitações volumosas e intensas de origem convectiva, típicas de verão. Ao contrário, em agosto, as chuvas são pouco frequentes e possuem características de chuvas frontais frias que, em geral, possuem menor capacidade erosiva.

4.3.1 Dados de Precipitação na Área de Estudo Durante o Tempo Monitorado

O monitoramento local, apresentado na figura 20, mostra correspondência com médias verificadas na série histórica de abrangência microescala regional (figura 18). Outubro de 2018 apresentou as maiores chuvas no período monitorado com 255mm ficando acima da média dos últimos 29 anos e verificou-se que janeiro de 2019 apresentou valores inferiores se comparados com a média. O mês com menor chuva registrado foi julho com precipitação abaixo de 50mm.

Nos períodos analisados, tanto na série histórica quanto no monitoramento não foi verificado uma estação seca, entretanto, as precipitações totais ficaram abaixo da média da série histórica, com exceção do mês de outubro.

Figura 20. Monitoramento das precipitações totais mensais na área de estudo.



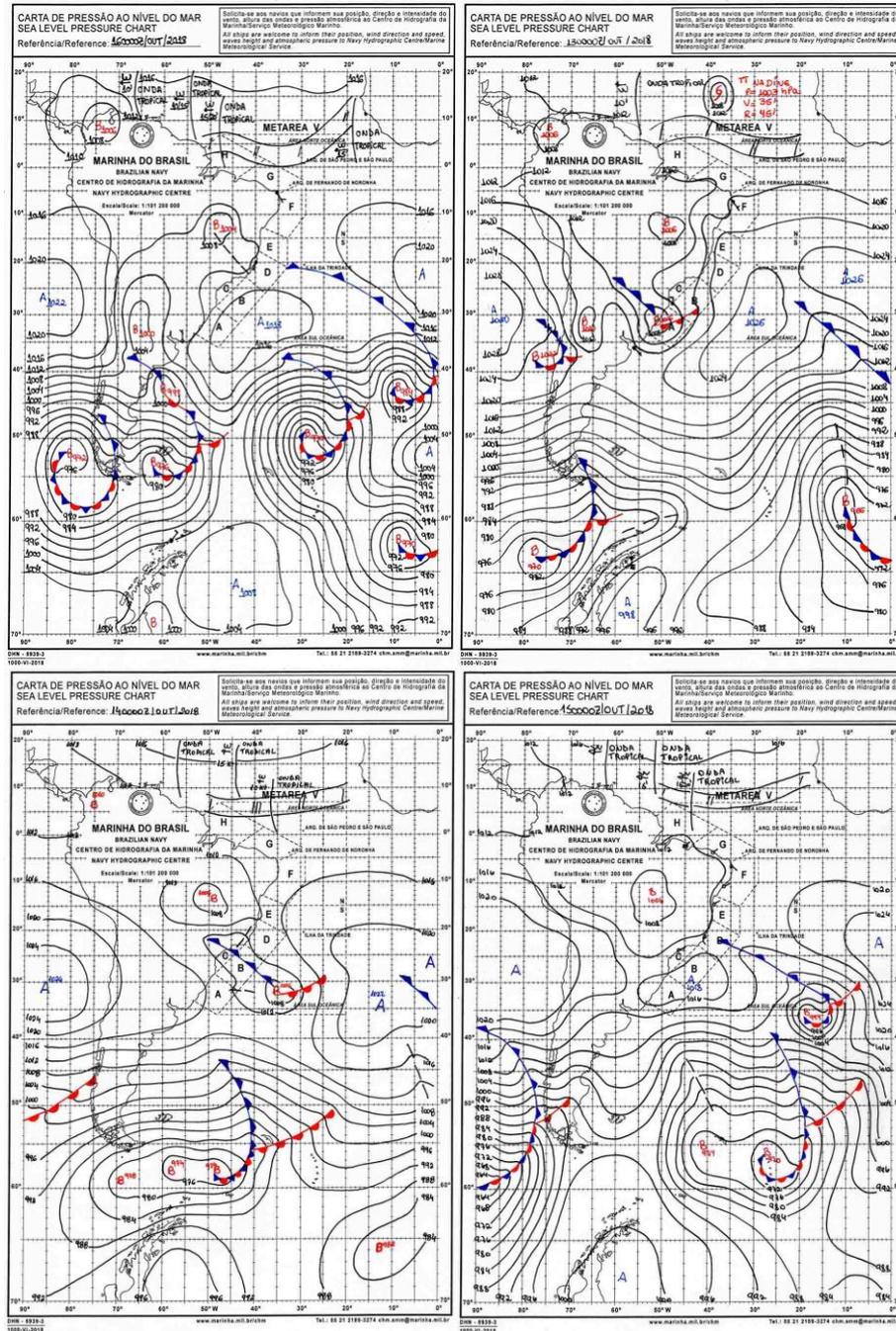
Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Nota: Monitoramento de precipitação de maio de 2018 a fevereiro de 2019.

Analisando as cartas sinóticas do mês de outubro de 2018, verificou-se que as chuvas originadas nesse período são do tipo frontal. A massa de ar polar adentrou no continente fortemente e encontrou uma massa de ar quente de origem continental que estava atuando no Brasil. Tal encontro provocou uma instabilidade, que ainda foi auxiliada por um sistema de alta pressão que encontrava-se no oceano aumentando a umidade do ar, originando nuvens de chuva.

A figura 21 apresenta as cartas sinóticas entre os dias 13 e 16 como exemplo, mostrando a atuação dos sistemas atmosféricos. Nestes dias verifica-se no oceano a formação de um cavado que aumentou a nebulosidade causando chuvas mais intensas no leste do Paraná.

