

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

**PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO  
EM  
GEOGRAFIA**

**DEGRADAÇÃO DOS SOLOS POR PROCESSOS EROSIVOS NA  
FAIXA DE TRANSIÇÃO CUESTA-DEPRESSÃO PERIFÉRICA  
PAULISTA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A ANÁLISE  
DE VOÇOROCAS  
ESTÊVÃO BOTURA STEFANUTO**

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

RIO CLARO - SP

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“Júlio de Mesquita Filho”  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Câmpus de Rio Claro

ESTÊVÃO BOTURA STEFANUTO

**DEGRADAÇÃO DOS SOLOS POR PROCESSOS EROSIVOS  
NA FAIXA DE TRANSIÇÃO CUESTA-DEPRESSÃO  
PERIFÉRICA PAULISTA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A  
ANÁLISE DE VOÇOROCAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG).

Orientadora: Profa. Dra. Cenira Maria  
Lupinacci

Coorientador: Prof. Dr. Fabiano Tomazini da  
Conceição

Rio Claro - SP  
2024

S816d

Stefanuto, Estêvão Botura

Degradação dos solos por processos erosivos na faixa de transição Cuesta-Depressão Periférica Paulista : uma contribuição para a análise de voçorocas / Estêvão Botura Stefanuto. -- Rio Claro, 2024  
155 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientadora: Cenira Maria Lupinacci

Coorientador: Fabiano Tomazini da Conceição

1. Sistema erosivos. 2. Diagnóstico erosivo. 3. Monitoramento de voçorocas. 4. Intervenções humanas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“Júlio de Mesquita Filho”  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Câmpus de Rio Claro

ESTÊVÃO BOTURA STEFANUTO

DEGRADAÇÃO DOS SOLOS POR PROCESSOS EROSIVOS NA  
FAIXA DE TRANSIÇÃO CUESTA-DEPRESSÃO PERIFÉRICA  
PAULISTA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A ANÁLISE DE  
VOÇOROCAS

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG).

Comissão Examinadora

Profª. Dra. CENIRA MARIA LUPINACCI  
IGCE / UNESP/ Rio Claro (SP)

Prof. Dr. DANILO MARQUES DE MAGALHÃES  
IGCE / UNESP / Rio Claro (SP)

Profª. Dra. MELINA FUSHIMI  
IGCE / UNESP / Rio Claro (SP)

Prof. Dr. ARCHIMEDES PEREZ FILHO  
IG / UNICAMP / Campinas (SP)

Profª. Dra. REGINA CÉLIA DE OLIVEIRA  
IG / UNICAMP / Campinas (SP)

Conceito: Aprovado

Rio Claro (SP), 04 de julho de 2024.

## AGRADECIMENTOS

À amada Daiane, companheira de todos os momentos e incentivadora dos meus sonhos;

À professora Cenira Maria Lupinacci, pela orientação desta pesquisa e pelo exemplo de atuação docente;

Aos meus pais, Jamil e Marlí, e meu irmão, Tiago, por sempre apoiarem, de forma lúcida, minhas buscas;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001;

Aos (as) amigos (as) de geografia, Bruno Riani, Danielle Nogueira, Gabriel Sobreira, José Renato Ribeiro, José Vitor Rossi, Higor Bonzanini, Leandro di Genova, Luís Paulo Ourique, Rafael Pinheiro, Rafaela Vilella, Rafella Aguiar, Thamiris Slarzon e Vinícius Moreira, pelos aprimoramentos científicos e momentos vividos;

Aos funcionários do Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental (DGPA), Ana Carolina, Bira, Cássia, Gilberto, Márcia, Nice, Tiago e Suely, pelo ótimo convívio diário e por me auxiliarem no desenvolvimento desta pesquisa;

Aos (as) professores (as), Danilo Marques de Magalhães, Melina Fushimi, Archimedes Perez Filho e Regina Célia de Oliveira, por avaliarem esta tese;

Aos professores Fabiano Tomazini da Conceição e Guillermo Navarro, pelas orientações e trocas científicas;

À senhora Claudimara Tomazella e aos senhores Carlos Augusto Tomazella e Luenes Kelly Cabral, por permitirem o acesso a área de estudo em Corumbataí;

Aos integrantes do Projeto Nascentes Analândia, em especial Leandro Santarpio, pelo suporte e acesso à área de estudo em Analândia.

