Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

FERNANDA SOTA SALOMÃO

EROSÃO LAMINAR E QUALIDADE DO SOLO EM DUAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS NO MUNICÍPIO DE ITAPEVI/SP: SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL

Sorocaba
2020

FERNANDA SOTA SALOMÃO

EROSÃO LAMINAR E QUALIDADE DO SOLO EM DUAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS NO MUNICÍPIO DE ITAPEVI/SP: SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva



Sorocaba
2020

S173e

Salomão, Fernanda Sota

Erosão laminar e qualidade do solo em duas sub-bacias hidrográficas no município de Itapevi/SP : subsídio ao planejamento territorial / Fernanda Sota Salomão. -- Bauru, 2020

176 f. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, Bauru

Orientador: Alexandre Marco da Silva

1. Erosão laminar. 2. Equação Universal de Perda de Solo. 3. Potencial Natural à Erosão. 4. Suscetibilidade. 5. Cobertura da terra. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE FERNANDA SOTA SALOMÃO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 24 dias do mês de julho do ano de 2020, às 09:00 horas, no(a) Via Sistema de videoconferência e outras ferramentas de comunicação a distância, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / Unesp - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Profª. Drª. THAÍS GUARDA PRADO AVANCINI do(a) Departamento de Engenharia / Centro Universitário FACENS, Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA do(a) Departamento de Engenharia de Pesca / Unesp - Câmpus de Registro, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de FERNANDA SOTA SALOMÃO, intitulada **EROSÃO LAMINAR E QUALIDADE DO SOLO EM DUAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS NO MUNICÍPIO DE ITAPEVI/SP: SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL.** Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Alexandre Marco da Silva
Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA

p/ Alexandre Marco da Silva
Profª. Drª. THAÍS GUARDA PRADO AVANCINI

p/ Alexandre Marco da Silva
Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela oportunidade de viver e trabalhar pelo que mais amo e acredito.

Aos meus pais, João e Rai, por todo apoio e valores fundamentais ensinados.

Ao meu orientador, Professor Dr. Alexandre Marco da Silva, por toda sua generosidade em transmitir seu conhecimento, e pela confiança em meu trabalho.

Ao biólogo Thiago Barroso da Silva pelo companheirismo diário, ensinamentos, paciência e apoio incondicional em todas as decisões da minha vida.

À bióloga Bruna Cianfa pela amizade de tanto tempo e pela ajuda durante as coletas de solo.

À colega Ana Clara Camargo pelo envolvimento e contribuições no projeto.

À técnica Suzan Lessa do laboratório de Águas e Solos da Unesp de Sorocaba por toda ajuda durante as longas horas de análises granulométricas.

Aos professores, Dr.ª Maria Lúcia Pereira Antunes e Dr. Sandro Donnini Mancini, pela concessão de uso do Laboratório NATEL (Unesp Sorocaba).

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UNESP e a todos os professores pelo grande aprendizado adquirido.

Ao “Teacher” Leonardo Costa pela revisão e contribuições no texto.

À CAPES, pela bolsa de mestrado concedida. ´

Ao município de Itapevi/SP, fundamental a minha evolução profissional e pessoal, e onde pude vivenciar e aprender na prática o real significado da engenharia ambiental.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre
aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

Erosão laminar e qualidade do solo em duas sub-bacias hidrográficas no município de Itapevi/SP: subsídio ao planejamento territorial

RESUMO - Do ponto de vista geológico, a erosão é um processo cíclico e inerente à formação dos solos, já que as perdas de massa causadas por agentes naturais, como a água e o vento, são continuamente compensadas pela alteração das rochas, o que garante a conservação do sistema. Entretanto, à medida que pressões antrópicas são exercidas sobre o relevo há um inevitável desequilíbrio dessa dinâmica, o que pode resultar na degradação dos solos e consequentemente induzir uma série de impactos ambientais associados a ela. Alterações da cobertura da terra, tipicamente iniciadas a partir da remoção de vegetação incidente sobre o solo, induzem e intensificam a ocorrência de erosão. Dentre os tipos de interferência comumente verificados no Brasil, o desenvolvimento de núcleos habitacionais periféricos aos centros urbanos pode se tornar indutor à degradação dos solos, principalmente porque tem como característica a ocupação não planejada de compartimentos frágeis do relevo, sobretudo do ponto de vista ambiental e geotécnico. Um exemplo desse cenário já se observa em parte significativa da bacia hidrográfica do Ribeirão Sapiantã, mais especificamente naquela correspondente ao município de Itapevi/SP. Devido à significativa cobertura vegetal presente na bacia e sua importância no amortecimento de cheias na cidade, o presente estudo visa investigar o potencial natural à erosão (PNE) e a influência das atuais formas de cobertura da terra sobre a ocorrência de processos erosivos laminares em duas de suas sub-bacias (B1 e B2). Para tanto, foram consideradas características referentes a atributos físico-químicos e granulométricos dos solos, a observação in loco de indicadores de erosão, bem como foram determinados cada um dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Os resultados obtidos indicam que B1 e B2 apresentam significativo PNE, e que as formas de cobertura da terra incidentes têm papel fundamental sobre sua suscetibilidade. Dessa forma, são propostas ao poder público municipal algumas medidas para prevenção de problemas associados a perdas de solo por erosão laminar, que possam resultar de um eventual cenário de avanço da expansão urbana não planejada na bacia do Ribeirão Sapiantã.

Palavras-chave: Erosão laminar, Equação Universal de Perda de Solo, Potencial Natural à Erosão, suscetibilidade, cobertura da terra.

Sheet erosion and soil quality in two hydrographic sub-basins in the municipality of Itapevi/SP: subsidy for territorial planning

ABSTRACT - From a geological standpoint, erosion is a cyclical process inherent in soil formation, since the alteration in the rock basement continually compensates in the mass losses caused by natural agents such as water and wind, which ensure the conservation of the system. However, as anthropic activities exert pressures on the relief there is an inevitable imbalance of this dynamic, which can result in soil degradation and consequently induce a series of environmental impacts associated with it. Land cover changes, typically initiated from the removal of incident vegetation on the ground, induce and intensify the occurrence of erosion. Among the types of interference commonly observed in Brazil, the development of residential areas on the outskirts of urban centers can become an inducer of soil degradation, mainly due to the unplanned occupation of fragile relief compartments, particularly from an environmental and geotechnical point of view. We observe this scenario in a significant part of the Ribeirão Sapiantã watershed, more specifically in the one corresponding to the municipality of Itapevi/SP. Due to the significant vegetation cover present in the watershed and its importance in the flood cushioning in the city, this study aims to investigate the Natural Potential Erosion (NPE) and the influence of current land cover on the occurrence of sheet erosive processes in two of its sub-basins (B1 and B2). Therefore, we considered characteristics related to soil physicochemical and particle size attributes, the on-site observation of erosion indicators, and each factor of the Universal Soil Loss Equation (USLE). The results obtained indicate that B1 and B2 have significant NPE and that the current land cover categories play a fundamental role in their susceptibility. In this way, we suggest some orientations to the municipal government to prevent problems associated with soil losses by sheet erosion, which may result from an eventual scenario of the advance of unplanned urban expansion in the Ribeirão Sapiantã watershed.

Keywords: Sheet erosion, Universal Soil Loss Equation, Natural Potential Erosion, susceptibility, land cover.

SUMÁRIO

1. Introdução e Justificativa..... 11

2. Hipótese e Objetivos..... 13

2.1. Hipótese..... 13

2.2. Objetivo geral..... 13

2.3. Objetivos específicos..... 13

3. Revisão Bibliográfica..... 14

3.1. O processo erosivo..... 14

3.1.1. Erosão laminar..... 15

3.2. Modelagem de perda de solo..... 17

3.2.1. Equação Universal de Perda de Solo – EUPS..... 20

3.3. Alterações na cobertura da terra e relação com o processo de degradação do solo..... 26

3.4. Indicadores da qualidade do solo e indicadores de erosão..... 29

3.5. Características morfométricas de bacias hidrográficas..... 32

4. Caracterização da Área de Estudo..... 34

4.1. Localização..... 34

4.2. Clima..... 35

4.3. Aspectos físicos: geologia, geomorfologia e solos..... 36

4.4. Vegetação..... 38

4.5. Uso e ocupação do solo..... 38

4.6. Processo histórico de ocupação de Itapevi..... 39

5. Procedimentos Metodológicos..... 42

5.1. Primeira etapa..... 44

5.2. Segunda etapa..... 44

5.2.1. Obtenção de dados secundários..... 44

5.2.2. Obtenção de dados primários..... 47

5.2.2.1. 1ª Fase: Definição dos pontos de amostragem..... 47

5.2.2.2. 2ª Fase: Coleta de amostras de solo..... 47

5.2.2.3. 3ª Fase: Avaliação de indicadores visuais de erosão..... 49

5.3. Terceira etapa..... 49

5.3.1. Elaboração da base de mapas temáticos por meio de SIG..... 49

5.3.1.1. Delimitação das sub-bacias B1 e B2..... 50

5.3.1.2. Mapa hipsométrico..... 51
5.3.1.3. Mapa de declividade..... 52
5.3.1.4. Rede hidrográfica detalhada..... 52
5.3.1.5. Mapa de cobertura da terra..... 53
5.3.1.6. Mapa de pontos de amostragem de solos..... 55
5.3.2. Manipulação de dados primários em laboratório..... 55
5.3.2.1. Determinação de atributos físico-químicos de interesse... 56
5.3.2.2. Análises granulométricas..... 59
5.3.2.3. Geração de mapa de classes texturais dos solos..... 63
5.3.2.4. Determinação do Fator Erodibilidade dos Solos (K)..... 64
5.3.2.5. Mapa temático do Fator K..... 64
5.4. Quarta etapa..... 65
5.4.1. Análises estatísticas..... 65
5.4.1.1. Estatística descritiva..... 66
5.4.1.2. Análise de variância - atributos do solo..... 66
5.4.1.3. Análise multivariada: análise de componentes principais (ACP) – atributos do solo e cobertura da terra..... 67
5.4.1.4. Associação entre cobertura da terra e atributo hidrofobicidade do solo..... 68
5.4.1.5. Estatística descritiva do Fator K e análise de variância com os tipos de cobertura da terra..... 69
5.4.1.6. Correlação entre atributos do solo e Fator K..... 69
5.4.1.7. Análise multivariada: análise de componentes principais (ACP) – atributos do solo e Fator K..... 70
5.4.2. Obtenção dos demais fatores da EUPS..... 70
5.4.2.1. Fator R..... 70
5.4.2.2. Fator LS..... 71
5.4.2.3. Fator CP..... 72
5.5. Quinta etapa..... 73
5.5.1. Mapa de Potencial Natural à Erosão – PNE..... 73
5.5.2. Mapa de suscetibilidade à erosão laminar e cálculo da perda de solos estimada para o Ano de 2018..... 73

5.5.3. Avaliação das implicações do PNE e da Suscetibilidade à Erosão Laminar das sub-bacias B1 e B2 ao planejamento territorial municipal..... 74
6. Resultados e Discussão..... 75
6.1. Classes de cobertura da terra..... 75
6.2. Parâmetros morfométricos..... 82
6.3. Indicadores de erosão..... 86
6.3.1. Pontos de amostragem de solos..... 86
6.3.2. Indicadores de erosão observados em campo..... 90
6.4. Solos: Atributos físicos e indicadores de qualidade..... 95
6.4.1. Análise granulométrica..... 95
6.4.1.1. Sub-bacia B1..... 98
6.4.1.2. Sub-bacia B2..... 101
6.4.2. Atributos físico-químicos quantitativos..... 103
6.4.2.1. Sub-bacia B1..... 103
6.4.2.2. Sub-bacia B2..... 108
6.4.3. Atributo físico-químico qualitativo – hidrofobicidade..... 113
6.4.3.1. Sub-bacia B1..... 113
6.4.3.2. Sub-bacia B2..... 114
6.4.4. Análise de Componentes Principais – ACP..... 115
6.5. Fator K – EUPS..... 118
6.5.1. Estatística descritiva e análise de variância..... 121
6.5.1.1. Sub-bacia B1..... 121
6.5.1.2. Sub-bacia B2..... 123
6.5.2. Correlação e Análise de Componentes Principais – ACP..... 125
6.5.2.1. Sub-bacia B1..... 125
6.5.2.2. Sub-bacia B2..... 127
6.6. Fator R – EUPS..... 129
6.7. Fator LS – EUPS..... 131
6.8. Fator CP – EUPS..... 134
6.9. PNE..... 135
6.10. Suscetibilidade à erosão laminar e cálculo das perdas de solos estimadas para o ano de 2018..... 138

6.11. Avaliação das implicações do PNE e da suscetibilidade à erosão laminar das sub-bacias B1 e B2 ao planejamento territorial municipal..... 142
7. Conclusões..... 146
Referências Bibliográficas..... 148
Anexos..... 170
Anexo A..... 171
Anexo B..... 172

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A interação entre ocupação antrópica e o ambiente é uma questão que vem se tornando complexa e de difícil equacionamento, já que o aumento exponencial da população tem demandado a ocupação de espaços para criação de novos núcleos urbanos, locais esses que, em sua maioria, não possuem capacidade de suporte e resiliência frente às pressões exercidas e aos impactos resultantes, o que acarreta alterações importantes na paisagem natural.

No Brasil, a urbanização se intensificou a partir das décadas de 1950 e 1960, quando a população urbana superou a rural, motivada especialmente pelas transformações econômicas ocorridas durante o desenvolvimento de atividades industriais e de serviços nas cidades (CARVALHO, 2019). O crescimento das cidades fomentado pelo êxodo rural promoveu um colapso do sistema urbano então existente, já que a ausência de planejamento territorial culminou na intensificação das pressões sobre o meio físico urbano (BATTAUS e OLIVEIRA, 2016; MIRANDA e DECESARO, 2018).

A partir da saturação das cidades, a expansão do território passou a refletir um modelo de espalhamento ou dispersão urbana, que em países menos desenvolvidos é caracterizado pela ocupação de áreas periféricas por classes menos favorecidas, o que resulta em aglomerados populacionais não planejados, desenvolvidos em áreas impróprias e vetadas legalmente para tal finalidade (SILVA; SILVEIRA; SILVA, 2016).

Em municípios onde o crescimento desordenado ocorrido no passado ainda reflete na ocupação de áreas frágeis em aspectos ambiental e geotécnico, a realização de estudos capazes de investigar a relação entre alterações da cobertura da terra e a intensificação de processos de modelagem do relevo são de extrema importância ao planejamento urbano. A exemplo disso, o mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de erosão laminar pode subsidiar a criação de políticas públicas e respectivos instrumentos de gestão, voltados a um adequado direcionamento de novos vetores de expansão territorial.

Mediante ao cenário apresentado, é proposto um estudo aplicado à Itapevi, município inserido na Região Metropolitana de São Paulo, tendo em vista que devido a questões de caráter econômico, geográfico e geomorfológico, teve seu desenvolvimento essencialmente em áreas de riscos ambientais.

O núcleo urbano se originou ao longo de planícies de inundação, e com o passar do tempo, iniciou-se o processo de ocupação de áreas de encostas, motivada, em especial, pela busca por lotes e construções habitacionais de baixo custo. Atualmente essa tendência de expansão periférica se mantém ativa, mesmo com restrições ambientais impostas pela legislação em vigor.

Dentre os locais em que esse cenário se apresenta, está a bacia hidrográfica do Ribeirão Sapiantã, parte integrante do contexto da bacia do Rio Tietê, e onde ainda se verificam significativas porções de cobertura vegetal e baixa densidade populacional.

Devido ao importante papel que esta porção do território exerce no amortecimento de cheias para a malha urbana consolidada do município, objetiva-se investigar o potencial natural à erosão laminar de duas de suas sub-bacias, bem como sua associação com as respectivas formas de cobertura da terra. Assim, pretende-se obter a suscetibilidade de cada uma das áreas à ocorrência dos processos em análise, refletida pelas estimativas de perda de solo calculadas para o ano de 2018.

Para tanto, foram utilizadas ferramentas de análise de imagens e dados referentes às sub-bacias, bem como a *Equação Universal da Perda de Solo (EUPS)*, definida por Wischmeier e Smith (1978).

Dessa forma, a pesquisa visa contribuir para um melhor direcionamento de ações voltadas ao planejamento territorial na bacia do Sapiantã, visto que a realização de estudos de caráter ambiental em escala local, voltados à geração de produtos e informações temáticas, podem auxiliar na prevenção de impactos relacionados à erosão laminar, tanto nas áreas de ocorrência, quanto naquelas sob sua influência.

2. HIPÓTESE E OBJETIVOS

2.1. HIPÓTESE

Parte-se do pressuposto que intervenções na cobertura da terra por atividades humanas alteram a qualidade do solo e acarretam maior suscetibilidade a processos de erosão laminar.

2.2. OBJETIVO GERAL

Investigar o potencial natural e a suscetibilidade à erosão laminar em duas sub-bacias hidrográficas do Ribeirão Sapiantã - Itapevi/SP, a partir da relação existente entre os elementos da paisagem natural (clima, solo e relevo) e atuais formas de cobertura da terra ocorrentes nas áreas em estudo.

2.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar cada um dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo para as áreas de estudo;
- Avaliar estatisticamente alguns indicadores físico-químicos de qualidade dos solos, bem como associá-los a indicadores de erosão observados em campo, de modo a retratar a dinâmica imposta por forças naturais ou antrópicas;
- Investigar as principais características morfométricas das sub-bacias em estudo, a fim de propor inferências acerca de possíveis respostas do meio, face a alterações na cobertura da terra promovidas pelo homem;
- Avaliar criticamente, visando o estabelecimento de diretrizes de orientação, quão sustentável está sendo o modo de uso do solo das áreas de estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O PROCESSO EROSIVO

De acordo com definição atribuída por Vilar e Prandi (1993) e apresentada por Neves (2017), a erosão do solo pode ser entendida como um conjunto de processos atuantes sobre os materiais da crosta terrestre, os quais promovem sua desagregação, dissolução ou desgaste, o transporte de partículas de um ponto a outro do relevo, e por fim, a deposição do sedimento em áreas de menor declividade ou em corpos hídricos. Tal conceito tem origem do latim *erosio*, que significa corroer e separar, conforme destaca Lal (1990).

Geologicamente, a erosão é um processo lento e contínuo de renovação da superfície terrestre, causado por agentes naturais, como a água e o vento. Nesse caso, a existência de cobertura vegetal sobre a superfície do solo promove proteção dos horizontes e a minimização do desgaste erosivo, o que permite um contínuo equilíbrio entre as taxas de formação e perdas de solo (SILVA, 2015).

Entretanto, quando há ruptura desse equilíbrio, os agentes erosivos são favorecidos, o que resulta em perdas de solo superiores à erosão geológica, e consequentemente, degradação ambiental (ROTTA e ZUQUETTE, 2015). Nesse contexto, surge o conceito de erosão antrópica ou acelerada, caracterizada como um processo rápido e destrutivo induzido pela intervenção do homem sobre a dinâmica natural do relevo.

Lal (1990) destaca o homem como força ativa na erosão dos solos, ao passo que considera como forças passivas, o clima, o solo, a hidrologia e o relevo. Isso porque alterações na cobertura e no uso da terra, decorrentes de ações antrópicas, podem exercer influência direta sobre condicionantes naturais do processo erosivo.

Os dois tipos de erosão mais comuns são a hídrica e a eólica (RAMOS, 2015). Conforme citam Pham, Degener e Kappas (2018), 1.094 milhões de hectares são afetados pela erosão hídrica em todo o mundo, valor que é praticamente o dobro do total de áreas impactadas por erosão eólica (548 milhões de hectares). Dessa forma, a erosão do solo pela água é considerada como uma das formas mais comuns de degradação dos solos (DECHEN *et al*., 2015; DOMINCHIN *et al.,* 2019).

Em áreas de clima tropical destacam-se os processos erosivos induzidos pela água das chuvas, em virtude dos elevados índices pluviométricos e sua

concentração bem definida em determinadas estações do ano (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 2015). O processo ocorre quando a intensidade das chuvas supera a capacidade de infiltração, provocando um aumento significativo do escoamento superficial e importantes alterações no comportamento hídrico dos terrenos (VELLOSO, SANTOS e FERREIRA FILHO, 2016).

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2010), essa forma de erosão é controlada basicamente por duas forças: as *indutoras*, referentes à intensidade e duração das chuvas, declividade do relevo, comprimento das vertentes, e capacidade de infiltração da água no solo; e as de *resistência ao cisalhamento*, promovidas por características físico-químicas do solo e pela ação da cobertura vegetal, quando existente.

A erosão pluvial consiste em contínuas transferências de energia e matéria, que resultam em perda progressiva do solo (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 2015). Tais autores indicam que essa forma de processo erosivo pode ser dividida em duas modalidades, de acordo com os mecanismos e fatores condicionantes envolvidos: *erosão laminar*, decorrente da ação direta da chuva e que tem como característica a formação de escoamento superficial difuso ao longo de encostas; e *erosão linear*, desencadeada pela concentração de linhas de fluxos do escoamento superficial, resultando em incisões na superfície do terreno, que podem evoluir para formas erosivas de maiores proporções, como ravinas e voçorocas.

A presente pesquisa tem como tema principal a abordagem de erosão do tipo laminar, a qual passa a ser detalhada a seguir.

3.1.1. Erosão Laminar

É causada a partir da incidência de processo denominado *splash* ou *salpicamento*, caracterizado pelo impacto direto das gotas de chuva sobre o solo, e cuja ação erosiva depende da intensidade e duração do evento pluviométrico. A forma mais agressiva ocorre por meio de chuvas torrenciais e de curta duração, onde a energia cinética das gotas de chuva promove alto potencial erosivo (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 2015).

O salpicamento pode provocar a redução das forças coesivas e a ruptura de agregados do solo. O destacamento de partículas individuais e seu transporte podem acarretar a formação de crostas e o selamento das camadas superficiais dos

solos. Como consequência, as taxas de infiltração tendem a diminuir, em detrimento à indução de escoamento superficial turbulento e difuso ao longo da encosta (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

À medida que o fluxo laminar se desloca, sua capacidade e competência de transporte aumenta em função do volume de água escoada e sua velocidade. Essa, por sua vez, varia com a raiz quadrada da distância vertical que é percorrida. Assim, se o declive da encosta aumenta em quatro vezes, a velocidade do escoamento aumenta em duas vezes, e a capacidade erosiva quadruplica, pois é proporcional à energia cinética, que varia com o quadrado da velocidade (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Dessa forma, novamente se deflagra o cisalhamento de partículas do solo, bem como a remoção de finas camadas superficiais, cuja ocorrência é praticamente imperceptível e dificulta a identificação do processo em fase inicial (RUBIRA, MELO e OLIVEIRA, 2016).

A suscetibilidade à ocorrência de erosão laminar dependerá não apenas da energia dispendida pela chuva, como também das características físicas, químicas, biológicas e mineralógicas do solo. Dentre suas propriedades intrínsecas, podem ser citadas como de grande relevância, a textura, densidade, o arranjo estrutural das partículas e o teor de matéria orgânica. Cada um desses fatores pode ser determinante e conferir maior ou menor resistência do solo ao cisalhamento, já que podem exercer influência sobre a permeabilidade e capacidade de formação de agregados.

Do mesmo modo, Bertoni e Lombardi Neto (2010) destacam ainda a importância da cobertura vegetal natural do terreno, tanto na proteção e amortecimento do impacto causado pela chuva, como pela promoção de outros benefícios, dentre os quais: proporciona a retenção e dispersão da água através de mecanismos de evaporação e evapotranspiração; aumenta a capacidade de infiltração do solo, por meio de raízes e troncos; promove melhoria da estrutura e agregação do solo, a partir da incorporação de matéria orgânica.

Nesse contexto, cumpre ressaltar a forte ligação entre a erosão laminar e problemas de cunho ambiental e socioeconômico (CRUZ *et al*., 2019), como no caso de aporte de sedimentos para as porções inferiores da bacia hidrográfica, o que pode resultar em assoreamento, inundação e enchente de cursos d’água.

3.2. MODELAGEM DE PERDA DE SOLO

A suscetibilidade de uma área à ocorrência de processos erosivos pode ser determinada tanto de forma qualitativa como quantitativa. Para facilitar o processo de análise pode-se recorrer a métodos diretos e indiretos (BERTONI, LOMBARDI NETO e BENATTI JÚNIOR, 1975), sendo a escolha da melhor técnica a ser empregada, dependente do tipo de erosão estudada, condições ambientais e práticas de manejo.

O método direto consiste na medição e análise do material erodido, o qual é coletado após eventos pluviométricos, mediante a ocorrência do desprendimento e arraste de partículas. Dentre as formas indiretas de predição, há o estudo de vestígios nos solos que poderiam evidenciar ocorrências recentes de erosão, técnica essa menos precisa que a medição direta. Também pode ser citada a utilização de modelagem de dados para a representação de processos erosivos, através de relações matemáticas que possibilitem propor inferências acerca das implicações nos sistemas reais, bem como suas respostas a situações diversas (BERTONI, LOMBARDI NETO e BENATTI JÚNIOR, 1975).

Conforme cita Ferreira (2019), o desenvolvimento de algoritmos para estimativas de perdas de solo se iniciou nos anos 1940, a partir de testes realizados em estações experimentais, por meio das quais se descobriu a relação existente entre a erosão causada pela água e o comprimento e declividade de encostas.

Atualmente, esses modelos de predição de erosão contam com o incremento de novas bases de dados, obtidas a partir da manipulação de imagens de satélite e radares meteorológicos, em ambientes de sistemas de informação geográficas (SIG). A exemplo disso, o uso de modelos digitais de elevação (MDE) pode ser de grande importância na simulação da dinâmica erosiva (PANDEY *et al*., 2016).

Para Farias (2016), os modelos de predição são fundamentais, pois permitem a avaliação de perdas de solos para diferentes cenários de cobertura da terra, sem a necessidade de realizar testes com custos elevados e gastos excessivos de tempo no campo.

Existem muitos modelos disponíveis ao estudo de perdas de solo por erosão hídrica. Esses são distintos entre si, em termos de capacidade e complexidade, escala espacial e temporal, entrada de dados, aplicabilidade prática e formas de representação de resultados. Os modelos podem ser categorizados em *Empíricos*,

Físicos e *Conceituais* (MORAES, 2016; PANDEY *et al*., 2016; PURCINO, 2017), e são classificados de acordo com sua aplicabilidade, e a dependência de dados e algoritmos, conforme detalhado a seguir:

- *Modelos Empíricos*: baseados em observações e na caracterização de resposta de dados. Têm como princípio as relações estatísticas entre as variáveis consideradas de maior importância em parcelas experimentais. Estabelecem relações entre fatores condicionantes do processo erosivo e as variáveis de interesse. Requerem limitada quantidade de dados de entrada, pois suas estruturas são simples e capazes de realizar boas estimativas, mesmo em áreas críticas. Por essa razão, permanecem sendo os mais utilizados mundialmente (DURÃES, MELLO e BESKOW, 2016; FERREIRA, 2019).

Exemplos de modelos: *Universal Soil Loss Equation* (USLE, ou Equação Universal de Perda de Solo – EUPS); *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE); *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE); *Sediment Delivery Distributed Model* (SEDD); *Agricultural Non-point Source Model* (AGNPS).

- *Modelos Físicos*: estruturados a partir de equações físicas fundamentais relacionadas à conservação de massa (fluxo e sedimentos). Exigem que haja calibração prévia em determinado local, para posterior utilização em áreas com características semelhantes, bem como necessitam de muitos dados de entrada e parâmetros para simulação (BARROS, 2017).

Exemplos de modelos: *Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation* (ANSWERS); *Limburg Soil Erosion Model* (LISEM); *Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems* (CREAMS); *Water Erosion Prediction Project* (WEPP); *European Soil Erosion Model* (EUROSEM), *Kinematic Runoff and Erosion Model* (KINEROS); RUNOFF; *Watershed Erosion Simulation Program* (WESP); *Systeme Hydrologique Europian Sediment* (SHESED).

- *Modelos Conceituais*: Neles, os resultados são obtidos através de calibração em comparação aos dados observados. São considerados como um meio-termo entre os dois outros tipos de modelos, uma vez que visam refletir os processos físicos que regem o sistema, e descrevê-los com relações empíricas (AGUIAR, 2017).

Exemplos de modelos: *Large Scale Catchment Model* (LASCAM); e *Soil & Water Assessment Tool* (SWAT).

Cumpre destacar que a maioria dos modelos físicos foi baseada na EUPS, embora sejam também capazes de distinguir e simular simultaneamente erosão laminar e linear, o que pode resultar em alto desempenho e eficiência para quantificação de perdas de solo. Entretanto, alguns empecilhos a sua utilização ainda precisam ser resolvidos para que venham a substituir totalmente os modelos empíricos, sendo algumas dessas questões listadas a seguir (DURÃES e MELLO, 2016; PANDEY *et al*., 2016):

- Requerem grande número de parâmetros empíricos de entrada, o que pode demandar altos custos e tempo para obtenção;
- As expressões matemáticas que descrevem processos individuais nesses modelos são baseadas em muitas suposições, as quais podem não ser relevantes na prática;
- Podem apresentar deficiências na interface com SIG;
- A maioria dos modelos foi desenvolvida para áreas agrícolas, sendo poucos os que permitem utilização em áreas urbanas;
- Nem todos os modelos são contínuos, e assim, utilizam um único evento chuvoso para modelagem;
- A maior parte da informação requerida não se encontra disponível por entidades públicas, em especial em países menos desenvolvidos.

Embora a EUPS tenha sido desenvolvida nos Estados Unidos, é amplamente difundida em todo o mundo, possivelmente porque é vista como um modelo simples e confiável, já que possui uma abordagem que considera a integração dos principais fatores para a gênese do processo erosivo (de ordem natural e antrópica), além de não possuir limites de escala de processamento. Apresenta ainda resultados satisfatórios quando utilizada em conjunto com SIG (MORAIS e SALES, 2017; PHAM, DEGENER E KAPPAS, 2018; ALEWELL *et al.*, 2019).

Para Tagliarini (2017), a EUPS é frequentemente usada em locais com disponibilidade restrita de dados, principalmente onde há carência de registros de séries históricas, como dados de chuvas.

Neste aspecto, se encontram disponíveis inúmeros resultados de pesquisas sobre cada um dos fatores da EUPS para a realidade brasileira. Silveira (2017) cita Bertoni, Lombardi Neto e Benatti Júnior (1975) como os pioneiros no desenvolvimento de pesquisas com a EUPS para as condições do estado de São

Paulo. Destacam-se ainda, os trabalhos de Denardin (1990) e Cavalieri (1994), referentes à erodibilidade dos solos, e Lombardi Neto e Moldenhauer (1980), que propuseram uma equação para erosividade da chuva para o estado de São Paulo, a partir de 22 anos de registros de precipitação referentes à região de Campinas.

3.2.1. Equação Universal de Perda de Solo – EUPS

A erosão dos solos começou a ser reconhecida por agricultores americanos no início dos anos 1800 como uma ameaça à produtividade, mas o problema só passou a ser estudado no país a partir do século seguinte, por Duley e Miley (1923). Já os impactos relacionados à erosão dos solos só ganharam destaque em nível nacional, a partir da publicação da circular "*Erosão do Solo - Uma Ameaça Nacional*" (Bennett e Chapline, 1928), e de campanha educacional do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), as quais resultaram em financiamento a pesquisas com essa temática por parte do congresso americano (LAFLEN e MOLDENHAUER, 2003).

A partir de então, entre os anos de 1930 e 1960, houve a implantação das primeiras estações experimentais para monitoramento da erosão, situadas em dez das principais regiões dos EUA. Os solos dessas áreas passaram a fazer parte de um banco de dados de referência, sendo posteriormente utilizados no desenvolvimento das tecnologias de previsão de erosão empírica e nas análises que levaram ao desenvolvimento do EUPS. A seguir são apresentados os principais acontecimentos que embasaram a criação da Equação Universal de Perda de Solo (LAFLEN e MOLDENHAUER, 2003).

- ZINGG (1940): apresentou a primeira equação para perda de solos, relacionando fatores referentes a comprimento e declividade da encosta;
- Smith (1941): modificou a equação de Zingg, introduzindo a relação entre fertilidade do solo e perda por erosão, por meio do fator de prática conservacionista;
- Browning, Parish e Glass (1947): apresentaram a primeira abordagem sobre erodibilidade do solo;
- Musgrave (1947): a "*Musgrave Equation*" pode ser considerada a mais próxima da EUPS, já que introduziu o fator de precipitação, e demonstrou que a

erosão estava correlacionada com o produto da energia cinética total pela intensidade máxima em 30 minutos de chuva;

- 1957 - 1960: Walt Wischmeier e Dwight Smith publicaram trabalhos específicos acerca de cada um dos fatores da equação de Musgrave;
- 1978: publicação da versão final da EUPS

Dessa forma, a EUPS passou a ser expressa por meio da seguinte relação:

$$\mathbf{A = R*K*LS*C*P} \qquad (1)$$

Sendo: A = perda de solo por unidade de área (t. ha^{-1}.ano^{-1});
R = fator erosividade da chuva (MJ. mm .ha^{-1}. h^{-1})
K = fator erodibilidade do solo (t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1})
LS = fator topográfico (adimensional)
C = fator de cobertura do solo (adimensional)
P = fator referente a práticas para controle da erosão (adimensional)

De acordo com Renard *et al.* (1991), o estabelecimento da EUPS foi calcado no princípio de que cada um de seus fatores componentes: I- fosse representado por um número apenas; II- pudesse ser calculado à nível regional e local; III- fosse livre de qualquer base geográfica, desde que levasse em consideração características locais do meio físico, sendo essa a razão da denominação “universal” dada à equação.

Os fatores que compõem os termos da EUPS são descritos a seguir:

- Fator Erosividade da Chuva (R)

Refere-se a um índice que expressa a capacidade natural da chuva e enxurrada a ela associada em proporcionar erosão em um solo desprotegido, sendo dependente da variabilidade espacial e temporal das chuvas (WISCHMEIER e SMITH, 1978; XAVIER *et al*., 2019). Para Bertoni e Lombardi Neto (2005 apud TAGLIARINI, 2017), o fator R inicia-se no exato momento em que há desconfiguração dos agregados que compõe a estrutura do solo, a partir de entrada de energia capaz de promover a anulação das forças que os mantinham estáveis.

Esse fator é dependente de características físicas da chuva, destacando-se a energia cinética total e a intensidade máxima em trinta minutos, como as de maior

influência na erosão, e cujo produto é expresso como um "*Índice de Erosão (EI_{30})*" (WISCHMEIER e SMITH, 1978).

Ocorre que para o cálculo do EI_{30} assim como concebido pelos autores, seriam necessários registros pluviográficos contínuos em séries históricas de do mínimo 20 anos, dados esses que em muitas regiões podem ser escassos ou inexistentes. No caso específico do estado de São Paulo, Lombardi Neto e Moldenhauer (1980) propuseram o cálculo do fator R, a partir de correlação entre o EI_{30} e o *Índice de Fournier* (FOURNIER, 1960), sendo esse expresso pela relação entre a precipitação média mensal e a precipitação média anual verificadas no período em análise.

- Fator Erodibilidade do Solo (K)

A erodibilidade é retratada como uma propriedade intrínseca do solo, relativa a seus atributos mineralógicos, químicos, morfológicos e físicos. Esses, por sua vez, influenciam diretamente na velocidade de infiltração e capacidade de armazenamento de água nos horizontes, nas forças de resistência à abrasão, salpicamento, dispersão e transporte pela ação de chuvas, e no escoamento superficial (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Definição semelhante é citada em Souza (2018), onde a erodibilidade é apresentada como um efeito integrado dos processos que regulam a infiltração de água e a resistência do solo à desagregação de partículas, ou mais especificamente, sua predisposição à erosão.

De acordo com Wischmeier e Smith (1965), a quantificação do fator K pode ser realizada de forma direta em campo, a partir de instalação de equipamentos que monitorem a taxa de solo perdida em unidade de área em função do índice baseado na energia cinética da chuva. No entanto, segundo afirmam Mannigel *et al*. (2002), devido à excessiva demanda de tempo e investimentos para avaliações experimentais, métodos indiretos vêm sendo uma alternativa para a determinação do fator, sendo para isso, executadas análises estatísticas multivariadas entre diferentes atributos dos solos que sejam de fácil mensuração.

Dentre as primeiras formas indiretas de cálculo do fator, está o nomograma proposto por Wischmeier, Johnson e Cross (1971), o qual utiliza características

morfológicas, químicas e físicas do solo, tais como frações granulométricas, teor de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade (SILVA, 2015).

No entanto, Almeida (2018) observa que a utilização do nomograma tem sido questionada em alguns estudos que a aplicam para solos brasileiros, já que o método foi concebido para solos de clima temperado, e normalmente superestima os valores do fator K para solos tropicais.

Denardin (1990) desenvolveu um modelo matemático a partir de regressão linear múltipla de um conjunto de dados de erodibilidade de solos do Brasil e dos Estados Unidos, obtidos em campo sob chuva natural e simulada.

Mannigel *et al.* (2002) propuseram a utilização da equação de Bouyoucos (1927) para a determinação indireta do fator K para 25 perfis de solos descritos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa. Tal equação considera dados referentes à textura do solo para cálculo da erodibilidade.

Esses dois modelos foram comparados por Demarchi e Zimbachi (2014), para análise do fator K para solos da sub-bacia do Ribeirão das Perobas/SP (Santa Cruz do Rio Pardo /SP), sendo verificado que a equação de Denardin foi menos sensível na diferenciação entre os valores de Latossolos e Argissolos, os quais são reconhecidamente diferentes. De modo oposto, as estimativas obtidas pela equação de Bouyoucos melhor distinguiram a erodibilidade de classes de solo com propriedades físicas diferentes.

- Fator Topográfico (LS)

Esse fator da EUPS define a proporção esperada de perda de solo em área unitária padrão, a partir de uma rampa de 22,13 m de comprimento e com uma declividade de 9%, conforme determinaram Wischmeier e Smith (1978). Embora possam ser avaliados separadamente, como comprimento da vertente (L) e declividade (S), para aplicação prática da equação são considerados de forma conjunta.

Ainda conforme a definição de Wischmeier e Smith (1978), citada por Santos Neto (2017), “L” é a distância do ponto de origem do fluxo superficial até o ponto em que ocorre a diminuição de sua energia cinética (onde se inicia a deposição em vertentes ou vales, ou a concentração do fluxo em um canal definido). Por sua vez,

“S” corresponde à inclinação do terreno, que correlaciona a aceleração da água com o potencial de erosão superficial (SILVA MATOS, 2015).

Em geral, a obtenção do fator pode ser realizada de forma manual, por meio de cartas topográficas de escala média a grande, ou ainda de forma automática, a partir do uso conjunto entre MDE e algoritmos desenvolvidos para SIG. Com essas ferramentas, podem ser gerados mapas de declividade e calculados os valores de L e S, o que permite a obtenção de resultados com melhores níveis de detalhamento.

Ocorre que com a introdução do SIG e a definição de bacias hidrográficas como áreas preferenciais para estudos de erosão, houve a introdução do conceito de áreas de contribuição de fluxos superficiais, e com isso, o fator L deixou de ter uma dimensão linear e passou a ser entendido como uma unidade hidrológica onde ocorre o escoamento superficial. Tal abordagem permite considerar paisagens topograficamente mais complexas nas análises (ALEWELL *et al*., 2019).

Benavidez *et al*. (2018) e Botelho *et al.* (2018) citam que o método tradicional para o cálculo do fator LS (dimensão linear) pode ter sua aplicação limitada, já que não considera a complexidade e heterogeneidade dos perfis de relevo que normalmente compõe bacias hidrográficas. Isso porque as equações iniciais propostas para o cálculo do fator consideravam que as vertentes seriam uniformes, o que não reflete a realidade.

Nesse sentido, Moore e Burch (1986) desenvolveram uma equação para cálculo do fator LS que se adequava a vertentes não-uniformes, a partir da substituição de L pela área de contribuição à montante. A determinação da área de contribuição, se daria a partir da definição da direção do escoamento superficial, do fluxo acumulado e da rede de drenagem (GELAGAY e MINALE, 2016).

Tal equação ainda vem sendo utilizada como referência para estimativa do fator topográfico, e foi empregada em estudos recentes no Brasil, como em Didoné, Minella e Merten (2015), Michette (2015), Viel, Rosa e Hoff (2017), e em Lima, Ferreira e Ferreira (2018).

- <u>Potencial Natural à Erosão (PNE)</u>

O PNE não é especificamente um dos fatores da EUPS, mas sim, o produto de três deles, sendo erosividade, erodibilidade e fator topográfico (**equação 2**). Representa uma estimativa acerca da fragilidade natural de determinada área à

instalação de processos erosivos, em decorrência de suas condições físicas (GALDINO *et al*., 2016).

$$\mathbf{PNE = R * K * LS} \quad (2)$$

Dessa forma, fatores relacionados aos tipos de cobertura do solo e intervenção antrópica são desconsiderados, o que permite uma avaliação prévia sobre as limitações naturais ao uso do solo, sejam climáticas, topográficas e/ou pedológicas (LEPSCH *et al*., 2015).

Conforme mencionam Cunha, Silva e Bacani (2017), a espacialização do PNE permite então, interpretar os riscos de erosão em relação às características inerentes ao meio físico. Assim, pode ser utilizado como ferramenta ao planejamento da ocupação do solo, de modo a se identificar os limites de fragilidades e potencialidades de utilização das terras.

- Fator Antrópico (CP)

Além dos fatores ambientais, a EUPS também considera a influência exercida por pressões humanas sobre a suscetibilidade de determinada área à erosão laminar. Tal influência é definida como “Fator Antrópico”, e relaciona o uso e manejo da cobertura do solo (Fator C) a práticas conservacionistas que tenham sido implantadas com intuito de reduzir a incidência de erosão (Fator P).

O fator C é de extrema importância à EUPS, uma vez que corresponde ao efeito que cada forma de cobertura da terra exerce sobre o processo de erosão, no sentido de promover maior ou menor proteção (RIZEEI *et al*., 2016).

Neste sentido, destaca-se o papel da cobertura vegetal no amortecimento das chuvas e na infiltração da água no solo e sua intima relação ao fator C. Entende-se como cobertura vegetal, as florestas naturais ou plantadas, pastagens, culturas anuais, culturas perenes ou áreas de pousio. Fragmentos de rocha ou serapilheira também podem aumentar a rugosidade do terreno, e assim, devem ser considerados na avaliação do fator C (TAGLIARINI, 2017).

Quanto à mensuração do fator C, caso o solo esteja totalmente descoberto e sem nenhum tipo de manejo, é adotado o valor “1”, situação que corresponde ao máximo valor atribuído ao fator, bem como a situação de maior exposição do solo à incidência de processos erosivos laminares. Por outro lado, valores que tendam a

“zero” são empregados à medida que aumenta a proteção oferecida pela cobertura ao solo (RIZEEI *et al*., 2016). Quanto mais eficiente é a cobertura, menos significativo e mais próximo de zero é o fator, mas seu valor nunca é igual a zero (BERA, 2017).

O fator P é um esforço humano no sentido de combater a perda de solo em áreas de cultivo agrícola. Corresponde a práticas que possam ser adotadas de forma conservacionista, como é o caso de plantios em nível, terraceamanto, cordões de vegetação, introdução de cobertura vegetal morta, entre outras (TAGLIARINI, 2017). Assim, para formas de cobertura da terra não agrícolas, é adotado valor “1”, à exemplo de áreas com vegetação nativa, pastagens, reflorestamentos e áreas urbanas, pois não há a presença de técnicas ou práticas conservacionistas nos diferentes usos do solo (YUAN, YANG e ZHANG, 2016).

Dessa forma, o fator antrópico em áreas onde o fator P seja igual à unidade, passa a ser totalmente dependente dos valores atribuídos ao fator C, sendo que quanto menor o grau de proteção oferecido, maiores são as perdas de solo e maiores são os valores de CP.

3.3. ALTERAÇÕES NA COBERTURA DA TERRA E RELAÇÃO COM O PROCESSO DE DEGRADAÇÃO DO SOLO

O desenvolvimento dos horizontes do solo é o resultado de alterações físicas, químicas e biológicas dos minerais que formam as rochas, a partir de processos pedogenéticos de adição, remoção, translocação e transformação, resultantes de fatores diretamente atuantes, como o clima, organismos vivos, litologia e relevo. (PEREIRA *et al*., 2019).

Mariani (2016) enfatiza que embora do ponto de vista geológico a erosão seja um processo inerente à formação do solo, o aumento da pressão antrópica sobre o relevo interfere nas características naturais desse processo, intensificando sua evolução, o que gera desequilíbrios ambientais e induz a degradação do solo e seus impactos associados. Luffman, Nandi e Spiegel (2015) apontam que as perdas de solo causadas pela erosão hídrica correspondem a uma taxa 10 a 40 vezes superior à capacidade natural de desenvolvimento do solo. Ainda nesse contexto, Martins e Lima (2016) comentam que os quadros de degradação não são facilmente reversíveis devido à lentidão dos processos de formação e regeneração do solo.

Quando se analisa a evolução da atitude humana ao longo do tempo, percebe-se que em épocas passadas predominavam as necessidades imediatas de exploração de recursos naturais, unicamente por motivos de sobrevivência e com o mínimo de intervenção sobre o meio (BENNETT, 2005; GUERRA, SILVA e BOTELHO, 2015). Ocorre que o desenvolvimento de técnicas de apropriação e transformação do ambiente, iniciadas a partir da revolução agrícola e intensificadas com a revolução industrial, tem resultado no esgotamento dos recursos naturais e degradação do meio físico.

A ação antrópica adquiriu tal proporção, ao ponto de o homem ser citado como o mais novo e intenso agente geológico, já que é parte importante dos processos de formação do estrato geológico urbano (PELLOGIA E ORTEGA, 2016; PELLOGIA *et al.*, 2017). A respeito disso, Mendes e Felippe (2017) citam que desde década de 1980 alguns pesquisadores vêm propondo a designação de um novo período geológico, denominado "*Tecnógeno*", para caracterizar o momento em que a atividade humana passou a desencadear processos de intensidade muito superior aos processos naturais.

A alteração da paisagem é realizada para a organização das atividades do sistema socioeconômico, sendo uma das primeiras consequências dessa dinâmica, a remoção da vegetal natural para a introdução de novos tipos de cobertura da terra (ALEMAYEHU, TOLERA e TESFAYE, 2019).

Silveira (2017) concluiu que tais mudanças introduzidas pelo homem representam um importante fator na perda e degradação dos solos, sendo que diferentes formas de uso apresentam distintas capacidades de intensificação do processo erosivo.

Em áreas de pastagem, normalmente são detectadas alterações drásticas relacionadas às características físicas e químicas do solo. O pisoteio constante de animais e o uso de queimadas para eliminação da biomassa seca acumulada e não consumida, resultam em compactação e lixiviação de nutrientes do solo (LIMA, FERREIRA e FERREIRA, 2018).

A introdução de algumas espécies arbóreas para reflorestamento comercial também pode causar alterações de propriedades do solo, já que muitas podem produzir compostos hidrofóbicos que alteram a dinâmica de infiltração da água no solo (VOGELMANN *et al.*, 2015).

Já a implantação de núcleos populacionais, promovida pelo aumento da demanda por moradias e a saturação de centros urbanos, também pode ser considerada como uma das formas de alteração da cobertura da terra com alto potencial à degradação dos solos. Isso porque em muitos casos não há planejamento das ocupações, as quais acabam por incorporar compartimentos do relevo, como encostas, fundos de vale e cabeceiras de drenagem, eliminando ou criando feições, e condicionando a dinâmica superficial e os processos geomorfológicos (SILVA *et al*., 2019).

Dessa forma, em um curto espaço de tempo são criadas condições críticas de instabilidade ao lugar ocupado, já que tal dinâmica passa a interferir diretamente nos processos morfodinâmicos atuantes nessas áreas. Como resultado, há uma intensa esculturação do relevo e o rompimento do equilíbrio dinâmico dos processos naturais. No Brasil o início desse processo coincidiu com a aceleração do desenvolvimento urbano e a concentração da população, ocorridos a partir da 2ª metade do século XX, e não foi acompanhado de políticas eficazes de planejamento e gestão do território (SILVA, SILVEIRA e SILVA, 2016).

O processo de urbanização pode ser abordado em três etapas, conforme mencionado por Santikari e Murdoch (2019). A primeira etapa, correspondente ao período “pré-urbano”, no qual o ambiente ainda não sofreu alterações significativas. Na fase intermediária, ou período de “construção”, ocorrem processos que resultam em aumento significativo do escoamento superficial, iniciado pela remoção da cobertura vegetal e exposição do solo a agentes climáticos, e posterior execução de obras de corte, aterro e compactação. Por fim, no período “urbano consolidado”, se verificam uma nova conformação topográfica, impermeabilização extensiva e drenagem artificial.

Guerra (2011), destaca a variação das taxas de erosão de acordo com a fase de urbanização, a qual atinge seu ápice durante o período de construção, e é reduzida à medida que a ocupação urbana vai se consolidando. O mesmo autor ressalta, no entanto, que tal lógica não se aplica a locais onde a urbanização é incipiente e desprovida de sistemas de infraestrutura, como rede de drenagem e pavimentação, pois a erosão, perda de solo e impactos decorrentes se mantém ativos e não cessam mesmo após a implantação das edificações.