Figura 21. Cartas sinópticas da América do Sul, para os dias 13 e 16/10/ 2018.



Fonte: INPE (2018).

Nos 4 dias apresentados na figura 15 de outubro houve uma instabilidade atmosférica com a chegada de uma frente fria causando chuvas com intensidades diferentes alimentado por um cavado que estava no oceano aumentando a nebulosidade (INPE, 2018). Neste período a chuva acumulada foi de 91,64 mm correspondendo a 35,93% do mês.

4.4. EROSIVIDADE DA CHUVA NA ÁREA DE ESTUDO

Os dados obtidos com o monitoramento permitiu que fossem calculados o índice de erosão em 30 minutos para a área de estudo. Esses dados estão exposto na tabela 7.

Tabela 7. Dados do monitoramento de chuvas com intensidade e índice de erosão no período de outubro de 2018 a fevereiro de 2019 na área de estudo.

Mês	Dia	Precipitação (mm)	Duração (h)	Intensidade (mm/h)	EI 30 (MJ/ha mm)	EI 30 total mensal
Outubro	14	34,55	4	8,64	14,76225	52,91155
	15	10,92	2,5	4,37	4,077462	
	18	14,98	3,5	4,28	5,899004	
	23	36,58	1	36,58	18,99256	
	24	11,44	4,5	2,54	3,972761	
	26	13,21	2	6,60	5,207501	
Novembro	03	25,4	1,5	16,93	12,17355	19,80962
	18	10,92	2,5	4,37	3,98752	
	24	11,44	4,5	2,54	3,648544	
Dezembro	03	10,17	1,5	6,78	4,028778	28,46389
	15	20,06	1	20,06	9,336755	
	22	12,7	1	12,7	5,482674	
	23	10,92	0,5	21,84	5,152422	
	27	10,67	1	10,67	4,463259	
Janeiro	04	20,07	2,5	8,03	8,511069	34,30956
	05	19,82	4,5	4,40	7,769381	
	19	25,66	1	25,66	12,43702	
	23	13,21	1,5	8,81	5,592097	
Fevereiro	15	28,44	7,5	3,80	10,14611	34,45047
	16	22,62	6,5	3,48	8,185575	
	25	21,59	3,5	6,17	9,183873	
	27	19,58	6,5	3,01	6,934903	

Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Nota: Dias de chuva consideradas erosivas superiores a 10mm.

O mês de outubro teve o maior EI_{30} em relação aos demais com valores de 52,91MJ/ha.mm. A maior intensidade de chuva encontrado foi no dia 23 com 36,58mm/h. No mês novembro foi encontrado o menor EI_{30} com valor de 19,08MJ/ha.mm, o dia 03 registrou uma intensidade de 16,93mm/h. O mês de dezembro teve Ei_{30} de 28,46MJ/ha.mm com intensidade maior no dia 23 com 21,84 mm/h. Janeiro e fevereiro tiveram valores de EI_{30} parecidos com valores pouco maiores que 34 MJ/ha.mm, com chuvas de intensidades maiores e mais erosivas

nos dias 19 de janeiro e 25 de fevereiro com valores de 25,66 e 6,17mm/h respectivamente.

4.5. PROCESSOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS NA VERTENTE

4.5.1. Perda de Solos e Água na Vertente

As chuvas no período analisado mostram que suas intensidades e erosividade não foram suficientes para causar perda de solos e escoamento superficial relevantes. Observando a tabela 8 percebe-se que as taxas de escoamento na P1 ficaram abaixo de 0,5L/m² em todo o período analisado, o mesmo comportamento é observado na P3. Já a P2 apresenta uma taxa de escoamento maior se comparadas com as duas, principalmente no mês de outubro.

Tabela 8. Perda de materiais nas parcelas analisadas na vertente de estudo.

Parcelas	Escoamento (L/m ²)			Perda de solo total (g/m ²) ⁴			Relação Escoamento/Precipitação (%)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
06/out	0,00	40,7	0,00	0,0	203,5	0,000	0,0	18,8	0,0
11/out	0,00	2,5	0,00	0,0	8,4	0,000	0,0	20,0	0,0
18/out	0,01	111,9	0,00	0,0	55,9	0,000	0,1	33,1	0,0
26/out	0,05	196,0	0,02	0,5	98,0	0,007	0,8	32,7	0,3
08/nov	0,40	3,9	0,00	6,4	9,6	0,000	15,8	15,7	0,0
18/nov	0,02	0,6	0,02	0,0	2,3	0,001	1,7	22,9	1,7
27/nov	0,00	0,0	0,01	0,0	0,5	0,000	0,0	0,3	0,5
05/dez	0,01	0,1	0,01	0,0	3,5	0,000	0,5	2,0	0,6
18/dez	0,25	12,7	0,01	3,2	13,4	0,000	12,5	47,4	0,3
21/dez	0,01	0,1	0,00	0,0	0,7	0,000	1,3	27,0	0,0
23/jan	0,02	44,9	0,05	0,5	22,5	0,006	5,2	51,5	1,2
04/fev	0,00	4,6	0,00	0,0	2,4	0,000	0,0	61,8	0,0
28/fev	0,03	0,9	0,04	0,0	0,2	0,006	0,7	92,6	1,6

Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Nota: Os dados referem-se aos dias de coleta de sedimentos e de material escoado.

Em relação a perda de solo os resultados evidenciam que a P2 teve um comportamento diferente das demais parcelas, apresentando os maiores valores de

⁴ Devido às diferenças de solos na vertente e a instalação de uma parcela para cada segmento, optou-se por não converter as perdas em hectares, evitando uma generalização nas perdas do solo.

perda de solos, destacando-se o mês de outubro com total de 365,8 g/m². Em P1 e P3 as perdas de solo não foram relevantes, tendo em vista que 69% dos eventos erosivos não geraram perdas de solos.