## RESUMO

A população mundial apresenta tendência de crescimento até 2100, podendo atingir cerca de 10,3 bilhões de habitantes (ONU, 2022). Em contraponto, os levantamentos sobre erosão dos solos no globo apontam para 33% dos mesmos como degradados (FAO, 2015). Desta forma, nos próximos 76 anos haverá um aumento de demanda (10,3 bilhões de pessoas em 2100) consorciado a uma degradação com taxas, atualmente, elevadas (33%). Frente a este cenário, objetiva-se com a pesquisa desenvolver procedimentos metodológicos que permitam monitorar e diagnosticar a evolução dos taludes erosivos de voçorocas. Para isso, foram selecionados dois sistemas erosivos localizados em Corumbataí (SP) e Analândia (SP). Para atingir o objetivo proposto desenvolveu-se a uma metodologia ampla e integrada, delimitada pelo monitoramento erosivo a partir de estaqueamentos; acompanhamento do uso e cobertura da terra; formulação de produtos morfométricos, como as cartas de Declividade e de Fluxo Acumulado de Superfície; dados pluviométricos; levantamento das características físicas dos solos (granulometria, resistência do solo à penetração e taxa média de infiltração) e datação de sedimentos fluviais por chumbo-210. Desta forma, um primeiro resultado de destaque foi o comportamento dos taludes erosivos, com momentos de perda e expansão de material, sendo expansão caracterizada pelo aumento da distância entre a estaca de monitoramento e o ponto de leitura, fruto da dinâmica de solapamento e de gramíneas que recobrem os taludes erosivos. Outro conjunto de dados interessante foi a resposta das voçorocas à algumas intervenções humanas, principalmente relacionadas ao uso da terra e às vias de acesso sem pavimentação, sendo que em Corumbataí, após a retirada do gado da área de estudo a média de perda de material reduziu em 55%; já em Analândia, verificou-se o carreamento de fluxo superficial de uma estrada para o sistema erosivo, o qual, de acordo com a Carta de Fluxo Acumulado de Superfície, contribuiu para a evolução do setor de cabaceira. Ainda, os principais pontos de perda de material em Corumbataí e em Analândia apontaram que vale atenção à taludes erosivos com alta concentração de areia fina, alta resistência dos solos à penetração durante o período úmido em superfície, e alternância da resistência das camadas durante o período seco, sendo a superior com menor resistência e a inferior mais resistente. Por fim, as datações por Chumbo-210 indicaram taxas de sedimentação e deposição mais significativas quanto maior a proximidade com o *front* da *cuesta*.

**Palavras-chave:** sistema erosivos, diagnóstico erosivo, monitoramento de voçorocas; intervenções humanas.

## **ABSTRACT**

The world population could reach 10.3 billion inhabitants by 2100 (UN, 2022). Surveys on soil erosion around the world indicate that 33% of soils are degraded (FAO, 2015). Over the next 76 years there will be an increase in demand (10.3 billion people in 2100) combined with high rates of degradation (33%). Given this scenario, the research aims to develop methodological procedures that allow monitoring and diagnosing the evolution of sidewall gullies. For this purpose, erosion systems located in Corumbataí (SP) and Analândia (SP) were selected. The proposed methodology consists of erosion monitoring from staking; monitoring of land use and coverage; formulation of morphometric products, such as Slope map and Flow Accumulation map; rainfall data; survey of soil physical characteristics (size soil, soil resistance to penetration and average infiltration rate) and dating of river sediments by  $^{210}\text{Pb}$ . In this way, sidewall present moments of loss and expansion of material, with specific expansion due to the increase in the distance between the monitoring station and the reading point, because of the dynamics of undermining and grasses that recover the sidewalls. Another interesting set of data was the response of gullies to some human interventions, mainly related to land use and unpaved access roads. In Corumbataí, after the removal of cattle from the study area, the average loss of material decreased by 55%. In Analândia, flow accumulation from a road was carried to the erosion system, which contributed to the evolution of the gully sector. Furthermore, the main points of material loss in Corumbataí and Analândia indicated that attention should be paid to sidewall with a high concentration of fine sand, high soil resistance to penetration during the wet period on the surface, and alternating layer resistance during the dry period. Finally,  $^{210}\text{Pb}$  dating indicated more significant sedimentation and deposition rates the closer the proximity to the cuesta front.