3.4. INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO E INDICADORES DE EROSÃO

De acordo com Bai *et al.* (2018), em referência à proposta de Bünemann *et al*. (2018), qualidade do solo está relacionada às propriedades e processos naturais do solo, já que esses estão diretamente ligados à sua capacidade de funcionar efetivamente como componente de um ecossistema saudável. A respeito disso, Bongiorno *et al.* (2019) mencionam que o conceito de qualidade do solo pode ser definido como sua capacidade em desempenhar múltiplas funções, sendo essa avaliada por meio de parâmetros químicos, físicos e biológicos do solo.

A primeira menção ao termo foi feita por Mausel (1971), para o qual a qualidade do solo estaria atrelada a sua capacidade de produção agrícola. Larson e Pierce (1991) propuseram a desconexão entre qualidade e produtividade, para incluir as interações entre solo e homem e abranger a sustentabilidade do ecossistema em meio aos usos da terra impostos (BÜNEMANN *et al*., 2018).

Desse modo, a qualidade do solo passou a ser interpretada como uma forma sensível e dinâmica de retratar a condição, resposta ao manejo ou a resistência imposta por forças naturais ou antrópicas.

Dentre os atributos físicos e químicos que podem servir como indicadores da qualidade do solo estão:

- *Condutividade elétrica*: habilidade da solução do solo em conduzir corrente elétrica. Altos valores podem indicar altas concentrações de matéria orgânica e/ou sais dissolvidos, como também em virtude de ações antrópicas, como descarte de resíduos e efluentes no solo (ANDRADE, 2017). Por outro lado, valores muito baixos podem indicar solo exaurido em termos de nutrientes, especialmente sais;
- *pH*: tende a ser baixo em solos de clima tropical, devido à remoção de elementos alcalinos pelas chuvas. Pode apresentar relação com a erodibilidade, em função da textura do solo, sendo diretamente proporcional em solos de textura fina a moderadamente fina, e inversamente proporcional para texturas de média a grossa (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 2015);
- *Matéria orgânica*: seu conteúdo pode alterar a estrutura do solo, pois: melhora a macroporosidade; aumenta sua estruturação e formação de agregados, o que confere maior coesão e resistência à erosão; atua na adsorção de cátions; é

capaz de reter de 2 a 3 vezes seu peso em água, o que eleva a capacidade de armazenamento e infiltração no solo. Baixos teores de matéria orgânica podem indicar instabilidade de agregados e maior risco à erosão laminar, fato que se reflete por sua correlação inversa com a erodibilidade dos solos (BOCUTI *et al*., 2019);

- *Umidade*: diretamente correlacionada ao conteúdo de argila, já que essa influi diretamente na curva de retenção de água no solo (MOURA, SILVA FILHO e DANTAS NETO, 2017). Do mesmo modo, o teor de matéria orgânica afeta a porosidade, distribuição do tamanho de poros, e consequentemente, a absorção de água pelo solo (KAYSER, 2019);
- *Densidade do solo:* é dependente da textura do solo, sendo menor para maiores conteúdos de argila. Também pode ser alterada em função dos teores de matéria orgânica, bem como em virtude da compactação do solo (ABDI *et al.*, 2017);
- *Hidrofobicidade*: repelência do solo à água, o que dificulta seu molhamento. Está associada ao recobrimento das partículas do solo por substâncias orgânicas hidrofóbicas (PAPIEROWSKA *et al*., 2018). Pode ser tanto uma característica natural, principalmente em áreas florestais, como por causa antrópica, a exemplo de queimadas (ALMEIDA *et al*., 2017; VOGELMANN *et al.,* 2017);
- *Cor*: é função da presença de quartzo, óxidos de ferro e alumínio. Teores de matéria orgânica e umidade também influenciam o parâmetro. Possibilita ainda proposições sobre o relevo, vegetação, clima e propriedades mineralógicas, bem como suscetibilidade à erosão (PRUDENTE, 2017; SILVA, 2017);
- *Frações granulométricas (textura)*: análise usualmente feita para partículas iguais ou menores que 2 mm. Esta característica influencia na capacidade de infiltração e absorção de água da chuva, resistência ao cisalhamento e consequentemente no processo erosivo (PAL, 2015; KOITER *et al*., 2017).

Dentre os critérios para seleção de indicadores relativos à propriedades do solo, Bünemann *et al*. (2018) mencionam as seguintes características: facilidade de amostragem e medição; existência de métodos padronizados de estimativa; valores de referência conhecidos; baixo custo de análise; sensibilidade a alterações de cobertura e manejo da terra; responsivo à perturbações; e facilidade de interpretação.

Entretanto, a avaliação da qualidade do solo pode não ser tão simples, já que as reações de resposta a mudanças na cobertura e uso da terra são lentas, e

dificilmente são detectadas antes que danos irreversíveis comecem a ocorrer, como no caso de processos erosivos.

Para Masila (2016), os indicadores de erosão são capazes de refletir alterações nas propriedades dos solos, bem como determinar a fase do processo erosivo e seu potencial à degradação. Nesse sentido, a associação entre indicadores obtidos por análise laboratorial de atributos do solo e os indicadores visuais observados em campo, podem contribuir à avaliação da suscetibilidade à erosão e/ou identificar indícios de ocorrência ativa (PULIDO *et al*., 2017).

Os indicadores visuais de ocorrência de erosão que podem ser verificados de forma direta, são descritos a seguir (GULATI e RAI, 2015; OKOBA e STERK, 2006 apud LAWAL e YAHAYA, 2018):

- *Pedestais de salpicamento*: colunas de solos protegidas por rochas, raízes ou resíduos de culturas, além de crateras criadas pelas chuvas;
- *Lavagem de camada*: indicação do caminho do fluxo superficial em superfície;
- *Ravinas*: canais contínuos ou descontínuos, com mais de 50 cm de profundidade, desenvolvidos após episódios de chuvas intensas. Possuem forma retilínea, alongada e estreita, além de perfil transversal em "V". Raramente se ramificam e não chegam a atingir o nível freático;
- *Raízes expostas*: ocorre devido à exposição de horizontes subsuperficiais do solo, quando sua camada superior foi removida pelo escoamento e salpicamento das gotas de chuva no solo;
- *Sedimentação*: identificada pela deposição de solo oriundo de áreas à montante, e que foram arrastados e depositados em decorrência de escoamento superficial. Caracterizado por material de textura grosseira (areia/cascalho);
- *Pedregosidade*: pequenos fragmentos soltos de material grosseiro (cascalho) depositadas na superfície do solo, indicando transporte do material após ocorrência de erosão hídrica;
- *Afloramentos rochosos*: indica a remoção dos horizontes superficiais do solo pelos fluxos de escoamento e exposição da rocha mãe;
- *Voçorocas*: apresentam largura e/ou profundidade superior a 50 cm apresentando paredes irregulares e perfil transversal em "U", com interceptação do lençol freático;

- *Solos vermelhos*: indicador de remoção do horizonte orgânico (mais escuro) e exposição de horizonte B;
- *Solos soltos*: propensos à erosão hídrica, e apresentam baixa capacidade de retenção de água e baixa coesão.

A respeito das análises visuais *in loco*, pode-se inferir que a presença de ao menos um indicador já é suficiente para se afirmar que o solo analisado está sofrendo processo erosivo. Ao contrário, se nenhum indicador for observado, não necessariamente há ausência de erosão, já que podem ocorrer outros indicadores não observáveis à visão humana.

Assim, o uso desses indicadores pode ainda servir de calibração em avaliações de erosão laminar que utilizem a EUPS, já que permitem a comparação entre o potencial à perda de solo e os locais onde foram identificados.

3.5. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Bacia hidrográfica ou bacia de drenagem corresponde a uma área da superfície terrestre delimitada por divisores de águas e composta por uma rede complexa de drenagem, por meio da qual escoam fluxos superficiais e sedimentos até o ponto de saída do sistema, denominado exutório da bacia (NETTO, 2015).

Atualmente bacias hidrográficas vêm sendo utilizadas como uma unidade de gestão territorial importante a estudos ambientais, onde é possível reconhecer e analisar as inter-relações existentes entre os diversos elementos da paisagem e os processos responsáveis pela esculturação do relevo (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 2015).

De acordo com Christofoletti (1979) bacias hidrográficas constituem um exemplo típico de sistema aberto já que apresentam permanente troca de energia e matéria com o ambiente. A entrada de energia é resultante de forças climáticas atuantes na área, representadas pela chuva e radiação solar, ao passo que a perda de energia ocorre por meio das descargas de rios no ponto exultório e pela evaporação de água ao longo da bacia (XU *et al*., 2018).

Netto (2015) concluiu que mudanças externas no suprimento de energia e massa ao sistema conduzem a um auto ajuste das formas e processos característicos da bacia. Por sua vez, as características da bacia também irão

exercer influência sobre as relações de entrada e saída de energia e massa, fatores que evidenciam a interdependência dos componentes do sistema.

Algumas das características das bacias hidrográficas podem ser quantificadas por meio de estudos morfométricos, que relacionam forma e configuração de sua superfície, e são expressos por aspectos relativos à geometria, rede de drenagem e relevo (MERAJ *et al.*, 2015). A análise morfométrica pode contribuir para o entendimento do comportamento hidrológico da bacia, sendo útil para avaliação de sua suscetibilidade a processos erosivos, bem como subsidiar o processo de planejamento integrado destas unidades de gerenciamento territorial (SOARES *et al.*, 2016; PANDI *et al.*, 2017).

A caracterização morfométrica pode ser realizada a partir da obtenção de informações contidas em mapas, fotografias aéreas, imagens de satélite ou diretamente *in loco*, as quais são utilizadas em etapa posterior para o cálculo de cada aspecto de interesse, por meio da aplicação de fórmulas e índices específicos (NOGUEIRA, 2017).

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. LOCALIZAÇÃO

O Município de Itapevi localiza-se na parte oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Possui área total de 83 km^2 e apresenta altitudes que variam entre 740 m (centro da cidade) e 1.035 m (Serra do Itaqui).

Os municípios limítrofes correspondem a Santana de Parnaíba (norte/noroeste), Barueri (nordeste), Jandira (leste), Cotia (sul/sudeste), São Roque (oeste) e Vargem Grande Paulista (sudoeste).

A bacia hidrográfica do Ribeirão Sapiantã possui 39,3 km^2 e abrange a porção sudoeste do município de Itapevi, em área correspondente a 31,7 km^2. O restante da bacia compreende o território de Vargem Grande Paulista (7,6 km^2), onde se encontram as nascentes que originam seu canal principal, o qual denomina a bacia. Após se conectar ao restante da rede tributária, o Ribeirão Sapiantã deságua na margem direita do Ribeirão Barueri-Mirim, sendo esse um dos afluentes diretos do Rio Tietê. Dessa forma, a bacia faz parte do contexto da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê - UGRHI 06.

As áreas de interesse à pesquisa correspondem a duas das sub-bacias hidrográficas do Ribeirão Sapiantã, denominadas “B1” e “B2” (**Figura 4.1.1)**.

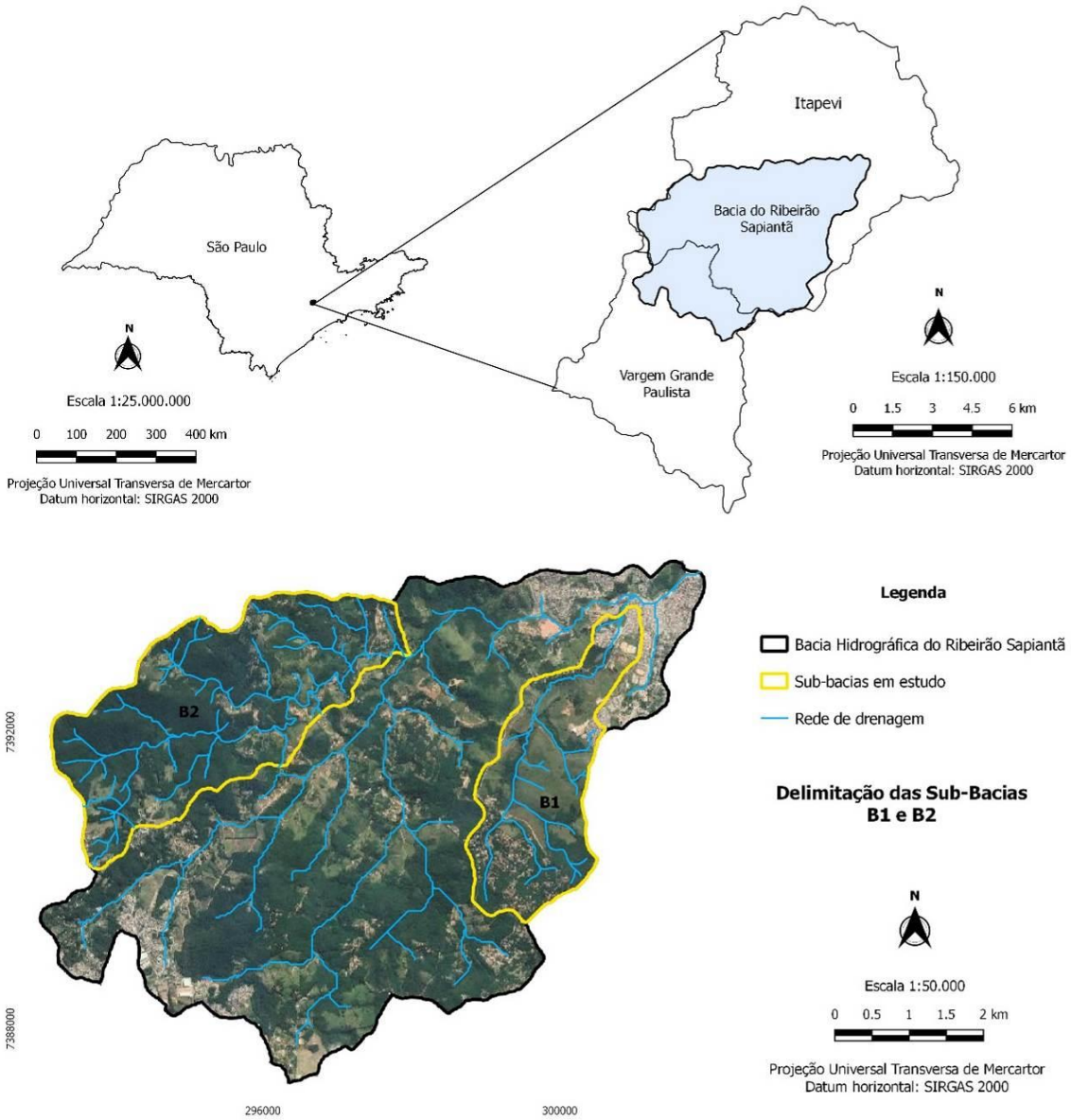


Figura 4.1.1: Bacia do Ribeirão Sapiantã e delimitação das sub-bacias em estudo. **Fonte**: Autora.

4.2. CLIMA

De acordo com a classificação de Köppen apresentada por Santos (2018), o clima no município de Itapevi é do tipo Cwa, tendo em vista que se caracteriza como subtropical úmido, cujo inverno é seco (com temperaturas inferiores a 18ºC e em média equivalente a 14ºC) e verão quente e úmido (com temperaturas superiores a 22ºC e em média equivalente a 26ºC). Este é o padrão climático predominante no Estado de São Paulo (CARDOSO e PEREIRA, 2018), como é o caso da região oeste, onde se situa Itapevi.

De acordo com CEPAGRI (2018), os índices pluviométricos anuais no município correspondem a 1.300 mm.ano^{-1}. A distribuição mensal de chuvas para o período compreendido entre os anos de 1998 e 2018 foi obtida a partir de base de dados de DAEE (2019), e é apresentada por meio da **Figura 4.2.1.**

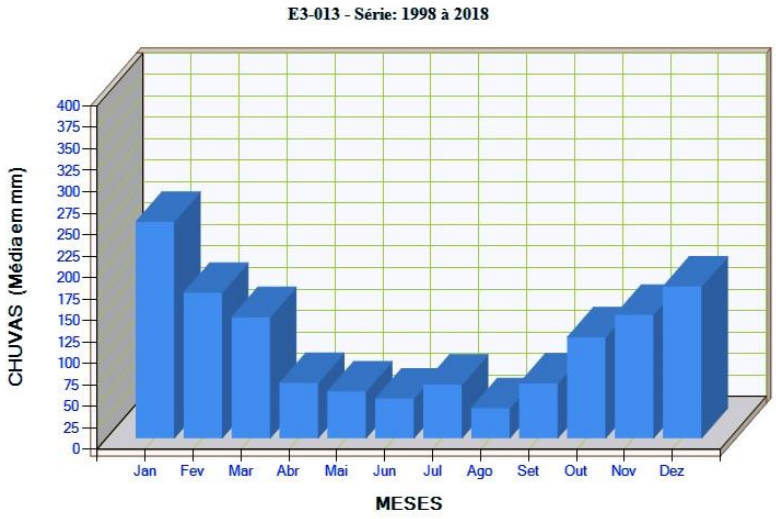


Figura 4.2.1: Distribuição média mensal de chuvas no Município de Itapevi, entre 1998 e 2018. **Fonte:** DAEE (2019).

4.3. ASPECTOS FÍSICOS: GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E SOLOS

Quanto ao embasamento geológico, as sub-bacias se situam sobre substrato do pré-cambriano, também havendo a ocorrência de sedimentos cenozóicos do quartenário, encontrados ao longo dos canais principais de drenagem e caracterizados por aluviões fluviais de areia, cascalho e argila (IPT, 2009). Há predomínio de rochas graníticas, migmatitos e gnaisses graníticos em B1, e migmatitos e gnaisses graníticos em B2.

Ainda de acordo com IPT, as áreas em estudo inserem-se no contexto geomorfológico do compartimento de relevo Morraria do Embu (Planalto Paulistano), onde são característicos processos dinâmicos de evolução de vertentes, assim como relevos desenvolvidos em planaltos dissecados.

Ambas as sub-bacias apresentam predominância de relevo de morros, onde ocorrem declividades superiores a 15% e amplitudes locais de 100 a 300 metros (IPT, 2009). Em B1 verificam-se as categorias mar de morros e morros paralelos, as quais, de forma geral, apresentam topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos a convexos, e alta densidade de drenagem. Vale destacar ainda incidência

de relevo de morrotes junto à porção sudeste da sub-bacia, onde também predominam declividades superiores a 15%, porém com amplitudes altimétricas inferiores a 100 metros. Já em B2 há predominância da tipologia de morros paralelos, sendo que na porção do extremo norte há incidência da tipologia mar de morros. Na borda da sub-bacia é verificada ainda a tipologia de morros com serras restritas, caracterizada por vertentes com perfis retilíneos, os quais, por vezes, se apresentam abruptos.

Quanto aos solos de ocorrência nas áreas, Rossi (2017) aponta para uma predominância de Argissolos vermelho-amarelos, de textura argilosa, média ou média/argilosa, e baixa saturação por bases (distróficos). Tais solos são característicos de áreas onde ocorrem embasamento cristalino e cujo relevo se apresenta acidentado e dissecado. O autor ressalta ainda que solos com tais características podem apresentar relevante suscetibilidade à erosão.

Ainda no que tange ao meio físico, vale destacar as informações contidas na Carta Geotécnica do Estado de São Paulo (IPT,1994), as quais indicam que o município apresenta riscos geológico-geotécnicos, associados, dentre outras causas, à alta suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos induzidos por movimentos de terra, bem como manifestações de sulcos e ravinas já instalados. Já estudo realizado por IPT (2009), acerca de áreas de risco em Itapevi, concluiu que 20% das ocorrências relacionadas a processos de meio físico, referem-se à erosão dos solos.

Mais recentemente, o Laboratório de Gestão de Riscos da Universidade Federal do ABC elaborou a *Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização de Itapevi* (UFABC, 2017), por meio da qual se verificou que nas sub-bacias em estudo predominam áreas classificadas como média aptidão à urbanização, além da existência de trechos enquadrados como inaptos a tal finalidade. Tais enquadramentos estão intimamente relacionadas ao grau de suscetibilidade dessas áreas a processos geodinâmicos, que podem acarretar riscos geotécnicos quando associados a alterações na cobertura da terra, remoção de vegetação e implantação de edificações.

4.4. VEGETAÇÃO

De acordo o *Índice de Cobertura Vegetal Nativa e Classe de Prioridade para Restauração da Vegetação Nativa* (SÃO PAULO, 2017), o município de Itapevi possui 24,8% do território coberto por vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, representado principalmente por áreas secundárias de Floresta Ombrófila Densa. Tal fisionomia é característica de processos de regeneração de espécies em áreas desmatadas em um passado recente.

Além de vegetação nativa há grande incidência de áreas com vegetação exótica, provenientes de ações antrópicas, principalmente espécies como eucalipto (*Eucalyptus spp.*) e pinheiros (*Pinus spp.*).

Na maior parte das áreas não urbanas restantes, a vegetação, quando existente, foi substituída por vegetação herbácea composta predominantemente por espécies exóticas invasoras (usualmente de origem africana), originando principalmente o que hoje se denomina pastagem abandonada.

As sub-bacias em estudo são bem representativas de tal cenário, sendo que em B2 destaca-se ainda a incidência de fragmento primário, bem como alguns trechos de vegetação secundária em estágio avançado de regeneração.

4.5. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

De acordo o *Plano Diretor Participativo de Itapevi* (ITAPEVI, 2008; 2014), o território municipal é considerado “totalmente como área urbana” e apresenta tipologias bastante distintas quanto ao uso e ocupação do solo, com regiões predominantemente residenciais, atividades comerciais, serviços e indústrias, com vetor de expansão da ocupação em direção a oeste.

Entretanto, verifica-se que de fato, menos de 25% da área total do município é efetivamente ocupada com tipologia urbana. Possui forte adensamento, com vários domicílios e habitações subnormais, em sua grande maioria implantadas sob regime de autoconstrução.

Conforme estabelecido pelo Plano Diretor, as sub-bacias em estudo estão enquadradas nas zonas de ocupação listadas a seguir (**Tabela 4.5.1**).

Tabela 4.5.1: Zoneamento municipal incidente nas sub-bacias em estudo.

Sub-bacia	Zoneamento	Definição
B1	Zona de Alta Densidade (ZAD)	Permite o parcelamento em lotes com área mínima de 200 m²
B1	Zona de Média Densidade (ZMD)	Permite o parcelamento em lotes com área mínima de 360,00 m²
B2		
B1	Zona Ambiental de Proteção Permanente (ZAPP)	Parcelamento mínimo de 2000 m². Abrange áreas onde haja flora e fauna nativa e os corredores ecológicos naturais ou reflorestados
B2		
B2	Zona Ambiental de Proteção Sustentável (ZAPS)	Permite o parcelamento mínimo de 2000 m². Caracterizada por chácaras de recreio, unidades agrícolas hortifrutigranjeiras.

Fonte: Adaptado de Itapevi (2008;2014).

4.6. PROCESSO HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DE ITAPEVI

O intuito deste item é apresentar um breve histórico do processo de ocupação e formação do município de Itapevi. Assim, busca-se promover uma maior compreensão acerca da origem dos problemas causados pelo crescimento desordenado de seu território, bem como possibilitar inferências sobre a atual tendência de expansão da urbanização para áreas periféricas, caracterizadas por formas de relevo mais acidentadas, incluindo encostas de altas declividades, onde ainda se verificam fragmentos de vegetação nativa.

A região, onde hoje se encontra Itapevi, era, no início do século XVII, parte do caminho dos bandeirantes que cruzavam o Estado rumo ao sul do país, como também de tropeiros que saíam da então Vila de Sorocaba em direção a São Paulo. Ao longo desse percurso surgiram os primeiros núcleos de povoamento, dentre eles o que deu origem ao município de Cotia. Seu crescimento ocorreu em virtude de cultivos agrícolas, sendo que no início do século XIX, Cotia já exercia papel de centro abastecedor da capital paulista.

Também nesse período, houve a expansão de plantios de café no oeste paulista, o que trouxe a necessidade de investimento em ferrovias para escoamento da produção. Dentre essas linhas, foi construída em 1875 a Estrada de Ferro Sorocabana, que saia de Sorocaba em direção à capital paulista. Uma de suas paradas ficava em Cotia, às margens do Ribeirão Barueri Mirim, onde anos mais tarde se desenvolveria a cidade de Itapevi.

A partir desse período, a cidade foi se estruturando no entorno da então estação de trem Itapevi, a qual era uma das principais fontes de renda da

população, junto à, agricultura e transporte de madeira. No início da década de 1940, iniciou-se o loteamento e venda de todo o terreno que circundava a estação de trem para a população de baixa renda, fato que atraiu inclusive pessoas de São Paulo, que poderiam continuar trabalhando na capital, graças a linha férrea. Dessa forma em um curto espaço de tempo a população local cresceu significativamente, o que não ocorreu na mesma proporção com a infraestrutura da cidade, originando-se assim o processo de crescimento desordenado verificado atualmente. Consequentemente, Itapevi passou a sofrer com a falta de rede de esgotos, água encanada, asfaltamento, e até mesmo energia elétrica.

Ocorre que para que Itapevi se tornasse município, uma das exigências legais impostas era justamente o aumento da população na cidade, o que estimulou ainda mais a criação e venda de lotes. Assim, em 18 de fevereiro de 1959 foi promulgada a Lei Estadual nº 8.525 que emancipava Itapevi de Cotia, sendo uma das primeiras medidas governamentais do novo município, a adoção de uma política de incentivo à industrialização, o que resultou na implantação de importantes polos de trabalho à época, tais como o Frigorífico Itapevi (posteriormente Frigorífico Seara), Fábrica de Cimento Santa Rita (adquirida mais tarde pelo grupo Votorantim), Indústria Paulista de Explosivos S.A., dentre outras.

Em 1970 a população era de 27 mil pessoas, o que praticamente dobrou em uma década. Com isso, novos bairros surgiram, muitos dos quais seguiam carentes de infraestrutura. Conforme cita ACITA (1997), o Censo demográfico de 1980 apontou que um dos principais responsáveis pelo aumento populacional foi a chegada de muitas pessoas vindas de outras cidades. No início dessa década, a prefeitura de São Paulo decidiu construir vários prédios da Cohab, destinados à população de baixa renda. Em apenas três anos após a entrega dos apartamentos, mais de 30 mil pessoas passaram a habitar o local, sem que a cidade conseguisse desenvolver-se na mesma velocidade com que aumentava a população.

A implantação das rodovias Castello Branco e Raposo Tavares também pode ser considerada como fator importante no crescimento populacional e na característica de “cidade dormitório” adquirida por Itapevi. Estima-se que em um período de 40 anos, compreendido desde a emancipação do município e o final dos anos 1990, a população passou de 5 mil para quase 200 mil habitantes.

Atualmente, a cidade se encontra praticamente saturada, e os cerca de 234.352 habitantes (IBGE, 2018) permanecem enfrentando problemas relacionados

à falta de infraestrutura, como é o caso das recorrentes enchentes e alagamentos na região central do município, o qual é praticamente todo cercado por rios e córregos.

Tal cenário vem exercendo influência direta na expansão territorial para as áreas periféricas do município, o que muitas vezes ocorre por meio de implantação de loteamentos ilegais, tendo em vista as restrições impostas pelo macrozoneamento atualmente em vigor, o qual caracteriza a maior parte dessas áreas como de “proteção ambiental” e proíbe o crescimento populacional de alta densidade.

O resultado é a supressão de vegetação para o estabelecimento dos lotes, o que acaba ocasionando em exposição dos solos subsuperficiais e na execução de obras em locais que apresentam riscos geotécnicos. Assim, há a formação de novas áreas com urbanização incipiente, onde mais uma vez, predomina total ausência de infraestrutura básica.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para Gerhardt e Silveira (2009), procedimentos metodológicos devem incluir tanto o detalhamento do tipo de pesquisa, quanto as técnicas de coleta e análise de dados, de modo a representar a “espinha dorsal” de qualquer pesquisa (ROSS, 2014). É importante destacar também o caráter *aplicado* e *explicativo* da presente pesquisa, uma vez que, conforme cita Gil (2007), um trabalho acadêmico fundamenta-se na geração de conhecimento para aplicação prática.

Assim, os procedimentos empregados durante a execução dos trabalhos foram calcados em pesquisas do tipo bibliográfica e experimental, por meio de levantamento de dados secundários, associados à obtenção em campo de dados primários. Para a estruturação e organização da pesquisa, foram consideradas de forma conjunta as metodologias definidas por Libault (1971) e Ross (2014), baseadas em cinco etapas de ação, conforme descrito a seguir:

- **1ª Etapa**: Definição das áreas de interesse à pesquisa;
- **2ª Etapa:** Obtenção e compilação de dados primários e secundários;
- **3ª Etapa**: Manipulação e tratamento de dados. Nessa etapa dados primários foram manipulados em laboratório, por meio de procedimentos específicos definidos pela literatura. Dados secundários foram analisados, e, dependendo de sua natureza, trabalhados em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG), para geração de mapas temáticos de auxílio à pesquisa;
- **4ª Etapa**: Nessa etapa as informações oriundas de dados primários foram tratadas estatisticamente e correlacionadas. Já os dados manipulados por meio de SIG resultaram em informações apresentadas na forma de mapas temáticos. Essas informações passaram a assumir caráter significativo em nível de interpretação, o que permitiu a obtenção de resultados preliminares;
- **5ª Etapa**: Estabelecimento de análises acerca da associação entre todos os resultados obtidos na etapa anterior. Resultou em modelos de representação do produto da pesquisa, utilizados posteriormente para obtenção de conclusões finais da pesquisa.

A **Figura 5.1** apresenta de forma ilustrativa cada uma das etapas da pesquisa, as quais serão mais bem detalhadas ao longo deste item.

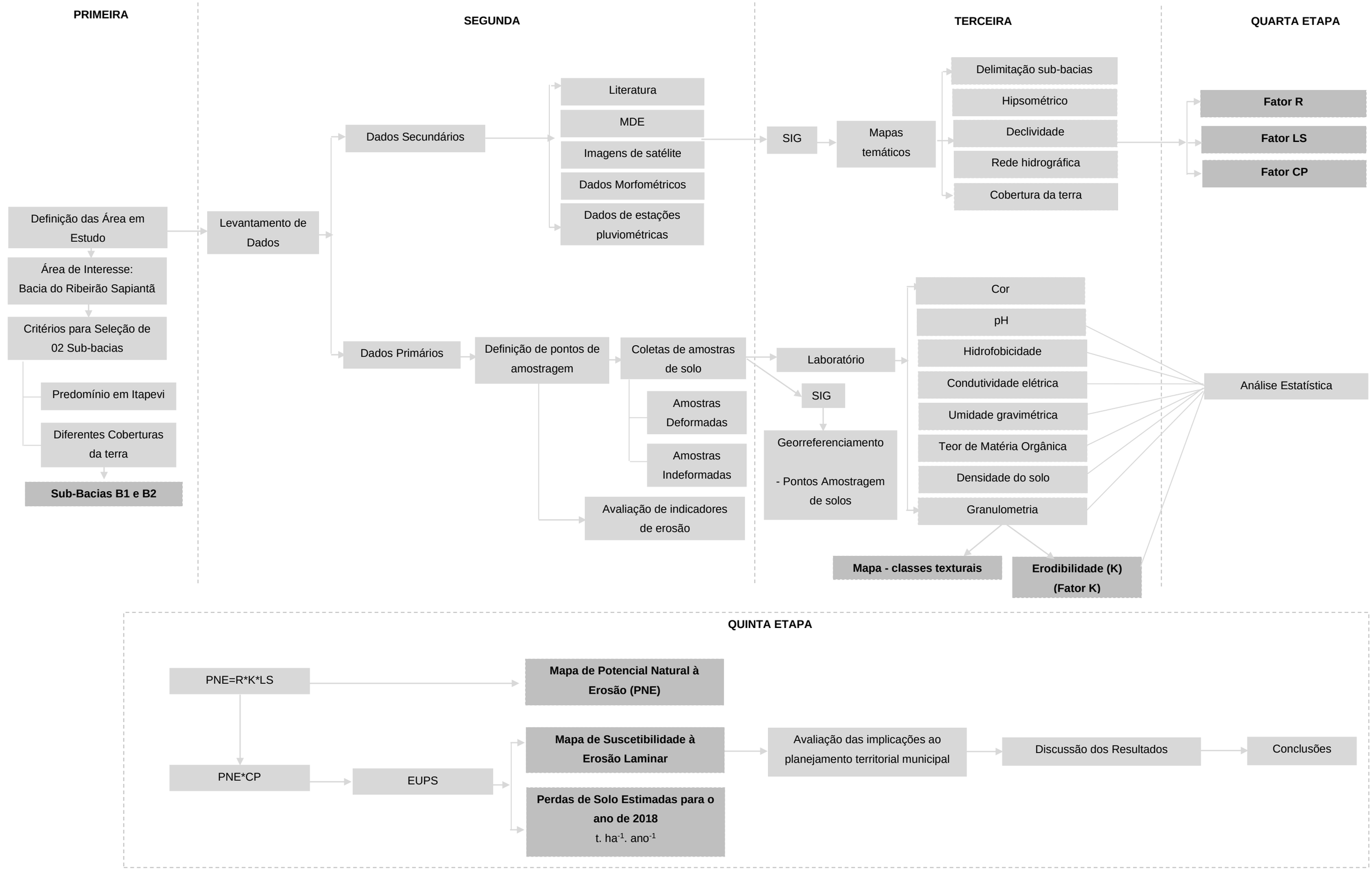


Figura 5.1: Fluxograma ilustrativo acerca das etapas de trabalho consideradas na pesquisa. **Fonte**: Autora.

5.1. PRIMEIRA ETAPA

A definição das áreas em estudo foi feita considerando-se que, devido suas características ambientais, a bacia do Ribeirão Sapiantã exerce papel fundamental ao amortecimento de cheias na região central do município de Itapevi.

Além disso, com o atual direcionamento da expansão urbana para áreas periféricas, a bacia do Ribeirão Sapiantã vem se tornando alvo de processos de ocupação desordenados, muitos dos quais ilegais, ocasionando remoção da vegetação e impermeabilização do solo para estabelecimento de núcleos urbanos. Tal fato pode provocar a instalação de processos erosivos e ocasionar impactos diretos sobre a população residente à jusante da bacia, dentre os quais, assoreamento, inundações e enchentes.

Dessa forma, para a investigação do potencial natural e suscetibilidade à erosão laminar, as suas sub-bacias B1 e B2 foram escolhidas com base em dois critérios:

- Predominância de inserção no município de Itapevi;
- Diferença entre as sub-bacias, no que tange aos padrões de cobertura da terra atualmente incidentes.

5.2. SEGUNDA ETAPA

5.2.1. Obtenção de Dados Secundários

Inicialmente foi criada uma base de dados de referência aos trabalhos, por meio de compilação de material referente às áreas em estudo, tais como características dos meios físico e biótico, bem como por meio de consulta à literatura de referência, no caso bibliografias consagradas no tema em discussão e pesquisas já realizadas com temática similar.

Para a elaboração de material cartográfico, foi obtido Modelo Digital de Elevação (MDE), em formato raster e resolução espacial de 30 metros, junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – "*Projeto Topodata*" (INPE, 2011). A escolha desse tipo de MDE se deu pelo fato de que, conforme aborda Tagliarini (2017), o Topodata foi desenvolvido a partir de dados SRTM (Shuttle Radar

Topography Mission) disponibilizados pelo USGS (U.S. Geological Survey), os quais, após tratamento realizado pelo INPE, tiveram aumento em sua resolução espacial, passando de 90 metros para 30 metros.

Assim, de acordo com os objetivos da presente pesquisa, selecionou-se o MDE representado na quadrícula de código 23s48 do Projeto Topodata, uma vez que engloba os municípios de Itapevi e Vargem Grande Paulista e, consequentemente toda a bacia do Ribeirão Sapiantã. Tal cuidado foi necessário para evitar erros nas análises direcionadas às sub-bacias B1 e B2, em especial, quanto à delimitação da rede hidrográfica, e geração de mapas hipsométrico e de declividade.

Foi necessário ainda obter arquivo vetorial correspondente à delimitação administrativa dos municípios do Estado de São Paulo, em formato *shapefile*, visando à extração do limite municipal de Itapevi. Tal arquivo é oriundo da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Também foi adquirida uma imagem digital do satélite Landsat-8, datada de 26/07/2017, órbita 219 e ponto 076, denominada “LC82190762017207CUB00” junto ao INPE, bem como imagens de satélite de alta resolução, por meio do software *Google Earth Pro* versão 7.3.2.

A obtenção dessas imagens teve o intuito de gerar o mapa de cobertura da terra, utilizado como ferramenta de apoio na fase de seleção de pontos de amostragem de solo nas sub-bacias, bem como na análise de suscetibilidade das áreas à erosão laminar, por meio da EUPS.

Outra questão importante diz respeito à análise de dados referente a parâmetros morfométricos das sub-bacias B1 e B2, os quais foram extraídos de Salomão e Silva (2018), em artigo intitulado “*Análise comparativa de parâmetros morfométricos de duas sub-bacias como instrumento ao planejamento territorial no município de Itapevi/SP*”. Tais parâmetros morfométricos considerados são apresentados na **Tabela 5.2.1.1**.

Tabela 5.2.1.1: Parâmetros morfométricos considerados na pesquisa.

Parâmetro	Fórmula	Referências
Área (A)	----------	*QGis*
Perímetro (P)	----------	*QGis*
Hierarquia dos canais	----------	Strahler (1964)
Nº total de canais (Nu)	----------	Horton (1945)
Comprimento total dos canais (Lu)	----------	*QGis*
Densidade de Drenagem (Dd)	Dd =Lu/A	Horton (1945)
Densidade hidrográfica	Dh = Nu/A	Christofoletti (1969)
Índice de Sinuosidade do Canal Principal (Is)	Is =Lc/Lv Onde: LC = comprimento do canal principal LV= Comprimento vetorial do canal principal	Muller (1968)
Amplitude Altimétrica (H)	----------	Mapa hipsométrico
Altimetria predominante	----------	Mapa hipsométrico
Declividade predominante	----------	Mapa de declividade
Relação de Relevo	Rr =H/Lc	Schumm (1956)
Textura da topografia	log Tt =0,219649+1,115 log Dd	Christofoletti (1969)
Índice de Rugosidade	Rt =H*Dd	Strahler (1958)

Fonte: Salomão e Silva (2018).

Cumpre destacar, no entanto, que a fim de se obter melhor detalhamento dos parâmetros relacionados à rede hídrica nas áreas em estudo, foram selecionadas cartas referentes a levantamento aerofotogramétrico, em escala 1:10.000, elaboradas pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA, 1981), revisadas ao longo da década de 1990. Para tanto, foram utilizadas as seguintes articulações:

- Articulação 2313 – folha Vila Paulista;
- Articulação 2315 – folha Vila Santa Rita;
- Articulação 1326 – folha Raposo Tavares;
- Articulação 1324 – folha Córrego São João.

Finalmente, foram compilados dados referentes a séries históricas existentes em estações pluviométricas próximas às sub-bacias, com intuito de gerar o fator erosividade da chuva da EUPS para as áreas em análise. Foi feita consulta junto ao

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), ao portal *HIDROWEB* (Agência Nacional de Águas – ANA), bem como ao portal *AGRITEMPO* (Sistema de Monitoramento Agrometeorológico).

No entanto, dentre tais bases de dados, apenas o portal AGRITEMPO apresenta dados ininterruptos correspondentes a um período de 18 anos (2000-2018). Sendo assim, foram selecionadas as duas únicas estações pluviométricas que ainda se encontram operantes em um raio de 20 km a partir das sub-bacias, localizadas nos municípios de Cotia e Santana de Parnaíba (AGRITEMPO, 2019).

5.2.2. Obtenção de Dados Primários

5.2.2.1. 1ª Fase: Definição dos pontos de amostragem

Em um primeiro momento, recorreu-se à análise das imagens de satélite, de modo a se obter uma noção geral dos tipos de cobertura da terra representativos em cada uma das áreas.

Posteriormente, no dia 22/09/2018 foi realizada a primeira vistoria a campo, com intuito de confirmar as informações previamente verificadas junto às imagens de satélite, bem como para definir a localização e número de pontos de interesse. Assim, foram definidos 30 pontos de amostragem para cada uma das sub-bacias, distribuídos conforme o tipo de cobertura da terra.

Cumpre destacar que a dificuldade em acessar alguns trechos das sub-bacias, especialmente relacionada a áreas com declividade acentuada e à inexistência de vias de acesso, influenciou diretamente na distribuição dos pontos de coleta de solos. A impossibilidade de definir uma malha de amostragem regular ao longo das áreas, acarretou uma maior concentração de pontos em determinadas regiões.

Outra questão relevante é que os pontos foram definidos em diferentes compartimentos das sub-bacias, abrangendo dessa forma, trechos em encostas, divisores de águas e fundos de vale (várzeas de cursos d’água).

5.2.2.2. 2ª Fase: Coleta de amostras de solo

A campanha de coletas de amostras foi executada em um único dia - 20/10/2018, de modo que todos os pontos de ambas as sub-bacias estivessem sob

mesmas condições de temperatura e umidade relativa do ar. Destaca-se que durante a semana que antecedeu às coletas ocorreram chuvas nas áreas em estudo, fenômeno não verificado ao longo do dia de trabalhos em campo.

Primeiramente, foi definido que para cada ponto de amostragem seriam coletadas 02 amostras, sendo: 01 *deformada*, ou seja, extraída por escavação, o que implica na destruição de sua estrutura e alteração de suas condições de compacidade/consistência; e 01 amostra *indeformada*, extraída com o mínimo de perturbação, procurando-se manter sua estrutura, condições de umidade, e consistência/compacidade naturais (NBR ISO 9604/1986, ABNT, 1986).

Outro procedimento adotado em campo, foi a definição de amostragens do tipo pontuais múltiplas que, segundo Filizola, Gomes e Souza (2006), consiste em coletar, de forma aleatória, amostras múltiplas no entorno e próximas ao ponto de interesse, sendo retiradas de 03 a 05 subamostras simples. Tais subamostras são posteriormente homogeneizadas, e a mistura resultante, considerada como se fosse uma única amostra coletada no ponto. Ainda de acordo com os autores, esse método de coleta tende a diminuir o erro que a amostra simples poderia induzir.

Dessa forma, foram selecionados 03 pontos próximos a cada um dos locais de interesse escolhidos para amostragem.

No caso das amostras deformadas, as subamostras de cada ponto foram extraídas com ajuda de ferramenta apropriada (enxadão) e misturadas, de modo a obter material homogêneo representativo do ponto de interesse. Cada uma dessas amostras foi acondicionada em sacos plásticos e devidamente identificadas, por meio de sigla do local de coleta (nome da sub-bacia e número do ponto de amostragem) e respectivas coordenadas UTM, obtidas por meio de equipamento de GPS (modelo *Garmim eTrex 10*). Cada amostra também foi fotografada, de modo a permitir posteriores identificações complementares de cada local.

Para a coleta de amostras indeformadas, foram utilizados cilindros metálicos e de PVC, de diâmetro médio de 6 cm e altura média de 8 cm, os quais foram cravados com auxílio de martelo de campo em um dos três pontos de retirada de subamostras deformadas, o qual foi escolhido aleatoriamente durante a coleta em cada ponto de interesse. Do mesmo modo que as amostras deformadas, cada um dos cilindros foi acondicionado em sacos plásticos, com a devida identificação do ponto de coleta e respectiva fotografia.

Cada coleta foi realizada no horizonte superficial dos solos, num intervalo entre 0-10 cm, tendo em vista se tratar da camada diretamente desgastada por processos erosivos laminares.

Em cada ponto de amostragem foram coletados, em média, 750g de solo deformado e 226 cm^3 de solo indeformado.

5.2.2.3. 3ª Fase: Avaliação de indicadores visuais de erosão

Paralelamente à coleta de amostras de solo realizada em 20/10/2018, foi também observada a incidência de indicadores visuais de processos erosivos, detectados com base nas caracterizações definidas nos trabalhos de Gulati e Rai (2015); Lawal e Yahaya (2018).

Todos os indicadores verificados, foram devidamente anotados, com a indicação do ponto de ocorrência, por meio de coordenadas UTM. Além de tais fatores, outras características observadas nas áreas em estudo também foram levantadas, tais como, declividade dos pontos de coleta de amostras, condições do relevo, indícios de atividade antrópica (descarte de resíduos; queimadas; lançamentos de efluentes sanitários; obras de corte e aterro para edificações; compactação dos solos), proximidade com corpos hídricos, situação da vegetação existente, entre outros.

5.3. TERCEIRA ETAPA

5.3.1. Elaboração da Base de Mapas Temáticos por Meio de SIG

Todos os mapas temáticos foram elaborados utilizando-se o software de livre acesso *Quantum Gis* (QGis), versão 2.18.7. O arquivo raster do MDE correspondente aos municípios que compõem a bacia do Sapiantã foi previamente preparado, isto é, foi reprojetado com base na Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23K, e datum horizontal SIRGAS 2000.

5.3.1.1. Delimitação das sub-bacias B1 e B2

A partir do MDE reprojetado, foi feita a delimitação prévia da bacia hidrográfica do Ribeirão Sapiantã, por meio do conjunto de ferramentas para construção de análises hidrológicas – *TauDem* (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*), versão 5.1.2, disponível no software QGis. Tal ferramenta também foi empregada nos trabalhos de Nicolete *et al*. (2015) e Schmitt e Moreira (2015), visto que é considerada como um procedimento viável para análises de bacias hidrográficas, devido sua baixa subjetividade e rapidez de aquisição de informações.

O primeiro passo foi o recorte do MDE, através de retângulo envolvente que abrangesse área um pouco superior à da bacia, procedimento que torna os processamentos seguintes mais ágeis. Foi utilizada a ferramenta *Recorte* (menu *Raster-Extrair*), selecionando a opção *Extensão* (*Modo Clipping*). Posteriormente, foram utilizadas as ferramentas do TauDem, conforme indica a **Tabela 5.3.1.1.1**.

Tabela 5.3.1.1.1: Procedimentos para delimitação da Bacia e Microbacias do Ribeirão Sapiantã

Procedimentos	Ferramentas	Função
<u>Passo 1:</u> Ferramentas de Análise Básica	1-A: *Remover Depressão*	Correção de pixels do MDE que poderiam afetar a continuidade do fluxo da água
	1-B: *Direções de Fluxo D8*	Determinação da direção preferencial do fluxo na superfície, dentro de oito possíveis caminhos em relação aos pixels vizinhos
	1-C: *Área de Contribuição D8*	Geração do fluxo acumulado na superfície, com base na direção preferencial do fluxo
<u>Passo 2:</u> Ferramenta de Análise de Rede de Drenagem	*Definição de Limiar para Fluxo Canalizado*	Extração da rede de drenagem para a área do retângulo envolvente
<u>Passo 3:</u> Definição do Exutório da bacia	- Exutório: ponto para onde converge toda a descarga hídrica, coincidente com o ponto de confluência do curso d'água principal com seu receptor; - Coordenadas UTM do exutório: 301.851.00 m E / 7.394.164.00 m N. - Foi criado arquivo vetorial (shapefile) referente ao exutório, e inserido sobre os raster gerados anteriormente.	
<u>Passo 4:</u> Ferramentas de Análise Básica	*Área de Contribuição D8*	Geração do fluxo acumulado na superfície da bacia, definida a partir do exutório
<u>Passo 5:</u> Ferramenta de Análise de Rede de Drenagem	5-A: *Definição de Limiar para Fluxo Canalizado*	Extração da rede de drenagem para a bacia do Ribeirão Sapiantã
	5-B: *Alcance e Fluxo de Bacias*	- Geração da hierarquia da drenagem - Delimitação de microbacias - Rede de drenagem

Fonte: Autora.

O arquivo raster referente às microbacias foi convertido para formato *shapefile*, gerando-se polígonos. Tal procedimento permitiu a manipulação da respectiva tabela de atributos, com objetivo de calcular a área e perímetro da bacia, bem como selecionar as microbacias pertencentes às sub-bacias B1 e B2, conforme os critérios de seleção já abordados na 1ª Etapa desse item.

5.3.1.2. Mapa hipsométrico

Para a elaboração de mapa contendo as classes de altimetria das sub-bacias, foi necessário reclassificar o MDE reprojetado por meio de representação discreta, isso é, agrupamento dos valores de altitudes em intervalos de classe, transformando esses valores em números inteiros. Assim, cada classe hipsométrica foi mapeada por meio de um conjunto de pixels de mesma cor.

De forma preliminar, o MDE foi recortado por meio de ferramenta *Recorte* por *Extensão* (*Modo Clipping*), de modo a obter um retângulo envolvente, cuja área fosse maior que a da bacia do Ribeirão Sapiantã, o que evitaria erros na geração do mapa hipsométrico.