A relação entre o escoamento e precipitação mostra que a P2 apresenta valores superiores à P1 e P3. Verifica-se que no evento do dia 6 de outubro a taxa de escoamento foi de 18,8% gerando a maior perda de solo no período monitorado que foi de 203,5 g/m². Em contrapartida a maior taxa de escoamento registrado foi em 28 de fevereiro de 2019 com 92,3%, mesmo assim a perda de solo não foi considerável devido ao volume de chuva ser pequeno.

Tais resultados mostram que as perdas de solo e água são baixas, típicas de florestas. Swanston (1991) relata que em áreas onde há florestas geralmente os solos são inalterados por processos erosivos. Em estudos no Paraná, na metade do século XX, Maack (2012) alertava que a retirada da vegetação natural aliada com precipitação e as litologias, estavam causando sérios problemas ambientais, principalmente perdas de solos férteis, e que futuramente as áreas do noroeste do estado poderia se tornar inabitáveis. Zolin et al (2016) que verificaram a baixa perda de solo em áreas florestadas tendo o potencial da floresta em minimizar a erosão hídrica quando comparados a cultivos agrícolas.

Borrelli et.al (2017) avaliaram as perdas de solos em áreas florestadas na Itália e identificaram que as taxas de perdas de solos são baixas devido a cobertura vegetal. Em áreas onde a vegetação foi retirada as taxas de perdas de solos aumentaram em 37%, sendo os doze primeiros meses o período mais crítico e que as perdas por erosão diminuem a partir do terceiro ano de retirada.

Uma vez essa cobertura retirada, o solo fica exposto às mudanças sob os aspectos de umidade, matéria orgânica e nutriente. Acrescenta-se a exposição à irradiação solar que pode retirar umidade das camadas mais superficiais do solo, através da evaporação, altera a massa de carbono do solo, que é essencial para estrutura de agregados, interferindo, portanto, na sua estrutura e nos fluxos superficiais (BORRELLI et al., 2017).

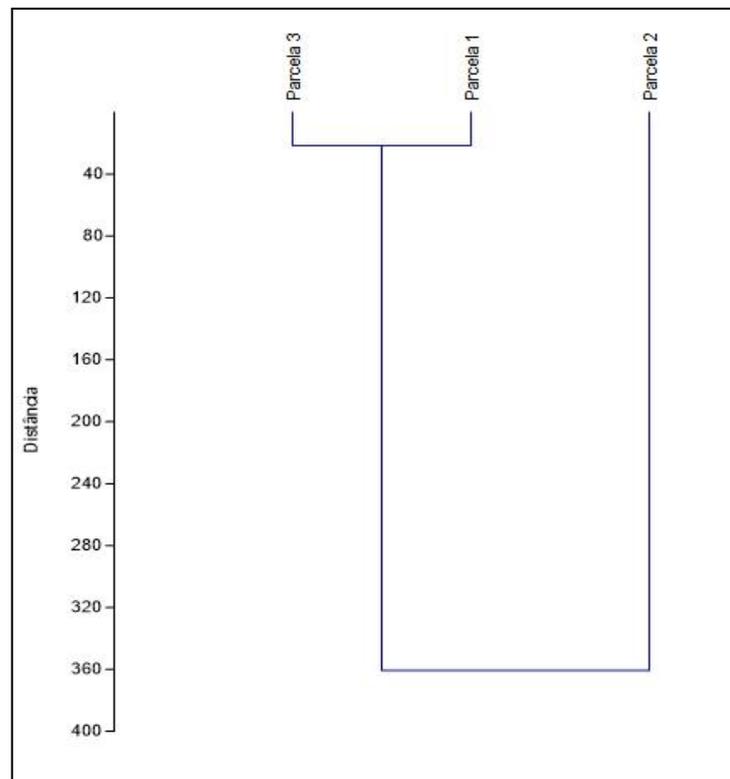
A exposição do solo pela retirada da vegetação e sua desestruturação nas camadas superficiais podem levar a uma intensificação dos processos erosivos e uma consequente dificuldade na regeneração da cobertura do solo daquelas áreas devastadas.

Na vertente estudada encontra-se erosão do tipo laminar excetuando as estradas que concentram os fluxos superficiais causando erosão do tipo linear.

A compreensão deste sistema relevo-solo implica em interpretação das propriedades hidrológicas das vertentes, no entendimento dos atributos físico-químicos e mineralógica dos solos. Todas essas relações influenciam diretamente na erodibilidade dos solos e das vertentes.

Os processos de perdas nas parcelas podem ser relacionados através de uma análise de agrupamento que demonstram suas similaridades, como se apresenta no dendograma da figura 22.

Figura 22. Análise de agrupamento da perda de solo, em parcelas de *runoff*, para a vertente de estudo.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

O dendrograma mostra que a parcela P1 e a P3 apresentam características semelhantes em relação a perda de solos e água, e que ambas possuem um comportamento extremamente distintas da P2, observada pela distância do segundo agrupamento.

Alguns fatores justificam esse fenômeno. O primeiro está relacionado com a situação de cada uma delas na vertente. A P1 está localizada no terço superior da vertente, onde há a presença de uma vegetação bem desenvolvida com

aproximadamente 20 metros altura. Neste local verificou-se na parede da parcela marcas do efeito *splash*, que podem estar relacionadas com a interceptação das gotas de chuva pela cobertura vegetal.

A P2 localizada no terço médio da vertente apresenta o solo exposto e por isso a deixa sujeita aos impactos diretos das gotas da chuva. Do mesmo modo, na P3 localizada no terço médio inferior, possui uma vegetação arbustiva esparsa com aproximadamente 3 metros de altura.