**Keywords:** erosion system, erosion diagnosis, gully monitoring; human interventions.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Identificação da área de estudo em Corumbataí .....	30
Figura 2 - Identificação da área de estudo em Analândia.....	33
Figura 3 - Estacas sendo instaladas no setor de monitoramento em Analândia em maio de 2020. ....	35
Figura 4 - Parâmetros utilizados para a instalação das estacas e para a leitura da dinâmica evolutiva dos taludes erosivos. ....	37
Figura 5 - Identificação de estação meteorológica com boa correspondência espacial com a área de estudo em Corumbataí a partir do método Thiessen.....	47
Figura 6 - Fluxo grama metodológico. ....	58
Figura 7 - Caracterização do sistema erosivo monitorado. ....	60
Figura 8 - Tipos de solapamento .....	61
Figura 9 - Setores do talude erosivo e suas respectivas dinâmicas. A média total de perda de material durante o período total analisado foi 0,45 metros. ....	63
Figura 10 - Franja de grama sobre os pontos de leitura em agosto de 2021. ....	65
Figura 11 - Setores do talude erosivo e suas respectivas dinâmicas. A média total de perda de material durante o período analisado foi 0,62 metros. ....	66
Figura 12 - Variações na cobertura do setor de reflorestamento em campo e localização do sistema erosivo na vertente.....	68
Figura 13 - Talude erosivo localizado no Setor A e as respectivas frações granulométrica por ponto amostral. ....	71
Figura 14 - Taludes erosivos localizados nos setores B e C e as respectivas frações granulométrica por ponto amostral.....	72
Figura 15 - Resistência do solo à penetração no setor A por ponto amostral.....	74
Figura 16 - Resistência do solo à penetração nos setores B e C por ponto amostral. ....	75
Figura 17 - Taxa Média de Infiltração no setor A. ....	77
Figura 18 - Taxa Média de Infiltração nos Setores B e C. ....	77
Figura 19 - Frações granulométrica da sub-bacia de análise em Corumbataí. ....	79
Figura 20 - Resistência do solo à penetração da sub-bacia de análise em Corumbataí.....	81
Figura 21 - Taxa média de infiltração da sub-bacia de análise em Corumbataí.....	82
Figura 22 - Fração granulométrica por ponto amostral. ....	84
Figura 23 - Resistência do solo à penetração por ponto amostral. ....	86
Figura 24 - Taxa Média de Infiltração.....	87

Figura 25 - Frações granulométrica da sub-bacia de análise em Analândia. ....	88
Figura 26 - Resistência do solo à penetração da sub-bacia de análise em Analândia. ....	90
Figura 27 - Taxa média de infiltração da sub-bacia de análise em Analândia. ....	91
Figura 28 - Carta de declividade de Corumbataí.....	93
Figura 29 - Carta de fluxo acumulado de superfície de Corumbataí.....	96
Figura 30 - Carta de declividade de Analândia. ....	97
Figura 31 - Carta de fluxo acumulado de superfície de Analândia. ....	99
Figura 32 - Vertedouro e fluxo de água superficial.....	100
Figura 33 - Histórico da cobertura do solo no setor A. ....	108
Figura 34 - Histórico da cobertura do solo nos setores B e C. ....	109
Figura 35 - Histórico da cobertura do solo no setor de monitoramento em Analândia.....	112

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de monitoramento do talude erosivo da voçoroca localizada em Corumbataí. .....	62
Tabela 2 - Dados de monitoramento do talude erosivo da voçoroca localizada em Analândia. .....	67
Tabela 3 - Dados pluviométricos de Corumbataí .....	101
Tabela 4 - Dados pluviométricos de Analândia.....	104
Tabela 5 - Características e comportamentos físicos dos materiais com valores extremos nos contextos das áreas de estudo. ....	118
Tabela 6 - Número de repetições de um dado extremo por variável e por característica do dado (alta ou baixa ocorrência). ....	120