Para execução da reclassificação do MDE recortado, foi criado um arquivo em bloco de notas (formato *_.txt), contendo as classes altimétricas de interesse, as quais foram definidas com base nas cotas mínima e máxima de altitude incidentes nas áreas. O arquivo em questão foi elaborado com base no formato aceito pelo algoritmo *r.recode,* pertencente ao complemento *Grass Gis 7*, disponível no software QGis. Tal procedimento foi adotado também em Mendes *et al*. (2017).

Foram definidas as seguintes classes hipsométricas: 700-750 m; 751-800 m; 801-850 m; 851-900 m; 901-950 m; 951-1.000 m.

O arquivo raster gerado foi novamente submetido ao procedimento de recorte, dessa vez utilizados os contornos referentes a B1 e B2 como “camadas máscara”.

Os novos arquivos raster “reclassificados” foram então formatados, sendo os valores mínimos e máximos de altitude carregados com precisão real. Foi definida ainda a palheta de cores referente às classes altimétricas, sendo as cores frias representativas de baixas altitudes, e cores quentes de valores elevados.

5.3.1.3. Mapa de declividade

Assim como no caso do mapa hipsométrico, foi previamente necessário reclassificar o MDE reprojetado por representação discreta, bem como recortá-lo por meio de retângulo envolvente, de área superior à bacia do Ribeirão Sapiantã.

Posteriormente, foi gerado arquivo referente à declividade da área do retângulo envolvente, utilizando-se o complemento *GDAL/OGR*, ferramenta *Declividade* (menu *Análises*) disponível no software QGis. Para isso, foi selecionada a opção "*declividade expressa em porcentagem (em vez de graus)*".

Para execução da reclassificação do MDE de declividade, foi criado arquivo em bloco de notas (formato *_.txt), contendo as classes de relevo de interesse (**Tabela 5.3.1.3.1**), adotadas conforme proposta da Embrapa (SANTOS *et al.,* 2018). Tal arquivo foi elaborado com base no formato aceito pelo algoritmo *r.reclass,* pertencente ao complemento *Grass Gis 7*, (QGis).

Tabela 5.3.1.3.1: Classes de relevo adotadas

Classes	Intervalo
Plano	0-3%
Suave-Ondulado	3-8%
Ondulado	8-20%
Forte-Ondulado	20-45%
Montanhoso	45-75%
Escarpado	>75%

Fonte: Adaptado de Santos *et al*. (2018).

O arquivo raster gerado foi novamente submetido ao procedimento de recorte, a partir dos contornos referentes a B1 e B2, e posteriormente formatado.

5.3.1.4. Rede hidrográfica detalhada

Nesta fase optou-se por executar um melhor detalhamento da rede de drenagem de B1 e B2, em aprimoramento àquela obtida durante o procedimento de delimitação das sub-bacias (ferramenta *TauDem*).

Assim, a partir de georreferenciamento de cada uma das articulações escolhidas do levantamento aerofotogramétrico da EMPLASA (1981) e posterior junção na forma de mosaico (menu *Raster-Miscelânea-Mosaico*), foi criado arquivo *shapefile* de linhas para extração manual dos cursos d'água sobre o mosaico. Para

isso, foram usados os arquivos correspondentes ao contorno de B1 e B2 para delimitação das áreas de vetorização.

Posteriormente, foi feita a categorização da hierarquia fluvial, conforme método definido por Strahler (1964). A partir da delineação da rede de drenagem detalhada, alguns dos parâmetros morfométricos de B1 e B2, obtidos por Salomão e Silva (2018), foram revisados, de modo a garantir maior refinamento de tais características.

5.3.1.5. Mapa de cobertura da terra

A imagem de satélite Landsat-8 que foi utilizada, é composta por doze bandas, sendo oito multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (bandas 1,2,3,4,5,6,7 e 9), duas bandas termais de 100 metros cada (bandas 10 e 11-TIRS/Termal), faixa pancromática com tamanho de pixel de 15 metros (banda 8), e uma banda de qualidade (PEREIRA *et al*., 2016).

Entretanto, para a geração dos mapas de cobertura da terra de B1 e B2, foram apenas trabalhadas as bandas 6 (infravermelho médio), 5 (infravermelho próximo) e 4 (visível vermelho), em formato *Geotiff*, de modo a se obter composição colorida RGB (Red/Green/Blue), conforme procedimento adotado por Soares *et al.* (2015).

Tal composição é considerada como “falsa cor”, tendo em vista que nas imagens do referido satélite, a composição RGB “verdadeira” seria feita por meio da sobreposição das bandas 4, 3 e 2. Optou-se, no entanto, pela falsa cor objetivando-se realçar as características de solo e vegetação, as quais ficam mais evidentes nesse formato em comparação à cor verdadeira.

A fusão das bandas foi feita por meio da ferramenta *Mosaico* do software QGis, onde se determinou a ordem de cada uma delas. Foi selecionada ainda a opção “*camada acumulada”*, de modo a permitir o empilhamento das bandas (e não apenas a junção como mosaico).

Após a criação do RGB, foi necessário fazer a reprojeção do arquivo para o hemisfério sul, visto que o sistema de referência padrão das imagens Landsat-8 é orientado no hemisfério norte. Também foi feita alteração do datum horizontal, de WGS84 para SIRGAS 2000, por meio da ferramenta *Reprojetar*.

Não houve, porém, a necessidade de alterar o sistema de coordenadas da imagem (de plana para geográficas), já que toda a área em estudo está inserida em um único fuso (23K), podendo ser mantida a projeção UTM.

Posteriormente, partiu-se para a etapa de classificação supervisionada da imagem RGB. Conforme citam Abburu e Golla (2015) e Silva (2016), tal procedimento consiste em selecionar amostras representativas de cada classe de cobertura da terra a serem mapeadas, por meio do agrupamento de pixels que apresentem respostas espectrais semelhantes. Tal metodologia é capaz de dar uma resposta mais detalhada da dinâmica do uso da terra, sendo uma ferramenta importante nos estudos de avaliação de superfície (SILVA, 2015).

A execução do procedimento consistiu, inicialmente, na geração de arquivo vetorial de polígonos que contivesse amostras referentes a cada um dos tipos de cobertura da terra de maior representatividade em B1 e B2. Dessa forma, foram criadas categorias de polígonos, baseadas no *Manual Técnico de Uso da Terra* (IBGE, 2013), (**Tabela 5.3.1.5.1**)

Tabela 5.3.1.5.1: Formas de cobertura da terra considerados para classificação supervisionada

Polígonos	Cobertura da terra	Descrição
Classe1	*Vegetação Florestal*	Fragmentos florestais nativos de Mata Atlântica, correspondentes à fisionomia de Floresta Ombrófila Densa, referentes a áreas remanescentes primárias e estágios secundários de regeneração.
Classe 2	*Pastagem*	Áreas destinadas ao pastoreio de gado, formada mediante plantio de forragens perenes. A cobertura do solo é composta por gramíneas em geral.
Classe 3	*Áreas Antrópicas*	Superfícies artificiais não agrícolas, correspondentes a áreas urbanizadas contínuas (com vegetação excepcional ou inexistente), ou descontínuas (áreas vegetadas mais significativas). Compreendem, adensamentos habitacionais de média e alta densidades, e trecho de ocupação subnormal. Predominam áreas com processo de urbanização incipiente.
Classe 4	*Reflorestamento com Eucalipto*	Áreas de plantio e formação de maciços homogêneos de espécie exótica de eucalipto, para fins comerciais.
Classe 5	*Águas*	corpos d’água naturais e artificiais, tais como: rios, canais, lagos, lagoas e represas

Fonte: Autora.

Para a criação das amostras foi utilizada também imagem de satélite de alta resolução do software Google Earth Pro, pois é uma ferramenta de auxílio para a diferenciação de áreas que porventura apresentassem texturas semelhantes (BOCHICHI, 2018). Tal imagem permitiu ainda um melhoramento no estabelecimento dos limites entre as classes de cobertura da terra.

Finalmente, tanto o arquivo vetorial como o raster RGB foram carregados no plugin *Dzetsaka* (QGis), onde foi selecionado o tipo de classificação de imagem por "*Modelo Gaussiano de Mistura*", desenvolvido por Fauvel *et al.* (2015), e que é o modelo de referência no plugin.

Após a geração de raster referente à classificação supervisionada, foi feita sua formatação, definindo-se as cores a serem utilizadas para a representação de cada classe de cobertura da terra em mapa temático.

5.3.1.6. Mapa de pontos de amostragem de solos

Com base na escolha dos pontos de amostragem de solos nas sub-bacias B1 e B2, conforme detalhado na 2ª Etapa deste item, partiu-se para geração de mapa ilustrativo com as respectivas geolocalizações. De forma preliminar, foi criada planilha digital em formato "_*.*csv*", contendo dados referentes às coordenadas UTM e altitude de cada um dos pontos. Tal formato do arquivo foi utilizado por ser o padrão de entrada de dados tabulares no software QGis.

O mapa final pôde então ser gerado com a utilização da ferramenta *Adicionar Camada de Texto Delimitado* (QGis), a partir da inserção de planilha de dados e definição do sistema de coordenadas de referência.

5.3.2. Manipulação de Dados Primários em Laboratório

Todas as amostras de solo coletadas foram encaminhadas, inicialmente, ao Laboratório do Núcleo de Automação e Tecnologias Limpas (NATEL) da Unesp Sorocaba, para análise de atributos físico-químicos gerais e fração cascalho dos solos, sendo:

- Para amostras indeformadas: volume da amostra; massa de solo seco; massa de água; umidade gravimétrica; densidade do solo; hidrofobicidade.

- Para amostras deformadas: massa total; condutividade elétrica; pH em H_2O; teor de matéria orgânica; cor; fração cascalho;

Posteriormente, alíquotas de cada uma das amostras deformadas foram encaminhadas ao Laboratório de Águas e Solos da Unesp Sorocaba, para realização de análises granulométricas, com intuito de se estabelecer as classes texturais dos solos de B1 e B2, por meio de quantificação dos percentuais de areia grossa, areia fina, silte e argila.

Finalmente, com base nos resultados referentes às classes texturais, foi calculada a *Erodibilidade* (K) de cada um dos solos analisados, os quais foram ainda categorizados qualitativamente.

Para todos os atributos em análise, bem como respectivos resultados, foi adotado Sistema Internacional de Unidades (SI).

Os resultados obtidos foram devidamente tabulados em planilhas digitais, por meio do processador de dados *Excel* (v.365), sistema operacional *Microsoft Windows*, produzido pela *Microsoft Office*.

5.3.2.1. Determinação de atributos físico-químicos de interesse

a) Amostras indeformadas

Cada cilindro (metálico e PVC) foi pesado em balança digital com duas casas decimais, para obtenção da massa total, referente ao conjunto cilindro + massa de sólidos + massa de água.

Após a pesagem, foram verificados a altura dos solos nos cilindros (h) e o diâmetro (D) com uso de paquímetro, para posterior cálculo do volume de cada amostra indeformada (V), por meio da equação:

$$\mathbf{V = \pi * (D^2/4) * h} \qquad (3)$$

As amostras indeformadas foram submetidas à secagem em estufa por 48 horas a 65ºC. Posteriormente, foram novamente pesadas, resultando em valores referentes à massa dos conjuntos cilindro + massa de sólidos.

Outro atributo analisado foi a hidrofobicidade dos solos de B1 e B2, a qual foi realizada por meio de adaptação de método denominado *Tempo de Penetração da Gota de Água (TPGA)*, definido por King (1981 apud VOGELMANN *et al.*, 2015).

Cada amostra indeformada foi submetida à penetração de três gotas de água destilada em sua superfície, liberadas de uma altura aproximada de 10 mm acima da superfície do solo, para minimizar o impacto com a superfície. Foi cronometrado o tempo que cada gota levaria para penetrar completamente no solo, sendo posteriormente, feitas as respectivas médias do tempo de cada amostra. Os valores obtidos foram categorizados conforme Bisdom *et al.* (1993 apud VOGELMANN *et al.*, 2015), sendo definidas as classes:

- *Hidrofílico* (<5s);
- *Levemente Hidrofóbico* (06-60s);
- *Fortemente Hidrofóbico* (61-600 s);
- *Severamente Hidrofóbico* (>3600 s).

Finalizada a análise da hidrofobicidade, cada amostra de solo foi retirada do cilindro e pesada, de modo que se obtivessem as respectivas massas de sólidos (m_{seca}). Cada um dos cilindros foi lavado e seco em estufa, com posterior pesagem. Assim, também foi possível determinar a massa de água perdida em cada amostra ($m_{água}$), por meio da diferença entre a massa inicial do conjunto (cilindro + m_{seca} + $m_{água}$), e as massas dos cilindros e de sólidos.

Mediante o conhecimento das massas de sólidos e de água, calcularam-se os percentuais de umidade gravimétrica dos solos (W), conforme Pinto (2015).

$$\mathbf{W = (m_{água} / m_{seca})} \quad (4)$$

Finalmente, foi calculada a densidade do solo (ρ_d), por meio da relação entre massa de sólidos e volume total de cada amostra (PINTO, 2015).

$$\boldsymbol{\rho_d = m_{seca} / V} \quad (5)$$

b) Amostras deformadas

Assim como para as amostras indeformadas, o primeiro procedimento realizado foi a pesagem de cada amostra em balança digital com duas casas decimais, para obtenção da massa total, referente ao somatório da massa de sólidos com a massa de água presente nos solos.

Após a pesagem, foram determinados a condutividade elétrica e pH em água de cada amostra. Para isso, foram utilizados béqueres de 100 ml devidamente identificados com o código da amostra, onde foram acrescentados 20 ml de solo e 50 ml de água destilada. Agitou-se suavemente a solução, sendo a mesma deixada em repouso por 30 minutos.

Findado o tempo, em uma primeira fase foi obtido o atributo condutividade elétrica, por meio de condutivímetro portátil marca/modelo *PCSTestr 35* (*Eutech PCSTEST35-01X441506 / Oakton 35425-10*), calibrado conforme recomendações do fabricante, e ajustado à temperatura da amostra, que era a mesma do ambiente (25ºC). Após cada leitura, o eletrodo do condutivímetro era lavado com água destilada e seco em papel toalha, antes de ser colocado em nova solução de amostra.

O mesmo procedimento e equipamento foram usados para determinação do pH de cada uma das amostras.

Ao final das medições, as 60 amostras deformadas oriundas de B1 e B2 também foram submetidas à secagem em estufa, por período de 48 horas a 65ºC.

A próxima fase consistiu em determinar o teor de matéria orgânica de cada amostra. Para tanto, utilizou-se o *Método da Mufla*, que de acordo com Suguio (1973), consiste na determinação da perda de massa do solo, mediante sua submissão a altas temperaturas em determinado intervalo de tempo. O teor de matéria orgânica foi determinado em razão da perda de massa do resíduo incinerado.

Para aplicação do método, foram separados cadinhos de cerâmica, previamente identificados conforme a sigla das amostras, e devidamente pesados. Os cadinhos foram preenchidos com 20 g de solo de cada amostra seca em estufa, sendo posteriormente acondicionados na mufla e incinerados em uma temperatura de 400ºC, por 120 minutos. Depois de retiradas da mufla, os conjuntos (cadinho + cinzas) foram colocados em dessecador até o total resfriamento, e em seguida, pesados. O teor de matéria orgânica foi determinado conforme equação empregada em Mendes (2018), expressa a seguir:

$$\textbf{M.O. (\%) = (P - (T - C) x 100)/P} \qquad (6)$$

Sendo: P = Massa inicial do solo seco em estufa (20 g);
T = Massa do conjunto cinza + cadinho após incineração (g).
C = Massa do cadinho (g)

Os valores encontrados de matéria orgânica foram então convertidos para $g.dm^{-3}$, por meio de multiplicação do percentual de matéria orgânica por fator de conversão “10”, conforme Raij *et al*. (1997):

$$\textbf{M.O. (g.dm}^{-3}\textbf{) = M.O. (\%) * 10} \quad (7)$$

Em seguida, procedeu-se à determinação do parâmetro cor. Para tal, foi utilizada *Carta Munsell* (MUNSELL SOIL COLOR COMPANY, 1950), a qual classifica as cores do solo de acordo com três componentes, sendo, matiz (cor espectral dominante), valor (tonalidade da cor) e croma (pureza da cor) (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 1993).

As determinações de cor das amostras foram feitas por comparação visual de torrões de solos secos com os padrões da carta de Munsell, e a classificação da cor foi obtida por análise da sequência matiz-valor-croma.

Destaca-se que a Carta Munsell é utilizada pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SIBCS (SANTOS *et al.,* 2018) como padrão na classificação da cor do solo, sendo por isso empregada na pesquisa.

Ao final da fase de determinação dos atributos físico-químicos, foram retirados, em média, 100 g de solo seco de cada uma das amostras deformadas, as quais passaram por processo de trituração manual, por meio de pilão de cerâmica, para quebra de possíveis agregados. Em seguida executou-se peneiramento das frações mais grosseiras dos solos, com uso de peneira de malha 2 mm, para separação e pesagem do material retido, classificado por Santos *et al.* (2015) como cascalho.

O material passado pela peneira, também denominado como “terra fina seca ao ar” (TFSA), foi encaminhado ao Laboratório de Águas e Solos, para análise e determinação das frações granulométricas de cada uma das amostras.

5.3.2.2. Análises granulométricas

Os procedimentos para análise granulométrica foram executados de acordo com o *Boletim Técnico nº 106 - Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física*

de Solos do Instituto Agronômico de Campinas - IAC (CAMARGO *et al.,* 2009), e tiveram como objetivo determinar a distribuição percentual das partículas primárias do solo, ou sua textura.

Para tanto, foi escolhido o *Método da Pipeta* (DAY, 1965), que consiste basicamente nas seguintes fases de execução: preparo das amostras e do material necessário a granulometria; peneiramento de partículas maiores; sedimentação das partículas mais finas; cálculo da distribuição granulométrica das partículas.

Cumpre destacar que foram realizadas duplicatas para 10% das amostras de cada sub-bacia, com intuito de garantir maior confiabilidade quanto aos resultados obtidos.

a) Fase Preliminar: Preparo das amostras e do material de apoio

Inicialmente, a partir das alíquotas das amostras de solo devidamente destorroadas, foram extraídas subamostras de 10 g, acondicionadas em béqueres de 50 ml, e pesadas em balança de precisão com quatro casas decimais.

Houve também a pesagem de 60 placas de Petri e 120 cadinhos, bem como identificação com a sigla de cada amostra, materiais estes utilizados ao longo da execução da análise granulométrica.

Outra questão importante, diz respeito à necessidade de dispersão total de todos os agregados dos solos amostrados em partículas primárias, sem, no entanto, quebrá-las. Para isso, foi empregada solução dispersante contendo 20 g de hidróxido de sódio e 50 g de hexametafosfato de sódio, dissolvidos em 5 litros de água destilada. A solução foi agitada até a completa dissolução do reagente.

Posteriormente, cada uma das amostras de solo foi transferida para garrafas de Stohmann, para as quais foram acrescentados 50 ml da solução dispersante. Em seguida, cada uma das garrafas foi alocada em agitador rotatório de Wagner, com intuito de promover a desagregação das partículas, utilizando-se rotação lenta (30 rpm), durante dezesseis horas, conforme método preconizado por Grohmann e Raij (1973).

b) *Fase 1*: Peneiramento das partículas grosseiras

Findado o período de dispersão, o conteúdo das garrafas de Stohmann foi simultaneamente peneirado em malha de 0,2 mm e transferido para uma proveta de 500 ml. A proveta teve seu volume completado com água destilada, quando necessário.

Salienta-se que a peneira foi escolhida em função do sistema de classificação textural adotado para a pesquisa, correspondente ao Sistema Internacional ou Atterberg, desenvolvido pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo (ISSS). Dessa forma, para a classificação das amostras em análise, foi utilizado triângulo textural proposto pelo IAC (CAMARGO *et al.*, 2009), o qual é baseado no ISSS.

Assim, foram considerados os seguintes diâmetros de partículas, e respectivas frações texturais, definidas por Teixeira *et al*. (2017):

- < 0,002 mm: Argila;
- 0,002 mm - 0,02 mm: Silte;
- 0,02 mm - 2,0 mm: Areia

Após o processo de peneiramento, o material retido na peneira foi lavado com jato forte de água destilada, e transferido para placas de Petri anteriormente pesadas e identificadas. Em seguida, as placas foram colocadas em estufa a 105ºC, onde permaneceram até todo o conteúdo líquido evaporar, restando apenas as partículas de *areia grossa* (diâmetro entre 0,2 e 2 mm). As placas foram colocadas em dessecador para redução da temperatura, e posteriormente, a areia grossa foi pesada em balança de precisão de quatro casas decimais.

c) *Fase 2*: Sedimentação

A suspensão contida em cada proveta correspondia às partículas finas do solo, ou seja, areia fina, silte e argila.

Partiu-se para a execução da 1ª sedimentação, baseada na Lei de Stocks, para a qual a velocidade de sedimentação das partículas são proporcionais ao quadrado de seus diâmetros, ou seja, as partículas maiores sedimentam primeiro, fato que reduz a densidade da parte superior da proveta (PINTO, 2015).

Assim, o conteúdo das provetas foi submetido a agitação manual, por meio de bagueta com embolo, durante 30 segundos. Ao final do tempo, acionou-se cronômetro por período de 4 minutos e 28 segundos, visto que segundo Camargo *et al.* (2009) é o tempo necessário para sedimentação de partículas de solo com massa específica de 2,65 $g.cm^{-3}$, a uma temperatura de 23ºC da solução (mantida como padrão no laboratório).

Transcorrido o tempo necessário para a 1ª sedimentação, foram introduzidas pipetas de 10 ml em cada uma das provetas a uma profundidade de 10 cm, para amostragem de conjunto argila + silte.

O conteúdo de cada pipeta foi transferido para os cadinhos de porcelana previamente pesados e identificados, os quais foram colocados em estufa a 105ºC até que todo o conteúdo líquido evaporasse, restando apenas as partículas de *silte e argila*. Os cadinhos foram colocados em dessecador para redução da temperatura.

Ao término da execução da primeira fase de pipetagem, partiu-se para a 2ª sedimentação, para a qual o procedimento de agitação manual de cada proveta foi repetido por 30 segundos, sendo que ao final desse tempo o cronometro foi novamente acionado, dessa vez, para período de 3 horas e 48 minutos, tempo necessário para sedimentação de partículas finas de solo, para uma temperatura de 23ºC da solução (mantida como padrão no laboratório).

Após esse período, foram introduzidas pipetas de 10 ml em cada proveta a uma profundidade de 5 cm, para amostragem de argila. O conteúdo de cada pipeta foi transferido para os cadinhos de porcelana previamente pesados e identificados, os quais foram colocados em estufa a 105ºC até que todo o conteúdo líquido evaporasse, restando apenas as partículas de *argila.* Os cadinhos foram colocados em dessecador para redução da temperatura.

Para finalizar a etapa de sedimentação, todos os cadinhos foram pesados em balança de precisão de quatro casas decimais, resultando em massa do conjunto silte + argila + dispersante (1ª sedimentação) e argila + dispersante (2ª sedimentação).

d) *Fase 3:* Cálculo da distribuição granulométrica

Ao final das pesagens das amostras obtidas após as fases de peneiramento e sedimentação, foram calculados os percentuais de TFSA. Para cada uma das

alíquotas pesadas, foi subtraído o peso do dispersante utilizado, correspondente a 0,014 g (CAMARGO *et al.*,2009).

Assim, foram utilizadas as seguintes fórmulas, definidas pelo *Boletim Técnico nº 106* do IAC:

Argila (%) na TFSA = [peso da argila + dispersante - peso do dispersante] *500 (8)

Silte (%) na TFSA = [peso da argila + silte + dispersante - peso da argila - peso do dispersante] * 500 (9)

Areia grossa (%) na TFSA = peso da areia grossa * 10 (10)

Areia fina (%) na TFSA = 100 - (% argila + % silte + % areia grossa) (11)

A partir da obtenção das frações de argila, silte, areia grossa e areia fina, os solos de B1 e B2 puderam ser classificados conforme a respectiva classe textural, por meio do triângulo do IAC (CAMARGO *et al.*,2009).

5.3.2.3. Geração de mapa de classes texturais dos solos

Para a elaboração do mapa, foi criada planilha digital em formato "*_.*csv*", contendo os dados referentes às classes texturais de cada um dos pontos amostrados, bem como as respectivas coordenadas UTM. Tal planilha foi então adicionada à ambiente SIG do software QGis, por meio da ferramenta *Adicionar Camada de Texto Delimitado*, de modo a gerar arquivo vetorial de pontos.

Os pontos gerados foram então interpolados, a partir do uso do método "*Peso Pelo Inverso da Distância" (IDW)*. Tal procedimento se baseia na média ponderada, sendo atribuído peso maior ao ponto mais próximo. Assim, assume-se que cada ponto utilizado possui uma influência local que diminui com o aumento da distância e em função da potência atribuída (RIGHI e BASSO, 2016). O interpolador normalmente é usado com expoente "2" para especialização de dados e apresenta resultados satisfatórios para estimativa de distribuição de atributos físicos e químicos dos solos (SILVA, 2016).

Dessa forma, foi possível gerar arquivo raster que contivesse uma estimativa das classes texturais para as demais áreas de B1 e B2 que não foram amostradas.

5.3.2.4. Determinação do Fator Erodibilidade dos Solos (K)

O fator Erodibilidade do solo (K) foi calculado a partir das frações areia, silte e argila, obtidas pela análise granulométrica. Foi usado método indireto, definido como *Equação de Bouyoucos* (MANNIGEL, 2002), cuja equação é apresentada a seguir:

$$\textbf{Fator K} = ((\%\ \text{areia} + \%\ \text{silte})/(\%\ \text{argila}))/100 \quad (12)$$

Sendo: Fator K expresso em $t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}$

Ressalta-se que a equação de Bouyoucos foi adotada, visto que, conforme concluem Demarchi e Zimback (2014), os valores de K calculados por meio dessa técnica, se apresentam mais próximos dos índices comumente utilizados em estudos de simulação de perda de solo por erosão. Também apontaram que a equação possibilitou melhor distinção entre classes de solo com propriedades físicas diferentes, quando comparados aos valores calculados por meio de Denardin (1990), os quais demonstraram-se superestimados e menos sensíveis a alterações de classes texturais de solos.

Os valores de K foram ainda categorizados conforme classificação de Mannigel *et al*. (2002), expressos na **Tabela 5.3.2.4.1**.

Tabela 5.3.2.4.1: Classes de erodibilidade do solo

Classes de K	Intervalo ($t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}$)
Muito Baixa	< 0,009
Baixa	0,009-0,015
Média	0,015-0,030
Alta	0,030-0,045
Muito Alta	0,045-0,060
Extremamente Alta	> 0,060

Fonte: Adaptado de Mannigel *et al*. (2002)

5.3.2.5. Mapa temático do Fator K

Para a elaboração do mapa também foi utilizado método interpolação IDW, cujos procedimentos são análogos aqueles realizados para geração do mapa de classes texturais. Dessa forma, foi possível obter arquivo raster contendo estimativa de valores de erodibilidade também para as áreas de B1 e B2 que não foram amostradas.

Em etapa posterior, o raster foi reclassificado, utilizando-se para tal, arquivo em bloco de notas (formato *_.txt), contendo as classes de erodibilidade previamente definidas. Tal procedimento foi executado por meio da ferramenta *r.recode* do QGis, e resultou no mapa de erodibilidade para cada uma das sub-bacias.

5.4. QUARTA ETAPA

5.4.1. *Análises estatísticas*

Todas as análises estatísticas realizadas nesta fase da pesquisa foram executadas por meio da utilização conjunta entre o software gratuito *PAST - Palaeontological Statistics*, versão 3.0 (HAMMER *et al*., 2001), e processador de dados *Excel* (v.365), desenvolvido pela *Microsoft Office*.

5.4.1.1 Estatística descritiva

Os atributos quantificáveis dos solos obtidos em laboratório, passaram por análise estatística descritiva sendo que cada amostra e respectivos valores de atributos foram agrupados conforme a classe de cobertura da terra a que pertenciam. Assim, foram calculados os principais indicadores estatísticos, dos quais se destacaram os seguintes:

- Menor valor;
- Maior valor;
- Média;
- Coeficiente de variação

De forma complementar, foram gerados gráficos do tipo *boxplots* para cada um dos atributos dos solos, de modo a verificar a ocorrência de possíveis pontos com valores discrepantes (*outliers*), os quais pudessem comprometer as análises.

Para cada *outlier,* foi feita análise individual e das amostras geograficamente próximas a ele, de modo a avaliar se havia explicações para os valores obtidos. Nos casos em que não houve justificativas para o valor apresentado, a respectiva amostra foi removida da análise do atributo em questão, de modo a se evitarem erros na estimativa de futuros resultados.

Ao final dos procedimentos, os indicadores estatísticos foram utilizados para efetuar comparações entre os valores de cada classe de cobertura da terra.

5.4.1.2. Análise de variância - atributos do solo

Essa etapa teve como objetivo identificar quais dos atributos quantificáveis dos solos eram influenciados pela classe de cobertura da terra em que cada uma das amostras havia sido coletada. Dessa forma, os atributos assumiram a condição de variáveis estatísticas dependentes, ao passo que a classe de cobertura da terra seria a variável estatística independente.

Para tanto, após a etapa de análise estatística básica, houve a avaliação da normalidade das variáveis, por meio do *Teste de Shapiro - Wilk*, assim como realizado em Zolin *et al*. (2016) e Celante (2017).

A avaliação da homogeneidade das variáveis dependentes, seguiu procedimento realizado por Gaião *et al.* (2017) e Tarassoum e Lovane (2019), por meio do *Teste de Lavene*, o qual se baseia nas médias para as variáveis que apresentam distribuição normal, e nas medianas para as demais.

O objetivo desses testes foi verificar qual o tipo de análise de variância seria aplicável em cada caso. Quando as variáveis se apresentaram não normais ou heterogêneas, foi executada transformação logarítmica dos valores, para então submetê-los a novos testes de normalidade/homogeneidade.

Ao final, assim como em Qu *et al*. (2016), para as análises de variância das variáveis normais e homogêneas, foi usada técnica paramétrica *ANOVA - one way,* seguida de aplicação de *Teste de Comparação Múltipla das Médias de Tukey* ao nível de probabilidade de 5% (p-valor), sendo este utilizado para identificar em quais tipos de cobertura da terra haviam sido identificadas diferenças significativas de variância entre suas amostras.

Cumpre mencionar que o *p-valor* se refere à probabilidade de erro ao rejeitar a hipótese nula de variação aleatória entre as amostras de cada classe de cobertura da terra para a variável em análise. Para tanto, utilizam-se como significativos, p-valores menores que 0,05 (GOTELLI e ELLISON, 2011).

No caso de aplicação de teste paramétrico, foi utilizado ainda o programa *Excel* para avaliação do valor de *F crítico*, o qual deve ser menor que *F* (fração explicada pelo fator de interesse), para que se rejeite a hipótese nula.

Para as variáveis que não apresentaram normalidade ou homogeneidade, foi aplicado teste não-paramétrico de *Kruskal Wallis* (com p<5%), associado ao teste *post hoc* de *Mann Whitney* com *correção de Bonferroni*, conforme procedimento computacional empregado pelo software *PAST,* para identificar em quais tipos de cobertura da terra haviam sido identificadas diferenças significativas de variância.

A utilização de testes não-paramétricos tende a ser de grande importância em análises ambientais, visto que as variáveis podem não apresentar normalidade. Tal ideia se aplica à análise de solos, já que devido a causas como práticas de uso e manejo ou efeitos temporais e espaciais, alguns de seus atributos podem ser alterados significativamente (FERRARI *et al*., 2018). A exemplo disso, amostras de solo coletadas em áreas com características distintas possivelmente não apresentarão normalidade, assim como no caso de solos de horizontes superficiais, os quais podem ser diretamente influenciadas por ação antrópica.

A partir de tais considerações, ao final das análises de variância realizadas com os solos de B1 e B2, pôde-se verificar se cada um dos atributos pesquisados sofria variação de acordo com a classe de cobertura da terra incidente nas sub-bacias. Em caso afirmativo, foi possível ainda quantificar o grau dessa variação (valor F - *ANOVA-one Way* ou valor chi^2 - *Kruskal Wallis*).

5.4.1.3. Análise multivariada: análise de componentes principais (ACP) – atributos do solo e cobertura da terra

Após os resultados obtidos pela análise de variância, procedeu-se à análise multivariada, cujo intuito foi verificar a relação geral entre as variáveis que se apresentaram influenciadas pelos tipos de cobertura da terra ocorrentes em B1 e B2, de modo a obter maior compreensão dos vínculos existentes e reconhecer padrões do ambiente em estudo (RAFAEL, 2019).

Dentre as técnicas existentes, foi escolhida a *Análise de Componentes Principais (ACP)*, cujo princípio é o agrupamento dos atributos dos solos de acordo com suas variâncias, isto é, conforme a variação de suas características, dentre as classes de cobertura da terra.

A técnica consiste em transformar linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto substancialmente menor de variáveis não correlacionadas e que contenham a maior parte da

informação do conjunto original (componentes principais - CP). Cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais (HONGYU, SANDANIELO e OLIVEIRA JUNIOR, 2016).

O critério de decisão sobre o número de componentes principais a ser considerado se baseou na capacidade que esses CP têm em explicar no mínimo 70% da variância dos dados (PRADO *et al*., 2016).

O posicionamento das amostras de solo em relação aos componentes principais (eixos do plano cartesiano) foi influenciado principalmente pelas variáveis que ocupam mesmas posições ou posições opostas no plano.

Dessa forma, foi possível agrupar os atributos dos solos de B1 e B2 de acordo com cada classe de cobertura da terra a que se associam.

5.4.1.4. Associação entre cobertura da terra e atributo hidrofobicidade do solo

Para análise de ocorrência de associação entre o atributo e os tipos de cobertura da terra, primeiramente, foi feita conversão, de variável quantitativa para qualitativa, por meio de categorização dos valores obtidos nas classes de hidrofobicidade propostas por Bisdom *et al* (1993 apud Vogelmann *et. al.*, 2015). Isso foi necessário, tendo em vista que como a unidade de referência para hidrofobicidade são *segundos* e os valores obtidos apresentaram grande amplitude, se a variável fosse tratada como quantitativa e avaliada em conjunto com as demais, poderia ocasionar erros estatísticos em todas as análises efetuadas.

Assim, foi realizado teste estatístico de *Chi Quadrado de Independência* visto se tratar de variáveis categóricas. Porém, como algumas células apresentaram “valores esperados” inferiores a 5, foi utilizado p-valor de Monte Carlo (GOTELLI e ELLISON, 2011).

Foi considerado haver associação entre as variáveis, caso o p-valor fosse significativo (<5%). Para esse caso, o grau de associação entre hidrofobicidade e cobertura da terra foi calculado pelo teste *Cramer’s V*, tendo em vista que as matrizes de dados eram diferentes de “2x2”.

Caso as variáveis se mostrassem associadas, foi ainda avaliado se as frequências observadas em cada categoria de hidrofobicidade eram superiores ou inferiores aos valores esperados para cada classe de cobertura. Caso se

demonstrassem superiores, seria possível avaliar em quais tipos de cobertura da terra os solos apresentariam tendência à hidrofobicidade.

5.4.1.5. Estatística descritiva do Fator K e análise de variância com os tipos de cobertura da terra

Após calcular os valores de K para todas as amostras de solo de B1 e B2, foram adotados os mesmos procedimentos realizados para as demais variáveis, ou mais especificamente: avaliação da estatística descritiva por classe de cobertura da terra; avaliação de normalidade e homogeneidade da variável (com correção logarítmica, se necessário); e aplicação do teste de variância adequado à situação paramétrica ou não-paramétrica verificada.

Ao final, foi possível avaliar se a erodibilidade do solo sofria variações significativas de acordo com a classe de cobertura da terra das sub-bacias B1 e B2. Em caso afirmativo, foi possível quantificar o grau dessa variação (valor F - *ANOVA-one Way* ou valor chi^2 - *Kruskal Wallis*).

5.4.1.6. Correlação entre atributos do solo e Fator K

Nesta etapa, foi analisada a correlação entre a erodibilidade calculada e os atributos referentes às frações granulométricas dos solos analisados. Para tanto, foi utilizada *Correlação de Pearson*, que mede a relação estatística entre duas variáveis contínuas, e cujo coeficiente de correlação (R) reflete a intensidade dessa relação, por meio de valores situados ente -1,00 e 1,00 (ARAÚJO; SANTOS; REIS, 2019). De acordo com os autores em questão, foram consideradas as seguintes correlações:

- Positiva perfeita = +1,00
- Muito forte: = 0,90 a 0,99
- Forte = 0,70 a 0,89
- Moderada = 0,40 a 0,69
- Fraca = 0,20 a 0,39
- Bem Fraca = 0,01 a 0,19
- Ausência de correlação = 0,00
- Negativa perfeita = -1,00
- Muito forte: = -0,90 a -0,99
- Forte = -0,70 a -0,89
- Moderada = -0,40 a -0,69
- Fraca = -0,20 a -0,39
- Bem Fraca = -0,01 a -0,19

5.4.1.7. Análise multivariada: análise de componentes principais (ACP) – atributos do solo e Fator K

De modo complementar à correlação, foi feita análise multivariada com intuito de avaliar a relação geral entre as variáveis que se apresentaram correlacionadas com a erodibilidade, sendo para tanto, realizada nova *Análise de Componentes Principais (ACP)*, cujo intuito foi apresentar de forma visual a ligação de cada uma dessas variáveis com as classes de erodibilidade consideradas.

Salienta-se que mediante os valores de erodibilidade de cada uma das amostras, houve sua categorização conforme classificação de Mannigel *et al*. (2002), assumindo assim, caráter de variável qualitativa e independente.

Dessa forma, foi possível agrupar os atributos dos solos de B1 e B2 de acordo com a classe de K ao qual se associavam.

5.4.2. *Obtenção dos demais fatores da EUPS*

5.4.2.1. Fator R

A equação proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1980) foi utilizada para o cálculo do fator R, a partir de correlação entre o EI_{30} e o índice de Fournier, conforme apresentado a seguir:

$$\mathbf{EI_{30} = 67{,}355\ (r^2/P)^{0{,}85}} \qquad (13)$$

$$\mathbf{R} = \sum_{\mathbf{I=1}}^{\mathbf{12}} \mathbf{EI_{30}} \qquad (14)$$

Sendo: r = precipitação média mensal (mm)
P = precipitação média anual (mm)
R = fator erosividade (MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1})
I = índice de meses

Para tanto, foi feita a tabulação dos dados oriundos das estações pluviométricas de Cotia e Santana de Parnaíba, referentes aos totais mensais de chuvas no período compreendido entre março de 2000 e dezembro de 2018. A partir desses dados, calcularam-se as médias mensais e a média anual de precipitação do período analisado para cada estação. Essa etapa da pesquisa contou com a colaboração de aluna de iniciação científica do curso de graduação em Engenharia Ambiental, bolsista PIBIC/CNPq.

Posteriormente, foi aplicada a **equação 13** para obtenção dos valores de EI_{30} para cada mês, os quais foram somados (**equação 14**), resultando nos fatores R de cada uma das estações. Ao final, foi feita a média aritmética entre os fatores R calculados, resultando em um único fator de erosividade da chuva, adotado para ambas as sub-bacias em estudo.

O Fator R pôde então ser classificado dentre as categorias utilizadas nos trabalhos de Rosa e Sousa (2018) e Hernández *et al.* (2018), conforme se verifica por meio da **Tabela 5.4.2.1.1**.

Tabela 5.4.2.1.1: Classes de interpretação do Fator R (valores anuais)

Classe R	Valor ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$)
Baixa erosividade	< 2.452
Média erosividade	2.452 - 4.905
Média-Alta erosividade	4.905 – 7.357
Alta erosividade	7.357 – 9.810
Muito Alta erosividade	>9.810

Fonte: Adaptado de Rosa e Sousa (2018); Hernández *et al.* (2018).

5.4.2.2. Fator LS

O fator LS foi obtido a partir de equação proposta por Moore e Burch (1986), apresentada a seguir (**equação 15**).

$$\mathbf{LS = [(As*D)/22,13]^{0,4} * [sen(\beta)/0,0896]^{1,3}} \quad (15)$$

Sendo: As = área de contribuição do retângulo envolvente utilizado na ferramenta *TauDem*, para delimitação da bacia do Sapiantã (*item 5.3.1*)

D = tamanho do pixel (30 m)

β = inclinação da área em radianos

Para a obtenção do mapa em ambiente SIG, foram utilizados arquivo raster referente à área de contribuição do retângulo envolvente utilizado para delimitação da bacia do Ribeirão Sapiantã, bem como mapa de inclinação (em graus) referente à mesma área, o qual foi convertido para radianos. Posteriormente, o cálculo de LS foi feito, utilizando-se a calculadora raster (*QGis*), sendo o arquivo resultante recortado para os limites da sub-bacias B1 e B2.

Finalmente, foi feita a reclassificação dos arquivos de B1 e B2 (ferramenta *r.recode*), a partir das classes de LS propostas por Bertoni e Lombardi Neto (2010), expressas na **Tabela 5.4.2.2**.**1**.

Tabela 5.4.2.2.1: Classes de Fator LS adotadas

Classe LS	Valor (adimensional)
Muito Baixo	0-1
Baixo	1-5
Moderado	5-10
Alto a Muito Alto	>10

Fonte: Adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (2010).

5.4.2.3. Fator CP

O fator antrópico foi obtido a partir de classificação do mapa de cobertura da terra, por meio de atribuição de pesos correspondentes ao fator (**Tabela 5.4.2.3.1**), adotados em trabalhos realizados por Costa *et al*. (2009); Couto Júnior (2016); e Corrêa (2016).

Tabela 5.4.2.3.1: Classes de Fator CP adotadas

Classe de Cobertura	Valor do fator CP (adimensional)
Água	0
Vegetação Natural	0,00004
Reflorestamento com Eucalipto	0,0001
Pastagem	0,01
Área Urbana	0,053

Fonte: Adaptado de Costa *et al*. (2009); Couto Júnior (2016); e Côrrea (2016).

5.5. QUINTA ETAPA

5.5.1. Mapa de *Potencial Natural à Erosão – PNE*

O PNE das sub-bacias foi obtido por meio de álgebra de mapas em ambiente SIG, mais especificamente pela multiplicação dos arquivos correspondentes aos fatores R, K e LS (**equação 2**), via calculadora raster. Posteriormente, o arquivo gerado foi reclassificado conforme as categorias utilizadas em Tagliarini (2017), por meio da ferramenta *r.recode*. Para isso, foram adotadas as seguintes classes (**Tabela 5.5.1.1**):

Tabela 5.5.1.1: Classes de PNE adotadas

Classes	**Intervalo (t. ha^{-1}. ano^{-1})**
Fraco	0-400
Moderado	400-800
Forte	800-1.600
Muito Forte	>1.600

Fonte: Adaptado de Tagliarini (2017).

5.5.2. Mapa de Suscetibilidade à Erosão Laminar e Cálculo das Perdas de Solos Estimadas para o Ano de 2018

De modo análogo ao PNE, foi realizada multiplicação entre os arquivos correspondentes a cada um dos parâmetros correspondentes à EUPS, por meio de calculadora raster (**equação 1**), sendo consideradas não apenas as características físicas das áreas, como também o fator antrópico.

Dessa forma, além de mapa correspondente à suscetibilidade à erosão laminar, foram obtidas simultaneamente as estimativas de perda de solo por erosão laminar para B1 e B2 para o ano de 2018.

Posteriormente, o mapa de suscetibilidade à erosão também foi reclassificado conforme as categorias de perda de solos definidas pela FAO (1967), por meio da ferramenta *r.recode*. Para isso, foram adotadas as seguintes classes (**Tabela 5.5.2.1**):

Tabela 5.5.2.1: Classes de perda de solo adotadas (valores anuais)

Grau de Erosão	Perda de Solo (t. ha^{-1}. ano^{-1})
Baixo	< 10
Moderado	10-50
Alto	50-200
Muito Alto	>200

Fonte: Adaptado de FAO (1967).

5.5.3. Avaliação das implicações do PNE e da Suscetibilidade à Erosão Laminar das sub-bacias B1 e B2 ao planejamento territorial municipal

A partir da obtenção de um panorama geral acerca do PNE e da suscetibilidade à erosão laminar de cada sub-bacia, foram propostas inferências acerca de restrições, critérios e cuidados que poderiam ser adotados pelo poder público municipal, quanto à gestão e planejamento do uso e ocupação do solo, não apenas na bacia do Ribeirão Sapiantã, como também de porções do território diretamente afetadas por elas.

Tal avaliação teve como enfoque principal as ocorrências potenciais de inundações e enchentes, que porventura possam vir a ser agravadas por alterações climáticas futuras, bem como por um eventual aumento das perdas de solos nas sub-bacias.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. CLASSES DE COBERTURA DA TERRA

A sub-bacia B1 localiza-se à leste da bacia do Ribeirão Sapiantã, e estende-se até as proximidades de seu ponto exutório. Apresenta uma setorização bem definida dos padrões de cobertura da terra, que pode ser considerada como um reflexo do processo de formação da cidade (**Figura 6.1.1** e **Tabela 6.1.1**).

Tal afirmativa se sustenta, quando se observa que o terço inferior de B1 caracteriza-se como área mais densamente ocupada e integrada à malha urbana consolidada do município (**Figura 6.1.2**). Nesse ponto da sub-bacia, evidencia-se uma baixa densidade vegetativa, sendo que há intervenção em praticamente toda área de preservação permanente de corpos hídricos, destacando-se, inclusive, a inserção de ocupação subnormal às margens do curso d'água principal da sub-bacia (Córrego Vila Recanto).

Já a porção central de B1 apresenta uma acentuada redução das ocupações, onde predominam áreas cobertas por vegetação campestre e pastagem (**Figura 6.1.3**).

Nas áreas correspondentes ao terço superior da sub-bacia, há um considerável aumento da vegetação, caracterizada por fragmentos remanescentes de Floresta Ombrófila Densa. Tal vegetação se encontra associada à ocupação antrópica de média densidade, referente a condomínio residencial de alto padrão (**Figuras 6.1.4** e **6.1.5**).

Não há ocorrência de reflorestamento com eucalipto, tampouco atividade agrícola na sub-bacia.

A densidade demográfica em B1, calculada com base no último censo demográfico (IBGE, 2010), é de aproximadamente 4.107 hab./km^2.

Cumpre destacar a predominância de vias não pavimentadas (estradas de terra) por toda a sub-bacia, sendo verificado asfaltamento apenas na porção correspondente às *Áreas Antrópicas* (porção final de B1).

De forma geral, em B1 podem ser observados os três níveis de consequências resultantes da intervenção antrópica sobre o ambiente, citados por Fujimoto (2005 apud SILVA e VALADÃO, 2016). O primeiro nível corresponde à ocorrência de modificações no relevo, o segundo quando há alterações na dinâmica

geomorfológica (**Figura 6.1.6**) e o terceiro nível caracterizado pela criação de depósitos tecnogênicos (**Figura 6.1.7**).

Isso porque são evidentes as modificações no relevo produzidas por obras de implantação de moradias (corte de encostas e terraplanagem), bem como alterações na dinâmica geomorfológica, decorrentes de remoção de cobertura vegetal, impermeabilização e compactação do solo. Também são presentes depósitos tecnogênicos, em especial na porção jusante da sub-bacia, caracterizados tanto por pontos de descarte irregular de resíduos da construção civil, quanto pela existência de antigo vazadouro de resíduos domiciliares, atualmente em processo de recuperação ambiental.