4.5.2 Propriedades Físicas do Solo nas Parcelas

Outra explicação para a baixa perda de solos é em relação as propriedades físicas do topo do solo. A densidade aliada com a boa estabilidade do solo mostram que os solos são pouco susceptíveis à erosão, conforme tabela 9.

De acordo com Salton et al (2012), os valores de índice de estabilidade mais próximos da sua unidade, indicam solos com maior resistência à erosão. Neste caso os valores próximo a 1 mostram que os solos possuem alta estabilidade e portanto, maior resistência à erosão.

Tabela 9. Parâmetros da estabilidade dos agregados nas parcelas de *runoff*.

	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
Diâmetro médio ponderado	4,11	4,90	3,03
Via seca			
Diâmetro médio ponderado	3,97	4,23	2,62
Via úmida			
Índice de estabilidade	0,97	0,86	0,88
Desvio padrão	0,06	0,06	0,12
Coefficiente de variação	5,92	6,62	13,53
Correlação	P1-P2	P1-P3	P2-P3
	0,47	-0,68	-0,97

Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Nota: média de três repetições

Os resultados obtidos entre as P1 e P2 mostram que a correlação entre elas é baixa. Entre a P1 e a P3 os dados obtidos mostram uma correlação negativa, o que demonstra que as mesmas são diferentes. Já os valores obtidos entre a P2 e a P3 existe uma forte correlação negativa, demonstrando que elas não possuem similaridades.

Os resultados obtidos se assemelham àqueles de Cunha Neto et al (2018) que constataram a alta estabilidade de agregados em florestas naturais e cultivadas e destacaram o papel dos resíduos vegetais na agregação do solo.

Esses resultados podem ser explicados pelas diferenças das propriedades físico-químicas de solos. Na tabela 10 é apresentada a correlação entre as variáveis índice de estabilidade de agregados com matéria orgânica, densidade do solo, porosidade e grau de flocculação.

Tabela 10. Correlação dos dados de estabilidade de agregados e variáveis físicas dos solos amostrados na vertente.

Índice de estabilidade de agregados	Matéria orgânica	Densidade do Solo	Porosidade	Grau de flocculação
Parcela 1	-0,09	-0,09	0,09	0,27
Parcela 2	0,92	0,92	-0,92	0,26
Parcela 3	0,80	-0,80	0,80	0,26

Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Na P1 os dados apresentados mostram que entre a estabilidade de agregados e as outras variáveis a correlação é fraca, ou seja, a estabilidade de agregados não está relacionada à matéria orgânica, nem à densidade do solo tampouco com a porosidade e grau de flocculação.

Os dados da P2 mostram uma situação diferente da primeira parcela, existe uma forte correlação positiva da estabilidade de agregados com a matéria orgânica e densidade do solo com exceção do grau de flocculação que a correlação é fraca. Em relação a porosidade existe uma forte correlação negativa da estabilidade com a porosidade.

Na P3 existe uma forte correlação positiva entre as variáveis estabilidade de agregados com a matéria orgânica e porosidade. Em relação a estabilidade e densidade existe correlação forte, porém negativa.

Considerando a correlação entre a estabilidade e grau de flocculação verifica-se que os valores não possuem uma dependência considerável.

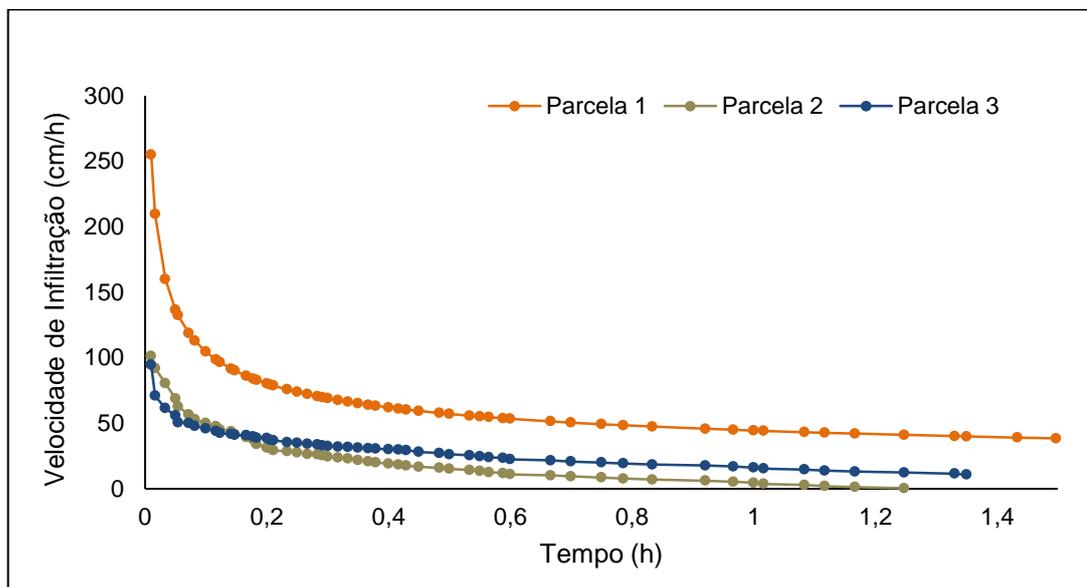
4.5.3 Infiltração da Água nos Solos

A figura 23 apresenta os resultados obtidos dos testes de infiltração realizados no terço superior (P1), terço médio (P2) e terço médio inferior (P3). Os testes de infiltração de água no solo foram realizados em novembro de 2017 antes

da instalação das parcelas e da classificação dos solos. Como se observou anteriormente, as chuvas no mês de outubro são volumosas e mais intensas, dessa forma esperou-se um período de 72 horas para a realização dos testes.