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
3.1 Erosão dos solos e elementos de interação .....	17
3.2 Conceito de voçoroca.....	23
<b>4. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....</b>	<b>27</b>
4.1. Caraterização da ocupação agrícola histórica da bacia hidrográfica do Rio Corumbataí .....	27
4.2. Caracterização da bacia de um afluente do Ribeirão da Boa Vista - Corumbataí (SP) .	27
4.3. Caracterização da bacia do afluente do Córrego Santa Terezinha – Analândia (SP) ...	31
<b>5. METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
5.1. Monitoramento do talude erosivo .....	35
5.2. Imageamento a partir de Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT e processamento dos ortomosaicos .....	38
5.2.1. Imageamento e processamento das imagens dos setores de monitoramento erosivo .....	38
5.2.2. Imageamento e processamento das imagens das sub-bacias.....	39
5.2.2.1. Alinhamento e georreferenciamento das fotografias.....	40
5.2.2.2 Formulação dos modelos digitais de elevação (MDE), das curvas de nível e dos ortomosaicos.....	41
5.2.3 Coleta de pontos a partir do GNSS RTK e correção das coordenadas via IBGE-PPP .....	42
5.3 Cartas morfométricas .....	44
5.3.1 Carta de declividade .....	44
5. 3. 2. Carta de fluxo acumulado de superfície .....	46
5.4. Dados pluviométricos .....	47
5.5. Características físicas dos solos .....	48
5.5.1 Taxa de infiltração.....	48
5.5.2 Resistência do solo à penetração .....	50
5.5.3 Análise granulométrica .....	51
5.5.4 Análise dos dados das características físicas dos solos.....	53
5.6 Geoespacialização das características físicas dos solos.....	53
5.6.1 Geoespacialização das características físicas dos solos das sub-bacias.....	54
5.6.2 Geoespacialização das características físicas dos solos dos setores de monitoramento erosivo.....	55
5.7 Datação por Pb <sup>210</sup> .....	56
5.8 Proposta de modelo diagnóstico para taludes erosivos de voçorocas.....	57

<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>59</b>
6.1. Análise da evolução dos taludes erosivos das voçorocas. ....	59
6.1.1 Corumbataí .....	59
6.1.2. Analândia .....	65
6.2 Análise das características e dos comportamentos físicos dos materiais.....	69
6.2.1 Corumbataí .....	69
6.2.1.1 Setor erosivo .....	69
6.2.1.2 Sub-bacia .....	78
6.2.2. Analândia .....	83
6.2.2.1 Setor erosivo .....	83
6.2.2.2 Sub-bacia .....	87
6. 3. Análise das características morfométricas do relevo e sua contribuição para o desenvolvimento de voçorocas .....	91
6.3.1. Corumbataí .....	91
6.3.2. Analândia .....	97
6. 4. Análise da interação entre eventos de chuva e a evolução de voçorocas .....	100
6.4.1 Corumbataí .....	100
6.4.2 Analândia .....	103
6. 5. Avaliação das condições do uso e cobertura da terra e sua interação com as voçorocas monitoradas.....	106
6.5.1 Corumbataí.....	106
6.5.2 Analândia .....	111
6.6. Análise da dinâmica erosiva dos compartimentos geomorfológicos a partir da datação por Chumbo-210. ....	113
6.7. Análise integrada da dinâmica erosiva das voçorocas de Analândia e de Corumbataí	116
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>123</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO A – Relatórios do Processamento do Ponto Preciso (PPP).....</b>	<b>138</b>
<b>ANEXO B – Dados Brutos de Infiltração.....</b>	<b>148</b>
<b>ANEXO C – Dados Brutos de Resistência do Solo à Penetração .....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXO D – Dados Brutos de Granulometria.....</b>	<b>152</b>