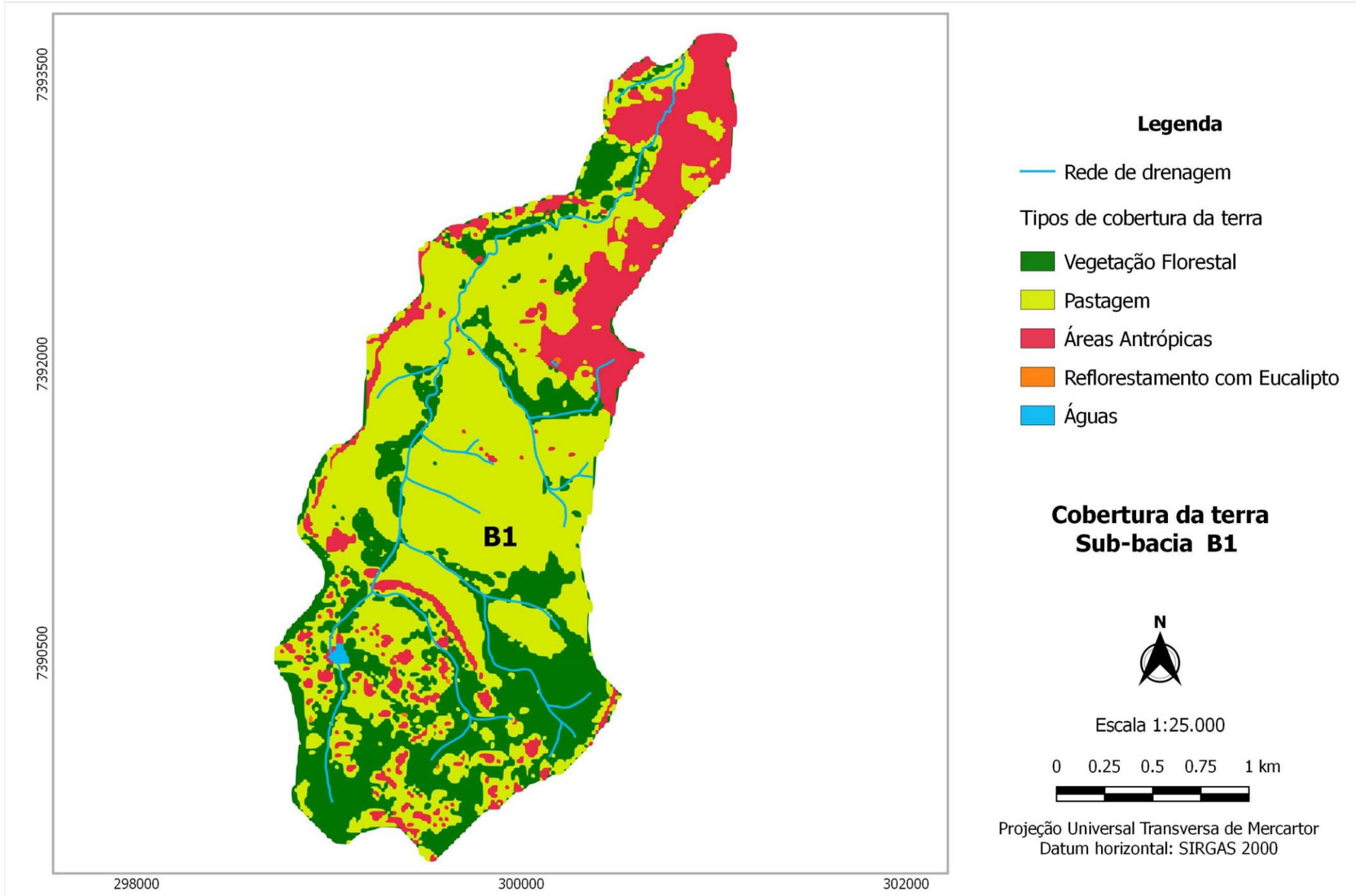


Figura 6.1.1: Classes de cobertura da terra incidentes em B1. Destaca-se *Pastagem* como a cobertura de maior abrangência na sub-bacia. **Fonte**: Autora.

Tabela 6.1.1: Detalhamento das formas de cobertura da terra incidentes em B1

Cobertura da terra	% de ocorrência
Vegetação Florestal	26,91
Pastagem	55,22
Áreas Antrópicas	17,87
Reflorestamento com Eucalipto	0,00

***** Destaca-se (em cinza) a categoria *Pastagem* como a cobertura de maior abrangência na sub-bacia. **Fonte**: Autora.




Figuras 6.1.2 e 6.1.3: Respectivamente, área de ocupação antrópica irregular no terço inferior de B1, e pastagem na porção central da sub-bacia.




Figuras 6.1.4 e 6.1.5: Respectivamente, área de transição entre pastagem e fragmento florestal, e detalhe de vegetação secundária em estágio médio de regeneração no terço superior de B1.




Figuras 6.1.6 e 6.1.7: Na primeira imagem (esquerda) se verifica área onde ocorreu remoção de cobertura vegetal e a compactação do solo, acarretando formação de sulcos erosivos. A segunda fotografia evidencia ocorrência de descarte irregular de resíduos sólidos em *Áreas Antrópicas.*

Por sua vez, a sub-bacia B2, localizada à oeste da bacia do Ribeirão Sapiantã, não possui uma configuração setorizada das classes de cobertura da terra como no caso de B1, e se apresenta com características naturais mais bem preservadas. Tal

fator também reforça os padrões da dinâmica de ocupação do território, tendo em vista que B2 está mais distante da área urbana do município e em regiões mais próximas às encostas (**Figura 6.1.8** e **Tabela 6.1.8**).

Dessa forma, ainda se verifica densa cobertura vegetal de Floresta Ombrófila Densa, incluindo fragmentos em estados primário e secundário avançado de regeneração (**Figura 6.1.9**). Há ainda áreas de pastagem (**Figura 6.1.10**), e reflorestamentos comerciais de eucalipto situados próximos à principal via de acesso da bacia (**Figura 6.1.11**). A ocupação antrópica existente corresponde, em sua maior parte, a chácaras de recreio e bairros residenciais distantes da área urbana do município (**Figura 6.1.12**).

Destaca-se, no entanto, que a pouca atividade agrícola existente, se caracteriza pelo plantio de hortaliças para subsistência, ou em alguns casos, para abastecimento do comércio local. Tal cobertura não foi considerada nesta pesquisa.

A densidade demográfica calculada para B2, a partir de dados de IBGE (2010), é de aproximadamente 385 hab./km^2, ou seja, cerca de dez vezes inferior àquela verificada em B1.

Cumpre destacar que praticamente todas as vias de acesso existentes em B2 são não pavimentadas (estradas de terra), mesmo onde há incidência de *Áreas Antrópicas*. Há apenas um pequeno trecho com asfaltamento, inferior a 1 km.

Em B2 também podem ser observadas consequências resultantes da intervenção antrópica sobre o ambiente, citados por Fujimoto (2005 apud SILVA e VALADÃO, 2016), entretanto, ainda em menor proporção, se comparado a B1. Dentre elas, destacam-se trechos em que modificações no relevo com intuito de implantação de moradias já promovem alterações na dinâmica geomorfológica, em especial pela remoção de cobertura vegetal e compactação do solo (**Figuras 6.1.13** e **6.1.14**).

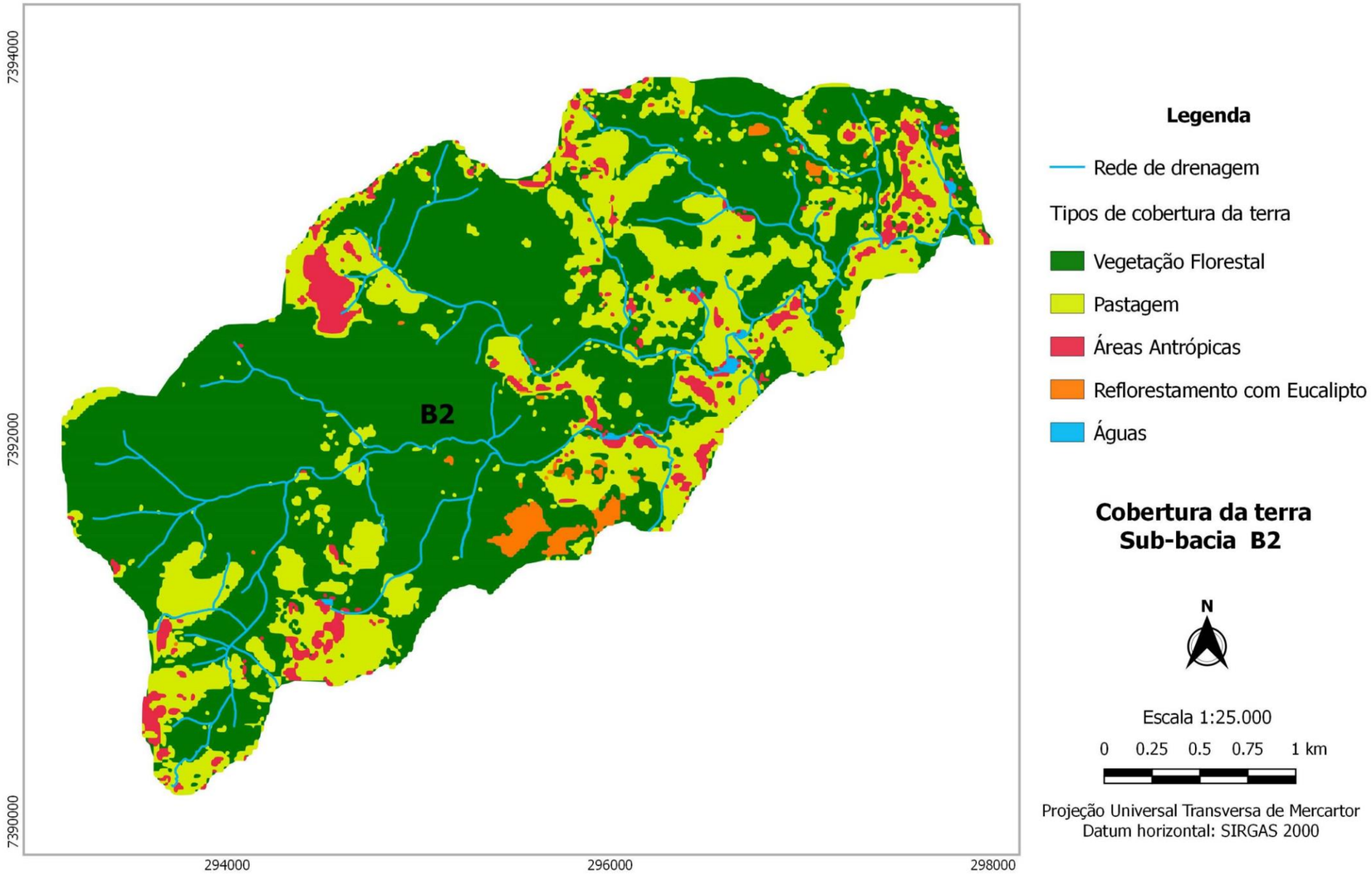


Figura 6.1.8: Tipos de cobertura da terra incidentes em B2. Destaca-se *Vegetação Florestal* como a cobertura de maior abrangência na sub-bacia. **Fonte**: Autora.

Tabela 6.1.8: Detalhamento das formas de cobertura da terra incidentes em B2

Cobertura da terra	% de ocorrência
Vegetação Florestal	66,52
Pastagem	27,71
Áreas Antrópicas	4,30
Reflorestamento com Eucalipto	1,47

***** Destaca-se (em cinza) a categoria *Vegetação Florestal* como a cobertura de maior abrangência na sub-bacia. **Fonte**: Autora.




Figuras 6.1.9 e 6.1.10: Respectivamente, denso fragmento florestal representativo de grande parcela de B2, e área de transição entre pastagem e área de mata.




Figuras 6.1.11 e 6.1.12: Respectivamente, reflorestamento de eucalipto situado próximo a uma das principais vias de acesso da Bacia do Ribeirão Sapiantã, e área de ocupação antrópica característica da sub-bacia.




Figuras 6.1.13 e 6.1.14: Na primeira imagem se verifica área onde ocorreu remoção de cobertura vegetal e corte de encosta para edificação de moradia. A segunda fotografia evidencia ocorrência de sulco erosivo, provavelmente formado em virtude de alteração da dinâmica dos fluxos superficiais.

6.2. PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

Informações sobre morfometria de bacias hidrográficas podem contribuir para o estudo da erosão, pois permite avaliação acerca do grau de energia do relevo e sua suscetibilidade à ocorrência de processos de remoção e deposição do solo (SAMPAIO *et al.*, 2016; CARMO *et al*., 2016). Neste sentido, passam a ser apresentados alguns dos parâmetros levantados por Salomão e Silva (2018) para as sub-bacias B1 e B2 (**Tabela 6.2.1**).

Tabela 6.2.1: Parâmetros morfométricos calculados para as sub-bacias B1 e B2.

Parâmetro	**Sub-Bacia**	
	B1	***B2***
Área (A)	4,99 Km^2	8,85 Km^2
Perímetro (P)	15,24 Km	18,84 Km
Hierarquia dos canais	3ª ordem	4ª ordem
Nº total de canais (Nu)	28 canais	97 canais
Comprimento total dos canais (Lu)	13,01 Km	32,41 Km
Densidade de Drenagem (Dd)	2,61*Km/Km²*	3,66 K*m/Km²*
Densidade hidrográfica	5,62*canais/Km²*	10,96 *canais/Km²*
Índice de Sinuosidade do Canal Principal	1,28*Km/Km*	1,52 *Km/Km*
Amplitude Altimétrica (H)	230 m	225 m
Altimetria predominante	801-850 m	801-850 m
Declividade predominante	Ondulado (8-20%)	Ondulado (8-20%)
Relação de Relevo	0,045 m/km	0,030 m/km
Textura da topografia	4,84	7,05
Índice de Rugosidade	600,52	823,96

Fonte: Modificado de Salomão e Silva (2018).

A partir de análise aos parâmetros destacados, verifica-se que juntas, as sub-bacias B1 e B2 correspondem a 35% da área total da bacia do Ribeirão Sapiantã.

Ambas as sub-bacias apresentam predominância da classe hipsométrica 801-850 metros, sendo que em B1 verificam-se altitudes incidentes em todas as categorias definidas na **Figura 6.2.1 e Tabela 6.2.2**, ao passo que B2, não apresenta a classe altimétrica de 700-750 metros.

Quanto à declividade e relevo, observa-se por meio da **Figura 6.2.2** e **Tabela 6.2.3,** que B1 e B2, possuem a maior parte de suas áreas enquadradas na categoria de relevo *Ondulado*. Destaca-se que a sub-bacia B2 apresenta trechos de maiores declividades, pois quase 40% de sua área é classificada como relevo *Forte-*

Ondulado, assim como também há incidência de trechos enquadrados como relevo *Montanhoso,* categoria essa inexistente em B1.

Considerando a classificação proposta por Beltrame (1994), as sub-bacias apresentam padrão de alta a muita alta *densidade de drenagem*, o que indica tendência ao escoamento superficial em detrimento à infiltração, característica que associada às elevadas declividades que tais áreas apresentam, podem exercer grande influência na ocorrência de processos erosivos laminares.

O parâmetro *índice de sinuosidade do canal principal* deve ser considerado quando da avaliação da erosão laminar, tendo em vista que pode indicar tendência ao transporte ou deposição de sedimentos nas sub-bacias. No presente caso, de acordo com Salomão e Silva (2018), B1 e B2 apresentam valores que sugerem canais mais retilíneos e de maior velocidade de fluxos, e que assim, tenderiam ao transporte de sedimentos que porventura fossem gerados por processos erosivos.

No caso do parâmetro *relação de relevo*, os valores apresentados podem evidenciar um alto grau de intemperismo e processos erosivos ativos nas sub-bacias. Tal afirmação pode ainda ser reforçada pelo parâmetro *textura da topografia*, o qual pode sugerir uma dinâmica ativa de modelagem do relevo em ambas as áreas, por meio de entalhamento e dissecação da superfície (SALOMÃO e SILVA, 2018).

Finalmente, o *índice de rugosidade* verificado para B1 e B2 também apontaria para um alto risco de degradação, em especial devido às amplitudes altimétricas e à tendência ao escoamento superficial (SALOMÃO e SILVA, 2018).

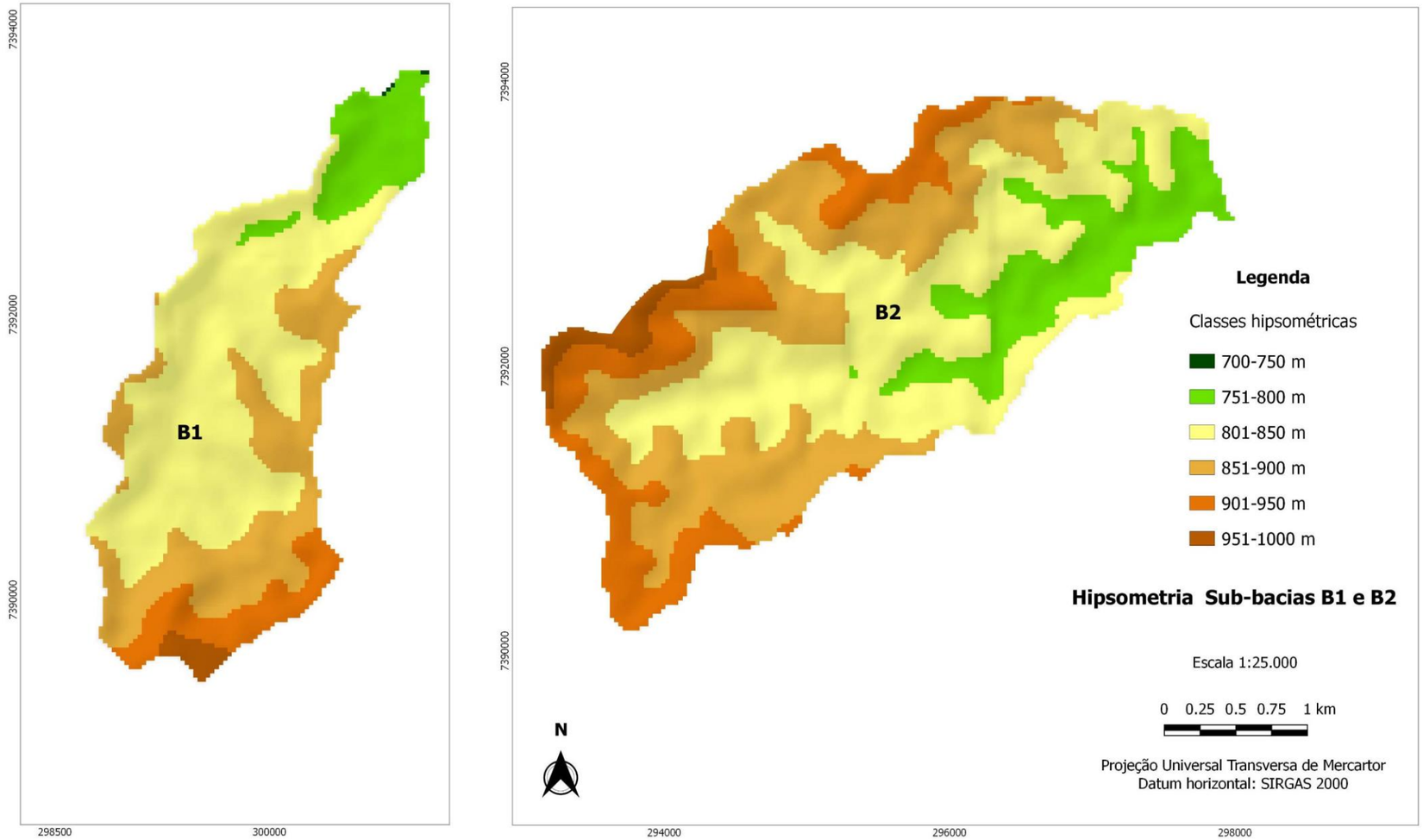


Figura 6.2.1: Classes altimétricas incidentes nas sub-bacias B1 e B2. **Fonte**: Modificado de Salomão e Silva (2018).

Tabela 6.2.2: Porcentagem de ocorrência de cada classe hipsométrica identificada em cada sub-bacia

Sub-Bacia	**Classes Hipsométricas**					
	700-750 m	*751-800 m*	*801-850 m*	*851-900 m*	*901-950 m*	*951-1000 m*
B1	0,24%	11,53%	50,46%	26,95%	8,86%	1,96%
B2	------	14,30%	36,20%	30,64%	16,46%	2,40%

*
Destaca-se (em cinza) as classes de maior representatividade em cada sub-bacia.

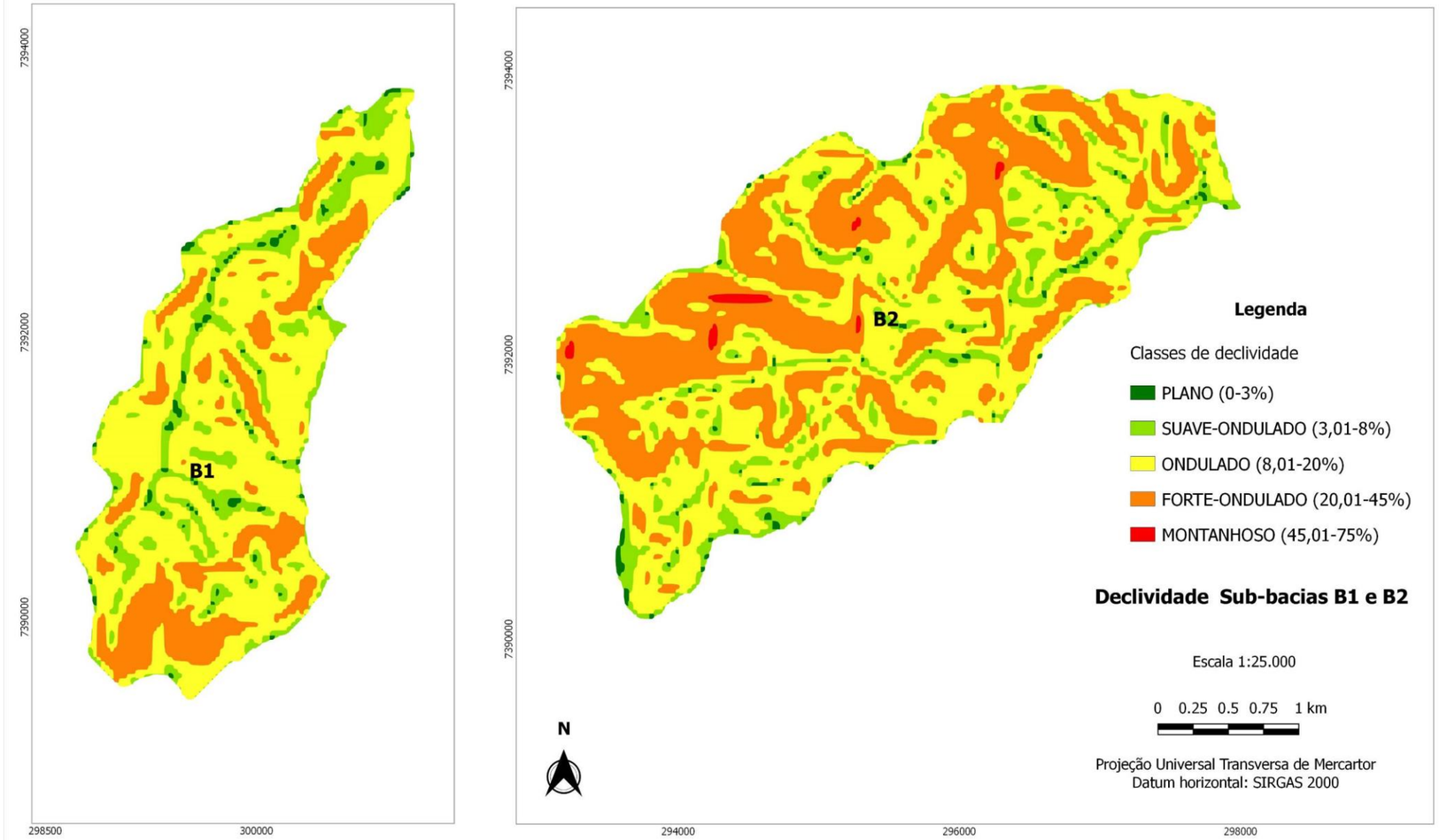


Figura 6.2.2: Classes de declividade incidentes nas sub-bacias B1 e B2, conforme definição de proposta por Santos *et al.* (2018). **Fonte**: Modificado de Salomão e Silva (2018).

Tabela 6.2.3: Porcentagem de ocorrência de cada classe hipsométrica identificada em cada sub-bacia

Sub-Bacia	**Classes de Declividade**				
	Plano (0-3%)	*Suave-Ondulado (3-8%)*	*Ondulado (8-20%)*	*Forte-Ondulado (20-45%)*	*Montanhoso (45-75%)*
B1	2,35%	16,35%	60,94%	20,36%	------
B2	1,45%	10,29%	49,00%	38,65%	0,61%

***** Destaca-se (em cinza) as classes de maior representatividade em cada sub-bacia.

6.3. INDICADORES DE EROSÃO

6.3.1. Pontos de amostragem de solos

A espacialização dos pontos de amostragem escolhidos para cada sub-bacia é apresentada nas **Figuras 6.3.1.1** e **6.3.1.2.** Respectivamente, as **Tabelas 6.3.1.1** e **6.3.1.2** destacam a identificação dos pontos de amostragem, localização geográfica, e quantificação por categoria de cobertura da terra.

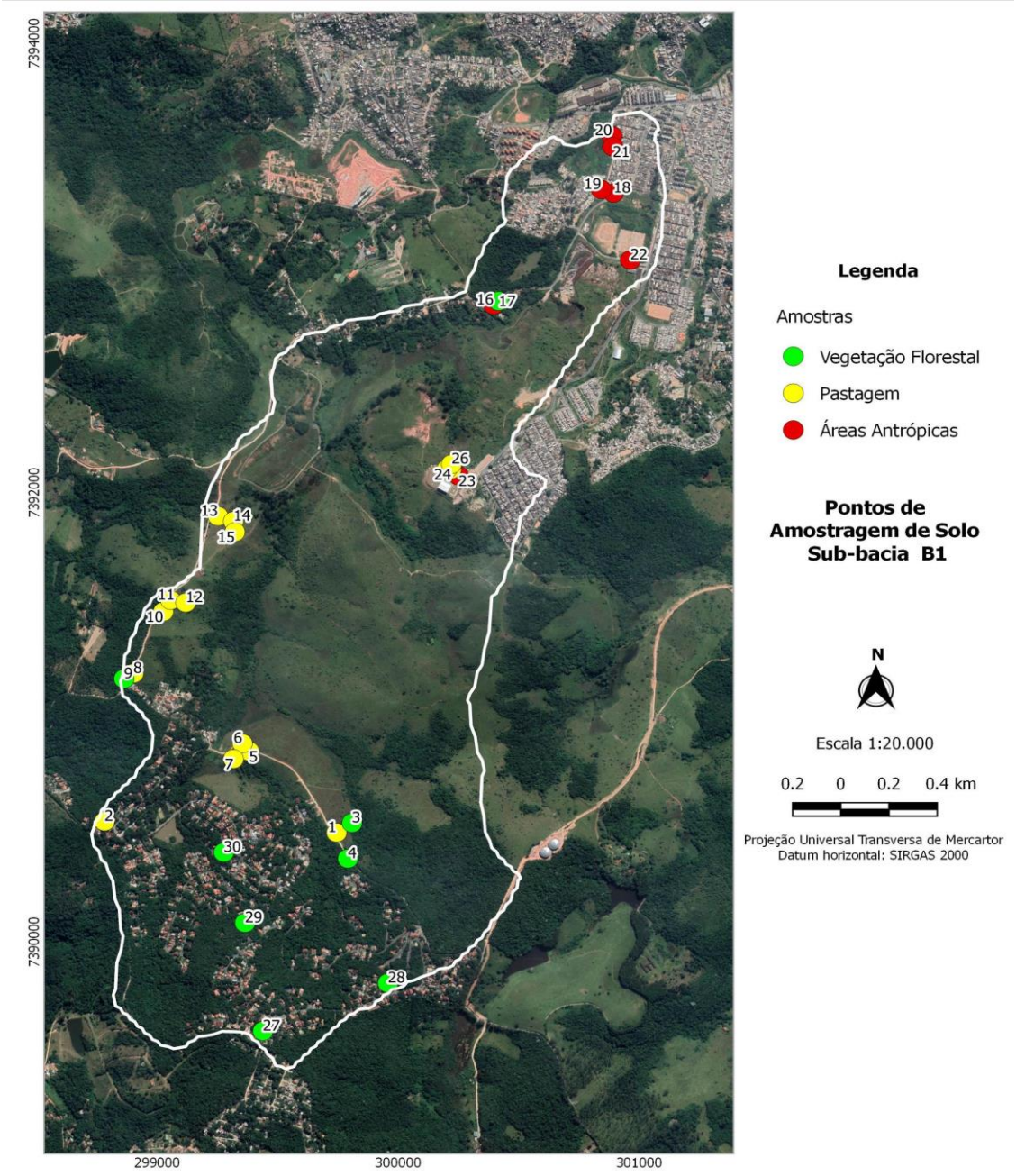


Figura 6.3.1.1: Pontos de coleta de solos na sub-bacia B1. **Fonte**: Autora.

Tabela 6.3.1.1: Descrição dos pontos de amostragem da sub-bacia B1

Sub-Bacia	Cobertura da terra	Identificação do Ponto	Altitude (m)	Declividade (%)	Localização UTM (Fuso 23K)	
B1	*Pastagem* *(15 pontos)*	01	849	9,3	299744	7380486
		02	834	5,1	298781	7390536
		05	828	7,8	299381	7390848
		06	820	8,4	299353	7390883
		07	815	9,2	299316	7390814
		08	869	11,6	298901	7391195
		10	845	11,2	299025	7391470
		11	846	14,4	299055	7391521
		12	842	17,2	299118	7391510
		13	832	7,1	299252	7391895
		14	823	15,9	299316	7391873
		15	830	15,8	299322	7391825
		24	864	16,3	300220	7392104
		25	862	18,0	300202	7392105
		26	858	20,3	300221	7392127
B1	*Vegetação Florestal* *(08 pontos)*	03	834	14,2	299808	7390529
		04	854	14,6	299791	7390370
		09	867	4,9	298862	7391171
		17	795	17,8	300416	7392853
		27	959	7,1	299438	7389602
		28	925	7,4	299957	7389816
		29	886	26,1	299364	7390084
		30	839	15,9	299276	7390398
	Áreas Antrópicas *(07 pontos)*	16	797	21,4	300396	7392835
		18	756	9,9	300893	7393334
		19	751	9,0	300842	7393350
		20	750	6,5	300887	7393589
		21	750	7,1	300890	7393541
		22	776	12,4	300963	7393036
		23	873	8,0	300250	7392075
	TOTAL B1	**30 pontos**				

Fonte: Autora.

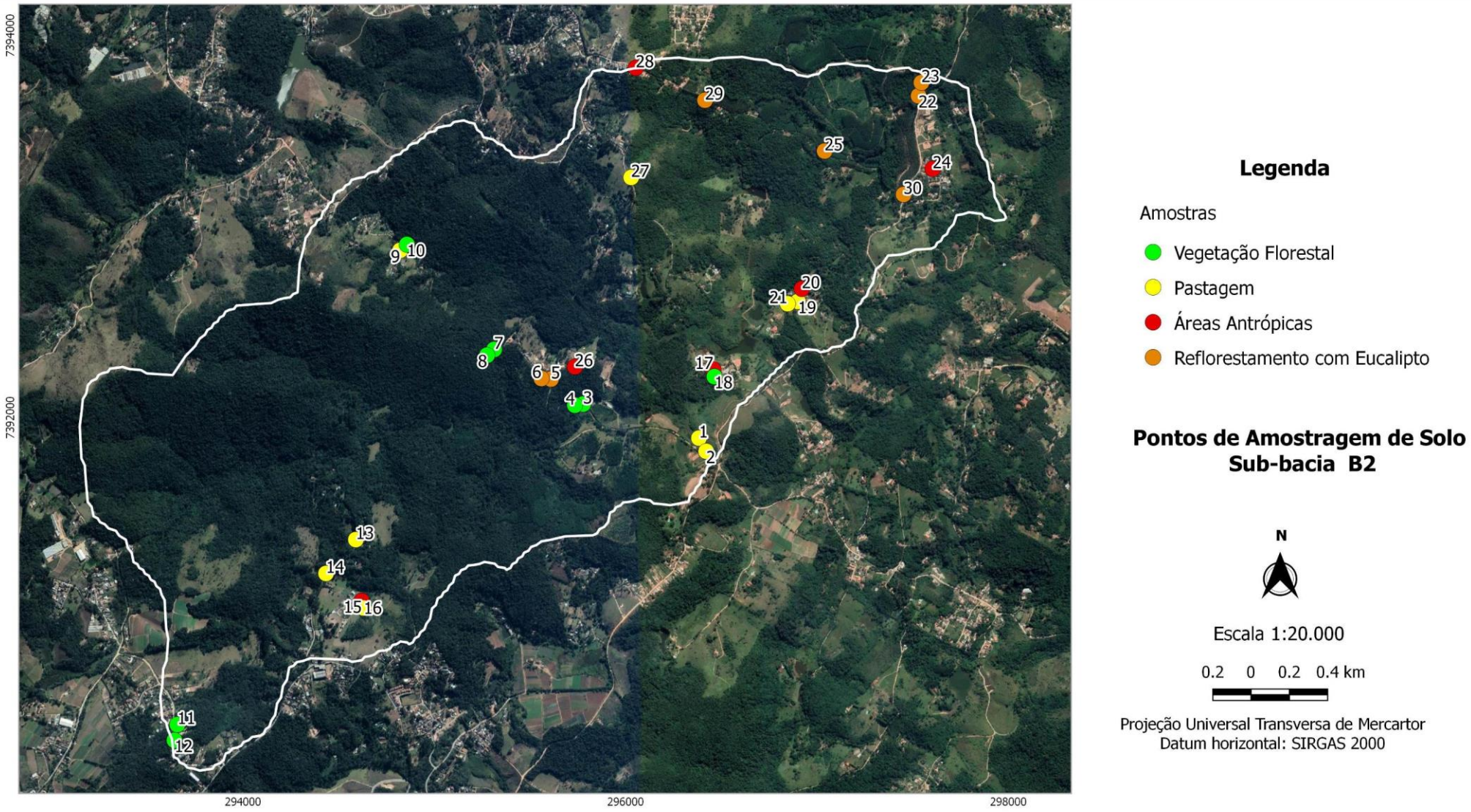


Figura 6.3.1.2: Pontos de coleta de solos na sub-bacia B2. **Fonte**: Autora.

Tabela 6.3.1.2: Descrição dos pontos de amostragem da sub-bacia B2

Sub-Bacia	Cobertura da terra	Identificação do Ponto	Altitude (m)	Declividade (%)	Localização UTM (Fuso 23K)	
B2	*Pastagem (09 pontos)*	01	788	19,5	296382	7391893
		02	788	14,6	296420	7391824
		09	837	8,4	294820	7392875
		13	872	19,2	294589	7391362
		14	864	2,4	294433	7391185
		16	873	20,5	294630	7391004
		19	771	7,2	296900	7392608
		21	769	7,1	296846	7392596
		27	821	15,1	296028	7393257
	Vegetação Florestal (08 pontos)	03	789	24,2	295777	7392071
		04	804	28,4	295734	7392065
		07	853	14,2	295312	7392357
		08	864	32,1	295275	7392327
		10	829	5,8	294856	7392906
		11	926	6,0	293656	7390394
		12	924	2,4	293641	7390312
		18	779	10,0	296463	7392215
	Áreas Antrópicas (06 pontos)	15	872	15,9	294620	7391041
		17	791	12,9	296457	7392252
		20	767	3,2	296920	7392674
		24	805	25,1	297604	7393302
		26	827	13,3	295734	7392266
		28	940	7,2	296052	7393830
	Reflorestamento com Eucalipto (07 pontos)	05	844	2,1	295609	7392202
		06	846	4,1	295559	7392205
		22	809	16,3	297530	7393684
		23	817	16,3	297545	7393753
		25	821	19,0	297039	7393395
		29	877	7,1	296414	7393661
		30	786	19,6	297452	7393168
	TOTAL B2	**30 pontos**				

Fonte: Autora.

Para cada ponto de coleta foram extraídas 01 amostra deformada e 01 amostra indeformada, conforme é ilustrado nas **Figuras 6.3.1.3** a **6.3.1.7**.





Figuras 6.3.1.3 e 6.3.1.4: Fase de preparo do local da coleta: respectivamente, limpeza da área para remoção da vegetação superficial, e escavação de 03 pontos para retirada de subamostras múltiplas.





Figuras 6.3.1.5 e 6.3.1.6: Respectivamente, coleta de amostra deformada, e execução de procedimento para coleta de amostra indeformada, ambas no ponto nº 07 da sub-bacia B1.



Figura 6.3.1.7: Amostras indeformada e deformada obtidas no ponto nº 02 da sub-bacia B1.

6.3.2. Indicadores de erosão observados em campo

As **Figuras 6.3.2.1 a 6.3.2.4** ilustram alguns dos indicadores visuais de erosão verificados em campo, nas sub-bacias B1 e B2.

Em B1 destacam-se os indicadores “lavagem da camada” e “afloramentos rochosos” próximos a um mesmo ponto de amostragem, situado em encosta próxima ao divisor de águas da sub-bacia (**Figura 6.3.2.1**). Também foi observada presença do indicador “solos vermelhos” em ponto situado no terço inferior da sub-bacia, e onde se observa a exposição de horizonte B do solo (**Figura 6.3.2.2**).




Figuras 6.3.2.1 e 6.3.2.2: A fotografia do lado esquerdo apresenta os indicadores “lavagem da camada” (talude) e “afloramentos rochosos”. Na outra é possível observar o indicador “solos vermelhos”.

Já em B2, dentre os indicadores verificados, destacam-se “ravina”, provavelmente formada em virtude de alteração da dinâmica dos fluxos superficiais, encontrada nas proximidades de curso d’água (**Figura 6.3.2.3**), bem como “pedestais de salpicamento”, cujo ponto em destaque se situa em porção inferior de talude, situado na porção central da sub-bacia (**Figura 6.3.2.4**).




Figuras 6.3.2.3 e 6.3.2.4: Na 1ª imagem observa-se ravina, enquanto na 2ª imagem destaca “pedestais de salpicamento” em talude.

Já a **Tabela 6.3.2.1** lista os pontos de amostragem em que foram observados ao menos 01 indicador de erosão. Em pontos não especificados na referida tabela não foram verificados indicadores, o que não pressupõe, a inexistência de indicadores em seu entorno próximo.

Tabela 6.3.2.1: Indicadores de erosão considerados. Em cinza destacam-se aqueles observados em campo nas sub-bacias B1 e B2.

Sub-Bacia	Identificação do ponto e cobertura associada	Indicadores de Erosão								
		Pedestais de Salpicamento	*Lavagem da Camada*	*Ravinas*	*Raízes Expostas*	*Sedimentação*	*Pedregosidade*	*Afloramentos Rochosos*	*Solos Vermelhos*	*Solos Soltos*
B1	**07** (Pastagem)									
	08 (Pastagem)									
	10 (Pastagem)									
	12 (Pastagem)									
	16 (A. Antrópica)									
	18 (A. Antrópica)									
	19 (A. Antrópica)									
	20 (A. Antrópica)									
	22 (A. Antrópica)									
	24 (Pastagem)									
	25 (Pastagem)									
	26 (Pastagem)									

Tabela 6.3.2.1: Indicadores de erosão considerados. Em cinza destacam-se aqueles observados em campo nas sub-bacias B1 e B2.

Sub-Bacia	Identificação do ponto e cobertura associada	Indicadores de Erosão								
		Pedestais de Salpicamento	*Lavagem da Camada*	*Ravinas*	*Raízes Expostas*	*Sedimentação*	*Pedregosidade*	*Afloramentos Rochosos*	*Solos Vermelhos*	*Solos Soltos*
B2	**01** (Pastagem)									
	06 (R. Eucalipto)									
	08 (V. Florestal)									
	09 (Pastagem)									
	10 (V. Florestal)									
	13 (Pastagem)									
	14 (Pastagem)									
	15 (A. Antrópica)									
	17 (A. Antrópica)									
	18 (V. Florestal)									
	24 (A. Antrópica)									
	26 (A. Antrópica)									
	27 (Pastagem)									
	28 (A. Antrópica)									
	29 (R. Eucalipto)									
	30 (R. Eucalipto)									

Fonte: Autora.

Cumpre destacar que não foi observado o indicador “voçorocas” nos pontos de amostragem de solos.

Em B1 a maior ocorrência está relacionada ao indicador “afloramentos rochosos”, e em B2 se refere a “pedregosidade” (**Figura 6.3.2.5**).

Outra questão importante é que não foram verificados indicadores de erosão em *Vegetação Florestal* na sub-bacia B1, diferentemente de B2, onde se observaram pontos com “afloramentos rochosos” nesta categoria de cobertura da terra. Em ambas as sub-bacias predomina a incidência de indicadores em *Pastagem* e *Áreas Antrópicas.*

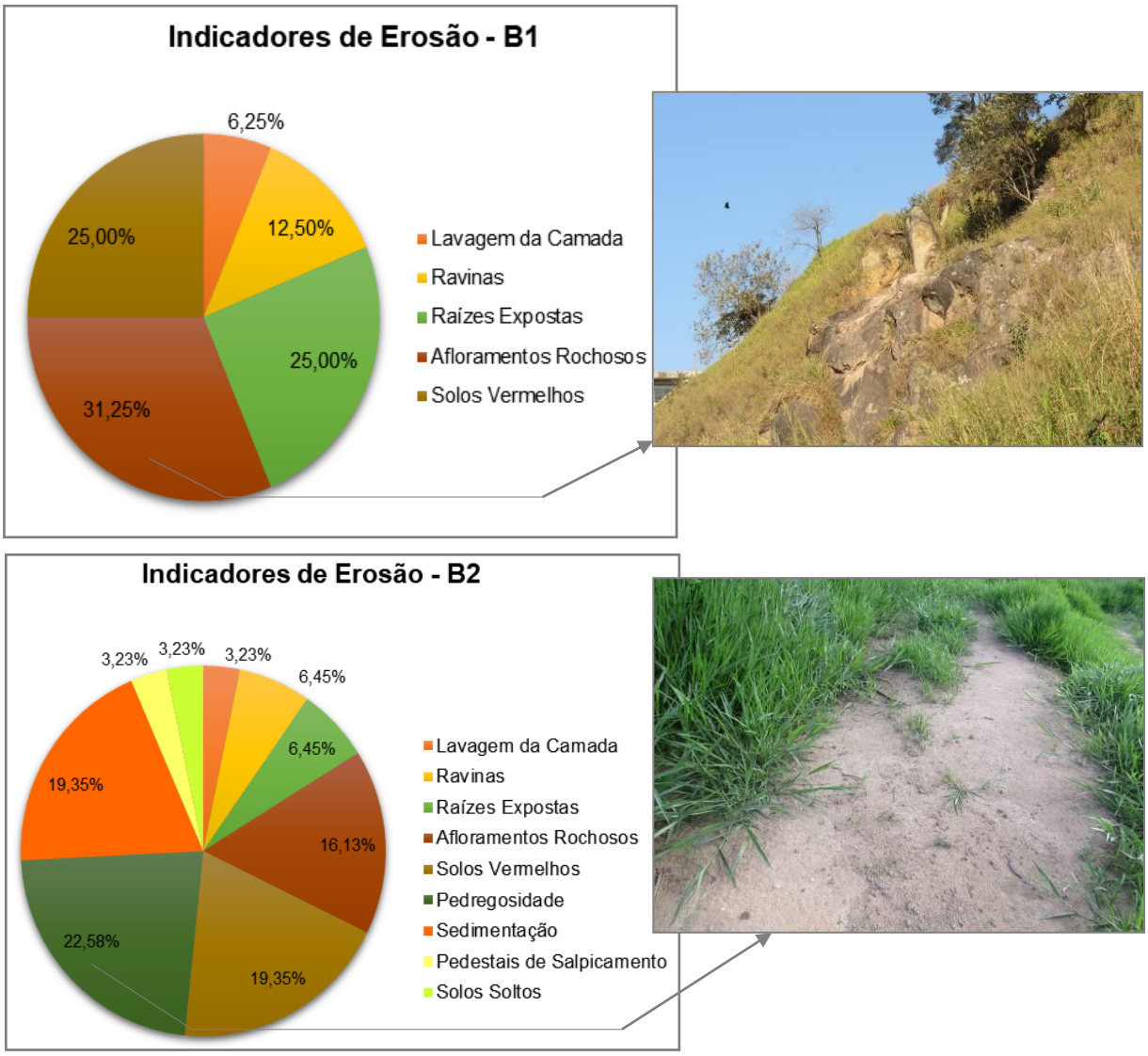


Figura 6.3.2.5: Percentual de ocorrência de indicadores de erosão em cada uma das sub-bacias. **Fonte**: Autora.

6.4. SOLOS: ATRIBUTOS FÍSICOS E INDICADORES DE QUALIDADE

6.4.1. Análise granulométrica

Os resultados oriundos da análise granulométrica dos solos de ambas as sub-bacias encontram-se detalhados na **Tabela 6.4.1.1** (**Anexo A**).

A partir das frações granulométricas e com base na utilização do triângulo textural do IAC (CAMARGO *et al.*, 2009), as amostras foram devidamente classificadas (**Figuras 6.4.1.1 e 6.4.1.2)**, bem como tiveram sua textura definida a partir de agrupamento textural proposto pela Embrapa (SANTOS *et al.,* 2018), destacado nas **Tabelas 6.4.1.2** e **6.4.1.3**.

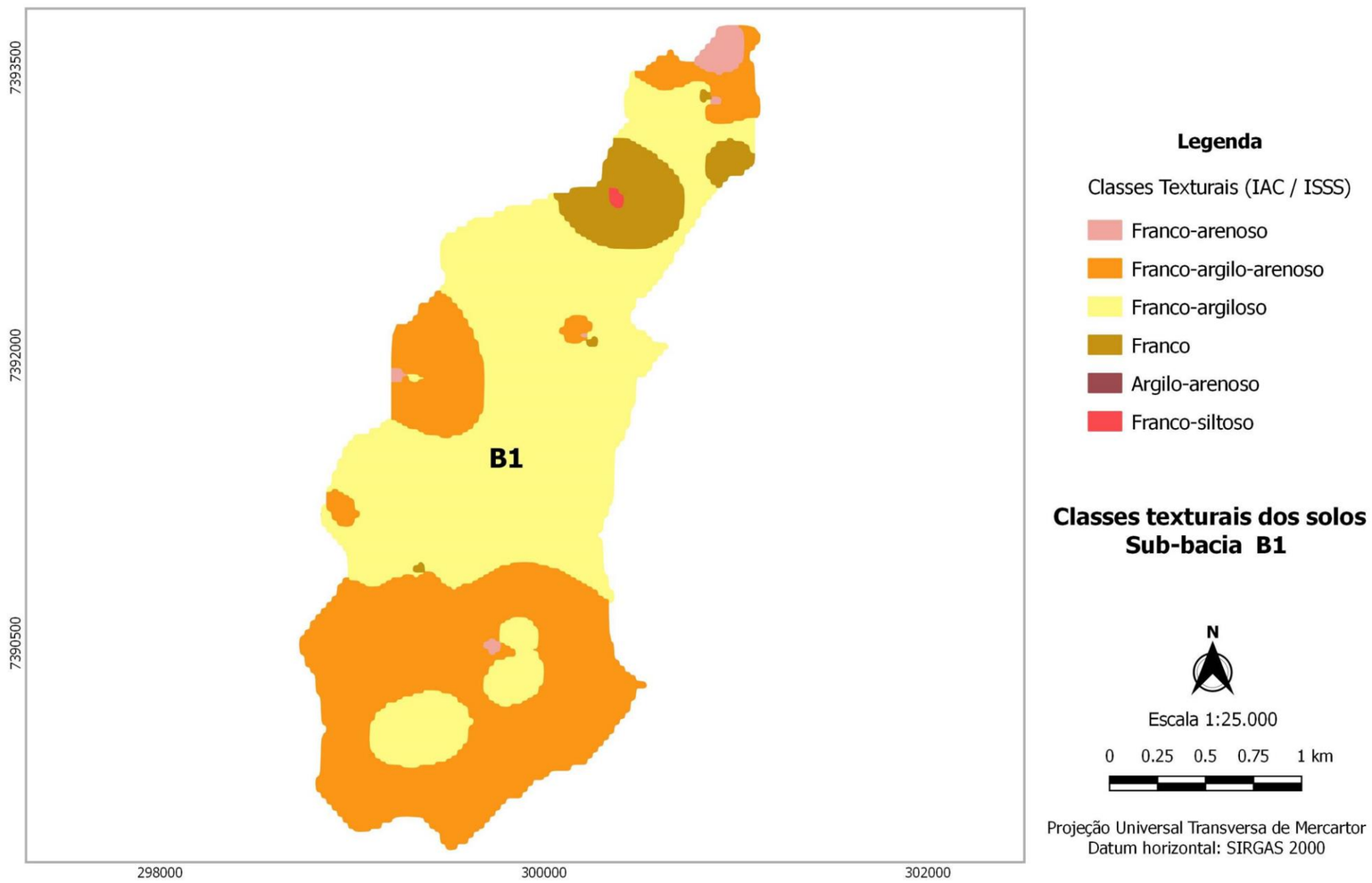


Figura 6.4.1.1: Classes texturais incidentes na sub-bacia B1. **Fonte**: Autora

Tabela 6.4.1.2: Detalhamento das classes texturais incidentes em B1

Classe textural (IAC)	% de ocorrência	Textura
Franco-arenoso	1,12	*Média*
Franco-argilo-arenoso	40,35	*Média*
Franco-argiloso	32,86	*Média*
	19,74	*Argilosa*
Franco	5,78	*Média*
Franco-siltoso	0,15	*Média*

Fonte: Autora. Detalhado em cinza a classe textural de maior ocorrência na sub-bacia.