Desta forma, verificou-se que quando a velocidade de infiltração torna-se constante é atingido a saturação do solo, sendo considerado como a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}). Esta condição não é afetada pela umidade anterior do solo, pois, trata-se do ponto de máxima capacidade do solo em armazenar água.

Figura 23. Velocidade de infiltração da água nos solos nas parcelas de *runoff*.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Na P1 a velocidade constante calculada foi $47,8 \text{ cm.h}^{-1}$, com a estabilidade de infiltração ocorrida próximo ao tempo de 50 minutos com total de água infiltrada acumulada de $2,90 \text{ m}^3$. Na P2 a velocidade calculada foi de $29,6 \text{ cm.h}^{-1}$, alcançando a estabilidade da infiltração próximo aos 50 minutos de observação com total de infiltração acumulada de $0,57 \text{ m}^3$. Na P3 a velocidade calculada foi de $33,8 \text{ cm.h}^{-1}$ com total de infiltração acumulada de $0,73 \text{ m}^3$.

Percebeu-se que a velocidade de infiltração foi maior em P1 e que o tempo gasto para atingir a saturação foi maior, demonstrando uma boa capacidade de drenagem que certamente é favorecida pela estrutura granular pequena, textura muito argilosa, baixa densidade do solo, de acordo com as características presentes na tabela 11, e pela presença de raízes que alcançam todo o perfil observado.

Tabela 11. Dados de umidade antecedente ao experimento em relação à argila e densidade do solo.

	Estrutura	U pré experimento (%)	U pós experimento (%)	Densidade do solo (g cm ⁻³)	Teor de argila g/kg
P1	Moderada granular pequena	27,75	42,46	0,94	561,74
P2	Moderada granular média	16,68	61,02	1,19	432,55
P3	Moderada granular média	21,44	50,6	1,08	470,54

Fonte: Carneiro, M.M (2019).

A menor velocidade de infiltração foi encontrada na P2, mesmo considerando que a infiltração foi alta, verifica-se que precisou de um tempo menor para que o solo alcançasse a saturação. A explicação dessa possível maior velocidade pode estar ligada ao fato de que apresenta a menor concentração de argila, proximidade com o saprólito ou também, pela presença de fragmentos rochosos (quartzos) abaixo de 1,70m de profundidade.

O experimento foi realizado próximo a trincheira e possibilitou a verificação da movimentação de água no solo - embora tenha criado uma zona de alívio - que escoava subsuperficialmente no sentido da declividade quando encontra o saprólito.

A velocidade de infiltração na P3 possui valores pouco superiores em relação a P2, mesmo apresentando características pedológicas semelhantes, percebe-se que o movimento da água é melhor na P3, esses valores se justificam pelo aumento de argila e menor densidade do solo em relação a P2.

Os resultados de infiltração na Flona podem ser relacionados com o mesmo encontrado por Santos et al. (2018). Os autores demonstraram que as relações entre floresta natural e plantio de *Pinus* além dos atributos físicos do solo, como macro e bioporos, possuem correlação positiva com as taxas de infiltração.

As taxas encontradas neste estudo mostram que as condições físicas do solo em conjunto com áreas de florestas configuram zonas de recarga hídricas, principalmente aquelas situadas em áreas de topos. Lin (2017) encontrou relação entre o movimento de água no topo com o escoamento subsuperficial. Tal movimento é responsável pelo armazenamento da água e que este alimenta o lençol freático.

Os usos do solo na vertente contribuíram para que ocorresse altas taxas de infiltração, assim como encontrados por Antoneli e Thomaz (2009) e Zaluski e Antoneli (2014), já que a cobertura florestal fornece matéria orgânica para estruturação de agregados e organização do espaço poroso e também direciona os fluxos no sentido das raízes.

Verificou-se, em acordo com Mellek et al. (2014), que a infiltração foi alcançada mais rapidamente nos trechos inferiores da vertente, mesmo que a estrutura nos três perfis sejam similares, indicando que eventos de alta pluviosidade podem ter consequências mais significativas ao escoamento superficial nestes segmentos.

Após o corte raso realizado em 2015, muito da estrutura superficial foi alterada em função da logística de retirada de troncos e trânsito de maquinários, percebe-se que há compactação deste solo, fato confirmado com os resultados de densidade. Com a abertura da trincheira verificou-se em uma das paredes caminhos preferenciais de água em subsuperfície figura 24 os quais são provenientes do apodrecimento de raízes.

Figura 24. Poros gerados por raízes de Pinus, em Cambissolo Háplico, no terço médio da vertente de estudo.



Fonte: Carneiro, M.M (2019).

Este fato pode acarretar em instabilidade da vertente como foi discutido por Samonil et al (2017) que verificaram que as árvores mortas têm efeitos biomecânicos significativos nos processos de denudação, pelo deslocamento de massa de solo, preenchimento dos espaços vazios e espessamento do regolito.

CAPÍTULO 5- CONCLUSÕES

A partir dos objetivos propostos pode-se concluir que:

- As chuvas do período monitorado foram consideradas abaixo da média que aquelas da série histórica de 1989 a 2018, exceto o mês de outubro.
- As chuvas que foram classificadas como erosivas e que causaram maior perda de solo e escoamento foram frontais originadas pela passagem de frente fria.
- As taxas de infiltração mostram que os solos possuem boa drenagem e que esta área apresentam características de área de recarga hídrica.
- As perdas de solo nas três parcelas foram consideradas baixas, em acordo com os referenciais de literatura.
- P2 tem comportamento diferente de P1 e P3 em relação às perdas de solo e escoamento. Ressalta-se que P1 teve a vegetação regenerada durante o monitoramento, enquanto P2 e P3 permaneceram sem vegetação.