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com o estudo “*World Population Prospects 2022*” desenvolvido pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2022), a população mundial continuará crescendo até 2100, aumentando de um número estimado de 7,9 bilhões de pessoas (2022), para 9,7 bilhões (2050), chegando à cerca de 10,3 bilhões (2100). A projeção tenciona distintas esferas naturais e sociais, dentre estas a produção de alimentos e, conseqüentemente, a preservação dos solos. Em complemento, os dados do relatório de solos da *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2015) indicam que a erosão dos solos globais pela água das chuvas ocorre a taxas que variam entre 20 e 30 Gt ano<sup>-1</sup> e que 33% dos solos do mundo estão degradados. Tais dados soam como um alerta, pois nos próximos 76 anos haverá um aumento de demanda (10,9 bilhões de pessoas em 2100) consorciado à uma degradação com taxas, atualmente, elevadas (33%).

Neste sentido, visando discutir a erosão dos solos no campo da ciência geográfica, as voçorocas ganham destaque como um importante agente modificador da paisagem. Entende-se paisagem como um conjunto de componentes naturais e antrópicos que interagem em diversas escalas temporais e/ou espaciais, constituindo o binômio inseparável sociedade-natureza (Rodríguez *et al.*, 1995). Neste contexto, as feições erosivas, dentre estas as voçorocas, podem se constituir em uma chave interpretativa de alguns elementos do referido binômio, uma vez que são fruto de interações naturais (Guerra; Guerra, 2010) e/ou da ação humana/antrópica (Nir, 1983).

Tal interação, caracteriza sistemas em voçorocamento como complexos (Murray *et al.*, 2009), devido a condições multicausais e não coincidente atuantes em sua dinâmica, as quais apresentam variações nas dimensões temporais e espaciais (Castillo; Gómez, 2016). A referida afirmação, pode ser ratificada pelos dados apresentados por Poesen *et al.* (2003), que ao analisarem a produção de sedimentos a partir da erosão hídrica em diferentes partes do mundo, identificaram que as voçorocas podem contribuir de 10% a 94% do total de sedimento, atestando uma diversidade que, conforme apontado por Castillo e Gómez (2016), permite a emissão de respostas múltiplas. Tal fato, exige uma série de metodologias para medição, monitoramento e análise de fenômenos erosivos classificados como voçorocas (Castillo; Gómez, 2016).

Desta forma, algumas pesquisas estreitam a relação de ocorrência e evolução desta feição erosiva com o uso e a cobertura da terra, destacando a retirada de vegetação nativa e a conversão dos terrenos em áreas agrícolas como fator determinante (Tebedu *et al.* 2010). Práticas rurais, como a pecuária, quando desempenhadas de forma contínua e excessiva, atuam como um elemento forçante, ocasionando a perversão de atributos físicos do terreno e acelerando a dinâmica de processos erosivos, podendo originar as voçorocas (Zanatta *et al.*, 2019). Setores de sobrepastoreio antigos (150 anos) podem ainda se associar a rotas de passagem (Boardman, 2014), situação que intensifica a degradação do solo, ocasionando caminhos preferenciais para os fluxos superficiais.

Também, as estradas rurais (sem pavimentação) podem contribuir para o processo de voçorocamento. As voçorocas, em sua maioria, iniciam nas próprias estradas ou em suas margens inferiores (considerando o sentido de caimento da vertente) e adentram em setores vizinhos, mesmo quando bem vegetados (mata) (Bezerra *et al.*, 2020). Cabe também atenção aos pontos de intersecção entre estradas e terraços agrícolas, pois, de acordo com Bezerra *et al.* (2020), em pesquisa aplicada às bacias hidrográficas afluentes do córrego Barro Frio (Piracicaba - SP), ao longo de 104 intersecções, 38 destas (37%) são coincidentes com feições erosivas. Nestes setores, o fluxo concentrado proveniente do volume de água acumulado ao longo da calha do terraço agrícola, contribui, a partir do extravasamento e escoamento pelas laterais, para formação de feições erosivas como as voçorocas.