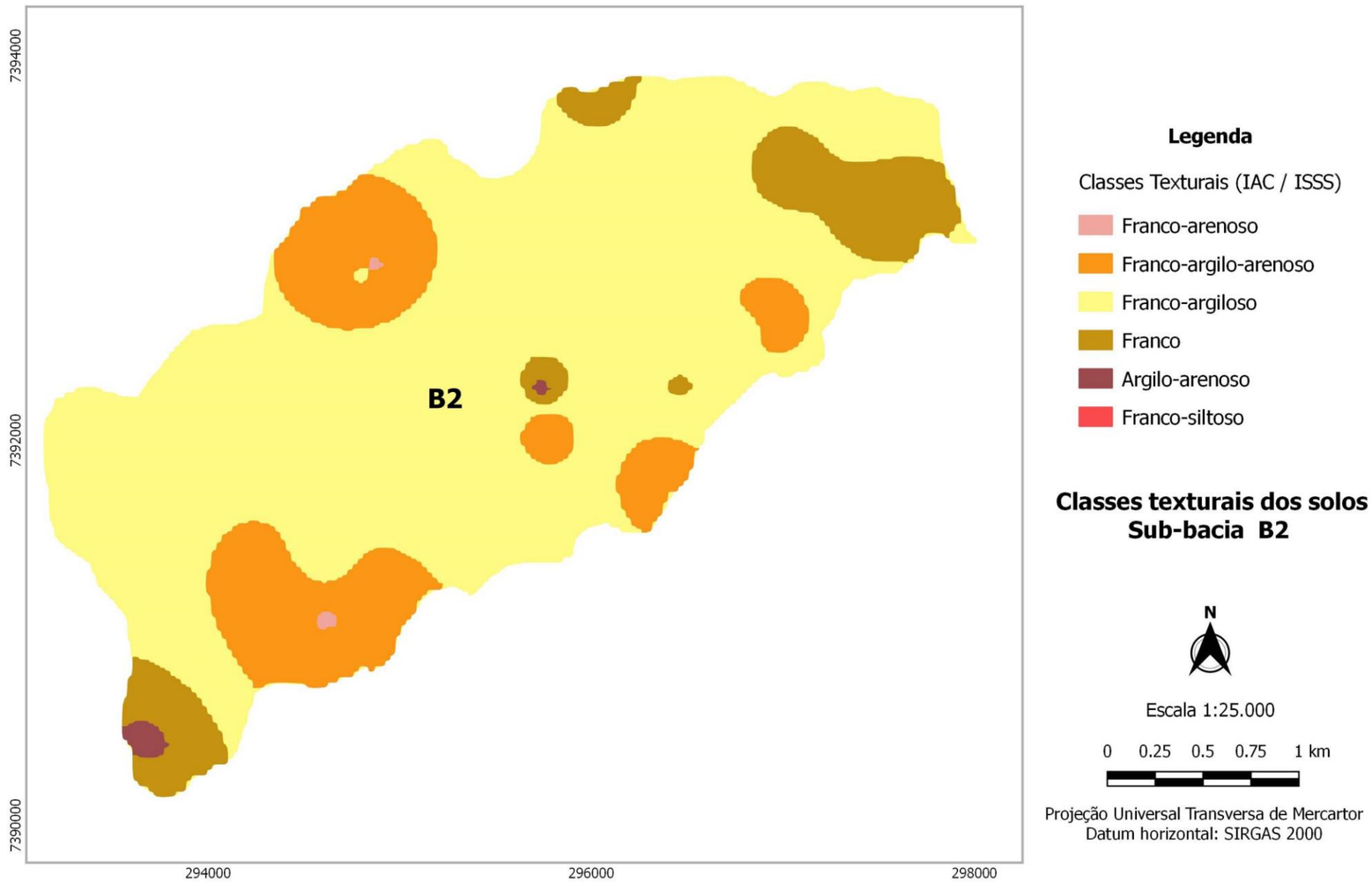


Figura 6.4.1.2: Classes texturais incidentes na sub-bacia B2. **Fonte**: Autora.

Tabela 6.4.1.3: Detalhamento das classes texturais incidentes em B2

Classe textural (IAC)	% de ocorrência	Textura
Franco-arenoso	0,15	*Média*
Franco-argilo-arenoso	15,98	*Média*
Franco-argiloso	30,98	*Média*
	43,37	*Argilosa*
Franco	9,06	*Média*
Argilo-arenoso	0,46	*Argilosa*

Fonte: Autora. Detalhado em cinza a classe textural de maior ocorrência na sub-bacia.

As amostras foram então agrupadas conforme a classe de cobertura da terra ao qual pertenciam, sendo os valores de cada um dos atributos submetidos, inicialmente, à análise estatística descritiva, por meio dos indicadores considerados.

Destaca-se que os resultados apresentados não contemplam *outliers* detectados por meio de gráficos boxplot, e que, para os quais, não houvesse explicações para o comportamento verificado. Nestes casos, as amostras foram removidas quando da análise do atributo em que se apresentavam discrepantes.

Após a execução das análises estatísticas iniciais, foram realizadas análise de variância entre cada uma das variáveis granulométricas e os tipos de cobertura da terra considerados, de modo a possibilitar inferências sobre a influência que esta exerce sobre os atributos calculados para os solos.

Os resultados referentes a cada uma das análises estatísticas supracitadas passam a ser discutidos a seguir.

6.4.1.1. Sub-bacia B1

A **Tabela 6.4.1.1.1** traz os resultados da estatística descritiva para a sub-bacia B1, já considerada a remoção de *outliers* detectados.

Tabela 6.4.1.1.1: Estatística descritiva para variáveis granulométricas dos solos em B1

Cobertura da terra	**Medidas estatísticas**	**Variáveis Quantitativas**				
		Cascalho ($g.kg^{-1}$)	*Areia Grossa ($g.kg^{-1}$)*	*Areia Fina ($g.kg^{-1}$)*	*Silte ($g.kg^{-1}$)*	*Argila ($g.kg^{-1}$)*
Vegetação Florestal	*Nº amostras*	7*	8	8	8	8
	Mínimo	18,13	206,17	216,27	98,50	199,00
	Máximo	133,15	395,23	370,83	197,00	378,50
	Média	69,40	292,53	271,35	150,94	285,19
	Coeficiente de variação (%)	55,36	20,06	19,67	21,87	18,47
Pastagem	*Nº amostras*	13*	14*	15	15	15
	Mínimo	36,94	266,34	159,61	93,50	107,00
	Máximo	123,89	470,28	392,94	235,50	381,00
	Média	87,48	339,49	261,37	142,17	247,27
	Coeficiente de variação (%)	27,62	18,41	28,14	28,98	36,64
Áreas Antrópicas	*Nº amostras*	7	7	6*	7	7
	Mínimo	55,07	223,37	321,63	87,00	77,50
	Máximo	415,18	544,09	379,17	324,50	207,50
	Média	231,57	340,06	338,36	205,64	128,93
	Coeficiente de variação (%)	54,62	38,37	6,79	38,30	35,02

***** Variáveis que contém outliers e encontram-se destacadas em cinza escuro. **Fonte**: Autora.

Foram considerados *outliers*, sendo removidas das análises das respectivas variáveis:

- Amostra nº 01 (*Pastagem*): variáveis cascalho e areia grossa;
- Amostra nº 17 (*Vegetação Florestal):* variável cascalho;
- Amostra nº 21 (*Áreas Antrópicas*): variável areia fina;
- Amostra nº 24 (*Pastagem*): variável cascalho.

De acordo com a análise granulométrica, os solos da sub-bacia B1 apresentam predominância de textura média (80,3%). Quanto à classe textural, 52,6% dos solos da sub-bacia são *do tipo Franco-argiloso*, conforme classificação adotada por IAC.

As maiores médias de silte (205,64 $g.kg^{-1}$) e areia fina (338,37 $g.kg^{-1}$) foram verificadas em *Áreas Antrópicas*, frações granulométricas essas tipicamente associadas à erosão hídrica (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 2015), o que pode indicar dinâmica ativa desse processo, principalmente quando se considera que essa classe de cobertura da terra está predominantemente em porções baixas da sub-bacia, próxima a corpos hídricos, e portanto, em áreas deposicionais. Cascalho e areia grossa também apresentam maiores médias de ocorrência nessa classe de cobertura da terra (231,57 $g.kg^{-1}$ e 340,06 $g.kg^{-1}$, respectivamente) .

Já argila apresenta-se, em média, predominante nos solos de *Vegetação Florestal* (285,19 $g.kg^{-1}$), o que aumenta a infiltração e reduz a suscetibilidade à instalação de processos erosivos.

Os resultados referentes à análise de variância são apresentados a seguir (**Tabela 6.4.1.1.2**).

Tabela 6.4.1.1.2: Análise de variância - frações granulométricas em B1

Variável	Normalidade	Homogeneidade	Teste de variância	p-valor	F	$F_{Crítico}$	Chi^
Cascalho	Sim	Não	*Kruskal Wallis*	0,026	--------	--------	7,27
Areia grossa	*Sim*	Sim	Anova-one way	0,357	1,073	3,37	--------
Areia fina	*Não*	Sim	*Kruskal Wallis*	7.10^{-4}	--------	--------	5,99
Silte	*Sim*	Sim	Anova-one way	0,032	3,94	3,35	--------
Argila	*Sim*	Não	*Kruskal Wallis*	0,005	--------	--------	10,77

Destacadas em cinza escuro, as variáveis que apresentaram variância. **Fonte**: Autora.

A partir dos resultados obtidos, verifica-se que apenas a variável *areia grossa* não apresentou relação direta com a classe de cobertura da terra. Para as demais variáveis têm-se que a cobertura da terra:

- Explica **10,77%** da variação de *argila*;
- Explica **7,27%** da variação de *cascalho*;
- Explica **5,99%** da variação de *areia fina*;
- Explica **3,94%** da variação de *silte*;

De modo geral, observa-se alterações significativas das variáveis texturais dos solos em função dos diferentes tipos de cobertura da terra verificados em B1, sendo que uma possível explicação para tal, é a nítida espacialização de cada um dos tipos de cobertura na sub-bacia. Destaca-se que áreas de *Vegetação Florestal* se situam predominantemente no terço superior, as de *Pastagem* no terço médio, e as *Áreas Antrópicas* no terço inferior da sub-bacia.

As análises de variância também indicaram que *Áreas Antrópicas* apresentaram diferenças significativas entre os teores de argila, silte, cascalho e areia fina, em relação aos demais tipos de cobertura da terra, fato que corrobora com os resultados da análise estatística descritiva.

Em *Áreas Antrópicas*, a variável argila apresentou o menor valor encontrado, assim como possuía a menor média dentre as amostras. Já para silte, foi verificada diferença significativa entre as médias de *Áreas Antrópicas* e *Pastagem*, como ocorrido na estatística descritiva, onde as amostras de *Áreas Antrópicas* apresentaram a maior média para a variável, e as de *Pastagem* a menor.

Para a variável cascalho, em ambas as análises estatísticas *Áreas Antrópicas* apresentaram teores significativamente diferentes em relação à *Vegetação Florestal* e *Pastagem*, sendo o maior valor dentre as amostras, bem como a cobertura da terra de maior média verificada.

Finalmente para a variável areia fina, a diferença entre as classes é similar à variável silte, destacando-se a maior média verificada em *Áreas Antrópicas.*

Tais resultados são pertinentes quando se avalia que a localização das amostras de *Áreas Antrópicas* corresponde à porção inferior da sub-bacia, e podem indicar a ocorrência de processos erosivos ativos, já que as frações silte e areia fina se encontram em maiores percentuais nessas áreas. Situação oposta se observa

em porções mais superiores da sub-bacia, onde ocorrem os maiores percentuais de argila, e predominam áreas de *Vegetação Florestal*.

Destaca-se ainda que areia grossa não apresentou variância ao longo da sub-bacia, fato que pode ser explicado pela litologia e tipo de solo incidente em B1 (Argissolos de substrato granito), uma vez que o quartzo, presente nesse tipo de rocha, tende a ser mais resistente ao intemperismo químico e físico, o que resulta em percentuais uniformes e elevados de areia de textura mais grosseira nos solos (FARIAS *et al*., 2019).

6.4.1.2. Sub-bacia B2

A **Tabela 6.4.1.2.1** apresenta resumo dos resultados da estatística descritiva.

Tabela 6.4.1.2.1: Estatística descritiva para frações granulométricas dos solos de B2

Cobertura da terra	Medidas estatísticas	Variáveis Quantitativas				
		Cascalho ($g.kg^{-1}$)	*Areia Grossa ($g.kg^{-1}$)*	*Areia Fina ($g.kg^{-1}$)*	*Silte ($g.kg^{-1}$)*	*Argila ($g.kg^{-1}$)*
Vegetação Florestal	*Nº amostras*	8	7*	8	8	8
	Mínimo	6,01	267,45	81,08	47,50	173,00
	Máximo	200,00	443,42	318,84	220,50	414,50
	Média	82,11	330,91	239,80	133,06	286,19
	Coeficiente de variação (%)	94,68	17,33	33,41	37,68	29,90
Pastagem	*Nº amostras*	9	9	9	9	9
	Mínimo	36,04	262,50	165,58	36,00	233,50
	Máximo	145,59	413,42	316,32	184,50	396,50
	Média	98,49	333,23	235,65	118,56	312,56
	Coeficiente de variação (%)	40,87	15,68	24,15	36,00	16,00
Áreas Antrópicas	*Nº amostras*	6	6	6	6	6
	Mínimo	12,43	192,17	202,90	19,50	169,00
	Máximo	261,53	436,08	347,36	250,00	354,50
	Média	146,66	298,18	275,82	169,75	256,25
	Coeficiente de variação (%)	57,05	26,43	23,16	52,61	24,03
Reflorestamento com Eucalipto	*Nº amostras*	7	7	6*	7	7
	Mínimo	58,13	257,84	193,75	94,00	243,50
	Máximo	159,67	392,58	257,16	275,00	390,50
	Média	104,66	311,18	223,22	164,71	322,29
	Coeficiente de variação (%)	33,20	15,34	10,10	36,49	16,98

***** Variáveis que contém outliers e encontram-se destacadas em cinza escuro. **Fonte**: Autora.

Foram considerados *outliers*, sendo removidas das análises das respectivas variáveis:

- Amostra nº 10 (*Vegetação Florestal):* variável areia grossa;
- Amostra nº 25 (*Reflorestamento com Eucalipto*): variável areia fina.

Os solos de B2 apresentam predominância de textura média (56,2%), apesar do equilíbrio verificado em relação a solos de textura argilosa (43,8%). Quanto à classe textural, 74,4% dos solos da sub-bacia são do tipo *Franco-argiloso*, conforme classificação adotada por IAC.

Outra questão importante são as maiores médias de silte (169,75 $g.kg^{-1}$) e areia fina (275,82 $g.kg^{-1}$) em *Áreas Antrópicas*, fatores que podem aumentar a propensão dessas áreas a processos de erosão hídrica, de forma semelhante ao observado em B1. A variável cascalho também apresenta maior média nessa classe de cobertura da terra (146,66 $g.kg^{-1}$). Já argila apresenta-se predominante nos solos de *Reflorestamento com Eucalipto* (322,29 $g.kg^{-1}$).

A seguir, passam a ser discutidos os resultados obtidos pela análise de variância obtidos para B2 (**Tabela 6.4.1.2.2**).

Tabela 6.4.1.2.2: Análise de variância - frações granulométricas em B2

Variável	Normalidade	Homogeneidade	Teste de variância	p-valor	F	$F_{Crítico}$	Chi^
Cascalho	Sim	Não	*Kruskal Wallis*	0,337	--------	--------	3,38
Areia grossa	Sim	Sim	Anova-one way	0,657	0,544	2,99	--------
Areia fina	Sim	Sim	Anova-one way	0,630	0,585	2,99	--------
Silte	Sim	Sim	Anova-one way	0,305	1,272	2,975	--------
Argila	Sim	Sim	Anova-one way	0,264	1,405	2,975	--------

Fonte: Autora.

De modo geral, observa-se que ao contrário de B1, na sub-bacia B2 não há variações significativas das médias das variáveis texturais dos solos em função dos diferentes tipos de cobertura da terra.

Tais fatores podem ser decorrentes ao fato de que as amostras das áreas de *Vegetação Florestal*, *Pastagem* e *Áreas Antrópicas* encontram-se mais espalhadas ao longo da sub-bacia, não obedecendo a um nítido zoneamento como verificado em B1. Outra questão é a predominância de vegetação florestal em B2, o que pode estar inibindo o arraste de partículas mais erodíveis do solo.

6.4.2. Atributos físico-químicos quantitativos

Cada um dos atributos físico-químicos obtidos a partir das análises das amostras de solos encontram-se discriminados nas **Tabelas 6.4.2.1** e **6.4.2.2 (Anexo B)**, respectivamente, referentes aos parâmetros oriundos de amostras indeformadas e deformadas.

De forma análoga à análise das frações granulométricas, foram realizados testes estatísticos com cada um dos atributos físico-químicos quantitativos, a partir do agrupamento das amostras de acordo com classe de cobertura da terra.

6.4.2.1. Sub-bacia B1

A **Tabela 6.4.2.1.1** traz os resultados da estatística descritiva.

Tabela 6.4.2.1.1: Estatística descritiva para variáveis físico-químicas dos solos de B1

Cobertura da terra	**Medidas estatísticas**	**Variáveis Quantitativas**				
		Condutividade elétrica ($\mu S.cm^{-1}$)	*Matéria orgânica ($g.dm^{-3}$)*	*W ($g.g^{-1}$)*	*pH*	*ρd ($g.cm^{-3}$)*
Vegetação Florestal	*Nº amostras*	8	8	8	8	8
	Mínimo	93,80	124,19	0,154	5,33	0,75
	Máximo	266,00	256,99	0,238	7,26	1,48
	Média	183,59	160,32	0,192	6,01	1,06
	Coeficiente de variação (%)	36,75	27,39	15,00	10,82	19,58
Pastagem	*Nº amostras*	15	15	15	14*	15
	Mínimo	11,10	11,49	0,137	4,93	1,24
	Máximo	91,20	225,21	0,249	7,28	1,62
	Média	45,91	125,22	0,185	6,12	1,43
	Coeficiente de variação (%)	57,80	52,85	17,88	8,78	8,16
Áreas Antrópicas	*Nº amostras*	7	7	7	7	7
	Mínimo	157,50	14,96	0,073	5,53	0,89
	Máximo	404,00	275,50	0,231	7,44	1,65
	Média	248,06	77,84	0,148	6,33	1,30
	Coeficiente de variação (%)	32,94	117,22	38,48	9,91	21,99

***** Variável que contém outlier e encontra-se destacada em cinza escuro. **Fonte**: Autora.

A amostra nº 12 (*Pastagem*) se apresentou como outlier para a variável pH, sendo removida das análises da variável, conforme destacado na **Tabela 6.4.2.3**.

- *Condutividade Elétrica (C.E): o*s maiores e menores valores foram, respectivamente, 404 µS.cm^{-1} (Áreas Antrópicas) e 11,1 µS.cm^{-1} (Pastagem), demonstrando a grande amplitude de variação da condutividade conforme classe de cobertura da terra. Os valores obtidos para *Vegetação Florestal* foram tomados como referencial para indicação de valores de condutividade elétrica, já que correspondem a áreas em que a ocupação antrópica é ausente ou restrita, e assim, podem ser utilizadas para avaliação de alterações da qualidade do solo (SANTOS; DONATO e COTRIM JÚNIOR, 2020). Tal fato que se verifica em B1, onde os resultados obtidos indicam valores intermediários para C.E.

Com relação às médias, obteve-se como menor valor 45,91 µS.cm^{-1} para *Pastagem* e maior média para *Áreas Antrópicas* (248,06 µS.cm^{-1}).

Devido ao fato de nenhuma das amostras apresentar C.E. maior que 2.000 µS.cm^{-1}, conclui-se não haver presença de solos salinos nas áreas analisadas da Sub-Bacia (RICHARDS, 1954).

Os valores encontrados podem estar associados a outras variáveis em análise, destacando-se àquelas correspondentes a características estruturais dos solos, como textura, principalmente teores de argila e areia, bem como seu respectivo potencial de condução ou resistência à passagem de corrente elétrica, umidade gravimétrica e teor de matéria orgânica. Tais variáveis têm grande importância na variação da C.E., visto que todas as amostras foram coletadas sob mesmas condições de temperatura e umidade relativa do ar.

Também pode haver influência direta das formas de ação antrópica exercidas em cada uma das categorias de cobertura da terra, visto que solos superficiais são mais suscetíveis a tal dinâmica.

Os altos valores de condutividade verificados para *Áreas Antrópicas* podem ser explicados, dentre outras causas, pela existência de pontos de descarte de resíduos sólidos verificados próximos aos locais de amostragem (amostras nº 18 a 22) e pela inexistência de coleta e afastamento de efluentes domésticos gerados em área de ocupação subnormal (amostras nº 18 e 19), os quais possivelmente acabam infiltrados no solo. Também pode ser mencionada proximidade de alguns dos pontos de coleta a corpo hídrico (amostras nº 19 a 21), fato que também pode contribuir para altos valores de C.E.

Já os baixos valores observados para *Pastagem* podem ocorrer devido ao alto processo de escoamento superficial e lixiviação de nutrientes, especialmente sais.

- *Matéria Orgânica (M.O.):* Com relação ao valor máximo encontrado: 275,5 $g.dm^{-3}$, observa-se que foi obtido em amostra oriunda de *Áreas Antrópicas* (amostra 16). Tal fato tem explicação na contiguidade entre esta amostra e área de *Vegetação Florestal,* onde foi extraída *a* amostra nº 17. Desta forma se justifica o máximo valor de M.O. para tal amostra, não a considerando como outlier.

Dentre as médias obtidas para a variável, observa-se o maior valor para *Vegetação Florestal* (160,33 $g.dm^{-3}$), e o menor valor para *Áreas Antrópicas* (77,84 $g.dm^{-3}$), onde a densidade vegetativa é baixa ou inexistente.

É importante destacar que o alto teor de M.O. observado em todos os pontos de *Vegetação Florestal* se deve à contínua reposição de material vegetal pelas plantas, grande acúmulo e decomposição da serapilheira depositada nessas áreas, principalmente em virtude do estágio de desenvolvimento da vegetação local (predominante médio de regeneração). Valores intermediários observados em *Pastagem* possivelmente decorrem da ausência de gado na maior parte das áreas amostradas, fato que acarreta grande influência na conservação do solo, já que não há remoção da vegetação existente para sua alimentação.

- *Umidade gravimétrica (W)*: O valor máximo encontrado foi de 0,249 $g.g^{-1}$ (24,9%) para *Pastagem* e o menor valor, 0,073 $g.g^{-1}$ (7,34%) para *Áreas Antrópicas*. Destaca-se que alto valor de umidade para a amostra nº 10 (*Pastagem*) pode estar relacionado com os elevados teores de argila (323 $g.kg^{-1}$) e matéria orgânica (201,69 g/dm^3) do solo.

Entretanto, quando se avaliam as médias, *Vegetação Florestal* apresenta o maior resultado (0,192 $g.g^{-1}$), possivelmente associado aos conteúdos de matéria orgânica, os quais apresentam grande capacidade de adsorção de água, e contribuem para um aumento da porosidade do solo (BRADY e WEIL, 2013).

- *pH*: *Áreas Antrópicas* apresentou o maior valor (7,44), sendo o menor valor observado para *Pastagem* (4,93). Com relação às médias, *Áreas Antrópicas* também apresentou o maior valor (6,33), e *Vegetação Florestal* o menor (6,01).

A menor média para *Vegetação Florestal* era esperada, visto que, conforme Brady e Weil (2013), elevados teores de matéria orgânica tendem a acidificar o solo, pois forma complexos solúveis com os cátions alcalinos, facilitando sua lixiviação. Outra causa, ainda de acordo com os autores, é que a matéria orgânica contém numerosos grupos funcionais ácidos, dos quais o H^+ pode se dissociar. Há ainda a

liberação de ácidos orgânicos durante a decomposição da serapilheira, que contribuem para a redução do pH do solo (ROVEDA *et al*., 2018).

Foi possível constatar que em geral os solos se apresentam ácidos, característica comum a solos tropicais, devido a constante lixiviação de elementos alcalinos pelas chuvas, e substituição por íons H^+ nos coloides do solo (LOPERA, 2016). Outra causa pode ser devido ao fato de as amostras terem sido coletadas da superfície do solo, a qual tende a ser mais ácida em relação aos perfis subsuperficiais (BRADY e WEIL, 2013).

- *Densidade do solo (ρd)*: Os maiores valores obtidos são referentes a *Pastagem* e *Áreas Antrópicas*, respectivamente, 1,62 $g.cm^{-3}$ e 1,65 $g.cm^{-3}$. O menor valor foi obtido em *Vegetação Florestal* (0,75 $g.cm^{-3}$). Resultados análogos foram obtidos para as médias, onde o maior valor foi observado na cobertura da terra do tipo *Pastagem* (1,42 $g.cm^{-3}$) e o menor para *Vegetação Florestal* (1,06 $g.cm^{-3}$).

Tais valores são diretamente associados à textura e estrutura dos solos, uma vez que esta é função do arranjo e orientação das partículas do solo (CORRÊA; MORAES; PINTO, 2016) sendo maiores valores observados para solos com altos percentuais de areia, e menores valores em solos com maiores percentuais de argila e matéria orgânica.

Cumpre mencionar ainda o alto grau de compactação observada para as amostras de *Pastagem* e *Áreas Antrópicas*. A compactação é um forte indicador para determinação da densidade do solo, conforme menciona Torres (2017).

Em situação oposta, amostras de *Vegetação Florestal* caracterizaram-se predominantemente por solos mais soltos. Nesse contexto vale destacar a amostra nº 27, cujo valor foi o menor observado (0,75 $g.cm^{-3}$), e o qual pode ser explicado pela alta concentração de matéria orgânica (256,99 $g.dm^{-3}$), sendo a amostra como maior teor na sub-bacia, e também pela presença significativa de raízes.

Com relação à análise estatística de variância, a **Tabela 6.4.2.1.2** traz os resultados obtidos para os atributos físico-químicos das amostras de B1.

Tabela 6.4.2.1.2: Resultados da análise de variância - B1

Variável	Normalidade	Homogeneidade	Teste de variância	p-valor	F	$F_{Crítico}$	Chi^
C.E.	Sim	Não	*Kruskal Wallis*	$1,33.10^{-5}$	------	--------	22,45
M.O.	*Não*	Sim	*Kruskal Wallis*	0,033	------	--------	6,85
W	*Sim*	Sim	Anova-one way	0,071	2,93	3,35	-------
pH	*Sim*	Sim	Anova-one way	0,580	0,56	3,37	-------
ρd	*Sim*	Sim	Anova-one way	7.10^{-4}	9,52	3,35	-------

Destacadas em cinza escuro, as variáveis que apresentaram variância. **Fonte**: Autora.

A análise indica que apenas as variáveis *umidade* e *pH* não apresentam relação com classe de cobertura da terra.

Para as demais variáveis têm-se que a cobertura da terra:

- Explica **22,45%** da variação da *condutividade elétrica*;
- Explica **9,52%** da variação da *densidade do solo*;
- Explica **6,85%** da variação da *matéria orgânica*.

A variável condutividade elétrica foi a mais influenciada pela classe de cobertura da terra, sendo observada significativa diferença entre os resultados apresentados pelas amostras de *Pastagem* em relação às demais.

Cumpre destacar que a estatística descritiva já apontava tal categoria de cobertura da terra como a de menor média de valores, sendo que uma de suas amostras apresentou o menor valor identificado dentre todas em B1. Tal verificação pode ser ocasionada pelo alto grau de compactação de seus solos, o que reduz a umidade, e pode diminuir o potencial de condutividade elétrica. Ocorrências relacionadas à lixiviação e solubilização de sais para as camadas inferiores do solo também podem estar relacionada aos baixos valores.

Os maiores valor e média verificados foram para *Áreas Antrópicas*, possivelmente em decorrência de interferências promovidas na superfície dos solos, tais como descarte de resíduos e lançamento de efluentes. A proximidade com curso d'água de parte dos pontos de amostragem desta categoria também podem influenciar nos maiores valores apresentados.

Já para áreas de *Vegetação Florestal*, os valores elevados observados podem ser diretamente associados ao seu conteúdo de matéria orgânica, visto que a

presença de húmus contribui para maior adsorção de água, bem como aumenta a capacidade de troca catiônica do solo, pois amplia as cargas negativas na superfície (BRADY e WEIL, 2013).

Com relação à densidade do solo, a análise de variância aponta para diferenças expressivas entre *Vegetação Florestal* e os demais tipos de cobertura da terra, fato confirmado pela análise estatística descritiva, onde se obteve menor média e valor observado para essa categoria. Tal resultado evidencia a influência do alto teor de matéria orgânica no aumento da porosidade do solo, a qual associada com elevado percentual de argila, certamente contribuíram para uma menor densidade desses solos. A compactação dos solos das amostras de *Pastagem* e *Áreas Antrópicas* aparentemente exerceu influência direta nos altos valores da variável nestes tipos de cobertura da terra.

Para a variável matéria orgânica foi clara a diferença entre as médias de *Vegetação Florestal* e de *Áreas Antrópicas*, tendo em vista que tais formas de cobertura da terra podem ser consideradas antagônicas na sub-bacia, quando se avalia a densidade de vegetação presente em cada uma delas.

6.4.2.2. Sub-bacia B2

Os resultados referentes à estatística descritiva da sub-bacia B2 encontram-se destacados na **Tabela 6.4.2.2.1**.

Tabela 6.4.2.2.1: Estatística descritiva para variáveis físico-químicas dos solos de B2

Cobertura da terra	Medidas estatísticas	Variáveis Quantitativas				
		Condutividade elétrica (µS.cm^{-1})	***Matéria orgânica (g.dm^{-3})***	***W (g.g^{-1})***	***pH***	***ρd (g.cm^{-3})***
Vegetação Florestal	*Nº amostras*	8	8	8	7*	8
	Mínimo	101,30	92,32	0,122	3,66	0,71
	Máximo	208,00	273,45	0,301	5,07	1,32
	Média	171,01	169,41	0,223	4,31	0,873
	Coeficiente de variação (%)	24,65	30,02	24,86	10,52	24,13
Pastagem	*Nº amostras*	9	9	9	9	9
	Mínimo	17	63,50	0,118	4,91	1,01
	Máximo	98,20	258,21	0,180	6,98	1,48
	Média	48,94	136,72	0,140	5,79	1,34
	Coeficiente de variação (%)	55,51	53,40	15,56	13,20	11,93
Áreas Antrópicas	*Nº amostras*	6	6	6	6	6
	Mínimo	14,40	42,50	0,117	5,00	1,19
	Máximo	174,20	223,61	0,183	6,11	1,37
	Média	91,43	99,90	0,150	5,68	1,25
	Coeficiente de variação (%)	71,18	68,90	15,10	7,92	5,99
Reflorestamento com Eucalipto	*Nº amostras*	7	7	7	7	7
	Mínimo	9,40	77,00	0,160	3,52	0,77
	Máximo	111,50	129,24	0,234	5,89	1,15
	Média	59,44	102,61	0,192	5,26	1,01
	Coeficiente de variação (%)	72,14	19,90	15,07	16,41	11,80

***** Variável que contém outlier e encontra-se destacada em cinza escuro. **Fonte**: Autora.

A amostra nº 12 (*Vegetação Florestal*) se apresentou como outlier para a variável pH, sendo removida das análises da variável, conforme destacado na **Tabela 6.4.2.5**.

- *Condutividade Elétrica (C.E.)*: Os maiores e menores valores foram, respectivamente, 208 µS.cm^{-1} (*Vegetação Florestal*) e 9,4 µS.cm^{-1} (*Reflorestamento com Eucalipto*), demonstrando a grande amplitude de variação da condutividade conforme a classe de cobertura da terra.

Vegetação Florestal também apresentou a maior média (171,01 µS.cm^{-1}), e *Pastagem* a menor média (48,94 µS.cm^{-1}).

Assim como no caso de B1, nenhuma das amostras apresentou valores de C.E. superiores a 2.000 µS.cm^{-1}.

Os valores encontrados podem estar associados a outras variáveis em análise, destacando-se àquelas correspondentes a características estruturais dos solos, como textura, principalmente teores de argila e areia, e seu respectivo potencial de condução ou resistência à passagem de corrente elétrica, umidade gravimétrica e

teor de matéria orgânica. Tais variáveis têm grande importância na variação da C.E., visto que todas as amostras foram coletadas sob mesmas condições de temperatura e umidade relativa do ar.

Em B2 não se observa claramente ação antrópica influente nos valores obtidos, já que *Áreas Antrópicas* apresentou média bem inferior à *Vegetação Florestal*, 91,43 $\mu S.cm^{-1}$, ainda que superior à *Pastagem* e *Reflorestamento com Eucalipto*.

Cumpre destacar as amostras nº 03 e 04 que apresentaram altos valores de C.E. (204 $\mu S.cm^{-1}$ e 191,5 $\mu S.cm^{-1}$), fato que contribuiu para elevação da média da classe *Vegetação Florestal*. Esses valores podem ser explicados pela proximidade dos pontos com vala de drenagem superficial observada em campo. Também vale mencionar o alto valor obtido pela amostra nº 20 (*Áreas Antrópicas*): 174,2 $\mu S.cm^{-1}$, onde havia proximidade do ponto com curso d'água.

Os baixos valores observados para *Reflorestamento com Eucalipto* podem ser atribuídos à alta demanda por nutrientes que a espécie apresenta, assim como devido à inadequada ou nula adubação, fatores que contribuem para a baixa concentração de sais na solução do solo.

- *Matéria Orgânica (M.O.):* O valor máximo encontrado: 273,45 $g.dm^{-3}$, foi obtido em amostra de *Vegetação Florestal*, e o menor para *Áreas Antrópicas* (42,50 $g.dm^{-3}$). Para as médias tal situação também se repete, sendo, respectivamente, 169,41 $g.dm^{-3}$ e 99,9 $g.dm^{-3}$.

O alto teor de M.O. observado em todos os pontos de *Vegetação Florestal* se deve ao grande acúmulo e decomposição da serapilheira depositada nessas áreas, principalmente em virtude do estágio de desenvolvimento da vegetação local (predominante médio de regeneração). Entretanto, vale destacar que a sub-bacia apresenta-se bem conservada em termos de preservação da vegetação, fato evidenciado pelas altas médias de M.O. observadas entre todas os tipos de cobertura da terra.

- *Umidade Gravimétrica (W):* O valor máximo encontrado foi de 0,301 $g.g^{-1}$ (30,1%) para *Vegetação Florestal* e o menor valor, 0,117 $g.g^{-1}$ (11,7%) para *Áreas Antrópicas*.

Quando se avaliam as médias, a classe *Vegetação Florestal* também apresenta o maior resultado (0,223 $g.g^{-1}$), fato possivelmente associado aos elevados conteúdos de matéria orgânica e argila, os quais também possuem valores significativos nesta classe de cobertura da terra, e possuem grande capacidade de

adsorção de água, além de contribuir para um aumento da porosidade do solo (BRADY e Weil, 2013).

A menor média verificada foi para *Pastagem* (0,140 $g.g^{-1}$), valor próximo ao obtido para *Áreas Antrópicas* (0,150 $g.g^{-1}$), sendo que nessas áreas foi constatado alto grau de compactação na maior parte de seus pontos de amostragem. Tais ocorrências levam a um aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade, o que consequentemente reduz o teor de umidade.

- *pH: Pastagem* apresentou o maior valor (6,98) e *Reflorestamento com* Eucalipto o menor (3,52). *Pastagem* também apresentou a maior média (5,79) e *Vegetação Florestal* a menor (4,31). Observa-se que em geral os solos apresentam-se ácidos, assim como na sub-bacia B1.
- *Densidade do solo (ρd):* O maior valor obtido refere-se à *Pastagem* (1,48 $g.cm^3$), e os menores valores para *Vegetação Florestal* (0,71 $g.cm^{-3}$) e *Reflorestamento com Eucalipto* (0,77 $g.cm^{-3}$). Com relação às médias, destaca-se o maior valor para *Pastagem* (1,34 $g.cm^{-3}$) e a menor para *Vegetação Florestal* (0,87 $g.cm^{-3}$).

Tais valores podem estar diretamente associados à textura e estrutura dos solos, uma vez que esta é função do arranjo e orientação das partículas. Neste sentido, vale destacar o alto grau de compactação observada para as amostras de *Pastagem* e *Áreas Antrópicas,* enquanto amostras de *Vegetação Florestal* e *Reflorestamento com Eucalipto* possuem predominância de solos soltos.

Os resultados referentes às análises de variância obtidos para os atributos físico-químicos das amostras de B2 são apresentados na **Tabela 6.4.2.2.2**.

Tabela 6.4.2.2.2: Resultados da análise de variância - B2

Variável	Normalidade	Homogeneidade	Teste de variância	p-valor	F	$F_{Crítico}$	Chi^
C.E.	Não	Sim	*Kruskal Wallis*	0,002	--------	--------	15,40
M.O.	Sim	Sim	Anova-one way	0,096	2,34	2,98	--------
W	Sim	Sim	Anova-one way	3.10^{-4}	9,15	2,98	--------
pH	Não	Sim	*Kruskal Wallis*	0,006	--------	--------	12,53
ρd	Não	Sim	*Kruskal Wallis*	4.10^{-4}	--------	--------	18,08

Destacadas em cinza escuro, as variáveis que apresentaram variância. **Fonte**: Autora.

A partir dos resultados da análise de variância verificou-se que somente a variável *matéria orgânica* não apresenta relação com a classe de cobertura da terra, dentre os atributos físico-químicos analisados. Tal fato pode estar relacionado à maior significância e conservação da vegetação, quando comparado à B1, o que possivelmente contribuiu para a ausência de variância das médias desse atributo.

Para as demais variáveis têm-se que a cobertura da terra:

- Explica **18,08%** da variação da *densidade do solo*;
- Explica **15,40%** da variação da *condutividade elétrica*;
- Explica **12,53%** da variação do *pH*;
- Explica **9,15%** da variação da *umidade;*

Verifica-se que a variável densidade do solo é a mais influenciada pela classe de cobertura da terra, sendo que a análise de variância aponta para diferenças expressivas entre: *Pastagem* em relação à *Vegetação Florestal* e *Reflorestamento com Eucalipto*; *Vegetação Florestal* em relação à *Áreas Antrópicas*; e *Áreas Antrópicas* em relação à *Reflorestamento com Eucalipto*.

Tais diferenças foram ressaltadas pela análise estatística descritiva, onde se constatou influência do alto grau de compactação junto às amostras de *Pastagem* e *Áreas Antrópicas*, ao contrário das amostras oriundas de *Vegetação Florestal* e *Reflorestamento com Eucalipto*, que se apresentavam como solos mais soltos, em virtude de seus altos teores de matéria orgânica.

A variável *condutividade elétrica* também se mostrou influenciada pela classe de cobertura da terra em B2, sendo que a análise de variância indicou significativa diferença de amostras de *Vegetação Florestal* em relação às demais categorias de cobertura da terra. Os resultados da estatística descritiva já apontavam tal cobertura como a de maior média de valores, sendo que uma de suas amostras apresentou o maior valor identificado. Além da influência dos altos teores de matéria orgânica, argila e umidade, a proximidade de algumas das amostras com cursos d'água também pode ter influenciado nos maiores valores desta constatados.

Para a variável *pH* também foi observada significativa diferença das amostras de *Vegetação Florestal* em relação às demais classes de cobertura da terra. Tal fato pode ser associado à tendência acidificante da matéria orgânica, assim como pela formação de ácidos húmicos nesses solos, o que pode ter reduzido os valores da variável.

Finalmente para a variável *umidade*, também foi identificado padrão semelhante de diferenciação de *Vegetação Florestal* em relação às demais coberturas, possivelmente em virtude dos teores de argila e matéria orgânica serem elevados nesta categoria, bem como pela aparência mais porosa do solo. Situação oposta se verifica nas amostras de *Pastagem* e *Áreas Antrópicas*, que se apresentaram altamente compactadas.

6.4.3. Atributo físico-químico qualitativo – Hidrofobicidade

Ao final das avaliações estatísticas referentes aos atributos quantitativos, foi feita verificação da existência de associação entre a variável qualitativa hidrofobicidade do solo e os tipos de cobertura da terra por meio do teste de *Chi Quadrado*, sendo os respectivos resultados apresentados a seguir.

6.4.3.1. Sub-bacia B1

A análise apresentou p-valor significativo (inferior a 5%), resultado indicativo de associação entre as variáveis. Por sua vez, o grau de associação calculado pelo teste *Cramer's V* foi equivalente a 52%.

Quando se avaliou a tendência à hidrofobicidade, foi observado que apenas os solos oriundos de *Vegetação Florestal* apresentaram-se enquadrados como *Levemente Hidrofóbico* ou *Fortemente Hidrofóbico* (**Tabela 6.4.3.1.1**), sendo que 62,5% de suas amostras foram enquadradas em uma dessas nessas categorias (37,5% - levemente hidrofóbico e 25% - hidrofóbico). As amostras referentes aos demais tipos de cobertura da terra enquadraram-se totalmente na categoria *Hidrofílico*.

Tabela 6.4.3.1.1: Avaliação da tendência dos solos à hidrofobicidade na sub-bacia B1

Cobertura da terra	Classe de hidrofobicidade	Frequência	
		Valores Observados	*Valores Esperados*
Vegetação Florestal	*Hidrofílico*	3	6,67
	Levemente hidrofóbico	3	0,80
	Hidrofóbico	2	0,53
Pastagem	*Hidrofílico*	15	12,5
	Levemente hidrofóbico	0	1,5
	Hidrofóbico	0	1,0
Áreas Antrópicas	*Hidrofílico*	7	5,83
	Levemente hidrofóbico	0	0,70
	Hidrofóbico	0	0,47

Destacada em cinza escuro, cobertura da terra que apresentou algum nível de hidrofobicidade. **Fonte**: Autora.

A situação verificada nas áreas de *Vegetação Florestal* reflete a correlação da variável com a vegetação, visto que a produção de ceras/lipídeos, resinas e exsudatos radiculares, associados a alguns produtos da decomposição de serapilheira por fungos e bactérias, podem contribuir para aumento da hidrofobicidade do solo. Esses compostos são bastante estáveis e se acumulam no solo florestal, pois não há um revolvimento constante das camadas superficiais (VOGELMANN *et al.,* 2015).

6.4.3.2. Sub-bacia B2

A análise não apresentou p-valor significativo, indicando a não ocorrência de associação entre as variáveis, ou seja, diferentemente de B1 não foram observadas evidências de que a classe de cobertura da terra estaria influenciando na tendência à hidrofobicidade dos solos (**Tabela 6.4.3.2.1)**.

Em *Vegetação Florestal*, 50% das amostras foram enquadradas nas categorias *Levemente Hidrofóbica* (12,5%) e *Fortemente Hidrofóbico* (37,5%), sendo a outra metade das amostras referente à categoria *Hidrofílico*. A ocorrência de amostras hidrofílicas pode estar associada a uma maior deposição da serapilheira, em detrimento a sua taxa de decomposição.

As amostras referentes à *Pastagem* enquadraram-se totalmente na categoria *Hidrofílico*, da mesma forma que em B1.

Áreas Antrópicas possui 83,3% das amostras na categoria *Hidrofílico* e 16,7% em *Levemente Hidrofóbico*.

Já *Reflorestamento com Eucalipto* possui 43% das amostras enquadradas como *Levemente Hidrofóbico* (28,6%) e *Fortemente Hidrofóbico* (14,3%), e as demais em *Hidrofílico* (57,1%). A tendência à hidrofobicidade em parte das amostras pode ser explicado pela considerável quantidade de resinas, ceras e óleos aromáticos, associados ao material vegetal de espécies de eucalipto (VOGELMANN; PREVEDELLO; REICHERT, 2015).

Cumpre mencionar que durante a coleta, algumas das amostras apresentaram evidências de ocorrências recentes de queimadas. Tais eventos tendem a promover a elevação da temperatura do solo superficial e formação de uma camada hidrófoba de material carbonizado, a qual geralmente persiste alguns meses, e pode constituir um impedimento à infiltração de água e o umedecimento do solo (VOGELMANN; PREVEDELLO; REICHERT, 2015; SANTOS *et al*., 2016). No entanto, apenas na amostra nº 26 (*Áreas Antrópicas*) tal alteração do solo pode ter resultado em seu caráter *Levemente Hidrofóbico*, já que as demais amostras onde se verificaram indícios de queimadas se mostram *Hidrofílicas* (amostra nº 01 – *Pastagem*; amostra nº 06 – *Reflorestamento com Eucalipto*; amostra nº 13 – *Pastagem*).

Tabela 6.4.3.2.1: Avaliação da tendência dos solos à hidrofobicidade na sub-bacia B2

Cobertura da terra	**Classe de hidrofobicidade**	**Frequência**	
		Valores Observados	*Valores Esperados*
Vegetação Florestal	*Hidrofílico*	4	5,87
	Levemente hidrofóbico	1	1,07
	Hidrofóbico	3	1,07
Pastagem	*Hidrofílico*	9	6,6
	Levemente hidrofóbico	0	1,2
	Hidrofóbico	0	1,2
Áreas Antrópicas	*Hidrofílico*	5	4,4
	Levemente hidrofóbico	1	0,8
	Hidrofóbico	0	0,8
Reflorestamento com Eucalipto	*Hidrofílico*	4	5,13
	Levemente hidrofóbico	2	0,93
	Hidrofóbico	1	0,93

Destacadas em cinza escuro, coberturas da terra que apresentaram algum nível de hidrofobicidade.
Fonte: Autora.

6.4.4. Análise de Componentes Principais – ACP

A partir dos resultados obtidos por meio das avaliações estatísticas descritiva e de dispersão (variância), foi realizada análise multivariada, por meio da técnica ACP,

com intuito de obter tendências representativas acerca dos padrões de comportamento de cada uma das variáveis que se apresentaram influenciadas pelos tipos de cobertura da terra.

Em B1 (**Figura 6.4.4.1)**, as duas primeiras componentes principais (CP1 e CP2) explicaram quase 70% da variância dos dados.

É possível observar que as amostras referentes à *Vegetação Florestal* se encontram positivamente relacionadas às variáveis matéria orgânica e argila, e negativamente relacionadas com cascalho e densidade do solo.

Situação inversa é verificada para amostras de *Áreas Antrópicas*, as quais apresentam relação positiva com as variáveis silte, cascalho, areia fina e condutividade elétrica, e negativa para argila e matéria orgânica.

Já as amostras de *Pastagem* apresentam proximidade com as variáveis densidade do solo e argila, e oposição a silte, condutividade elétrica e areia fina.

Os resultados confirmam as suposições estatísticas iniciais, sugerindo indícios acerca das alterações em alguns dos atributos das camadas superficiais, promovidas em decorrência da forma de uso e ocupação do solo imposto em cada área da sub-bacia.

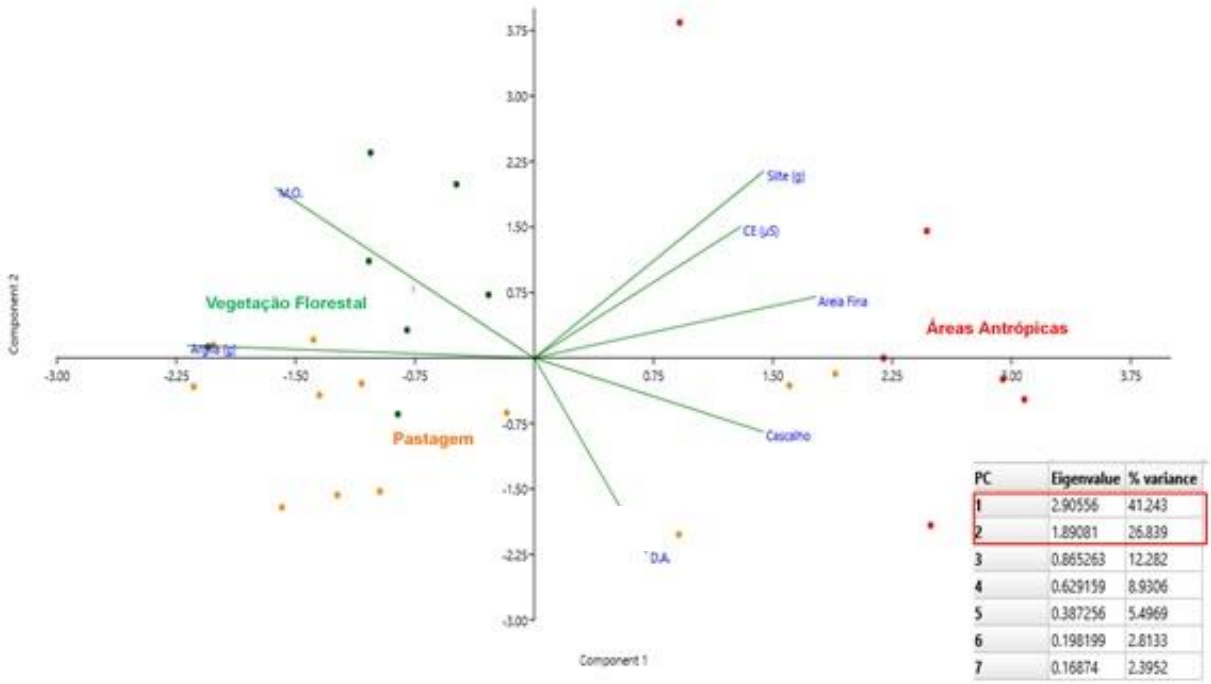


Figura 6.4.4.1: ACP - atributos dos solos de B1 e classe de cobertura da terra. **Fonte**: Autora.