No entanto, P1 e P3 tiveram a proteção lateral de vizinhança arbórea. Neste sentido, observou-se que P1 manteve maior umidade já que a vegetação contribuiu para evitar a insolação direta.

Na P2 não existe vegetação arbórea no entorno imediato o que faz com que a insolação seja direta. Acredita-se que desta forma a umidade do solo seja perdida mais rapidamente por evaporação, dificultando o crescimento vegetal.

- P1, P2 e P3 possuem alta estabilidade de agregados, indicando solos pouco erodíveis. A estabilidade de P1 pode estar relacionada a argila e aos óxidos de ferro (carece análise de teor de óxidos) e menor relação com a matéria orgânica, densidade do solo e porosidade total.

A estabilidade de P2 está relacionada a matéria orgânica e a densidade do solo. Em relação a porosidade observa-se um relação inversa. Assim acredita-se que estabilidade esteja relacionada a compactação devido ao transito de maquinários em 2015, haja visto o maior escoamento superficial entre as três parcelas.

P3 tem comportamento inverso de P2. A estabilidade está relacionada a baixa densidade que favorece a alta porosidade e aumenta a infiltração e, portanto, diminui o escoamento superficial.

- A vertente apresentou diferentes tipos de solos, sendo o principal fator de formação a forma do relevo. Sendo assim, considera-se que o sistema pedológico é típico de

vertentes convexas cujo Latossolo aparece no terço superior, Cambissolos no terço médio e Gleissolos no terço inferior.

- O corte da estrada favoreceu a exposição do saprólito no terço médio da vertente e em período chuvosos há exfiltração, demonstrando que os fluxos subsuperficiais estão em direção à concavidade.
- A umidade na concavidade é mantida através dos fluxos subsuperficiais e não pelo lençol freático, uma vez que a exfiltração é efêmera.
- Acredita-se que a concavidade no terço médio está ligada a um controle estrutural que pode ter ocasionado seu rebaixamento.
- O Gleissolo Melânico encontrado na concavidade localizada no terço médio indica que a área é típica de solos hidromórficos, portanto, a configura como uma área de nascente.
- A vegetação encontra dificuldade de regeneração em P2 e P3 que pode ser explicado pelas características químicas do solo. A acidez elevada e baixa fertilidade não permite que algumas espécies de estágios avançados de regeneração se desenvolvam.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de estudo apresenta grande relevância para os estudos da relação de uso e manejo do solo, bem como para introduzir práticas de conservação ambiental. Muitos estudos de conservação da natureza mantêm uma tendência a valorizar questões relativas à biodiversidade, priorizando fauna e flora. Contrariamente, este trabalho de pesquisa reconhece a importância essencial da conservação do solo-água, enquanto recurso hídrico. Seja a água enquanto elemento componente do sistema pedológico, seja como recurso natural cujos usos prioritários são o abastecimento humano, a dessedentação animal e a produção de alimentos.

A dinâmica hidrogeomorfo-pedológica na vertente é fundamental para evolução deste sistema pedológico. A circulação dentro do solo disponibiliza água à vegetação e interfere na sua distribuição espacial, sendo, portanto, fundamentais para a manutenção da floresta.

Acrescenta-se que a água e solo da Flona exercem função social para o abastecimento hídrico da população do entorno, por isso sua conservação é primordial.

A área onde foi encontrado o Gleissolo Melânico, se caracteriza como nascente, tanto pela presença deste solo como pela sua topografia. Recomenda-se que dentro da concavidade sejam manejadas espécies de vegetação tolerantes à água, visto que em períodos chuvosos a área fica encharcada. Tal área deve ser envolvida em programas de recuperação de nascentes, pois acredita-se que tal nascente tem papel fundamental para o armazenamento de água do lençol freático.

A diversidade de classes de solo na vertente a torna interessante para uso público voltado a educação ambiental e estudos das geociências.

Quanto aos resultados da pesquisa, recomenda-se que em estudos futuros sejam avaliadas a interceptação pela vegetação, que não foi possível por motivos operacionais e humanos.

Seria importante que se conheçam os teores de óxidos e se avaliem o seu papel na agregação do solo e na estabilidade frente aos processos erosivos. Outro aspecto seria em relação a compactação do solo e resistência à penetração que poderiam indicar relações com a estabilidade de agregados.

REFERÊNCIAS

ÁGUAS PARANÁ. Instituto das Águas do Paraná. Sistemas de Informações Hidrológicas. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=264>. Acesso 26 de agosto de 2018.

ANGULO-MARTÍNEZ, M. et al. Splash erosion natural rainfall on three soil types in NE Spain. **Geomorphology**. p. 38-44, 2012.

ANTONELI, Valdemir; THOMAZ, Edivaldo Lopes. Comparação de infiltração de água no solo mensurada em período seco e úmido, em diferentes usos da terra na bacia do arroio Boa Vista, Guamiranga, Paraná. **Ambiência**, v. 5, n. 2, p. 301-318, 2009.

ANTONELI, V; BEDNARZ, J.A. Métodos e Técnicas Aplicadas em Variáveis Hidrogeomorfológicas. In: Chimin Junior, A.L; Freitas, A.R. **Tecnologias Geográficas: o uso de diferentes metodologias na produção do conhecimento geográfico**. Ed. CRV. Curitiba, Brasil, p. 153-174, 2016.

BARROS, K.F. Conectividade estrutural e funcional da paisagem da Floresta Nacional de Piraí do Sul e entorno, Paraná, Brasil. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2015.

BARROS, K. F.; MORO, R. S. Conectividade estrutural entre a Floresta Nacional de Piraí do Sul e seu entorno, Paraná, Brasil. **Geoingá**, v. 07, n. 01, p. 210-233, 2015.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Ed.Ícone. 9ª edição. Piracicaba, São Paulo, 2008.

BIGARELLA, J.J. **Visão integrada da problemática da erosão**. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Associação de Defesa e Educação Ambiental em Maringá, Paraná, 1985.

BOCQUIER, G. Genesé et évolution de deux topo séquences de sols tropicaux du tshad: interprétation biogéodynamique. Paris: ORSTON. N. 62. 1973.

BORRELLI, P. et al. Assessment of the impacts of the clear-cutting on soil loss by water erosion in Italian forests: First comprehensive monitoring and modelling approach. **Catena**. N.149, p.770-781, 2017.

BOULET, R. et al. Analyse structurale et cartographie en pédologie. **Série Pédol**. V. 19, n.4, p. 309-351, 1982.

BOULET, R. et al. Géochimie des paysages: Le rôle des couvertures pédologiques. Sédimentologie et Géochimie de la Surface – à la mémoire, 1993.

BOULET, R.; CHAVEL, R.; LUCAS, Y. Les Systemes de Transformation em Pedologie. **Livre Jubilaire du Cinquantenaire**.p.67–179.1982.

BRADY, N.; WEIL, R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradução Igo Fernando Lepesh, 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRASIL. Decreto de 2 de junho de 2004, da criação da Floresta Nacional de Pirai do Sul. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Dnn/Dnn10197.htm>. Acesso em 25 de maio de 2017.

CHRISTOFOLETI, A. **Geomorfologia**. 13ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

COUTINHO, J.M.V. Geologia e Petrologia da Região de Pirai do Sul, Paraná. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**. v. 4, n.1, 1955.

COUTINHO, F.S; PEREIRA, M.G; MENEZES, C.E.G; GUARESCHI, R.F; ASSUNÇÃO, S.A. Atributos Edáficos em Áreas de Agricultura, Pastagem e Três Estágios Sucessionais de Floresta. **Floresta e Ambiente**. n.24, 2017.

CUNHA, J.E. et al. Escoamento superficial e perdas de solos por erosão hídrica em uma topossequência sobre o arenito Caiuá no Noroeste do estado do Paraná. **Boletim Geográfico de Maringá**. v. 34, n.1, p. 141-153, 2016.

CUNHA NETO, F. V. et al. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba – MG. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 13-24, jan. - mar. 2018

DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. A hypothetical nine unit landsurface model. *Geomorphology*, Amsterdam, v. 12, n. 1, p. 60-76, 1968

DOKUCHAEV, V.V. **Russian chernozem**. Traduzido para o inglês por Izbrannye Sochinenya. v. 1. Jerusalém, 1967.

DYLIK, J. Notion du versant an Geomorphologie. **Bull. de l' Acad Polonaise des Sciences**. V16 n 2 pag. 125-132. 1968.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 2017.

FERREIRA, M. M. **Caracterização física do solo**. In: JONG VAN LIER, Quirijn de. Física do Solo. 1ª edição. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 1-27.

GUIMARÃES, G. B. As rochas granitoides do Complexo Granítico Cunhaporanga, Paraná: aspectos geológicos, geofísicos, geoquímicos e mineralógicos. F.337. Tese de doutorado (Mineralogia e Petrologia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

GUIMARÃES, G. B. O Complexo Granítico Cunhaporanga na região de Joaquim Murtinho, Pirai do Sul (PR): Caracterização faciológica das rochas granitoides.

F.144. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

HARDEN, C. P.; SCRUGGS, P. D. Infiltration on mountain slopes: a comparison of three environments. **Geomorphology**. N.55, p. 5-24, 2003.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic, 771. 1998.

HORTON, R. E. Hydrologic Interrelations of Water and Soils. Proceedings of the Soil Science Society of America. v 1, p.401-429, 1937.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Diagnóstico Socioambiental da Floresta Nacional de Piraí do Sul. Plano de Manejo vol.1. Piraí do Sul, 2016.

INSTITUTO DE TERRAS CARTOGRAFIA E GEOLOGIA. Fotografias aéreas. Escala 1:25000. Ano 1980. Disponível em: <http://www.geo.pr.gov.br/ms4/itcg/geo.html>. Acesso em 02 de julho de 2017 às 19h38min.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO E SOCIAL. Caderno estatístico – município de Piraí do Sul. Junho de 2018. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/montacadpdf1php?municipio=84240>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Disponível em ><http://tempo.cptec.inpe.br/cartas.php?tipo=Superficie>> acessado em 22 de novembro de 2018.

JIANHUA, X e NANSHAN, A. On the dynamic mechanism of erosion process. **International Journal of Sediment Research**. Vol.7. p. 15-26 1992.

KOSTIAKOV, A.N. On the dynamics of the coefficient of water – percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation. **Society of Soil Science**. v.14, p.17-21, Moscou, 1932.

KUTÍLEK, M; NIELSEN, D.R. Interdisciplinarity of hydropedology. **Science Direct Geoderma**. V.138, p.252-260, 2007.

LIN, H. Hydropedology: bridging disciplines, scales, and data. **Vadose Zone Journal**. V.2, p.1–11, 2003.

LIN, H; BROOKS, E; Mc DANIEL, P; BOLL, J. Hydropedology and Surface/Subsurface Runoff Processes. **Encyclopedia of Hydrological Sciences**. John Wiley & Sons, Ltd. p.1-25, 2008.

LIN, H. Earth's Critical Zone and hydropedology: concepts, characteristics, and advances. **Hydrology and Earth System Sciences**. n° 14, p.25-45, 2010.

LIN, H. Hydropedology: Towards new insights into interactive pedologic and hydrologic processes across scales. **Journal of Hydrology**. n°406, p.141-145, 2011.