Já em B2 (**Figura 6.4.4.2**), as duas primeiras componentes principais (CP1 e CP2) explicaram mais de 80% da variância dos dados. É possível observar que as amostras referentes à *Vegetação Florestal* se encontram positivamente relacionadas às variáveis umidade e condutividade elétrica, e negativamente relacionadas com densidade do solo e pH.

Para amostras de *Áreas Antrópicas* e *Pastagem* verifica-se situação exatamente inversa à *Vegetação Florestal*.

Já as amostras de *Reflorestamento com Eucalipto* apresentam proximidade apenas com a variável umidade, sendo oposta às demais.

Os resultados confirmam as suposições estatísticas iniciais, sugerindo que as variáveis densidade do solo, pH e umidade podem estar sofrendo influência direta do tipo de uso do solo, a qual pode ser relacionada ao alto grau de compactação imposto à *Pastagem* e *Áreas Antrópicas*.

No entanto, há indícios de que a variável condutividade elétrica se encontra relacionada às características naturais das áreas, ao contrário de B1, onde estava diretamente ligada a pressões humanas.

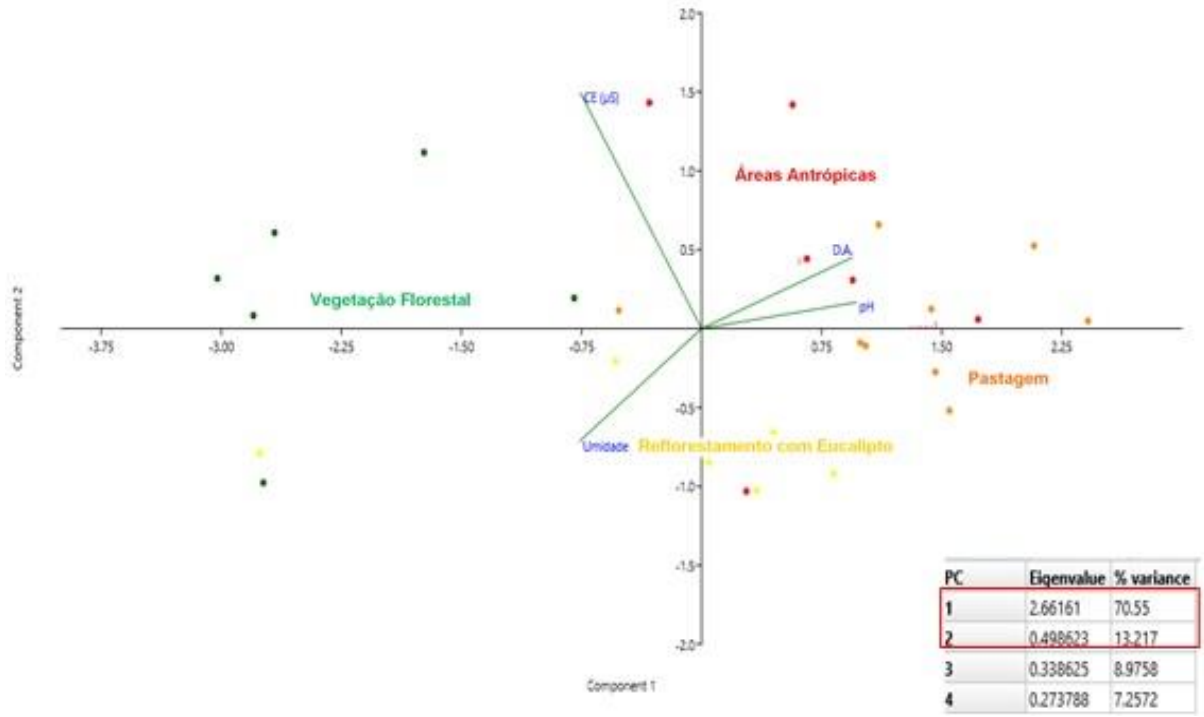


Figura 6.4.4.2: ACP - atributos dos solos de B2 e classe de cobertura da terra. **Fonte**: Autora.

6.5. FATOR K – EUPS

De forma geral, B1 apresenta elevada tendência à erodibilidade dos solos, destacando-se que aproximadamente 79% da sub-bacia está enquadrada dentre as categorias *alta*, *muito alta* ou *extremamente alta* erodibilidade (**Figura 6.5.1** e **Tabela 6.5.1**). Tal fato é compatível com estudo realizado por Carvalho *et al*. (2017), que também verificaram incidência de altos valores de erodibilidade em Argissolos Vermelho-Amarelo de textura média.

Outro ponto importante diz respeito à espacialização bem definida das classes de erodibilidade incidentes, a qual coincide também com a conformação da cobertura da terra apresentada por B1. O terço superior da sub-bacia, onde se encontra predominância de *Vegetação Florestal*, apresenta os menores índices do fator K verificados, sendo considerada em sua maior parte como de *média* erodibilidade. As áreas de *Pastagem*, situadas no terço médio, apresentam-se como de *média* a *muito alta* erodibilidade. Já *Áreas Antrópicas*, localizadas no terço inferior de B1, compreendem os trechos caracterizados como *muito alta* e *extremamente alta* erodibilidade.

Em B2 é predominante a categoria *média* erodibilidade, representativa de mais de 90% da área (**Figura 6.5.2** e **Tabela 6.5.2**). Isso, porque apesar de possuir tipo de solo e textura predominante equivalentes à B1 (Argissolo Vermelho-Amarelo, textura média), o percentual médio de argila em B2 é superior à média verificada em B1 (294 $g.kg^{-}1$ e 220 $g.kg^{-1}$, respectivamente). Tal fato acarreta diferenças significativas do fator K entre as sub-bacias, já que solos com percentuais elevados de argila possuem boa coesão e estabilidade estrutural, sendo um importante controlador da erosão. É importante destacar ainda o equilíbrio entre solos de textura média (56,2%) e de textura argilosa (43,8%) em B2, o que também contribui para a diferença entre as categorias predominantes de fator K em cada sub-bacia.

São pouco expressivas as categorias *baixa* e *muito alta* erodibilidades, sendo essa última, muito provavelmente associada à incidência de classe textural franco-arenoso (textura média). Não há trechos enquadrados como *muito baixa* e *extremamente alta* erodibilidade. Já as áreas que apresentam *alta* erodibilidade situam-se em pontos específicos de B2.

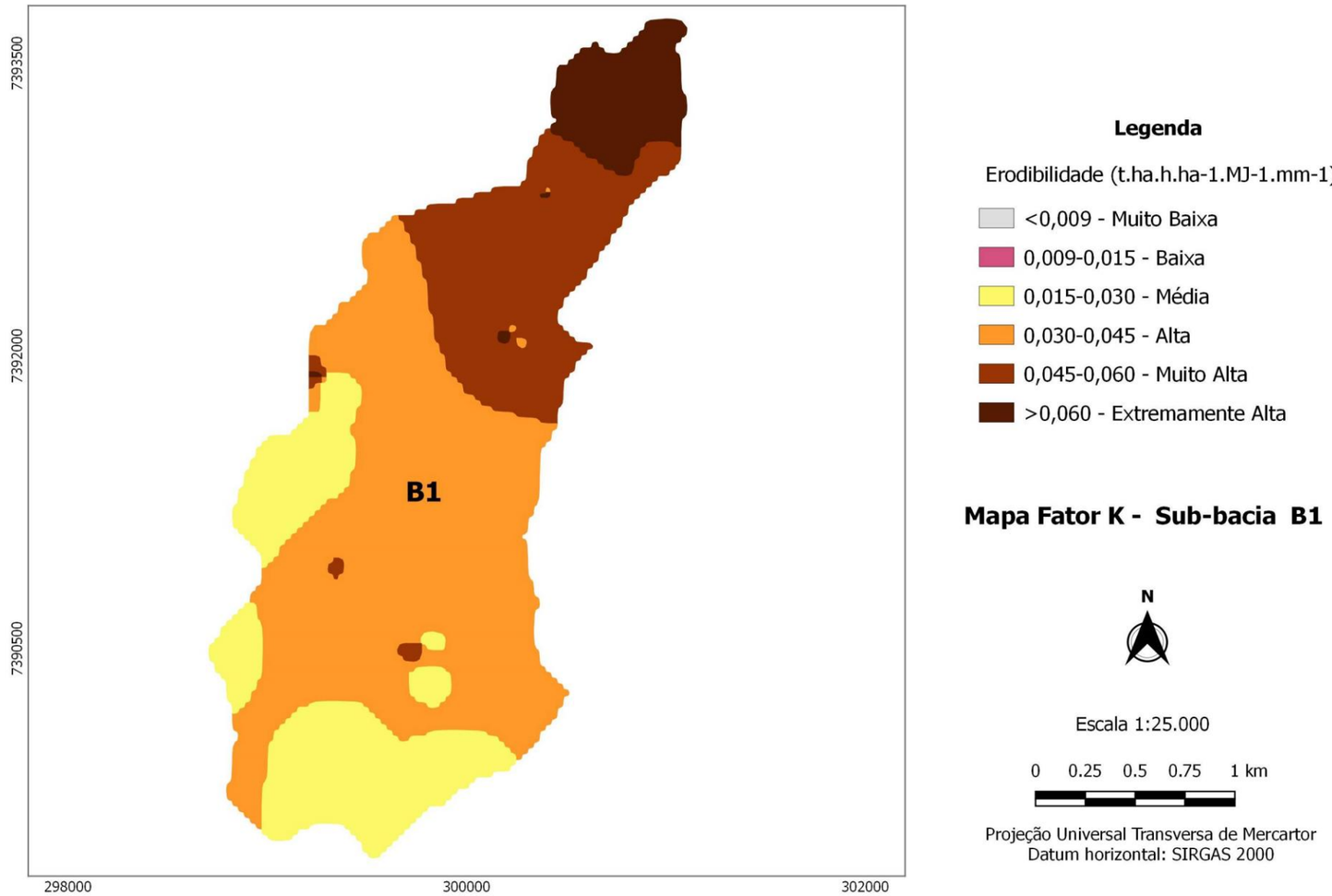


Figura 6.5.1: Distribuição das classes de erodibilidade do solo incidentes em B1. Destaca-se predomínio da classe *Alta Erodibilidade*. **Fonte**: Autora.

Tabela 6.5.1: Porcentagem de ocorrência de cada classe de erodibilidade (Fator K) incidentes em B1

Classe de Erodibilidade	% de ocorrência
Muito Baixa	0,00
Baixa	0,00
Média	21,41
Alta	50,21
Muito Alta	20,88
Extremamente Alta	7,50

***** Destaca-se (em cinza) a categoria *Alta Erodibilidade* como a de maior representatividade na sub-bacia.

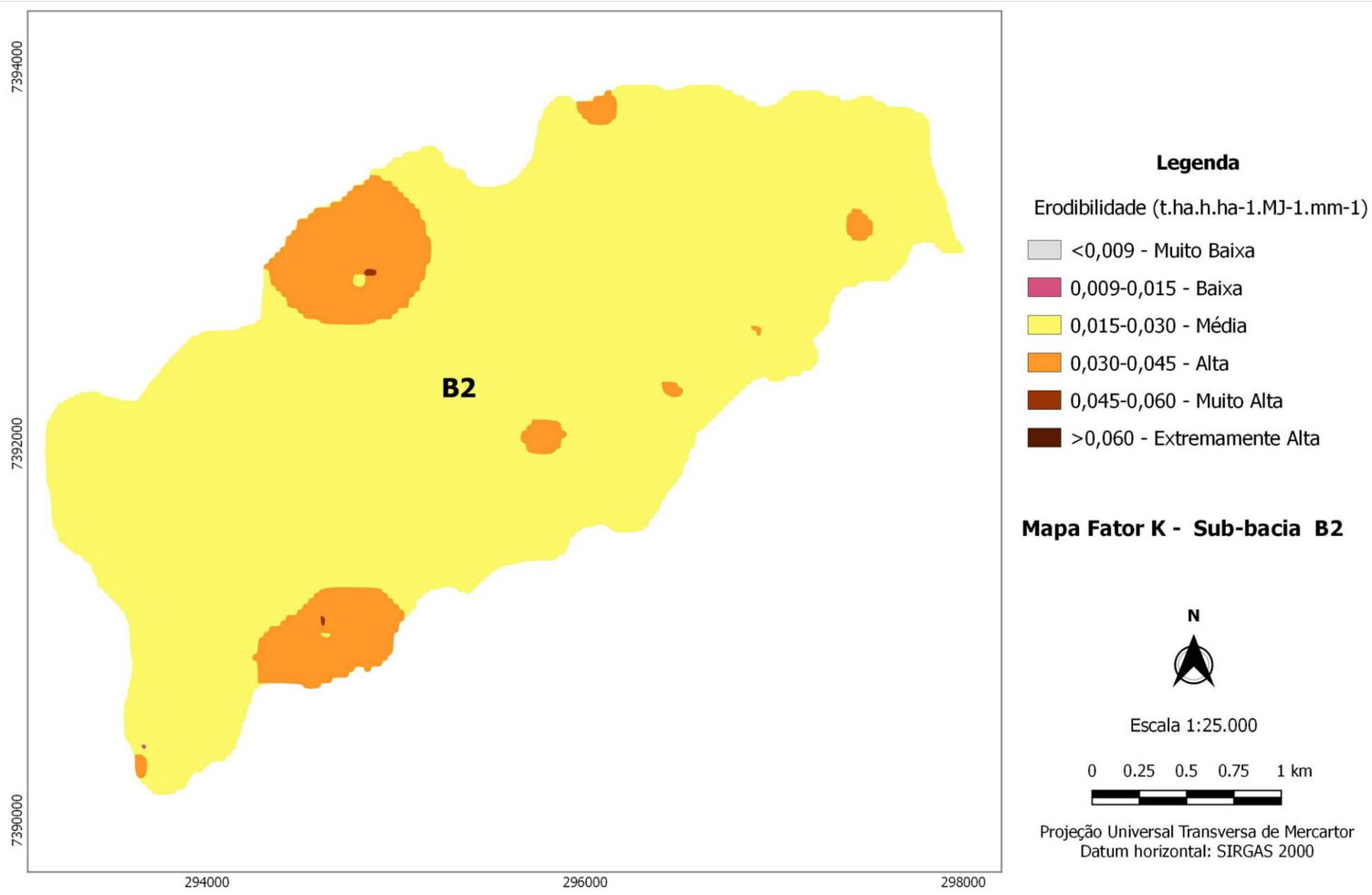


Figura 6.5.2: Distribuição das classes de erodibilidade do solo incidentes em B2. Destaca-se predomínio da classe *Média Erodibilidade.* **Fonte**: Autora.

Tabela 6.5.2: Porcentagem de ocorrência de cada classe de erodibilidade (Fator K) incidentes em B2

Classe de Erodibilidade	% de ocorrência
Muito Baixa	0,00
Baixa	0,01
Média	90,25
Alta	9,71
Muito Alta	0,03
Extremamente Alta	0,00

***** Destaca-se (em cinza) a categoria *Média Erodibilidade* como a de maior representatividade na sub-bacia.

6.5.1. Estatística descritiva e análise de variância

A fim de promover um maior entendimento acerca dos valores obtidos, passam a ser apresentados os resultados de análises estatísticas para a variável erodibilidade.

6.5.1.1. Sub-bacia B1

A **Tabela 6.5.1.1.1** apresenta resumo da estatística descritiva do fator K.

Tabela 6.5.1.1.1: Estatística descritiva para o fator K em B1

Cobertura da terra	**Medidas estatísticas**	**Variável Quantitativa**
		Erodibilidade (t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1})
Vegetação Florestal	*Nº amostras*	8
	Mínimo	0,0164
	Máximo	0,0403
	Média	0,0262
	Coeficiente de variação (%)	27,16
Pastagem	*Nº amostras*	15
	Mínimo	0,0162
	Máximo	0,0835
	Média	0,0374
	Coeficiente de variação (%)	57,24
Áreas Antrópicas	*Nº amostras*	7
	Mínimo	0,0382
	Máximo	0,1190
	Média	0,0760
	Coeficiente de variação (%)	38,81

Fonte: Autora.

Não foram identificados *outliers* dentre as amostras.

O maior valor observado foi 0,1190 t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1} em amostra oriunda de *Áreas Antrópicas*. Tal cobertura da terra também apresenta a maior média de valores dentre as demais (0,0760 t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}) e, de modo geral, todas as suas amostras se enquadram dentre as categorias *alta* a *extremamente alta* erodibilidade.

Vale destacar que, de acordo com estudos realizados por Mannigel *et al*. (2002) e Demarchi e Zimbachi (2014), o fator K tornou-se extremamente elevado em solos que apresentaram somatório dos teores de silte e areia igual ou superior a 840 g.kg^{-1} no horizonte superficial. Tal condicionante foi verificada em praticamente todas

as amostras de *Áreas Antrópicas*, à exceção da amostra nº 23, que apresentou o menor valor para essa classe de cobertura da terra (0,0382 t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1} *alta erodibilidade*). Todas essas amostras se enquadraram como de *muito alta* ou *extremamente alta* erodibilidade.

De modo esperado, e conforme já abordado ao longo da pesquisa, o teor de argila para *Áreas Antrópicas* apresentou a menor média dentre as demais, corroborando para os elevados índices do fator K.

Os menores valores de fator K foram observados em *Pastagem* (0,0162 t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}) e *Vegetação Florestal* (0,0164 t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}), sendo nessa última a menor média verificada (0,0262 t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}), situação que provavelmente também tem relação com os altos teores de argila e baixos teores de silte/areia apresentados por suas amostras.

O maior coeficiente de variação foi verificado em *Pastagem* (57,24%), visto que apresentou amostras de *média* a *extremamente alta* erodibilidade. Por sua vez, o menor coeficiente de variação ocorreu para *Vegetação Florestal* (27,16%), onde a erodibilidade verificada variou apenas entre as classes *média* e *alta*.

Posteriormente, foi feita análise de variância entre o fator K e os tipos de cobertura da terra, sendo os resultados apresentados a seguir (**Tabela 6.5.1.1.2**).

Tabela 6.5.1.1.2: Análise de variância - fator K em B1

Variável	Normalidade	Homogeneidade	Teste de variância	p-valor	F	$F_{Crítico}$	Chi^
Erodibilidade	Sim	Sim	Anova-one way	4.10^{-4}	10,82	3,35	-------

Indicado em cinza escuro que a variável apresentou variância. **Fonte**: Autora.

Os resultados indicam que a erodibilidade em B1 apresentou variação de 10,82% em suas médias conforme a classe de cobertura da terra. Tal fato confirma as observações sobre a espacialização bem definida das classes de erodibilidade, coincidente com a configuração das formas de uso do solo na sub-bacia, previamente apontadas por meio de mapeamento do fator K (**Figura 6.5.1**).

As diferenças significativas entre as médias foram verificadas para as amostras de *Áreas Antrópicas*, o que possivelmente ocorre em virtude dos elevados teores de silte e areia que apresentam, em contraposição aos menores teores de argila.

É importante mencionar ainda que a análise de variância das frações granulométricas apontou que todas, à exceção de *areia grossa*, também apresentaram variações de médias conforme a cobertura da terra em B1.

6.5.1.2. Sub-bacia B2

De modo análogo a B1, passam a ser descritos os resultados obtidos a partir de estatística descritiva (**Tabela 6.5.1.2.1**) e análise de variância (**Tabela 6.5.1.2.2**) para o fator K em B2.

Tabela 6.5.1.2.1: Estatística descritiva para o fator K em B2

Cobertura da terra	**Medidas estatísticas**	**Variável Quantitativa**
		Erodibilidade (t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1})
Vegetação Florestal	*Nº amostras*	8
	Mínimo	0,0141
	Máximo	0,0478
	Média	0,0278
	Coeficiente de variação (%)	41,05
Pastagem	*Nº amostras*	9
	Mínimo	0,0152
	Máximo	0,0328
	Média	0,0227
	Coeficiente de variação (%)	23,24
Áreas Antrópicas	*Nº amostras*	6
	Mínimo	0,0182
	Máximo	0,0492
	Média	0,0310
	Coeficiente de variação (%)	33,53
Reflorestamento com Eucalipto	*Nº amostras*	7
	Mínimo	0,0156
	Máximo	0,0311
	Média	0,0219
	Coeficiente de variação (%)	26,76

Fonte: Autora.

Não foram identificados *outliers* dentre as amostras.

O maior valor observado foi 0,0492 t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1} em amostra de *Áreas Antrópicas*, cobertura essa que também apresenta a maior média de valores dentre as demais (0,0310 t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}). A maior parte de suas amostras se enquadra dentre as categorias *média a alta* erodibilidade, destacando-se ainda a amostra nº 15, referente ao maior valor encontrado, e que se situa na categoria *muito alta* erodibilidade.

Ao contrário de B1, nenhuma amostra apresenta somatório dos teores silte e areia igual ou superior a 840 g.kg^{-1}, sendo os maiores valores para tal, equivalentes a 827 e 831 g.kg^{-1}, respectivamente, referentes às amostras nº 10 (*Vegetação Florestal*) e nº 15 (*Áreas Antrópicas*). Entretanto, os teores de argila para essas amostras se mostraram os menores dentre toda a sub-bacia, fato que explica o enquadramento de ambas como *muito alta* erodibilidade.

De forma geral, se verificaram altos teores de argila em amostras de todos os tipos de cobertura da terra, o que pode explicar a semelhança entre os valores mínimos e médias para o fator K, verificados em *Pastagem*, *Vegetação Florestal e Áreas Antrópicas* e *Reflorestamento com Eucalipto*. Nesse aspecto vale ainda destacar a amostra nº 11 (*Vegetação Florestal*) que apresenta o maior teor de argila da sub-bacia (414,50 g.kg^{-1}) e é a única amostra considerada como de *baixa* erodibilidade.

O maior coeficiente de variação foi verificado em *Vegetação Florestal* (41,05%), uma vez que apresentou amostras de baixa (0,0141 t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}) a *muito alta* erodibilidade (0,0478 t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}). Por sua vez, o menor coeficiente de variação ocorreu para *Pastagem* (23,24%), onde praticamente todas as amostras se enquadraram como *média* erodibilidade, à exceção da amostra nº 19 (*alta* erodibilidade).

Tabela 6.5.1.2.2: Análise de variância - fator K em B2

Variável	Normalidade	Homogeneidade	Teste de variância	p-valor	F	$F_{Crítico}$	Chi^
Erodibilidade	Sim	Sim	Anova-one way	0,229	1,53	2,98	-------

Fonte: Autora.

A análise de variância indica que a erodibilidade não apresenta variação de médias conforme a classe de cobertura da terra. Isso se deve possivelmente porque se trata de variável muito dependente das frações granulométricas do solo, as quais também não sofrem variação significativa com a cobertura da terra em B2.

Tal fato confirma as observações sobre a ausência de espacialização bem definida das classes de erodibilidade, abordadas a partir do mapeamento do fator K (**Figura 6.5.2**).

6.5.2. Correlação e Análise de Componentes Principais – ACP

6.5.2.1. Sub-bacia B1

A **Tabela 6.5.2.1.1** indica a matriz de correlação de Pearson entre erodibilidade e demais variáveis granulométricas em análise.

Tabela 6.5.2.1.1: Matriz de correlação B1 – erodibilidade x frações granulométricas

Correlação (r)	**p-valor**					
	Argila	*Silte*	*Cascalho*	*Areia Grossa*	*Areia Fina*	*Erodibilidade*
Argila	------	0,063253	0,00036692	0,062964	0,00056666	8.10^{-13}
Silte	-0,34331	------	0,9448	0,00013088	0,0004205	0,41741
Cascalho	-0,60784	-0,0132	------	0,0096683	0,38271	$6,35.\ 10^{-5}$
Areia Grossa	-0,34367	-0,64207	0,46474	------	0,011182	0,010161
Areia Fina	-0,59213	0,603	0,16529	-0,4567	------	0,0078306
Erodibilidade	-0,91882	0,1537	0,6638	0,46201	0,47607	------

Fonte: Autora. Detalhadas em cinza as variáveis que apresentam correlação.

Mediante os resultados, verificou-se correlação entre a erodibilidade e as variáveis argila, cascalho, areia grossa e areia fina. Obteve-se ainda que argila, apresentou correlação negativa com a erodibilidade, sendo r = -0,92 (muito forte). As variáveis cascalho, areia grossa e areia fina, apresentaram correlação positiva com a erodibilidade, sendo respectivamente, r = 0,66 (moderada); r = 0,46 (moderada); e r = 0,48 (moderada).

Observa-se que a maior correlação obtida foi entre erodibilidade e teor de argila, sendo que devido ao fato de ser negativa, indica se tratar de variáveis inversamente proporcionais, já que solos com teores de partículas finas apresentam baixos índices de desagregação, em virtude das forças de coesão que apresentam (BORGES *et al*., 2015). A natureza coloidal dos minerais de argila auxilia diretamente na formação e estabilização de agregados no solo, o que resulta em maior resistência contra processos erosivos (DEMARCHI e ZIMBACHI, 2014).

Já as partículas mais grosseiras analisadas apresentam correlação positiva com a erodibilidade, isto é, observa-se uma relação diretamente proporcional entre

as variáveis, fato que advém de uma baixa coesão, e pode facilitar a desagregação do solo.

A partir da verificação das variáveis que se apresentaram correlacionadas à erodibilidade, foi gerado gráfico referente à ACP com intuito de apresentar de forma visual a ligação de cada uma dessas variáveis com as classes de erodibilidade consideradas, sendo o resultado ilustrado por meio da **Figura 6.5.2.1.1**.

As duas primeiras componentes principais (CP1 e CP2) explicaram mais de 80% da variância dos dados. Observa-se que as amostras enquadradas nas classes de erodibilidade *alta*, *muito alta* e *extremamente alta* se encontram positivamente relacionadas às variáveis areia fina, cascalho e areia grossa, e negativamente relacionadas à argila. Situação inversa é verificada para amostras enquadradas como *média* erodibilidade.

Diante dos resultados obtidos, vale ressaltar a classificação textural dos solos, sendo que aqueles com *média* erodibilidade são das classes Franco-argiloso (05 amostras - textura média; 03 amostras - textura argilosa) e Franco-argilo-arenoso (06 amostras - textura média). Dentre os solos que possuem *alta erodibilidade*, 03 amostras são Franco-argilo-arenosos e 02 amostras são do tipo Franco (textura média). Das amostras com *muito alta erodibilidade,* 04 são do tipo Franco e 01 Franco-arenoso (textura média). Já para *extremamente alta erodibilidade*, 05 amostras são Franco-arenoso (textura média) e 01 amostra é do tipo Franco-siltoso (textura média).

Os resultados confirmam as demais avaliações estatísticas executadas, sugerindo que, conforme indicam Bertoni e Lombardi Neto (2010), cada tipo de solo possui suscetibilidade natural a processos erosivos, porém as situações críticas apresentam estreita ligação com a forma de manejo e conservação empregada.

Cumpre ressaltar ainda que os resultados corroboram com observações realizadas em campo, tendo em vista que em 56% das amostras enquadradas como *alta*, *muito alta* ou *extremamente alta* erodibilidade, foi identificada presença de ao menos um indicador de erosão, sendo que destas a maioria correspondia à *Áreas Antrópicas*. Não foram observados indicadores de erosão para áreas de *Vegetação Florestal*.

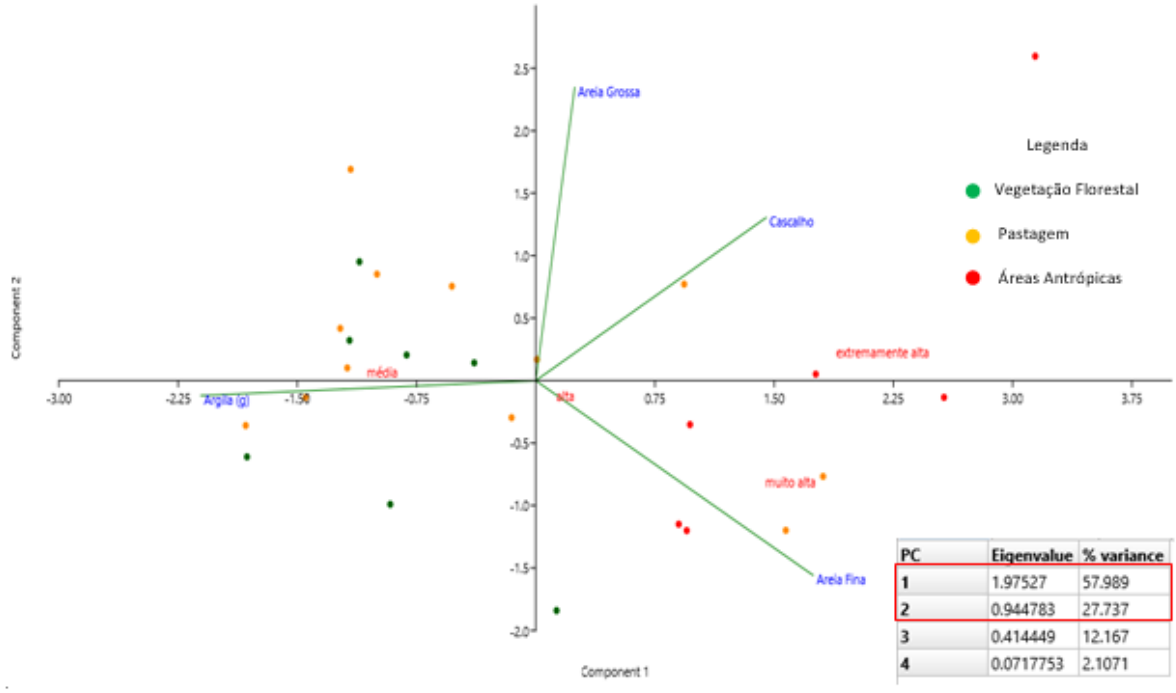


Figura 6.5.2.1.1: ACP - atributos dos solos de B1 e erodibilidade. **Fonte**: Autora.

6.5.2.2. Sub-bacia B2

O resultado da correlação de Pearson entre erodibilidade e demais variáveis granulométricas é apresentada na **Tabela 6.5.2.2.1.**

Tabela 6.5.2.2.1: Matriz de correlação B2 – erodibilidade x frações granulométricas

Correlação (r)	**p-valor**					
	Argila	*Silte*	*Cascalho*	*Areia Grossa*	*Areia Fina*	*Erodibilidade*
Argila	------	0,0086807	0,21899	0,027429	0,79842	1.10^{-17}
Silte	-0,47058	------	0,39216	0,51247	0,11886	0,041143
Cascalho	-0,23119	0,16208	------	0,78404	0,86264	0,18743
Areia Grossa	-0,40254	-0,1244	0,052222	------	0,0017143	0,0056455
Areia Fina	0,048668	-0,2909	0,03298	-0,54812	------	0,49151
Erodibilidade	-0,96447	0,37504	0,24742	0,49595	-0,1306	------

Fonte: Autora. Detalhadas em cinza as variáveis que apresentam correlação.

Houve correlação apenas para as variáveis argila, silte e areia grossa. Argila apresentou correlação negativa com a erodibilidade, sendo observado r = -0,96 (muito forte). As variáveis silte e areia grossa, apresentaram correlação positiva com

a erodibilidade, sendo respectivamente, os valores: r = 0,38 (fraca) e r = 0,50 (moderada).

Assim como no caso de B1, a maior correlação obtida foi entre erodibilidade e teor de argila, sugerindo que, quanto maiores os teores de argila, menor seria a probabilidade de os solos serem afetados por processos erosivos (DEMARCHI e ZIMBACHI, 2014).

Ainda neste sentido, as partículas de areia grossa analisadas apresentam correlação positiva com a erodibilidade, indicando relação diretamente proporcional entre tais variáveis, tendo em vista a baixa coesão e facilidade de desagregação do solo. O silte é erodido mais facilmente do que argilas ou areias, conforme indica Vilar e Prandi (1993), fato que corrobora com ocorrência de correlação positiva.

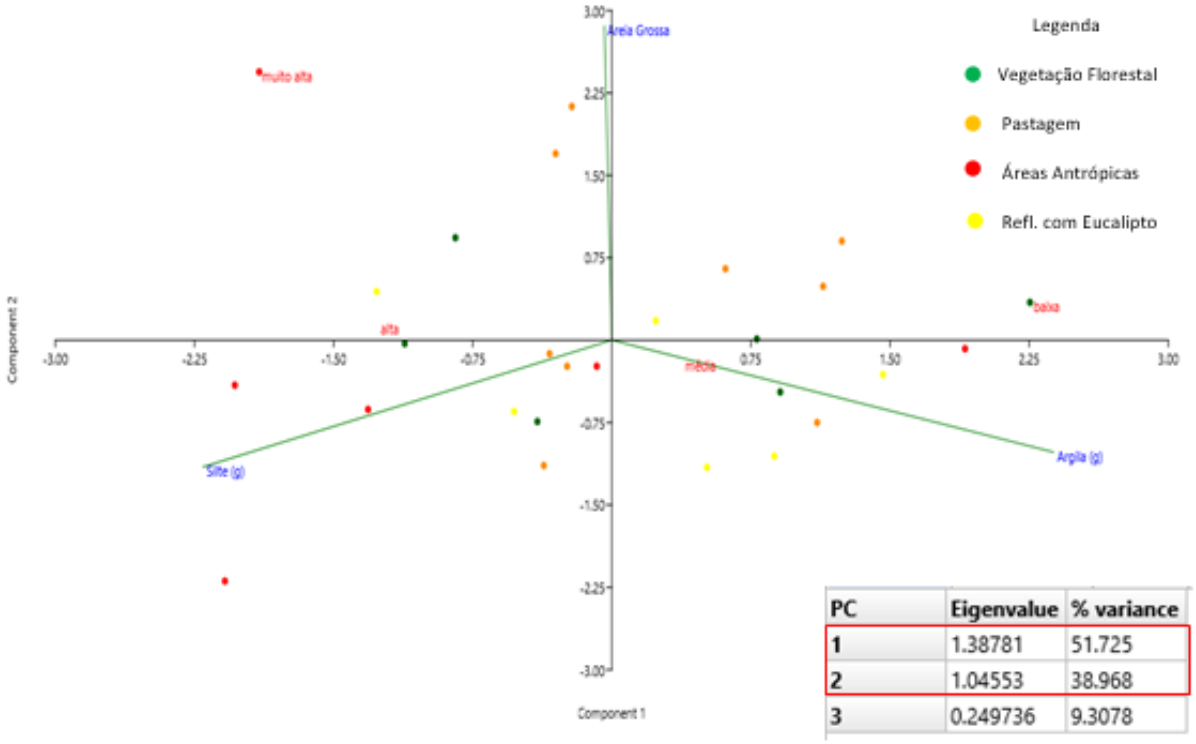
Mediante a verificação de correlação com as variáveis argila, silte e areia grossa, foi gerado gráfico referente à ACP, o qual se verifica por meio da **Figura 6.5.2.2.1**.

As duas primeiras componentes principais (CP1 e CP2) explicaram mais de 90% da variância dos dados. Observa-se que as amostras enquadradas nas classes *alta* e *muito alta* erodibilidade se encontram positivamente relacionadas às variáveis silte e areia grossa, e negativamente relacionadas com argila. Situação inversa é verificada para amostras enquadradas como *baixa* e *média* erodibilidade.

Diante dos resultados obtidos, vale ressaltar a classificação textural dos solos, sendo que aquele com *baixa erodibilidade* (01 amostra) apresenta textura argilosa, sendo classificado como Argilo-arenoso. Solos com *média erodibilidade* são das classes Argilo-arenoso (01 amostra), Franco-argiloso (05 amostras - textura média; 07 amostras – textura argilosa), Franco-argilo-arenoso (05 amostras - textura média) e Franco (02 amostras – textura média). Dentre os solos que possuem *alta erodibilidade*, 03 amostras são do tipo Franco-argilo-arenoso e 04 amostras são do tipo Franco (textura média). Já as 02 amostras que possuem *muito alta erodibilidade* são do tipo Franco-arenoso, cuja textura é média.

Cumpre ressaltar ainda que os resultados corroboram com observações realizadas em campo, tendo em vista que em 57% das amostras enquadradas como *alta* ou *muito alta* erodibilidade foi identificada presença de ao menos um indicador de erosão, sendo que destas 03 amostras correspondiam *Áreas Antrópicas* e 01 a *Reflorestamento com Eucalipto*. Destaca-se a amostra nº 15, correspondente à *Áreas Antrópicas*, a qual apresenta textura média (Franco-arenosa) e enquadra-se

como de *muito alta erodibilidade*, onde foram verificados vários indicadores de erosão, dentre os quais, ravina, raízes expostas, sedimentação e pedregosidade.



PC	Eigenvalue	% variance
1	1.38781	51.725
2	1.04553	38.968
3	0.249736	9.3078

Figura 6.5.2.2.1: ACP - atributos dos solos de B2 e erodibilidade. **Fonte**: Autora.

6.6. FATOR R – EUPS

Mediante aplicação da metodologia de Lombardi Neto e Moldenhauer (1980), foram obtidos os resultados expressos por meio da **Tabela 6.6.1.**

Tabela 6.6.1: Dados pluviométricos e cálculo do fator R para as sub-bacias em estudo

Estação: Cotia *Coordenadas UTM: 7.372.018,24 m N / 296.158,65 m E*			*Altitude: 960 m*
Mês	Média Mensal (mm)	Média Anual (mm)	EI_{30} (MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1})
Janeiro	306,34	1.537,02	2.219,42
Fevereiro	175,59		861,67
Março	164,73		773,05
Abril	81,32		232,82
Maio	75,40		204,75
Junho	75,32		204,38
Julho	60,33		140,15
Agosto	51,19		106,00
Setembro	111,61		398,83
Outubro	119,76		449,60
Novembro	118,91		444,18
Dezembro	196,52		1.043,48
Fator R		**7.078,33 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}**	

Estação: Santana de Parnaíba *Coordenadas UTM: 7.399.706,91 m S / 295.771,16 m E*			*Altitude: 870 m*
Mês	Média Mensal (mm)	Média Anual (mm)	EI_{30} (MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1})
Janeiro	324,34	1.610,66	2.350,27
Fevereiro	166,55		756,91
Março	173,75		813,37
Abril	93,59		284,12
Maio	81,54		224,77
Junho	75,00		194,99
Julho	56,50		120,48
Agosto	63,04		145,13
Setembro	117,41		417,75
Outubro	121,56		443,16
Novembro	144,63		595,46
Dezembro	192,74		970,22
Fator R		**7.316,64 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}**	
Fator R final		**7.197,48 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}**	

Fonte: Autora.

Os cálculos realizados permitem enquadrar as sub-bacias B1 e B2 como de *média a alta erosividade*, tendo em vista a classificação predefinida.

Vale destacar ainda, o mês de janeiro como o de maior erosividade ao longo da série histórica estudada em ambas as estações pluviométricas. O EI_{30jan} para a estação Cotia (2.219,42 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}) equivale a 31,36% do fator R calculado para a estação no período estudado (7.078,33 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}). Já para a estação Santana de Parnaíba, o EI_{30jan} obtido (2.350,27 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}) corresponde a 32,12% do fator R da estação (7.316,64 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}). Quando se calcula a média aritmética entre os EI_{30jan} das estações (2.284,85 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}), e posteriormente sua relação com o fator R médio (7.197,48 MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}), conclui-se que o mês de janeiro é responsável por 31,75% da

erosividade verificada na série histórica analisada, isso é, em apenas um mês se concentra quase um terço da erosividade total incidente nas sub-bacias.

6.7. FATOR LS – EUPS

Os fatores topográficos calculados para B1 e B2, a partir da proposta de Moore e Burch (1986) (**equação 15**), passam a ser discutidos a seguir.

Os resultados obtidos para B1 (**Figuras 6.7.1** e **Tabelas 6.7.1**) indicam nítida associação entre as classes do fator LS e aquelas referentes ao tipo de relevo verificado na sub-bacia, conforme apresentado na **Figura 6.1.16**. Destaca-se ainda que quase 65% de B1 enquadra-se na categoria *baixo* fator LS, em clara referência ao predomínio de relevo *ondulado* (61%).

É possível inferir também que regiões correspondentes a divisores de águas e fundos de vale apresentam os menores valores de LS (*muito baixo*), ao passo que em vertentes são verificadas as categorias *moderado* e *alto a muito alto* fator LS.

Na sub-bacia B2, assim como no caso de B1, os valores encontrados para o fator LS (**Figuras 6.7.2** e **Tabelas 6.7.2**) também apresentam forte correlação com a tipologia do relevo (**Figura 6.1.16**). Tal afirmativa se sustenta já que há predominância da categoria *baixo* fator LS (aproximadamente 50%), a qual corresponde a áreas de relevo *ondulado* (49%).

Destaca-se ainda que aproximadamente 40% da sub-bacia possui fator LS enquadrado nas classes *moderado* ou *alto a muito alto*, fato nitidamente relacionado às classes de relevo *forte-ondulado* e *montanhoso*, que juntas compreendem mais de 39% de B2.

Regiões correspondentes a divisores de águas e fundos de vale apresentam os menores valores de LS verificados (*muito baixo*), e os maiores valores observados para vertentes.

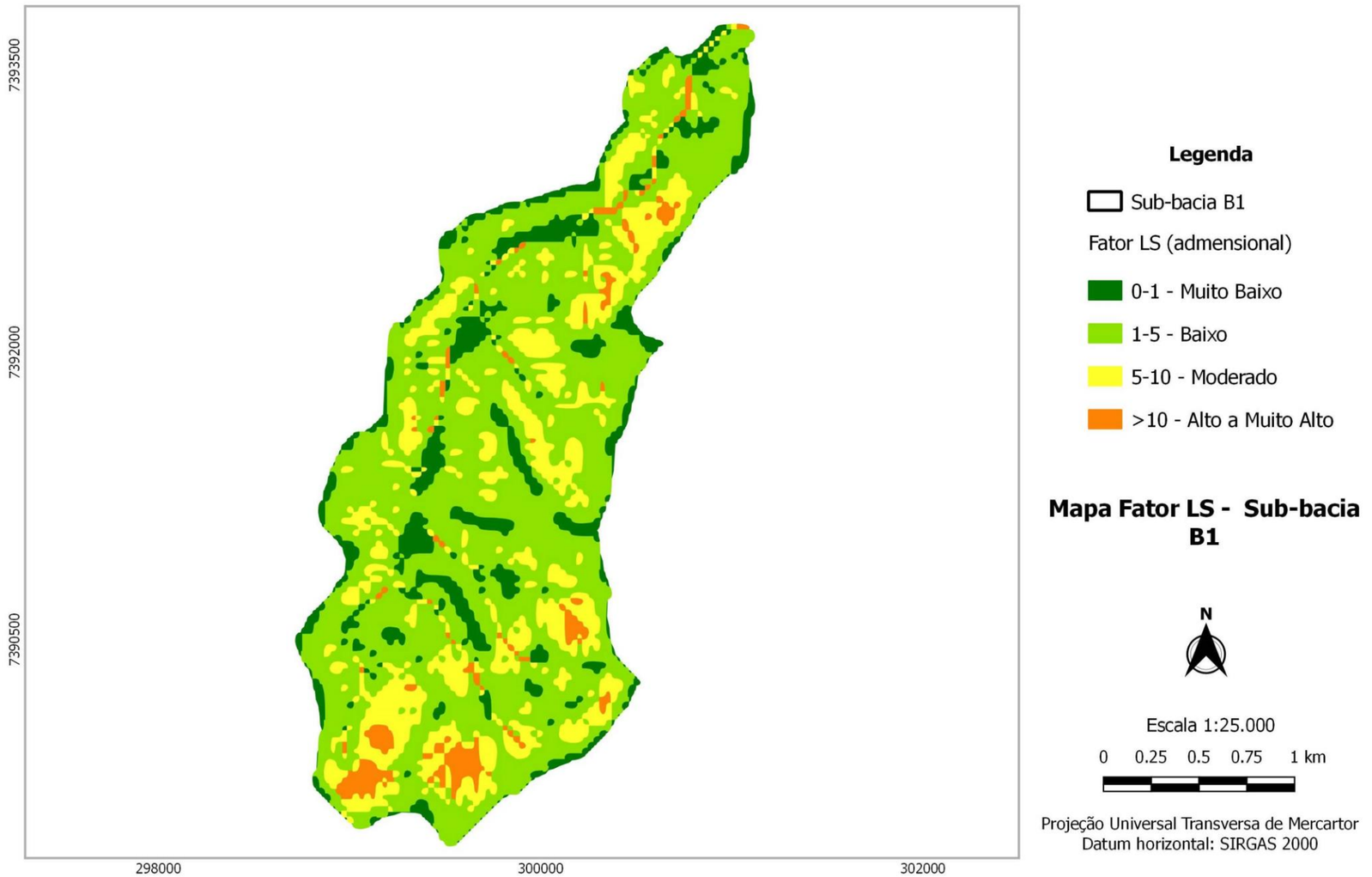


Figura 6.7.1: Distribuição do fator LS na sub-bacia B1. **Fonte**: Autora.

Tabela 6.7.1: Frequência das classes de fator topográfico (LS) – Sub-bacia B1.

Classe de LS	Área (km²)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
Muito Baixo (0-1)	0,56	11,22	11,22
Baixo (1-5)	3,23	64,73	75,95
Moderado (5-10)	0,99	19,84	95,79
Alto a Muito Alto (>10)	0,21	4,21	100

Fonte: Autora. Detalhado em cinza o fator LS de maior ocorrência na sub-bacia.

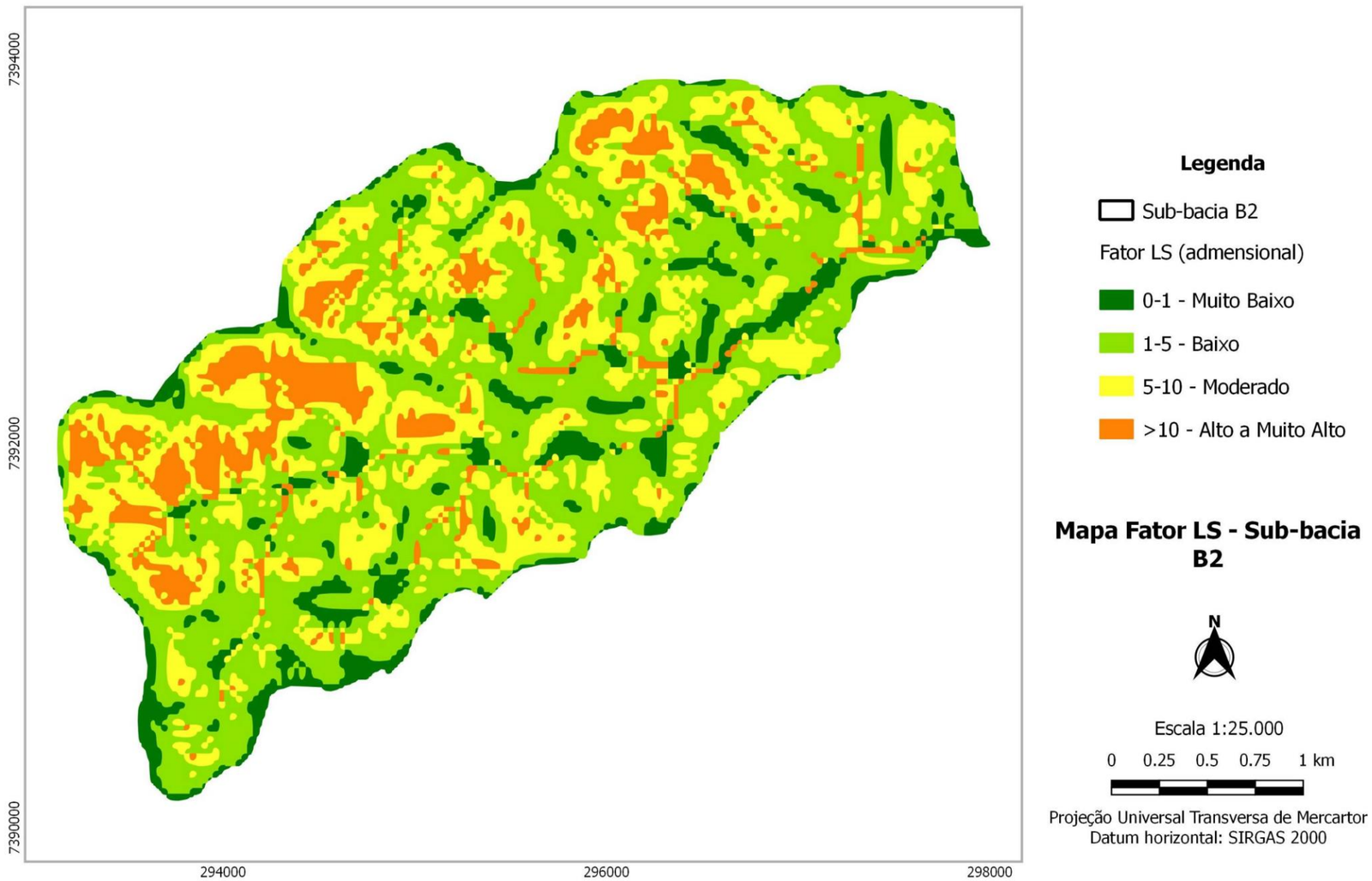


Figura 6.7.2: Distribuição do fator LS na sub-bacia B2. **Fonte**: Autora.