LOPES, J.C.V. **Fazendas e sítios de Castro e Carambeí**. Curitiba: Torre de Papel. 2004. 510p.

LOPES JR, I. et al. Projeto Leste do Paraná. Folha Piraí do Sul – SG22-X-A-VI – Relatório Final Geologia. Volume 1. São Paulo: CPRM, 1977. P. 114

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 4ª edição. Ponta Grossa: editora UEPG 526 p, 2012.

MELLEK, J. E; RIZZI, N. E; RIBEIRO, J. C; CORDEIRO, C. R. R; ANDRADE, E. R. Velocidade de infiltração da água em cambissolos de textura argilosa sob Floresta Ombrófila Mista. **Enciclopédia Biosfera**. v. 10, n. 19, p. 1923-1938, 2014.

MELLO, C. R; CURTI, N. Hydropedology. **Ciência e Agrotecnologia**. v.36, n.2. p. 137-146. Lavras, 2012.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African soils. **Soil Research**. v. 4, n.3, p. 183-198, 1935.

MINERAIS DO PARANÁ. **Atlas geomorfológico do estado do Paraná escala 1:250.000 modelos reduzidos Minerais do Paraná**. 1ª edição. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006.

MINEROPAR. **Atlas Geológico do Estado do Paraná**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005.

MINOSSO, J.; ANTONELI, V.; FREITAS, A.R. Variabilidade sazonal da infiltração de água no solo em diferentes tipos de uso na região Sudeste do Paraná. **Geographia Meridionalis**, v.3, n.01, p. 86-103, 2017.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. 3ª edition. Blackwell publishing. Oxford, UK, p.303, 2005.

MUNSELL, C. **Musell Color Charts**. US GOV. Print Office. Washington, DC, 2009.

POTTER, R.O. et.al. Caracterização dos solos do município de Piraí do Sul, PR. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**. Embrapa. Rio de Janeiro, 2003.

QUEIROZ NETO, J.P. Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**. n.15, p.77-90, 2002.

QUEIROZ NETO, J.P. Relações entre as vertentes e os solos: revisão de conceitos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V.12, n.3, p.15-24, 2011.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera**. 1ª edição. Barueri-SP: Monole, 2004.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos Geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia/FFLCH/USP**, n.º 6, 17-29, 1992.

ROSOLEN, V. Pedogênese-Morfogênese em uma topossequência representativa da paisagem SW da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V.13, n.1, p.85-91, 2012.

RUHE R. Hillslope models and soil formation: I. Open systems,” in **Proceedings of the Transactions of the 9th International Congress on Soil Science**, vol. 4, pp. 551–560, 1968.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. **Regards sur le sol**. Paris: Les Éditions Foucher, 1993, p.192

SALTON, J.C; SILVA, W.M; TOMAZI, M; HERNANI, L.C; Determinação da agregação do solo - Metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste. **Comunicado Técnico,184**. EMBRAPA, 2012.

ŠAMONIL, P. et al. Breakage or uprooting: How tree death type affects hillslope processes in old-growth temperate forests. **Geomorphology**. n. 299, p. 76-84, 2017.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. Revista e ampliada. Brasília: EMBRAPA. 353 p, 2013.

SANTOS, K.F. et al. Study of soil physical properties and water infiltration rates in different types of land use. **Revista Semina: Ciências Agrárias**. V. 39, n.1 p.87-98, 2018.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 7ª edição. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SCHEIDEGGER, A. E. Hidrogeomorphology. **Journal of Hydrology**. v.20, p. 193-215, 1973.

SCHOENEBERGER, P. J; WYSOCKI, D. A. Hydrology of soils and deep regolith: A nexus between soil geography, ecosystems and land management. **Geoderma**, v. 126, p. 117–128, 2005.

SELBY, M. J. Slopes and weathering. In: GREGORY, K. J.; WALLING, D.E. **Human Activity and Environmental Process**. Chapter 8, p. 183-205, UK: Jhon Wiley, 1987.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Estadual do Paraná. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS-Nepar, 2017, p. 482.

STRAHLER, A. N. **Physical Geography**. 3ª edition. Nova York: John Wiley, 1951.

SWANSTON, D.N. Natural Processes. In: Meehan,W.R. (Ed.), Influences of Forest and Rangeland Management on Salmonid Fishes and Their Habitat: Special Publication 19. Bethesda, American Fisheries Society, Bethesda, p. 139–180, 1991.

THOMAZ, E. L.; ROSS, J.L.S. Processos hidrogeomorfológicos em vertente com solos argilosos rasos em Guarapuava-PR, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano.7, n.2, p.23-38, 2006.

TRICART, J. As relações entre a morfogênese e a pedogênese. **Notícia Geomorfológica**. V.8, n.15, 1968.

VERVLOET, R.J.H.M. Dinâmica da cobertura pedológica, rupturas geométricas e hidrogeomorfologia em uma vertente de rocha granodiorítica. **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.2, N.4, p.343 – 355, 2012.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. A rainfall energy its relationship to soil loss. **Transaction American Geophysical Union**, Washington, v. 39, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting Rainfall Erosion Losses: a guide to conservation planning**. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook, nº 537, 1978.

ZALUSKI, P; ANTONELI, V. Variabilidade na Infiltração da Água no Solo em área de Cultivo de Tabaco na Região Centro-Sul do Paraná. **Caderno de Geografia**. v. 23, n. 41, p. 34-47, 2014.

ZOLIN, C.A; PAULINO, J; MATOS, E. S; MAGALHÃES, C.A.S; ALMEIDA, F.T; SOUZA, A.P; MINGOTI, R. Perda de solo e água sob integração lavoura-floresta e em sucessão soja-milho. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.51, n.9, p.1223-1230, 2016.