Tabela 6.7.2: Frequência das classes de fator topográfico (LS) – Sub-bacia B2.

Classe de LS	Área (km²)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
Muito Baixo (0-1)	0,85	9,60	9,60
Baixo (1-5)	4,43	50,06	59,66
Moderado (5-10)	2,56	28,93	88,59
Alto a Muito Alto (>10)	1,01	11,41	100

Fonte: Autora. Detalhado em cinza o fator LS de maior ocorrência na sub-bacia.

6.8. FATOR CP – EUPS

As **Tabelas 6.8.1** e **6.8.2** relacionam os percentuais de ocorrência de cada uma das formas de coberturas da terra com os respectivos índices de fator CP adotados.

Tabela 6.8.1: Distribuição do Fator CP na sub-bacia B1.

Classe de Cobertura da terra	Abrangência (%)	Fator CP (adimensional)
Vegetação Florestal	26,91	0,00004
Pastagem	55,22	0,01
Áreas Antrópicas	17,87	0,053

Fonte: Autora. Detalhado em cinza o fator CP de maior abrangência na sub-bacia.

Tabela 6.8.2: Distribuição do Fator CP na sub-bacia B2.

Classe de Cobertura da terra	Abrangência (%)	Fator CP (adimensional)
Vegetação Florestal	66,52	0,00004
Pastagem	27,71	0,01
Áreas Antrópicas	4,30	0,053
Reflorestamento com Eucalipto	1,47	0,0001

Fonte: Autora. Detalhado em cinza o fator CP de maior abrangência na sub-bacia.

A partir das informações apresentadas, bem como considerando que o fator CP possui influência direta na tendência de uma área em sofrer erosão, observa-se que em B1 a cobertura da terra de maior representatividade (*Pastagem*) possui fator antrópico com valor intermediário em relação aos demais. Isso se deve ao fato de que a cobertura vegetal presente, mesmo que de predominância rasteira, exerce certo grau de proteção contra processos erosivos, já que pode aumentar a rugosidade do solo.

Em B2, destaca-se a relevância da categoria *Vegetação Florestal*, bem como o respectivo valor do fator CP, o qual tende a zero e é o menor dentre os demais. Dessa forma há fortes indícios de que a sub-bacia encontra-se mais protegida acerca dos efeitos erosivos da chuva se comparada a B1.

A existência de densa cobertura vegetal reduz os efeitos do salpicamento, assim como a ocorrência de escoamento superficial, uma vez que auxilia na retenção e dispersão da água através de mecanismos de evapotranspiração, aumenta a capacidade de armazenamento e infiltração de água no solo, tanto pela incorporação de matéria orgânica, quanto pela ação das raízes, troncos e serapilheira, sendo essa última também influente no aumento da rugosidade do solo.

6.9. PNE

De modo geral, a sub-bacia B1 (**Figura 6.9.1** e **Tabela 6.9.1**) apresenta elevado potencial natural à erosão laminar, com predomínio de áreas enquadradas na categoria "*forte*", tendo em vista que cerca de 35% da sub-bacia apresenta PNE no intervalo entre 800 e 1.600 $t.ha^{1}.ano^{-1}$.

O terço inferior da sub-bacia apresenta predomínio de áreas enquadradas como "*muito forte*", valores coincidentes com aqueles obtidos para o fator K, isto é, *muito alta* a *extremamente alta* erodibilidade do solo, bem como trechos onde se observam valores de *moderado* a *muito alto* fator LS.

No terço médio de B1, valores elevados de PNE (*forte* a *muito forte*) apresentam-se especialmente relacionados ao fator K, já que nessas áreas predomina a categoria *alta* erodibilidade. O *moderado* fator LS verificado em alguns trechos do terço médio também pode estar exercendo influência no PNE obtido.

Finalmente, para o terço superior da sub-bacia, pode-se concluir que as áreas enquadradas como *forte* a *muito forte* PNE são resultantes primordialmente dos elevados valores do fator LS que apresentam (*moderado* a *muito alto*), visto que em tais áreas a erodibilidade do solo é *média*, e representam os menores valores do fator K verificados em B1.

Na sub-bacia B2 (**Figura 6.9.2** e **Tabela 6.9.2**) "*forte*" PNE também foi a categoria de maior representatividade, tendo em vista que em aproximadamente 32% da sub-bacia o PNE situa-se no intervalo entre 800 e 1.600 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$.

Destaca-se ainda, que mais de 90% de B2 apresenta *médio* fator K, o que permite inferir que áreas com valores elevados de PNE estejam principalmente associados ao fator LS, como nitidamente se observa no terço superior da sub-bacia, próximo às cabeceiras de drenagem.

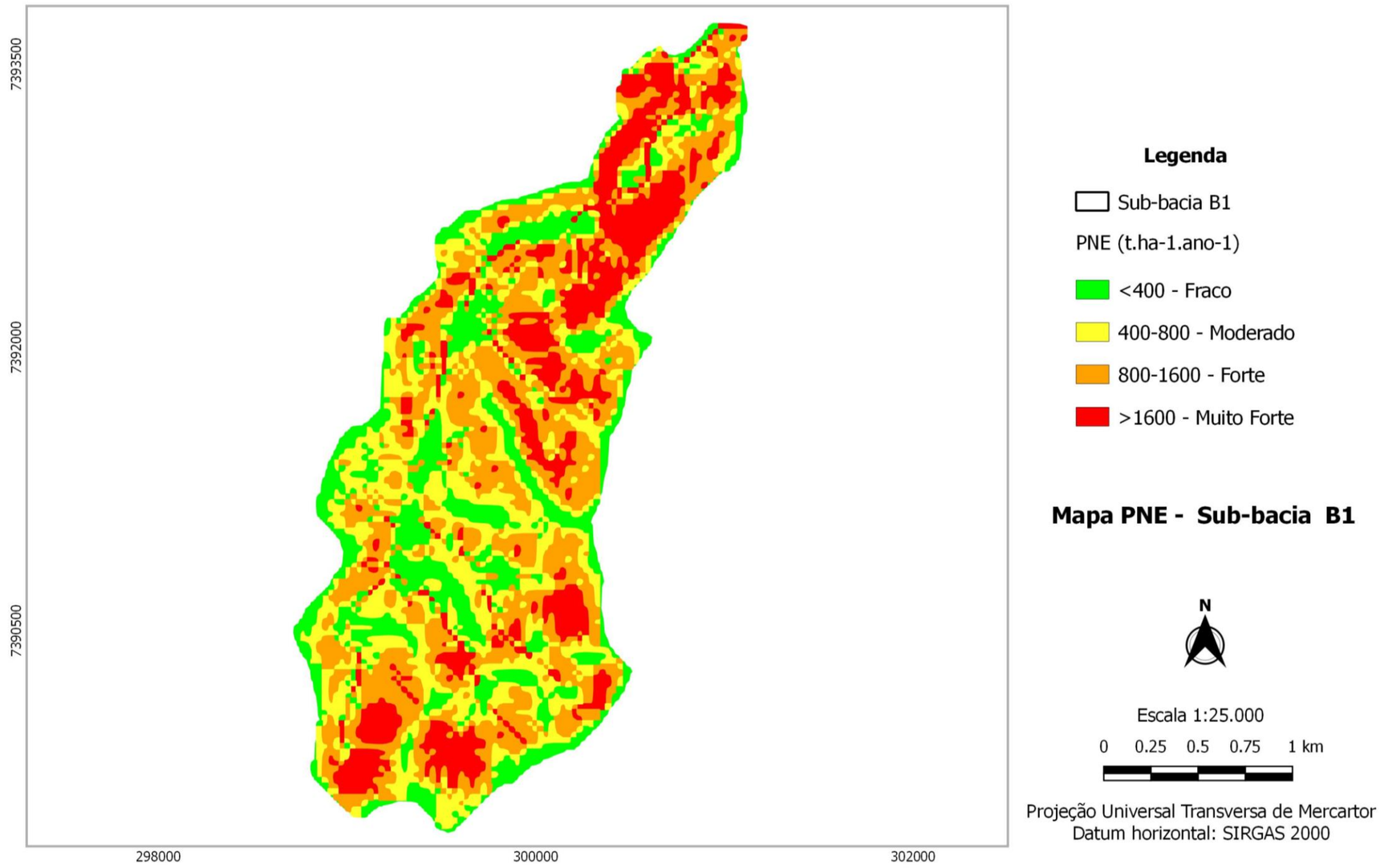


Figura 6.9.1: Classes de PNE verificadas na sub-bacia B1. **Fonte**: Autora.

Tabela 6.9.1: Frequência das classes de PNE – Sub-bacia B1

Classe de PNE (t.ha^{-1}.ano^{-1})	Área (km^2)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
Fraco (0-400)	0,95	19,04	19,04
Moderado (400-800)	1,34	26,85	45,89
Forte (800-1.600)	1,72	34,47	80,36
Muito Forte (>1.600)	0,98	19,64	100

***** Destaca-se (em cinza) a categoria *Forte* como a de maior representatividade na sub-bacia.

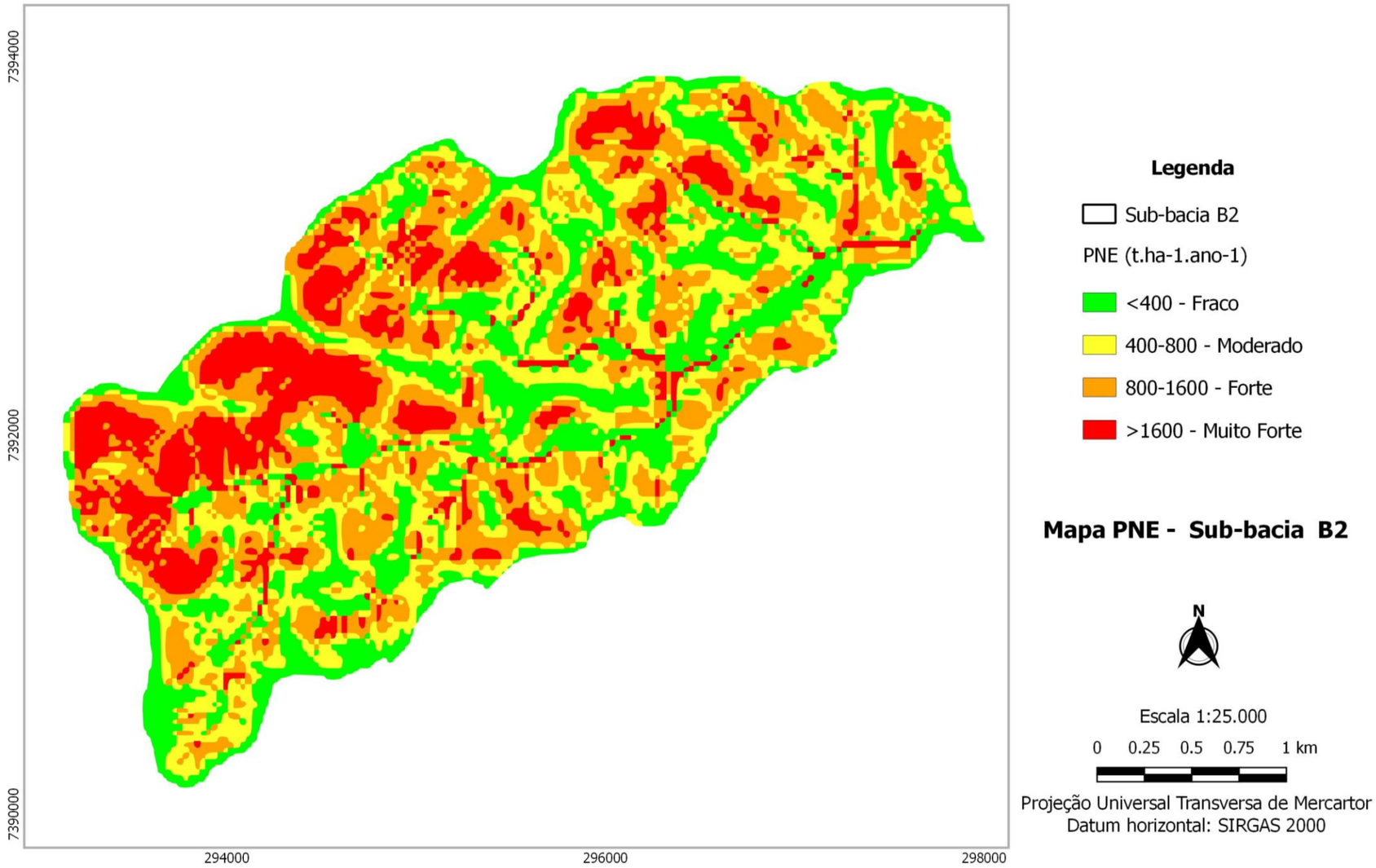


Figura 6.9.2: Classes de PNE verificadas na sub-bacia B2. **Fonte**: Autora.

Tabela 6.9.2: Frequência das classes de PNE – Sub-bacia B2

Classe de PNE (t.ha^{-1}.ano^{-1})	Área (km^2)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
Fraco (0-400)	2,14	24,18	24,18
Moderado (400-800)	2,34	26,44	50,62
Forte (800-1.600)	2,81	31,75	82,37
Muito Forte (>1.600)	1,56	17,63	100

***** Destaca-se (em cinza) a categoria *Forte* como a de maior representatividade na sub-bacia.

6.10. SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR E CÁLCULO DAS PERDAS DE SOLOS ESTIMADAS PARA O ANO DE 2018

A partir da multiplicação entre o mapa de PNE e os valores de CP, verifica-se em B1 (**Figura 6.10.1** e **Tabela 6.10.1**) o predomínio da categoria "*baixo*" grau de erosão laminar, tendo em vista que a maior parte das áreas (63%) apresentam perda de solo estimada inferior a 10 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$.

Como já era esperado, o terço inferior da sub-bacia apresenta a maior parte das áreas enquadradas como "*alto"* a *"muito alto"* grau de erosão laminar, o que resulta da associação entre elevado PNE e a forma de cobertura da terra incidente no local. Isso se deve ao fato de que, para *Áreas Antrópicas é* definido o maior valor para o fator CP dentre as demais coberturas da terra, já que é onde se verificam menores níveis de proteção do solo a processos erosivos laminares. Também não se pode deixar de mencionar que tais áreas se encontram em um intenso processo de urbanização, mais especificamente relacionado ao "período de construção" citado por Santikari e Murdoch (2019), caracterizado pela exposição do solo, e execução de obras de corte, aterro e compactação.

No terço médio de B1, o grau de erosão laminar é predominantemente *baixo*, sendo também observadas áreas enquadradas na categoria "*moderado*". De forma geral, pode-se supor que a vegetação rasteira característica das áreas de *Pastagem* (predominantes nessa zona da sub-bacia) possa estar exercendo influência direta nos valores de perda de solo observados, mais especificamente no sentido de oferecer um certo grau de proteção ao solo, tendo em vista que nessas áreas o potencial natural à erosão laminar é considerado elevado (*forte* a *muito forte PNE*).

Finalmente para o terço superior da sub-bacia, pode-se associar a ocorrência de áreas enquadradas como *moderado* grau de erosão à incidência de *Pastagem*, assim como ocorre no terço médio, ao passo que a categoria *alto* grau de erosão corresponde nitidamente à *Áreas Antrópicas*. Vale destacar o predomínio de *forte* a *muito forte* PNE nessa zona de B1. Áreas onde predominam *Vegetação Florestal* apresentam *baixo* grau de erosão. O potencial natural à erosão associado a *Áreas Antrópicas* maximiza as perdas de solo nessas áreas, o que não ocorre em *Pastagem* e *Vegetação Florestal*, onde a vegetação possivelmente está minimizando as perdas de solo.

As perdas de solo observadas na sub-bacia, também podem ser influenciadas pela existência de vias de acesso não pavimentadas, onde o solo encontra-se compactado e exposto, favorecendo o processo erosivo laminar, em especial pela maior tendência à desagregação do solo, selamento de suas camadas superficiais, e redução da infiltração.

Com relação à B2 (**Figura 6.10.2** e **Tabela 6.10.2**), evidencia-se que cerca de 90% das áreas são enquadradas como "*baixo"* grau de erosão. Considerando que *forte* PNE é predominante na sub-bacia, pode-se inferir que os valores de perda de solo inferiores a 10 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ estejam intimamente relacionados ao baixo fator CP. Isso ocorre em virtude da significativa cobertura vegetal incidente, correspondente a quase 96% da sub-bacia, caracterizada pelo somatório das coberturas *Vegetação Florestal* (66,52%), *Pastagem* (27,71%) e *Reflorestamento com Eucalipto* (1,47%).

As categorias *moderado, alto* e *muito alto* grau de erosão correspondem a aproximadamente 10% da sub-bacia, e estão diretamente relacionadas a *Áreas Antrópicas,* as quais, conforme já destacado, caracterizam-se principalmente por chácaras de recreio e pequenos núcleos habitacionais. Possivelmente por essa razão, as perdas de solo apresentem intensidade inferior quando comparadas a essa mesma categoria de cobertura da terra em B1.

Tais resultados evidenciam a importância da vegetação na proteção e amortecimento do solo em relação aos agentes erosivos, principalmente no que diz respeito a uma menor ocorrência de desagregação/transporte de partículas do solo, e ao favorecimento da infiltração da água das chuvas.

Outro ponto importante e que também pode ser relacionado a perdas de solo na sub-bacia, diz respeito à inexistência de vias de acesso pavimentadas, o que favorece o processo erosivo laminar, assim como já mencionado no caso de B1.

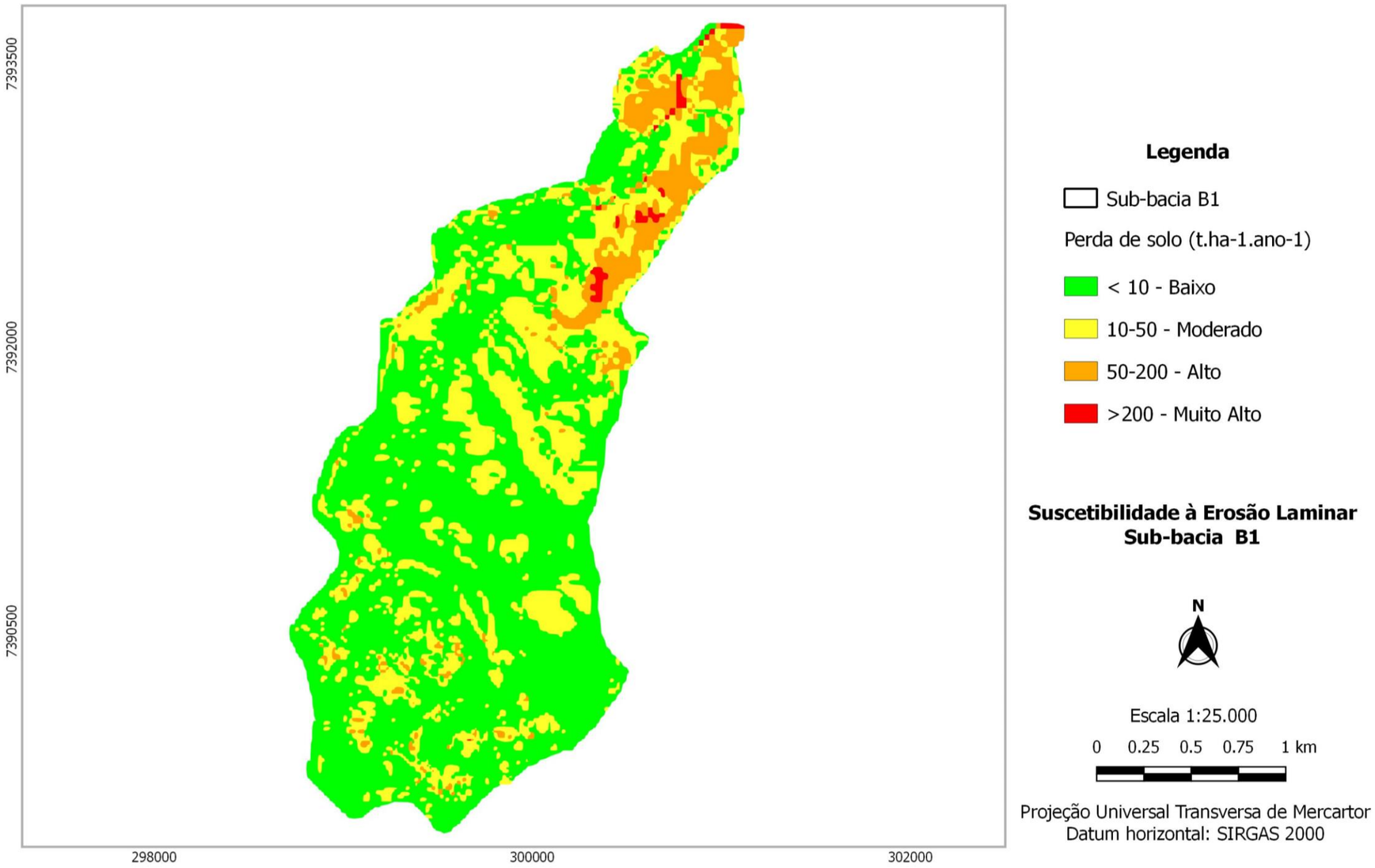


Figura 6.10.1: Suscetibilidade à erosão laminar e perdas de solo calculadas para o ano de 2018 - sub-bacia B1. **Fonte**: Autora.

Tabela 6.10.1: Frequência das classes de suscetibilidade à erosão laminar e respectivas perdas de solos calculadas pela EUPS – Sub-bacia B1

Grau de Erosão	Perda de Solo (t.ha^{-1}.ano^{-1})	Área (km^2)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
Baixo	<10	3,15	63,12	63,12
Moderado	10-50	1,40	28,06	91,18
Alto	50-200	0,41	8,22	99,40
Muito Alto	>200	0,03	0,60	100

***** Destaca-se (em cinza) a categoria *Baixo* como a de maior representatividade na sub-bacia.

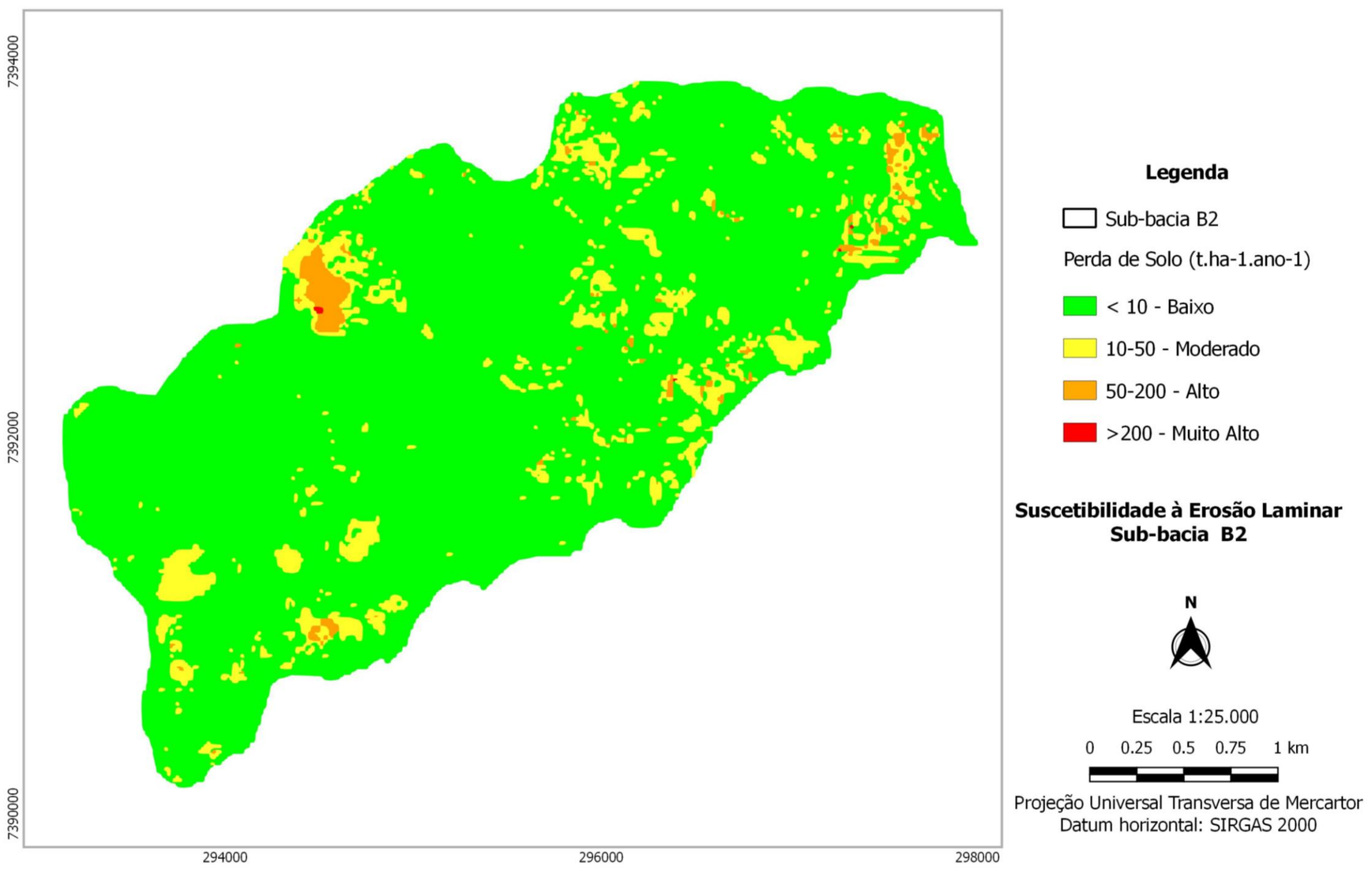


Figura 6.10.2: Suscetibilidade à erosão laminar e perdas de solo calculadas para o ano de 2018 - sub-bacia B2. **Fonte**: Autora.

Tabela 6.10.2: Frequência das classes de suscetibilidade à erosão laminar e respectivas perdas de solos calculadas pela EUPS – Sub-bacia B2

Grau de Erosão	Perda de Solo (t.ha^{-1}.ano^{-1})	Área (km^2)	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
Baixo	<10	7,94	89,70	89,70
Moderado	10-50	0,77	8,70	98,40
Alto	50-200	0,14	1,58	99,98
Muito Alto	>200	0,002	0,02	100

***** Destaca-se (em cinza) a categoria *Baixo* como a de maior representatividade na sub-bacia.

6.11. AVALIAÇÃO DAS IMPLICAÇÕES DO PNE E DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR DAS SUB-BACIAS B1 E B2 AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL MUNICIPAL

Os resultados obtidos por meio dos mapas de PNE e suscetibilidade a perdas de solo por erosão laminar das sub-bacias B1 e B2 merecem relevante atenção, principalmente quando se considera que a porção final da bacia hidrográfica do Ribeirão Sapiantã, isso é, a região de confluência com o Ribeirão Barueri Mirim, é uma área crítica à ocorrência de inundações (**Figura 6.11.1**), em virtude dos baixos índices de permeabilidade associados a elevado adensamento populacional (VASCONCELOS *et al*., 2018). Tais autores afirmam ainda que, caso a urbanização avance ao longo da bacia do Ribeirão Sapiantã, a impermeabilização e degradação dos solos decorrentes, podem acarretar aumento da extensão e recorrência das áreas já afetadas.

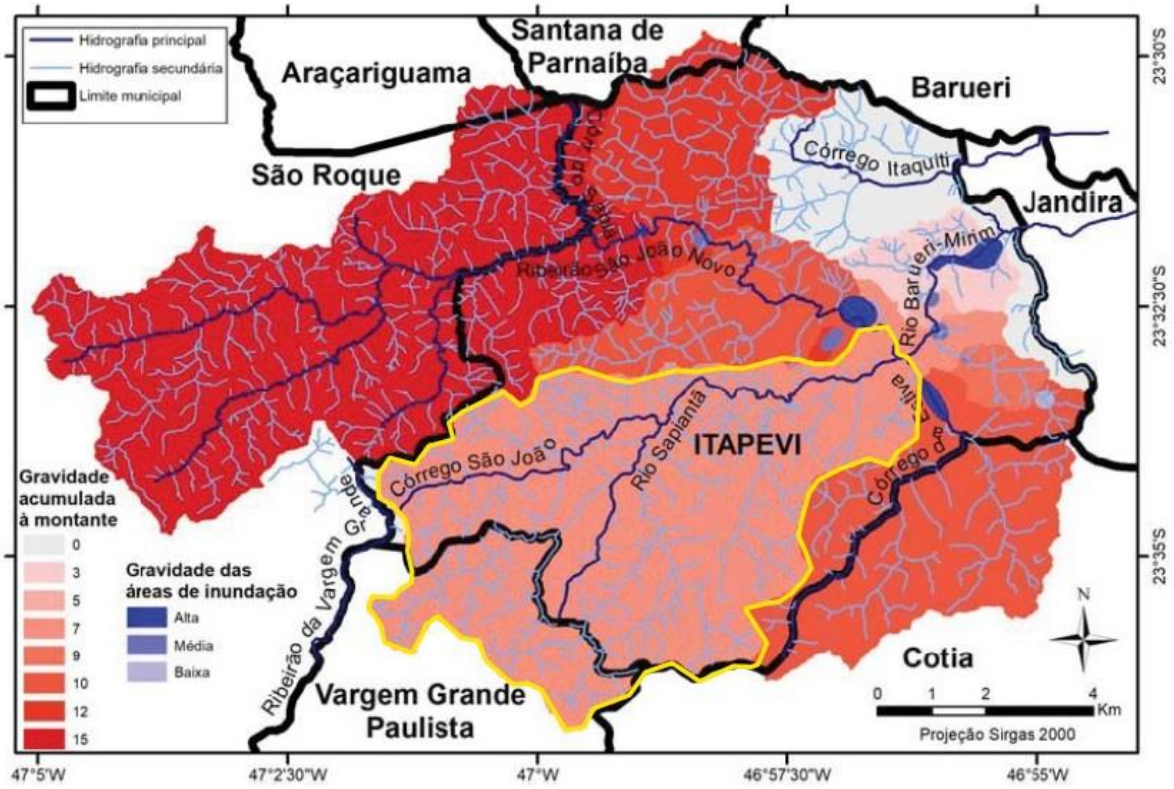


Figura 6.11.1: Áreas críticas de inundação em Itapevi e respectivas bacias de drenagem, onde se destaca a bacia do Ribeirão Sapiantã (amarelo). **Fonte**: Adaptado de Vasconcelos *et al.* (2018).

A respeito disso, verifica-se que a bacia do Ribeirão Sapiantã é justamente umas das porções do território onde se observam tendências de expansão urbana

(**Figura 6.11.2**), motivadas principalmente por especulação imobiliária. Tal fato já se evidencia nas áreas em estudo, por meio da ocorrência de parcelamentos de solo voltados à população de baixa renda, os quais foram implantados totalmente em desacordo com a legislação municipal e ambiental e se apresentam como consequência da saturação demográfica de Itapevi e demais municípios da região.

Dessa forma, um eventual cenário em que haja alterações importantes nas formas de cobertura da terra, a exemplo da ampliação de *Áreas Antrópicas* em detrimento a *Vegetação Florestal*, associadas a alterações climáticas capazes de aumentar o volume de chuvas na região, podem incorrer em maior suscetibilidade a processos de erosão laminar e perda de solos e, consequentemente, aumentar a vulnerabilidade a inundações e enchentes na área central da cidade.

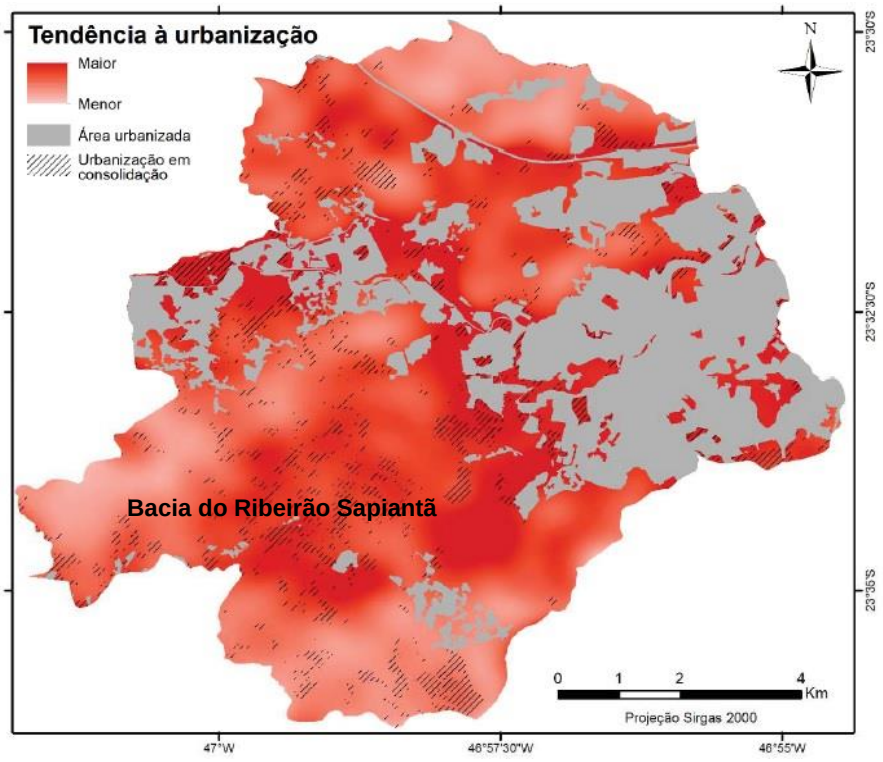


Figura 6.11.2: Mapa de tendência à urbanização em Itapevi. **Fonte**: Vasconcelos *et al.* (2018).

Tendo em vista que, conforme determina o artigo 182 da Constituição Federal (BRASIL, 1988) e o artigo 2º do Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001), o poder público municipal tem total responsabilidade sobre o planejamento territorial, bem como considerando-se que atualmente não são previstos mecanismos efetivos de disciplinamento do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Sapiantã, são sugeridas algumas medidas estruturais e não estruturais para

prevenção e mitigação de impactos relacionados a perdas de solo por erosão laminar, as quais podem ser incorporadas à legislação municipal e demais instrumentos de gestão (**Tabela 6.11.1**).

Tabela 6.11.1: Recomendações para prevenção e mitigação de impactos relacionados a perdas de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do Ribeirão Sapiantã

Nível de Atuação	Medidas
Lotes	Estabelecer índices urbanísticos conservadores, referentes a: - Taxa de ocupação; - Índice de permeabilidade do solo;
Bacia hidrográfica	- Monitoramento de ocupações em áreas identificadas como de elevado PNE
	- Estabelecer medidas rígidas de fiscalização ambiental e disciplinamento de obras
	- Pavimentação de vias não asfaltadas ou eventual obstrução
	- Implantação de sistemas de microdrenagem superficial
Estudos	- Instituir código de obras municipal para disciplinamento das edificações
	- Sistematizar tendências e cenários de ocupação
	- Definir percentual ideal mínimo de permeabilidade para a bacia
	- Viabilidade de criação unidades de conservação municipais para proteção da vegetação nativa
	- Viabilidade de estabelecimento descontos em impostos para propriedades particulares que mantenham percentuais de áreas verdes superiores ao definido em lei
	- Mecanismos legais para impedir a ocupação de áreas inaptas à urbanização

Fonte: Adaptado de Vasconcelos *et al.* (2018).

Dentre as medidas apresentadas, destaca-se que o estabelecimento de taxas de ocupação conservadoras na bacia garantiria a manutenção de áreas permeáveis, ao mesmo tempo que poderia inibir o estabelecimento de novos núcleos habitacionais em áreas com baixa aptidão à urbanização, e/ou que possuam elevados potenciais naturais à erosão laminar.

Para tanto, além da criação de um código municipal de obras e introdução de mecanismos eficientes de fiscalização ambiental, seria fundamental a avaliação contínua das tendências de expansão territorial ao longo da bacia do Ribeirão Sapiantã, de modo a antecipar ações e minimizar os efeitos de eventuais alterações na cobertura da terra.

O poder público poderia ainda concentrar esforços no que diz respeito à implantação de sistemas de microdrenagem e à pavimentação de vias de circulação, já que como evidenciado pelas sub-bacias B1 e B2, a ausência de asfaltamento pode contribuir para o escoamento superficial e, consequentemente, agravar as perdas de solo por erosão.

Finalmente, poderiam ser realizados estudos referentes à viabilidade de criação de unidades municipais de conservação, com intuito de garantir a proteção dos fragmentos florestais nativos, principalmente na sub-bacia B2 e nas cabeceiras de drenagem da bacia do Ribeirão Sapiantã. Medidas de incentivo à conservação de áreas verdes em propriedades particulares também poderiam ser avaliadas, a exemplo da concessão de descontos em impostos, caso fossem mantidos percentuais superiores àqueles já estabelecidos em lei.

7. CONCLUSÕES

Ambas as sub-bacias em estudo apresentam potencial natural considerado alto em termos de ocorrência de processos erosivos laminares, em virtude de características físicas intrínsecas às áreas, especialmente relacionadas ao relevo, clima e propriedades texturais de seus solos, refletidas pelos fatores erodibilidade do solo, erosividade da chuva, declividade e comprimento das encostas.

A respeito disso, as análises morfométricas realizadas já apontavam para uma maior tendência ao escoamento superficial em detrimento à infiltração nas duas áreas, fato que contribui para uma maior propensão à erosão laminar. A verificação de indicadores de erosão *in loco* corrobora tais resultados.

Todavia, quando se analisam os mapas de suscetibilidade, obtidos a partir da EUPS, fica evidente a correlação direta que se estabelece entre as áreas em processo ativo de ocupação antrópica e elevados graus de erosão laminar, traduzida por maiores taxas de perdas de solo. Situação oposta se observa em áreas onde predominam fragmentos florestais nativos.

As análises estatísticas inferenciais indicaram que as formas de cobertura da terra incidentes em cada sub-bacia exercem influência direta sobre a qualidade de seus solos, principalmente quando se comparam áreas preservadas e aquelas em processo de urbanização. A exemplo disso, pode ser citado que a maior parte dos atributos físico-químicos indicou diferenças relevantes conforme a cobertura da terra, à exceção das variáveis matéria orgânica e hidrofobicidade na sub-bacia B2, o que possivelmente tem relação com o alto índice de vegetação florestal ainda verificado na área.

Quando se consideram que as inundações e enchentes recorrentes na região central da cidade de Itapevi podem ser influenciadas pela contribuição hídrica da bacia hidrográfica do Ribeirão Sapiantã, e que um dos atuais vetores de expansão territorial é justamente direcionado para essa área, conclui-se que tais problemas podem ser agravados caso haja aumento das taxas de perdas de solo por erosão laminar. Tais ocorrências podem ser ocasionadas em um eventual cenário de associação entre elevados índices pluviométricos e substituição efetiva das áreas de cobertura vegetal por novos núcleos urbanos, principalmente aqueles implantados sem observância a requisitos técnicos e ambientais exigidos.

Para tanto, é necessário que o poder público municipal direcione maior atenção à bacia hidrográfica do Ribeirão Sapiantã, no que tange o uso e ocupação do solo, de modo a estabelecer uma política eficaz de planejamento territorial, que permita o desenvolvimento dessa área e minimize a incidência de processos de degradação dos solos e seus prejuízos correlatos. Dentre os mecanismos de gestão que podem ser incorporados, sugere-se: definição de índices urbanísticos conservadores para a bacia, referentes a taxas de ocupação e permeabilidade do solo; criação de um código de obras municipal para o disciplinamento de novas edificações; monitoramento de ocupações em áreas identificadas como de elevado PNE; estabelecimento de medidas rígidas de fiscalização que impeçam a ocupação de áreas de maior fragilidade ambiental e geotécnica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBURU, S.; GOLLA, S. B. Satellite image classification methods and techniques: A review. **International Journal of Computer Applications**, [s.l.], v. 119, n. 8, p.20-25, 18 jun. 2015. Foundation of Computer Science. http://dx.doi.org/10.5120/21088-3779. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/278729425>. Acesso em: 30 mar. 2020.

ABDI, E. et al. How does organic matter affect the physical and mechanical properties of forest soil? **Journal of Forestry Research**, [S.l.], v. 29, n. 3, p. 657-662, 23 out. 2017. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s11676-017-0494-4. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11676-017-0494-4.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2020.

AGUIAR, W. de. **Simulações hidrológicas de cenários de uso e ocupação do solo na bacia drenada pelo alto vale do Rio Marrecas (PR)**. 2017. 180 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017. Disponível em: < http://tede.unioeste.br/handle/tede/3412>. Acesso em: 28 mar. 2020.

ALEMAYEHU, F.; TOLERA, M.; TESFAYE, G. Land use land cover change trend and its drivers in Somodo Watershed South Western, Ethiopia. **African Journal of Agricultural Research**, [s.l.], v. 14, n. 2, p. 102-117, 2019. Academic Journals. http://dx.doi.org/10.5897/ajar2018.13672.

ALEWELL, C. et al. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. **International Soil and Water Conservation Research**, [s.l.], v. 7, n. 3, p.203-225, set. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633919300048>. Acesso em: 30 mar. 2020.

ALMEIDA, C. X. P. **Determinação do fator de erodibilidade K de substratos de mineração revegetados no Distrito Federal.** 2018. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/35621>. Acesso em: 31 mar. 2020.

ALMEIDA, S. et al. Impact of fuel load on post-fire hydrological soil properties under laboratory conditions. **Territorium**, [s.l.], n. 24, p.213-219, 2017. Coimbra University Press. http://dx.doi.org/10.14195/1647-7723_24_15. Disponível em: <https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/9840/1/2017>. Acesso em: 27 mar. 2020.

ANDRADE, L. R. S. **Avaliação da qualidade das águas superficiais e seu reuso na irrigação de áreas verdes do campus sede da Universidade Federal de Campina Grande-PB**. 2017. 64 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Recursos

Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/1940/1/L>. Acesso em: 27 mar. 2020.

ARAÚJO, J. V. G. A.; SANTOS, M.; REIS, G. C. F. S. Desenvolvimento de um código em Python para geração de matrizes de correlação de Pearson com laços a partir de “n” variáveis tomadas duas a duas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 19., 2019, Rio de Janeiro, RJ. **Anais […],** Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 9 p (**NBR 9604**).

ASSOCIAÇÃO COMERCIAL E INDUSTRIAL DE ITAPEVI - ACITA (Org.). **Itapevi resgata sua história**. Itapevi: Editora Fênix, 1997. 47 p. (Projeto Memória).

BAI, Z. et al. Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 265, p.1-7, out. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2018.05.028. Disponível em: <http://creativecommons.org/licenses/BY/4.0>. Acesso em: 27 mar. 2020.

BARROS, E. N. S. **Estimativa da erosão hídrica nas bacias hidrográficas dos Rios Lontra e Manuel Alves Pequeno, TO.** 2017. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2017. Disponível em: <http://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/418>. Acesso em: 27 mar. 2020.

BATTAUS, D. M. A.; OLIVEIRA, E. D. B. de. O direito à cidade: Urbanização excludente e a política urbana brasileira. **Lua Nova**, São Paulo, v. 97, p. 81-106, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/673/67345645004.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2020.

BELTRAME, A. da V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas**: modelo e aplicação. Florianópolis: Ed. UFSC, 1994.

BENAVIDEZ, R. et al. A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s.l.], v. 22, n. 11, p.6059-6086, 27 nov. 2018. Copernicus GmbH. http://dx.doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018.

BENNETT, H. H.; CHAPLINE, W.R. **Soil erosion - A national menace.** Circular 33. Washington, Dc: U.S. Department of Agriculture, 1928.

BENNETT, J. W. **The Ecological Transition**: cultural anthropology and human adaptation. New York: Routledge, 2005. 378 p.

BERA, A. Estimation of Soil loss by USLE Model using GIS and Remote Sensing techniques: A case study of Muhuri River Basin, Tripura, India. **Eurasian Journal of Soil Science**, Tripura, v. 6, n. 3, p.206-2015, jan. 2017. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/271520>. Acesso em: 25 mar. 2020.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JUNIOR, R. **Metodologia para a determinação de perdas por erosão**. Campinas: Instituto Agronômico, 14p, 1975. (Circular, 44).

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, Ed.7, p. 355, 2010.

BOCHICHI, D. da C. **Avaliação do potencial de produção de sedimento na sub bacia hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim**. 2018. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/157448>. Acesso em: 5 mai. 2019.

BOCUTI, E. D. et al. Erodibilidade entressulcos e sua relação com atributos de solos do Cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 42, n. 1, p. 68-78, fev. 2019. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/index.php/rca/article/view/17020>. Acesso em: 7 abr. 2020.

BONGIORNO, G. et al. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. **Ecological Indicators**, [s.l.], v. 99, p.38-50, abr. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.008. Disponível em: <http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0>. Acesso em: 27 mar. 2020.

BORGES, C. S. et al. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO2 em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [s.l.], v. 10, n. 3, p.660-675, 3 jul. 2015. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1573. Disponível em: <://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v10n3/1980-993X-ambiagua-10-03-00660.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2020.

BOTELHO, T. H. A. et al. Use of USLE/ GIS technology for identifying criteria for monitoring soil erosion losses in agricultural areas. **Engenharia Agrícola**, [s.l.], v. 38, n. 1, p.13-21, jan. 2018. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n1p13-21/2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/323925753>. Acesso em: 28 mar.2020.

BOUYOUCOS, G. J. Estimation of the Colloidal Materials in Soils. **Science**, Philadelphia, v.64, p. 362-364, 1927.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686 p. Tradução técnica: Igo Fernando Lepsch.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001. **Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 de jul. 2001. Seção 1, 80 p.

BROWNING, G.M.; PARISH, C.L.; GLASS, J. A method for determining the use and limitations of rotation and conservation practices in the control of soil erosion in Iowa. **American Society of Agronomy**, v. 39, n. 1, p. 65-73, 1947.

BÜNEMANN, E. K. et al. Soil quality – A critical review. Soil Biology and Biochemistry. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, n. 2, p.105-125, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071718300294>. Acesso em: 10 jun. 2019.

CAMARGO, O. A. et al. (Ed.). **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Boletim Técnico n°106, rev. atual. Campinas: Instituto Agronômico/ Fundação IAC, 2009, 77p.

CARDOSO, G. A. R.; PEREIRA L. O. Aplicação da análise geomorfológica para estudos de planejamento ambiental urbano na bacia hidrográfica do rio Guapeva para identificação das problemáticas socioambientais, Jundiaí/SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA - SINAGEO, 12., 2018, Crato-CE. **Anais[...],** [Crato]: UGB, 2018. Disponível em <https://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/10/10-508-2193.html>. Acesso em: 16 mar. 2020.

CARMO, A. M. do et al. Avaliação de suscetibilidade à movimentos de massa, utilizando as variáveis morfométricas, para as serras da porção sul do maciço central do Ceará. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 9, p.1787-1804, out. 2016. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44443/23518>. Acesso em: 31 mar. 2020.

CARVALHO, J. M. et al. Susceptibilidade e potencial atual à erosão hídrica dos solos na bacia hidrográfica do rio Cabaçal, Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s.l.], v. 9, n. 69, p.1655-1667, nov. 2017. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44083/23308>. Acesso em: 3 abr. 2020.

CARVALHO, R. C. de. As migrações e a urbanização no Brasil a partir da década de 1950: um breve histórico e uma reflexão à luz das teorias de migração. **Revista Espinhaço**, [s.l.], v. 8, p. 24-33, jan. 2019. Disponível em: <http://www.revistaespinhaco.com/index.php/journal/article/view/250/183>. Acesso em: 27 mar. 2020.

CAVALIERI, A. **Erodibilidade do solo: avaliação por meio de propriedades físicas e químicas**. 1994. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

CELANTE, L. S. **Taxas de perdas de solo e água em um latossolo argiloso sob sistema plantio direto.** 2017. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2973/5>. Acesso em: 30 mar. 2020.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA - CEPAGRI. **Dados pluviométricos**. Unicamp. Disponível em: <https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_260.htm>. Acesso em: 7 abr. 2020.

CHRISTOFOLETTI. A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícias Geomorfológicas**, v. 18, p. 35-64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia.** São Paulo: Hucitec, 1979.

CORRÊA, E. A. **Perdas de solo e índices de vegetação: proposta metodológica para a determinação do fator C (MEUPS) em pastagens e cana-de-açúcar**. 2016. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/134340>. Acesso em: 31 mar. 2020.

CORRÊA, E. A.; MORAES, I. C.; PINTO, S. A. F. Qualidade física de solos arenosos submetidos a diferentes usos da terra. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 9, n. 5, p.1501-1512, jan. 2016. Disponível em: <://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233835/27353>. Acesso em: 2 abr. 2020.

COSTA, T. et al. Vulnerabilidade de sub-bacias hidrográficas por meio da equação universal de perda de solo e da integração de parâmetros morfométricos, topográficos, hidrológicos e de uso/cobertura da terra no estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 4, n. 1, p.93-116, 30 abr. 2009. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.76. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/340084>. Acesso em: 27 abr.2019.

COUTO JÚNIOR, A. A. **Erosão hídrica e transporte de sedimentos na bacia do Ribeirão Cachoeirinha, Rio Claro (SP).** 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/132923>. Acesso em: 31 mar. 2020.

CRUZ, D. C. da et al. Evaluation of Soil Erosion Process and Conservation Practices in the Paragominas-pa Municipality (Brazil). **Geographia Technica**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 14-35, 29 mar. 2019. Asociatia Geograhia Technica. http://dx.doi.org/10.21163/gt_2019.141.02. Disponível em: <http://technicalgeography.org/pdf/1_2019/02_cruz.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2020.

CUNHA, E. R. da; SILVA, L. F. da; BACANI, V. M. Estimativa do potencial natural de erosão de uma bacia hidrográfica ocupada por assentamento rural. **Geografia (Londrina)**, Londrina, v. 26, n. 1, p.481-495, jan/jul. 2017. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/61305334/30060-137926-1-PB20191122-100773-1>. Acesso em: 24 mar. 2020.

DAY P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy and American Society for Testing and Materials, 1965. Part 1, p. 545-567.

DECHEN, S. C. F. et al. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, [s.l.], v. 74, n. 2, p. 224-233, abr. 2015. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0363. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000687052015000200224&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 7 abr. 2020.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2, p.102-114, 6 maio 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/276508221>. Acesso em: 30 maio 2019.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 81 f. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1990.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Banco de Dados Hidrológicos: 1998-2018**. 2019. Disponível em: <www.hidrologia.daee.sp.gov.br>. Acesso em: 27 maio 2019.

DIDONÉ, E. J.; MINELLA, J. P. G; MERTEN, G. H. Quantifying soil erosion and sediment yield in a catchment in southern Brazil and implications for land conservation. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 11, p. 2334-2346, jun./2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11368-015-1160-0>. Acesso em: 7 mai. 2019.

DOMINCHIN, M. F. et al. Soil microbiological and biochemical changes as a consequence of land management and water erosion in a semiarid environment. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [s.l.], p. 1-15, 10 jul. 2019. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2019.1638915. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/03650340.2019.1638915>. Acesso em: 7 abr. 2020.

DULEY, F.L.; MILLER, M.F. Erosion and surface runoff under different soil conditions. **Missouri Agricultural Experiment Station Research Bulletin**, Missouri, n. 63, 1923.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. de. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s.l.], v. 21, n. 4, p.677-685, dez. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522016000400677>. Acesso em: 29 mar.2020.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R.; BESKOW, S. Sediment yield in Paraopeba River Basin – MG, Brazil. **International Journal of River Basin Management.** [s.l.], p. 367-377. abr. 2016. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15715124.2016.1159571?scroll=top&needAccess=true>. Acesso em: 24 mar. 2020.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO - EMPLASA. **Levantamento Aerofotogramétrico** [Mapa]. São Paulo: Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano; 1981.

FARIAS, V. L. S. **Modelagem da perda de fósforo por erosão hídrica.** 2016. 61 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/148007>. Acesso em: 29 mar.2020.

FARIAS, W. M. et al. Gênese do quartzo em solos de textura média da região de Frutal. In: SOUZA, M. F. P. de (org.). **Pesquisas sobre o triângulo mineiro: uma contribuição interdisciplinar**. Alagoinhas: Bordô-grená, 2019. p. 87-88. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/61652905/2019>. Acesso em: 2 abr. 2020.

FAUVEL, M. et al. Fast forward feature selection of hyperspectral images for classification with gaussian mixture models. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, **IEEE Journal**, v.6, p.2824- 2831, 2015. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/280631988>. Disponível em: 15 abr.2019.

FERRARI, J. M. S. et al. Análise da variabilidade espacial da resistência à penetração do solo em diferentes profundidades. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, [s.l.], v. 12, n. 2, p.164-175, jun. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Jessica_Ferrari5/publication/326052957>. Acesso em: 31 mar. 2020.

FERREIRA, A, M. **Modelagem da erosão hídrica dos solos na bacia hidrográfica do Córrego do Gigante – Poços de Caldas - MG**. 2019. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2019. Disponível em: <https://www.unifal-mg.edu.br/ppgcea/files/file/disserta%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em: 31 mar.2020.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de (Ed.). **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: Solo, água e sedimentos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 169 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. La erosión del suelo por el água. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. **Cuadernos de fomento agropecuário da Organización de Las Naciones Unidas**, Roma: FAO, n.81, 207 p., 1967.

FOURNIER, F. **Climat et erosion**. Paris, Press Universitaries de France, 1960. 201p.

GAIÃO, D. et al. A biodiversidade da flora associada a ecossistemas agrários com enrelvamento natural. **Revista de Ciências Agrárias**, [s.l.], v. 40, p.24-31, 2017. Sociedade de Ciencias Agrarias de Portugal. http://dx.doi.org/10.19084/rca16175. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rca/v40nspe/v40nspea03.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2020.

GALDINO, S. et al. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. **Potencial natural de erosão em sub-bacias com cultivo de seringueira no noroeste do Estado de São Paulo.** 1. ed. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2016. 24 p. (Embrapa Territorial - Documentos (INFOTECA-E)). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1066076>. Acesso em: 24 mar. 2020.

GELAGAY, H. S.; MINALE, A. S. Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia. **International Soil and Water Conservation Research**, [s.l.], v. 4, n. 2, p.126-136, jun. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.01.002. Disponível em: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>. Acesso em: 17 mar. 2019.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (Org.). **Métodos de Pesquisa.** Porto Alegre: Editora da Ufrgs, 2009. 120 p.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em ecologia**. [S.l.]: Artmed, 2011. 527 p. Tradução: Fabrício Beggiato Baccaro... [et al.].

GROHMANN, F.; RAIJ, B. van. Influência dos métodos de agitação na dispersão da argila do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., 1973, Santa Maria (RS), 1973. **Anais[..**.], p. 123-132.

GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia urbana.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 280 p.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. 340 p.

GULATI, A.; RAI, S. C. Farmers' willingness-to-pay towards soil and water conservation measures in agro-ecosystems of Chotanagpur Plateau, India. **Water**

and Environment Journal, [s.l.], v. 29, n. 4, p.523-532, 25 set. 2015. Wiley. http://dx.doi.org/10.1111/wej.12151. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/wej.12151>. Acesso em: 30 mar. 2020.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Paleontologia Eletrônica**, 2001, 9p. Disponível em: <http://palaeo-electronica.org/2001_1/ past/issue1_01.htm>. Acesso em: 5 fev. 2019.

HERNÁNDEZ, Y. A. et al. Erosividade das precipitações em ecossistemas tropicais: haverá diferença dentro de uma mesma zona climática. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Piracicaba, v. 11, n. 2, p.415-430, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/publication/328924032>. Acesso em: 31 mar. 2018.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. de. Principal Component Analysis: theory, interpretations and applications. **Engineering and Science**, [s.l.], v. 1, n. 5, p.83-90, jul. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/305713088>. Acesso em: 26 jan. 2019.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage density: Hydrophysical approach to quantitative geomorphology. **Geological Society of America Bulletin**. v. 56, p. 275 – 370, 1945.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico 2010**. 2011. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/itapevi/panorama>. Acesso em: 03 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativa populacional 2018.** 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/itapevi/panorama1>. Acesso em: 10 jul. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Carta geotécnica do estado de São Paulo** [Mapa]. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas; 1994.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Apoio à prevenção e redução de riscos em assentamentos precários: Definição dos processos do meio físico e reavaliação do mapeamento de risco no município de Itapevi (SP).** Itapevi: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009. 62 p. RELATÓRIO TÉCNICO Nº 108658-205 - Volume 1.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. 2011. **Topodata: Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/topodata>. Acesso em: 11 de mar. 2018

ITAPEVI (Município). Lei Complementar nº 44, de 26 de fevereiro de 2008. **Institui o Plano Diretor Participativo do município de Itapevi**. Itapevi, SP, 26 fev. 2008.

ITAPEVI (Município). Lei Complementar nº 79, de 6 de novembro de 2014. **Altera a Lei Complementar n. º 44, de 26 de fevereiro de 2008, que instituiu o Plano Diretor Participativo do município de Itapevi e dá outras providências.** Itapevi, SP, 6 nov. 2014.

KAYSER, L. P. **Estimativa dos parâmetros de funções de pedotransferência para os solos do Rio Grande do Sul**. 2019. 85 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/17297>. Acesso em: 7 abr. 2020.

KOITER, A. J. et al. The role of soil surface properties on the particle size and carbon selectivity of interrill erosion in agricultural landscapes. **Catena**, [s.l.], v. 153, p.194-206, jun. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.024. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0341816217300310>. Acesso em: 27 mar. 2020.

LAFLEN, J. M.; MOLDENHAUER, W. C. **Pioneering Soil Erosion Prediction: The USLE Story**. [s.l.]: World Association of Soil and Water Conservation, 2003. 54 p. (Special Publication). Editor: Michael A. Zoebisch.

LAL, R. **Soil erosion in the tropics: principles and management**. Nova York: Mcgraw-hill, 1990. 580 p.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. Conservation and enhancement of soil quality: evaluation for sustainable land management in the developing world. In: **IBSRAM Proceedings**, n. 12, v. 2, Technical Papers, Bangkok, Thailand, p. 175–203, 1991.

LAWAL, A.; YAHAYA, Z. I. Farmers' perception of soil degradation in semi-arid areas of Katsina State, Northern Nigeria. **Fudma Journal of Sciences (FJS)**, [s.l], v. 2, n. 4, p.136-147, dez. 2018. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/3ffd/e89dccadf5054d2ac3a2894e93f6bc07bb7a.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2020.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. [S. l.]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 170 p.

LIBAULT, A. Os quatro níveis da pesquisa geológica. In: **Métodos em Questão**. V.1, São Paulo: IGEOG-USP, 1971.

LIMA, G. S. A. de; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Modelagem da Perda Superficial de Solo para Cenários de Agricultura e Pastagem na Região Metropolitana de Goiânia. **Revista Brasileira de Cartografia**, Goiânia, v. 4, n. 70, p.1510-1536, out. 2018. Disponível em:

<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/46513>. Acesso em: 2 mai. 2019.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva - sua distribuição e relação com perdas de solo em campinas, SP. In: Encontro Nacional de Pesquisas sobre conservação do Solo, 3, Recife, 1980. **Anais[...],** Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 158.

LOPERA, J. F. B. **Influência da microestrutura no comportamento mecânico dos solos tropicais naturais e compactados**. 2016. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/21563>. Acesso em: 2 abr. 2020.

LUFFMAN, I. E.; NANDI, A.; SPIEGEL, T. Gully morphology, hillslope erosion, and precipitation characteristics in the Appalachian Valley and Ridge province, southeastern USA. **Catena**, [s.l.], v. 133, p. 221-232, out. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.05.015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816215300242>. Acesso em: 7 abr. 2020.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [S.l.], v. 24, p.1335-1340, 30 abr. 2002. Universidade Estadual de Maringá. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266607044>. Acesso em: 10 abr. 2019.

MARIANI, P. P. **Produção e aplicação de biomantas para controle de erosão em taludes.** 2016. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia - Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/165152/001044551.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 mar. 2020.

MARTINS, C. R.; LIMA, E. C. Análise do uso e ocupação do solo e seus aspectos socioambientais na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Contendas, Massapê-CE. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [s.l.], v. 3, n. 5, p.177-187, set. 2016. Revista Brasileira de Gestao Ambiental e Sustentabilidade. http://dx.doi.org/10.21438/rbgas.030507. Disponível em: <http://revista.ecogestaobrasil.net/v3n5/v03n05a07a.html>. Acesso em: 26 mar. 2020.

MASILA, S. M. **Effects of land degradation on agricultural land use:** a case study of smallholder farmers indigenous knowledge on land use planning and management in Kalama Division, Machakos County**.** 2016. 64 f. Master of Science in Environmental Management, School of Environment and Natural Resources Management, South Eastern Kenya University, [s.l.], 2016. Disponível em: <http://41.89.55.71:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1940>. Acesso em: 27 mar. 2020.

MAUSEL, P. W., Soil quality in Illinois - an example of a soils geography resource analysis. **The Professional Geographer,** v. 23, p. 127–136, 1971.

MENDES, L. C.; FELIPPE, M. F. A geomorfologia do tecnógeno e suas relações com o rompimento da barragem Fundão (Mariana, Minas Gerais). **Revista de Geografia**: PPGEO-UFJF, Juiz de Fora, v. 6, n. 4, p.353-362, mar. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/18044>. Acesso em: 26 mar. 2020.

MENDES, P. B. **Análise comparativa de elementos de bioengenharia no controle do processo erosivo de um talude de alta inclinação em um curto período de tempo.** 2018. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2018.

MENDES, L. S. et al. Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica experimental do CÓRREGO FUNDO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 8., 2017, Campo Grande. **Anais[...],** [Campo Grande]: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais - IBEAS, 2017. p. 1 - 5. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/VIII-034.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2019.

MERAJ, G. et al. Assessing the influence of watershed characteristics on the flood vulnerability of Jhelum basin in Kashmir Himalaya. **Natural Hazards**, [s.l.], v. 77, n. 1, p.153-175, 13 jan. 2015. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s11069-015-1605-1. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11069-015-1605-1.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2020.

MICHETTE, J. F. **Modelos de previsão de erosão pluvial utilizando SIG: estudo na bacia hidrográfica de Represa do Lobo (Broa), SP**. 2015. 275 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Geotecnia, Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2015. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-29022016-104742/pt-br.php>. Acesso em: 25 maio 2019.

MIRANDA, D. T.; DECESARO, G. D. Os impactos e as consequências gerados pela urbanização acelerada às águas urbanas. **Revista Técnico-científica do Crea-PR**, [s.l.], v. 13, p. 1-9, set. 2018. Disponível em: <http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/Sistema/index.php/revista/article/view/404/274>. Acesso em: 27 mar. 2020.

MOORE, I.D., BURCH, G.J. Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p. 1294-1298, 1986.

MORAES, I. C. **Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica MEUPS e WEPP: Contribuição em bacias hidrográficas**. 2016. 191 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/138149>. Acesso em: 30 mar. 2020.

MORAIS, R. C. de S.; SALES, M. C. L. Estimativa do potencial natural de erosão dos solos da bacia hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí - Brasil, com uso de Sistema de Informação Geográfica / Estimation of the Natural Soil Erosion Potential of the Upper Gurguéia Basin, Piauí - Brazil (...). **Caderno de Geografia**, [s.l.], v. 27, n. 1, p.84-105, 23 nov. 2017. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/p.23182962.2017v27nesp1p84>. Acesso em: 31 mar. 2020.

MOURA, A. S.; SILVA FILHO, F. C.; DANTAS NETO, S. A. Previsão de curvas de retenção por correlações com propriedades dos solos. **Ciência & Engenharia (science & Engineering Journal)**, [s.l.], v. 26, n. 1, p. 51-57, jan. 2017. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/cieng/article/view/29825/21710>. Acesso em: 7 abr. 2020.

MULLER, J. E. An introduction to the hydraulic and topographic sinuosity indices. **Annals of the American Association of Geographers,** v. 55, p. 371 – 385, 1968.

MUNSELL SOIL COLOR COMPANY. **Munsell soil color chats**, Munsell color, Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, Baltimore, Maryland, USA. 1950, revised 1975.

MUSGRAVE, G.W. The quantitative evaluation of factors in water erosion – a first approximation. **Journal of Soil and Water Conservation,** v. 2, n. 3, p.133-138, 1947.

NETTO, A. L. C. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.j.t.; CUNHA, S.b. da (Org.). **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. Cap. 3. p. 5-472.

NEVES, M. P. **Análise dos processos erosivos na bacia do córrego do meio - município de São Pedro (SP)**: **estudo do desencadeamento das erosões. Estudo do desencadeamento das erosões**. 2017. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132>. Acesso em: 2 abr. 2020.

NICOLETE, D. A. P. et al. Delimitação automática de uma bacia hidrográfica utilizando MDE TOPODATA: aplicações para estudos ambientais na região da Cuesta de Botucatu - SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17., 2015, João Pessoa. **Anais[...],** [João Pessoa]: Inpe, 2015. p. 3988 - 3994. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0791.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2019.

NOGUEIRA, T. P. N. **Mapeamento da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do Ribeirão da Fábrica, município de Patos de Minas MG. Estudo do desencadeamento das erosões**. 2017. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19576>. Acesso em: 5 abr. 2020.

PAL, S. Identification of soil erosion vulnerable areas in Chandrabhaga river basin: a multi-criteria decision approach. **Modeling Earth Systems and Environment**, [s.l.], v. 2, n. 1, p.1-5, 14 dez. 2015. Springer Science and Business Media LLC. http://dx.doi.org/10.1007/s40808-015-0052-z. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s40808-015-0052-z.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2020.

PANDEY, A. et al. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. **Catena**, Índia, v. 147, n. 4, p. 595-620, dez./2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.002>. Acesso em: 1 mai. 2019.

PANDI, P. D. et al. Morphometric Analyses of Neyyar River Basin, Southern Kerala, India. **Journal Geology, Ecology, and Landscapes**, 1, 249–256, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24749508.2017.1389494>. Acesso em: 14 mar. 2018.

PAPIEROWSKA, E. et al. Compatibility of methods used for soil water repellency determination for organic and organo-mineral soils. **Geoderma**, [s.l.], v. 314, p.221-231, mar. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706116305420>. Acesso em: 27 mar. 2020.

PELOGGIA, A. U. G.; ORTEGA, A. M. Lyell, a agência geológica humana e o antropoceno: em busca de uma epistemologia geológica e arqueológica. **Revista UNG – Geociências**, São Paulo, v. 15, n. 2, p.106-127, 2016. Disponível em: <https://portal.issn.org/resource/ISSN-L/1981-741X>. Acesso em: 26 mar. 2020.

PELLOGIA, A. U. G. et al. A expansão do estrato geológico urbano (arqueosfera) no leste do estado de São Paulo: a relação entre história, geografia, geologia e arqueologia no antropoceno. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 2, p.25-52, jul/dez. 2017. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/61016945>. Acesso em: 26 mar. 2020.

PEREIRA, L. E. et al. Application techniques of digital image processing in different orbital sensors. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, [S.l.], v. 39, n. 3, p.15-24, 12 set. 2016. Instituto de Geociências - UFRJ. http://dx.doi.org/10.11137/2016_3_15_24. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0944.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2019.

PEREIRA, M. G. et al. Formação e caracterização dos solos. In: TULLIO, L. (org.). **Formação, classificação e cartografia dos solos.** Ponta Grossa: Atena, 2019. Cap. 1. p. 1-20. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2019/09/E-book-Formacao-Classificacao-e-Cartografia-dos-Solos.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2020.

PINTO, C. de S. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 367 p.

PHAM, T. G.; DEGENER, J.; KAPPAS, M. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. **International Soil and Water Conservation Research**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 99-110, jun. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001.

PRADO, B. Q. M. et al. Avaliação de variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia (MG) por meio da análise de componentes principais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s.l.], v. 21, n. 2, p.407-413, 20 jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016147040. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522016005001116>. Acesso em: 31 mar. 2020.

PRUDENTE, C. B. **Estabilidade de hematitas pedogênica e litogênica.** 2017. 32 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/19797/1/EstabilidadeHematitasPedogenica.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2020.

PULIDO, M. et al. Selecting indicators for assessing soil quality and degradation in rangelands of Extremadura (SW Spain). **Ecological Indicators**, [s.l.], v. 74, p.49-61, mar. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X16306537>. Acesso em: 30 mar. 2020.

PURCINO, M, D. **Espacialização dos parâmetros físico-hídricos do solo e associação com a vulnerabilidade à erosão hídrica em dois ambientes antropizados do Ribeirão do Cipó**. 2017. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2017. Disponível em: <https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/1064>. Acesso em 30 mar. 2020.

QU, T. et al. Impacts of grazing intensity and plant community composition on soil bacterial community diversity in a steppe grassland. **Plos One**, [s.l.], v. 11, n. 7, p.1-16, 28 jul. 2016. Public Library of Science (PLoS). http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0159680. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/305711912>. Acesso em: 30 mar. 2020.

RAFAEL, M, C. E. **Análise estatística multivariada para correlação de variáveis sismográficas e geotécnicas em uma cavidade natural subterrânea – Mina de Ferro N4EN, Carajás**. 2019. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/11666>. Acesso em: 4 abr. 2020.

RAIJ, B. V. et al. (Ed.). **Recomendações para adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Boletim Técnico n°100, 2.ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agronômico/ Fundação IAC, 1997, 285p.

RAMOS, J. C. **Cobertura e rugosidade da superfície na proposição de indicadores de qualidade de um Cambissolo Húmico relacionados ao controle da erosão hídrica**. 2015. 200 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015. Disponível em: <http://www.tede.udesc.br/bitstream/tede/437/1/PGCS15DA026.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2020.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; PORTER, J. P. RUSLE: Revised universal soil loss equation. **Journal Soil Water Conservation**. v. 46, p. 30-33,1991.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis improvements of saline and alkaline soils**. Washington, Departament of Agriculture. 1954. 160p.

RIGHI, E.; BASSO, L. A. Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. Ambiência Guarapuava. **Ambiciência**, Guarapuava, v. 1, n. 12, p.101-117, 2016. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/download/3531/pdf>. Acesso em: 30 mar. 2020.

RIZEEI, H. M. et al. Soil erosion prediction based on land cover dynamics at the Semenyih watershed in Malaysia using LTM and USLE models. **Geocarto International**, [s.l.], v. 31, n. 10, p.1158-1177, 25 jan. 2016. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2015.1120354. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1120354>. Acesso em: 26 mar. 2020.

ROSA, A. G.; SOUSA, A. M. L. de. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação em Óbidos-PA (Brasil). **Geoamazônia**, Belém, v. 6, n. 11, p.256-272, 2018. Disponível em: <http://www.geoamazonia.net/index.php/revista/index>. Acesso em: 31 mar. 2020.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia ambiente e planejamento**. 9. ed. São Paulo: Editora Contexto, 2014. 89 p.

ROSSI, M. 2017. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. V.1. 118p. (inclui Mapas).

ROTTA, C. M. S.; ZUQUETTE, L. V. Processos erosivos. In: ZUQUETTE, L. V. (org.). **Geotecnia Ambiental.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. p. 115-152.

ROVEDA, M. et al. **Modelagem geoestatística da estrutura espacial arbórea e dos atributos do solo em floresta ombrófila mista**. **Floresta**, [s.l.], v. 48, n. 1, p.67-76, 13 mar. 2018. Universidade Federal do Paraná. http://dx.doi.org/10.5380/rf.v48i1.50271. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/50271/34980>. Acesso em: 2 abr. 2020.

RUBIRA, F. G.; MELO, G. V.; OLIVEIRA, F. K. S. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. **Revista de Geografia**: UFPE, Recife, v. 33, n. 1, p.168-193, abr. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Felipe_Rubira/publication/311972239_Propost

a_de_padronizacao_dos_conceitos_de_erosao_em_ambientes_umidos_de_encosta/links/586eb00f08aebf17d3a85e21/Proposta-de-padronizacao-dos-conceitos-de-erosao-em-ambientes-umidos-de-encosta.pdf.> Acesso em: 23 mar. 2020.

SALOMÃO, F. S.; SILVA, A. M. da. Análise comparativa de parâmetros morfométricos de duas sub-bacias como instrumento ao planejamento territorial no município de Itapevi/sp. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 16., 2018, São Paulo. **Anais[...],** [São Paulo] CBGE, 2018.

SAMPAIO, A. C. P. et al. Susceptibilidade à erosão relacionada ao escoamento superficial na sub-bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p.125-143, fev. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/233612/27203>. Acesso em: 31 mar. 2020.

SANTIKARI, V. P.; MURDOCH, L. C. Effects of construction-related land use change on streamflow and sediment yield. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 252, p. 2-11, dez. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109605. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719313234. Acesso em: 21 abr. 2020.

SANTOS, A. L. dos. **A fragilidade ambiental no âmbito dos ambientes de inundação e escorregamentos: Um breve estudo de caso na zona oeste de Itapevi, SP.** 2018. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 2018. Disponível em: <https://tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/8/.../tce.../2018_AnaLigiaDosSantos.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2020.

SANTOS, H. G. dos. et al. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2018. 306 p.

SANTOS, J. M. et al. Soil water repellency dynamics in pine and eucalypt plantations in portugal – a high-resolution time series. **Land Degradation & Development**, [s.l.], v. 27, n. 5, p.1334-1343, 20 set. 2016. Wiley. http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2251. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ldr.2251>. Acesso em: 3 abr. 2020.

SANTOS, M. R. dos; DONATO, S. L. R.; COTRIM JÚNIOR, P. R. F. Irrigação na palma forrageira. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 11, n. 1, p.75-86, mar. 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/339953326>. Acesso em: 2 abr. 2020.

SANTOS NETO, J. R. dos. **Distribuição espacial do potencial de erosão hídrica na bacia do Rio Araçuaí-MG.** 2017. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia, Ambiente e Sociedade, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, 2017. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/1939>. Acesso em: 22 jul. 2020.

SANTOS, R. D. dos et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 102 p.

SÃO PAULO (Estado). Resolução nº 07, de 18 de janeiro de 2017. **Dispõe sobre os critérios e parâmetros para compensação ambiental de áreas objeto de pedido de autorização para supressão de vegetação nativa, corte de árvores isoladas e para intervenções em Áreas de Preservação Permanente no Estado de São Paulo**. São Paulo, SP, 20 jan. 2017. Seção 1, p. 54-57.

SCHMITT, A.; MOREIRA, C. R. Manejo e gestão de bacia hidrográfica utilizando o software gratuito Quantum-GIS. **Revista Cultivando o Saber**, edição especial, p. 125 - 137, 2015. Disponível em: <https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/566ec59f31e47.pdf >. Acesso em: 13 fev. 2019.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin,** v. 67, p. 597 – 646, 1956.

SILVA, C. C. L. da. **Relação solo-relevo para compreensão dos processos erosivos da bacia hidrográfica do Rio Doce/RN.** 2017. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: < https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/25117/1>. Acesso em: 27 mar. 2020.

SILVA, C. F. A.; VALADÃO, R. C. **Relevo antropogênico: mineração de ferro e a interferência humana.** Curitiba: Appris, 2016. 147 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=dh40DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 31 mar. 2020.

SILVA, D. C. da. Evolução da Fotogrametria no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**, Recife, v. 3, n. 2, p.81-96, dez. 2015. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/5467/3406>. Acesso em: 30 mar. 2020.

SILVA, D. C. da C. e. **Proposta metodológica para elaboração de um índice espacial de sustentabilidade ambiental aplicado a bacias hidrográficas**. 2016. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/144610> Acesso em: 10 mai. 2019.

SILVA, D. S. dos S. **Modelos empíricos para estimativa de produção de sedimentos**. 2015. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015. Disponível em: < http://www.repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/7911>. Acesso em: 23 mar. 2019.

SILVA, E. C. N. et al. A urbanização do oeste paulista e a formação de feições tecnogênicas. **Instituto Geologico**, [s.l.], v. 40, n. 1, p.67-81, 26 jun. 2019. Instituto

Geologico. http://dx.doi.org/10.33958/revig.v40i1.629. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Erika_Silva23/publication/334060660>. Acesso em: 26 mar. 2020.

SILVA, G. J. A. da; SILVEIRA, J. A. R. da; SILVA, M. D. A cidade em dispersão. In: SILVA, G. J. A. da; SILVA, M. D. da; SILVEIRA, J. A. R. da (org.). **Lugares e suas interfaces intraurbanas: transformações urbanas e periferização.** Transformações urbanas e periferização. João Pessoa: Editora da UFPB; Editora Paraiboa, 2016. p. 11-402. Disponível em: <https://issuu.com/geovanyjessealexandresilva/docs/lugares_e_suas_interfaces_intraurba>. Acesso em: 23 mar. 2020.

SILVA, L. C. N. **Estimativa de perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do Córrego Baguaçu no estado de São Paulo.** 2015. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/312143126>. Acesso em: 28 mar. 2020.

SILVA MATOS, T. V. **Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na Equação Universal de Perda de Solo (USLE)**. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-A3FETB>. Acesso em: 17 mar. 2019.

SILVEIRA, P. B. **Influência da escala nos resultados de estimativa de perda de solo por meio da EUPS**. 2017. 126 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/152620>. Acesso em: 20 mar. 2019.

SISTEMA DE MONITORAMENTO AGROMETEOROLÓGICO - AGRITEMPO. **Dados pluviométricos (2000-2018)** Disponível em:<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=SP>. Acesso em: 24 maio 2019.

SMITH, D.D. Interpretation of soil conservation data for field use. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 22, n. 5, p.173-175, 1941.

SOARES, L. S. et al. Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Geography Department University of Sao Paulo**, [s.l.], v. 31, p.82-100, 24 jul. 2016. Universidade de São Paulo, Agencia USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v31i0.107715. Disponível em: <http://www.periodicos.usp.br/rdg/article/view/107715/115444>. Acesso em: 30 mar. 2020.

SOARES, R. B. et al. Aplicação de técnica de fusão em imagens Landsat 8/ OLI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17., 2015, João Pessoa. **Anais[...]** [João Pessoa]: Inpe, 2015. p.4836-4843. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0944.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2019.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. **Soil survey manual**. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18. 1993.

SOUZA, F. G. de. **Atributos do solo, estoque de carbono e erodibilidade em áreas sob diferentes usos no assentamento São Francisco, Canutama, Amazonas**. 2018. 175 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia Tropical, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, 2018. Disponível em: < https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/6872/2>. Acesso em: 7 abr. 2020.

STRAHLER, A. N. Dimensional analysis applied to fluvial eroded landforms. **Geological Society of America Bulletin**, v. 69, p. 279-300, 1958.

STRAHLER, A. N. **Geology**, **Part II, quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks**. In: Chow, V.T. (Ed.), Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill Company, New York, p. 439 – 476, 1964.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blücher, 1973. 317p.

TAGLIARINI, F. de S. N. **Técnicas de geoprocessamento aplicadas na quantificação de perdas de solo em bacia hidrográfica.** 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017. Disponível em: < https://repositorio.unesp.br/handle/11449/150268>. Acesso em: 5 mar. 2019.

TARASSOUM, T. D.; LOVANE, A. A. Effects of different soil treatment Methods on the performance of green bean plants (Phaseolus vulgaris L.). **North American Academic Research**, [s.l.], v. 2, n. 5, p.114-129, mar. 2019. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/5871>. Acesso em: 30 mar. 2020.

TEIXEIRA, P. C. et al. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. 573 p. (Livro técnico (INFOTECA-E)). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1085209. Acesso em: 20 fev. 2019.

TORRES, G. N. **Distribuição de partículas e retenção de água em solos arenosos do estado de Mato Grosso**. 2017. 152 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agricultura Tropical, Faculdade de Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2017. Disponível em: <https://fmt.br/ppgat/images/uploads/Dissertações-Teses/Teses/2017>. Acesso em: 2 abr. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC - UFABC. **Carta geotécnica de aptidão à urbanização: Instrumento de planejamento para prevenção de desastres naturais nos municípios**. [Mapa]. Santo André/SP: Universidade Federal do ABC; 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327703695>. Acesso em: 12 mar. 2020.

VASCONCELOS, V. V. et al. Gestão de risco de desastres e análise de bacias hidrográficas: a carta geotécnica de aptidão à urbanização de Itapevi – SP, Brasil. **Caderno Metropolitano**. Santo André, v.20, n.42, p.371-398, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S223699962018000200371&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 12 mar. 2020.

VELLOSO, S. G. S.; SANTOS, D. L.; FERREIRA FILHO, J. G. A. Estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial na bacia do Rio São Miguel, Minas Gerais. **Scientia Agraria**, [s.l.], v. 16, n. 3, p. 42-52, 23 maio 2016. Universidade Federal do Parana. http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v16i3.46825. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/46825>. Acesso em: 7 abr. 2020.

VIEL, J. A.; ROSA, K. K. da; HOFF, R. Estudo da erosão superficial do solo por meio de SIG na região da denominação de origem Vale Dos Vinhedos (BRASIL). **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, v. 18, n. 3, p.521-533, 19 maio 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/319075248>. Acesso em: 19 maio 2019.

VILAR, O. M.; PRANDI, E. C. Erosão dos solos. In: Cintra, J. C. A.; Albieiro, J. H. **Solos do interior de São Paulo**. São Carlos, cap. 7, p. 177-206,1993.

VOGELMANN, E. S. et al. Soil hydrophobicity: comparative study of usual determination methods. **Ciência Rural**, [S.l.], v. 45, n. 2, p.260-266, fev. 2015. (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140042. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015000200260>. Acesso em: 1 abr. 2020.

VOGELMANN, E. S. et al. Soil moisture influences sorptivity and water repellency of topsoil aggregates in native grasslands. **Geoderma**, [s.l.], v. 305, p.374-381, nov. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.06.024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706116305420>. Acesso em: 27 mar. 2020.

VOGELMANN, E. S.; PREVEDELLO, J.; REICHERT, J. M. Origem dos compostos hidrofóbicos e seus efeitos em florestas de Pinus e Eucalyptus. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p.1067-1079, out. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/261323997>. Acesso em: 3 abr. 2020.

WISCHMEIER, W. H; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A Soil erodibility nomograph for farmland and construction Sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 26, p. 189-193, 1971.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain**. Washington, DC: ARS/USDA, 1965.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: A guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, 1978. 58p.

XAVIER, J. P. S. et al. Estimativa da erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido pernambucano

(Estimation of erosivity by different methods and their impact on the universal soil loss equation in Pernambuco semi-arid). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 12, n. 3, p.859-875, 2 jun. 2019. Revista Brasileira de Geografia Física. http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p859-875. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/236841>. Acesso em: 24 mar. 2020.

XU, Z. et al. Energy modeling simulation of changes in ecosystem services before and after the implementation of a Grain-for-Green program on the Loess Plateau—A case study of the Zhifanggou valley in Ansai County, Shaanxi Province, China. **Ecosystem Services**, [s.l.], v. 31, p.32-43, jun. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.03.013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041617307064?via%3Dihub>. Acesso em: 30 mar. 2020.

YUAN, L.f.; YANG, G. S.; ZHANG, Q. F. Soil erosion assessment of the Poyang Lake Basin, China: Using USLE, GIS and Remote Sensing. **Journal of Remote Sensing & Gis**, [s.l.], v. 5, n. 3, p.2-12, 2016. OMICS Publishing Group. http://dx.doi.org/10.4172/2469-4134.1000168. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/309187317>. Acesso em: 26 mar. 2020.

ZINGG, A.W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runoff. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 21, n. 2, p. 59-64, 1940.

ZOLIN, C. A. et al. Perda de solo e água sob integração lavoura-floresta e em sucessão soja-milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 51, n. 9, p.1223-1230, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900022. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v51n9/0100-204X-pab-51-09-1223.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2020.

ANEXOS

Anexo A

Tabela 6.4.1.1: Atributos granulométricos obtidos a partir de amostras deformadas

Sub-Bacia	Amostra	Fração textural				
		Cascalho ($g.kg^{-1}$)	*Areia Grossa ($g.kg^{-1}$)*	*Areia Fina ($g.kg^{-1}$)*	*Silte ($g.kg^{-1}$)*	*Argila ($g.kg^{-1}$)*
B1	01	310,57	597,110	164,890	93,500	144,500
	02	73,60	389,980	223,520	104,000	282,500
	03	133,15	298,060	242,440	152,500	307,000
	04	93,59	316,720	224,780	147,000	311,500
	05	114,18	370,650	239,350	128,500	261,500
	06	107,06	274,060	392,940	235,500	143,500
	07	87,21	303,390	290,610	160,000	246,000
	08	99,72	432,800	175,200	122,000	270,000
	09	32,10	259,480	247,520	114,500	378,500
	10	98,49	294,990	232,510	172,000	323,000
	11	55,64	266,340	235,160	161,000	381,000
	12	104,90	362,890	159,610	133,000	344,500
	13	123,89	313,790	389,210	174,000	123,000
	14	80,00	287,730	243,270	111,000	358,000
	15	76,68	347,220	234,280	95,500	323,000
	16	84,24	223,370	321,630	324,500	130,500
	17	258,36	284,560	328,940	187,500	199,000
	18	275,19	301,330	379,170	215,000	104,500
	19	55,07	262,380	352,120	240,500	145,000
	20	415,18	510,700	324,800	87,000	77,500
	21	303,67	544,090	247,410	124,000	84,500
	22	275,50	279,550	329,950	237,500	153,000
	23	212,15	258,990	322,510	211,000	207,500
	24	210,42	276,000	343,500	203,500	177,000
	25	36,94	470,280	307,220	115,500	107,000
	26	78,87	362,760	289,240	123,500	224,500
	27	58,44	206,170	370,830	151,000	272,000
	28	74,45	395,230	216,270	98,500	290,000
	29	18,13	243,590	277,410	197,000	282,000
	30	75,95	336,400	262,600	159,500	241,500
B2	01	49,522	349,090	216,410	106,000	328,500
	02	91,727	334,180	316,320	36,000	313,500
	03	177,423	345,280	296,720	132,000	226,000
	04	27,496	297,570	308,430	162,500	231,500
	05	94,299	257,840	257,160	120,500	364,500
	06	58,129	329,420	209,580	136,000	325,000
	07	6,009	327,160	318,840	126,500	363,500
	08	140,440	293,410	225,090	117,000	364,500
	09	135,295	304,660	256,340	150,500	288,500
	10	40,026	443,420	81,080	102,500	173,000
	11	16,766	334,200	203,800	47,500	414,500
	12	200,000	353,150	197,350	220,500	229,000
	13	82,644	262,500	234,000	184,500	319,000
	14	145,586	287,340	302,660	132,000	278,000
	15	261,526	436,080	228,420	166,500	169,000
	16	80,997	413,420	165,580	139,000	282,000
	17	102,147	192,170	331,330	247,500	229,000
	18	48,742	267,450	287,050	156,000	287,500
	19	36,042	404,620	278,880	83,000	233,500
	20	166,110	282,460	320,540	118,500	278,500

Tabela 6.4.1.1: Atributos granulométricos obtidos a partir de amostras deformadas

Sub-Bacia	Amostra	Fração textural				
		Cascalho (g.kg^{-1})	*Areia Grossa (g.kg^{-1})*	*Areia Fina (g.kg^{-1})*	*Silte (g.kg^{-1})*	*Argila (g.kg^{-1})*
B2	21	142,437	291,110	180,890	131,500	396,500
	22	107,998	296,250	193,750	194,500	315,500
	23	68,281	259,010	236,990	146,000	358,000
	24	183,750	291,120	224,380	216,500	268,000
	25	122,689	392,580	73,420	275,000	259,000
	26	153,964	278,640	347,360	19,500	354,500
	27	122,138	352,190	169,810	104,500	373,500
	28	12,426	308,600	202,900	250,000	238,500
	29	121,504	302,820	212,680	94,000	390,500
	30	159,673	340,350	229,150	187,000	243,500

Fonte: Autora.

Anexo B

Tabela 6.4.2.1: Atributos físico-químicos obtidos a partir de amostras indeformadas

Sub-Bacia	Amostra	Atributos					
		V (cm^3)	*M_{seca} (g)*	*$M_{água}$ (g)*	*W (g.g^{-1})*	*ρd* (g.cm^{-3})	*Hidrofobicidade*
B1	01	199,50	286,63	39,17	0,137	1,44	Hidrofílico
	02	197,19	303,32	47,75	0,157	1,54	Hidrofílico
	03	204,32	225,27	36,02	0,160	1,10	Hidrofílico
	04	128,08	138,09	29,24	0,212	1,08	Levemente hidrofóbico
	05	199,57	249,46	55,65	0,223	1,25	Hidrofílico
	06	204,14	297,79	45,25	0,152	1,46	Hidrofílico
	07	209,36	295,82	44,48	0,150	1,41	Hidrofílico
	08	209,36	296,49	50,91	0,172	1,42	Hidrofílico
	09	216,74	237,81	49,23	0,207	1,10	Levemente hidrofóbico
	10	190,07	253,81	63,21	0,249	1,34	Hidrofílico
	11	199,50	280,41	67,17	0,240	1,41	Hidrofílico
	12	211,45	338,53	60,01	0,177	1,60	Hidrofílico
	13	190,07	263,91	48,72	0,185	1,39	Hidrofílico
	14	216,90	268,13	56,92	0,212	1,24	Hidrofílico
	15	204,43	331,88	57,27	0,173	1,62	Hidrofílico
	16	201,95	179,68	41,44	0,231	0,89	Hidrofílico
	17	184,73	170,62	34,72	0,203	0,92	Hidrofílico
	18	216,90	342,72	37,50	0,109	1,58	Hidrofílico
	19	209,36	292,19	46,83	0,160	1,40	Hidrofílico
	20	211,80	269,08	33,21	0,123	1,27	Hidrofílico
	21	184,73	178,55	37,92	0,212	0,97	Hidrofílico
	22	211,45	349,10	25,62	0,073	1,65	Hidrofílico
	23	221,67	302,15	37,93	0,126	1,36	Hidrofílico
	24	189,65	250,34	48,75	0,195	1,32	Hidrofílico
	25	190,07	298,62	52,71	0,177	1,57	Hidrofílico
	26	213,82	299,01	52,76	0,176	1,40	Hidrofílico
	27	211,45	158,35	37,62	0,238	0,75	Fortemente hidrofóbico
	28	130,67	192,98	29,75	0,154	1,48	Fortemente hidrofóbico

Tabela 6.4.2.1: Atributos físico-químicos obtidos a partir de amostras indeformadas

Sub-Bacia	Amostra	Atributos					
		V (cm^3)	*M_{seca} (g)*	*$M_{água}$ (g)*	*W ($g.g^{-1}$)*	*ρd* ($g.cm^{-3}$)	*Hidrofobicidade*
B1	29	175,81	172,58	33,55	0,194	0,98	Levemente hidrofóbico
	30	219,21	238,16	40,53	0,170	1,09	Hidrofílico
B2	01	232,83	342,3	42,27	0,123	1,47	Hidrofílico
	02	192,11	221,74	28,21	0,127	1,15	Hidrofílico
	03	204,43	180,45	43,30	0,240	0,88	Levemente hidrofóbico
	04	214,28	160,31	37,45	0,234	0,75	Hidrofílico
	05	197,04	206,18	43,22	0,210	1,05	Fortemente hidrofóbico
	06	227,11	227,68	36,56	0,161	1,00	Hidrofílico
	07	213,82	184,45	46,59	0,253	0,86	Fortemente hidrofóbico
	08	238,91	170,59	39,83	0,233	0,71	Fortemente hidrofóbico
	09	343,20	494,37	59,54	0,120	1,44	Hidrofílico
	10	137,80	181,76	22,14	0,122	1,32	Fortemente hidrofóbico
	11	240,59	176,73	41,09	0,233	0,73	Hidrofílico
	12	209,27	148,88	44,79	0,301	0,71	Hidrofílico
	13	233,99	304,92	48,22	0,158	1,30	Hidrofílico
	14	214,00	316,39	37,20	0,118	1,48	Hidrofílico
	15	199,50	252,94	36,46	0,144	1,27	Hidrofílico
	16	347,39	470,39	60,52	0,129	1,35	Hidrofílico
	17	325,72	388,79	71,18	0,183	1,19	Levemente hidrofóbico
	18	187,19	190,25	31,09	0,163	1,02	Hidrofílico
	19	329,79	463,02	70,33	0,152	1,40	Hidrofílico
	20	237,58	281,75	42,44	0,151	1,19	Hidrofílico
	21	213,82	303,82	54,55	0,180	1,42	Hidrofílico
	22	366,44	397,34	63,49	0,160	1,08	Hidrofílico
	23	184,73	143,11	33,42	0,234	0,77	Hidrofílico
	24	385,60	501,54	58,60	0,117	1,30	Hidrofílico
	25	177,34	175,58	32,53	0,185	0,99	Levemente hidrofóbico
	26	216,20	297,17	48,96	0,165	1,37	Hidrofílico
	27	385,06	389,10	61,17	0,157	1,01	Hidrofílico
	28	221,67	264,78	36,92	0,139	1,19	Hidrofílico
	29	229,06	263,13	46,89	0,178	1,15	Hidrofílico
	30	318,09	333,35	72,86	0,219	1,05	Levemente hidrofóbico

Fonte: Autora.

Tabela 6.4.2.2: Atributos físico-químicos obtidos a partir de amostras deformadas

Sub-Bacia	Amostra	Atributos				
		M_{Total} (g)	*Condutividade elétrica ($\mu S.cm^{-1}$)*	*pH*	*Matéria orgânica ($g.dm^{-3}$)*	*Cor*
B1	01	651,59	62,20	6,22	30,98	Bruno-claro
	02	728,19	91,20	5,75	98,50	Bruno-acinzentado
	03	716,52	147,50	5,96	133,00	Bruno

Tabela 6.4.2.2: Atributos físico-químicos obtidos a partir de amostras deformadas

Sub-Bacia	Amostra	Atributos				
		M_{Total} (g)	*Condutividade elétrica ($\mu S.cm^{-1}$)*	*pH*	*Matéria orgânica ($g.dm^{-3}$)*	*Cor*
B1	04	417,66	266,00	6,36	182,14	Cinzento muito escuro
	05	852,88	11,10	6,34	179,05	Bruno
	06	873,85	35,20	6,34	65,67	Rosado
	07	717,45	52,60	4,93	108,95	Cinzento
	08	544,23	27,20	6,23	88,06	Bruno
	09	859,29	93,80	5,73	149,70	Bruno
	10	710,57	76,40	5,84	201,69	Bruno
	11	730,78	66,60	5,63	220,07	Bruno
	12	508,51	13,20	7,5	110,44	Bruno
	13	508,65	83,50	6,09	91,68	Bruno-claro
	14	641,62	26,50	5,95	189,18	Bruno
	15	604,16	21,70	6,03	142,86	Bruno
	16	511,91	201,00	5,53	275,50	Cinzento-escuro
	17	832,51	132,10	6,46	124,19	Cinzento-escuro
	18	729,12	195,90	6,78	66,47	Bruno
	19	1380,00	404,00	6,01	83,08	Rosado
	20	1260,00	157,50	6,31	14,96	Rosado
	21	950,47	221,00	7,44	20,44	Cinzento-claro
	22	936,95	281,00	6,35	63,97	Rosado
	23	732,64	276,00	5,90	20,48	Bruno-avermelhado-claro
	24	759,67	61,80	6,50	114,50	Bruno-claro
	25	852,99	40,60	6,61	11,49	Cinzento-rosado
	26	488,48	18,80	7,28	225,21	Bruno
	27	587,91	127,00	5,33	256,99	Bruno
	28	738,15	248,00	5,58	135,75	Bruno
	29	639,83	258,00	7,26	169,32	Bruno
	30	663,11	196,30	5,42	131,50	Bruno-acinzentado muito escuro
B2	01	707,27	37,20	5,18	258,21	Bruno
	02	982,85	26,80	6,30	98,50	Bruno-amarelado
	03	644,09	204,00	4,35	273,45	Cinzento muito escuro
	04	585,26	191,50	4,03	166,00	Bruno
	05	793,95	49,30	5,89	87,61	Cinzento muito escuro
	06	770,09	36,10	5,84	129,24	Cinzento
	07	548,15	176,80	4,11	162,27	Bruno
	08	872,24	101,30	3,66	187,66	Cinzento-avermelhado
	09	878,82	20,50	6,59	95,12	Bruno-acinzentado
	10	673,13	200,00	5,07	138,88	Cinzento muito escuro
	11	882,64	177,10	4,33	169,08	Cinzento muito escuro
	12	723,91	208,00	6,59	165,59	Cinzento-avermelhado
	13	654,72	17,00	6,25	248,26	Cinzento-rosado
	14	751,1	74,30	4,94	149,55	Cinzento-brunado-claro
	15	983,79	75,30	5,83	83,13	Bruno-claro
	16	598,35	65,40	6,98	77,77	Bruno

Tabela 6.4.2.2: Atributos físico-químicos obtidos a partir de amostras deformadas

Sub-Bacia	Amostra	Atributos				
		M_{Total} (g)	*Condutividade elétrica ($\mu S.cm^{-1}$)*	*pH*	*Matéria orgânica ($g.dm^{-3}$)*	*Cor*
B2	17	852,83	14,40	5,00	51,50	Vermelho-claro
	18	609,16	109,40	4,65	92,32	Amarelo-avermelhado
	19	947,18	43,40	5,27	83,25	Bruno-avermelhado-claro
	20	943,19	174,20	5,28	134,43	Bruno
	21	670,38	57,70	5,70	63,50	Amarelo-avermelhado
	22	839,36	9,40	5,85	77,00	Cinzento-rosado
	23	802,05	111,50	3,52	111,50	Bruno
	24	943,51	34,20	6,11	42,50	Amarelo-avermelhado
	25	687,34	91,70	4,86	107,34	Cinzento-rosado
	26	675,81	161,10	6,10	223,61	Cinzento-escuro
	27	492,27	98,20	4,91	156,34	Bruno
	28	876,35	89,40	5,75	64,21	Bruno-avermelhado-claro
	29	678,71	13,60	5,16	122,94	Bruno-claro
	30	701,51	104,50	5,7	82,67	Bruno-avermelhado-claro

Fonte: Autora.