Em áreas degradadas, o escoamento superficial se evidencia consideravelmente superior em relação a setores, por exemplo, bem vegetados. Com isso, perante eventos pluviométricos com volumes elevados (ex. 100 mm), fluxos significativos são identificados no canal das voçorocas (Boardman, 2014), apresentando alto potencial para dinamizar a evolução dos taludes erosivos. Desta forma, analisar a relação entre chuva e voçorocas constitui-se em um elemento de importância, sendo possível categorizar a ação das chuvas em eventos únicos e eventos múltiplos ou estendidos (Anderson *et al.*, 2021).

Os eventos únicos são associados a chuvas de alta intensidade, as quais apresentam volume de água elevado em um curto período. Durante esses eventos cabe atenção aos fluxos concentrados, que dinamizam a evolução de voçorocas (Anderson *et al.*, 2021) a partir de processos como a retirada de material do sopé do talude erosivo (formação das alcovas), ocasionando ambiente propício ao fendilhamento e ao solapamento do material (Wells *et al.*, 2013). O solapamento pode ainda ser classificado por quedas de blocos por cisalhamento

(*shearing failure*), tombamento (*toppling failure*) e/ou stress (*stress failure*) (Wang *et al.*, 2016).

Já para Karimov *et al.* (2015), em estudo aplicado à área agrícola, as voçorocas apresentam evolução da cabeceira significativa quando são registrados eventos pluviométricos em solos saturados por chuvas antecedentes, fato corroborado por Wells *et al.* (2013), que destacam os solos dos taludes erosivos em condições de saturamento, fato que aumenta o peso do material e, a partir da atuação da erosão no sopé, pode desencadear o solapamento de maneira proeminente. Em contraponto, outros autores destacam o período seco, chamando a atenção para solos argilosos, nos quais pode ocorrer a formação de gretas e fendas de ressecamento que facilitam a evolução erosiva do talude nas primeiras chuvas do período úmido (Mendes, 1993).

Assim, apesar das voçorocas se constituírem em um objeto de pesquisa com anos de análise (Rubey, 1928), *gaps* científicos ainda persistem. Com isso, Castillo e Gómez (2016) apontam para a necessidade de estudos que forneçam dados de longo prazo e com alta frequência de levantamentos, para aumentar a confiabilidade dos resultados, já que os dados tendem a ser amplamente variáveis. Já Dube *et al.* (2020), afirmam que dados recorrentes na bibliografia sobre voçorocas ainda precisam de ajustes e aprofundamentos em relação aos impactos do clima, da topografia, do uso da terra e/ou mudança de uso da terra e da mineralogia dos solos. Ainda, os autores destacam a necessidade de mais informações sobre as estações secas, abordando sua duração e as quantidades máximas de chuva e/ou sua intensidade.

Desta forma, compreende-se que frente a uma problemática complexa, faz-se necessária uma metodologia de análise robusta, que integre diferentes metodologias. Com isso, tem-se como hipótese de pesquisa que através da investigação das variáveis físicas dos solos (Silva, 1999; Castro, 2005; Vaz *et al.*, 2011); dos dados pluviométricos (Shen *et al.*, 2016), morfométricos (Mahmoodabadi; Sajjadi, 2016; Zhang *et al.*, 2019); de uso e cobertura da terra (Couto Júnior *et al.*, 2019; Chu *et al.*, 2019); e das taxas de sedimentação (Lupinacci, *et al.*, 2022), é possível identificar as condições que propiciam maior ou menor evolução dos taludes erosivos de voçorocas em ambientes quentes e úmidos.

Neste sentido, por evidenciar suscetibilidade a processos degradacionais, como a erosão (Kertzman *et al.*, 1995), a zona de transição *Cuesta-Depressão Periférica Paulista* merece atenção em relação a sustentabilidade dos solos. Feições erosivas são identificadas em distintas localidades das referidas unidades geomorfológicas, como em Botucatu (Bonzanini;

Lupinacci, 2022); Corumbataí (Silva *et al.* 2022); Ipeúna (Souza *et al.*, 2020), Itirapina (Lupinacci; Souza, 2019) e São Pedro (Perez Filho *et al.*, 2021).

Para isso, foram selecionadas duas bacias hidrográficas contidas nos terrenos de transição supracitados, estando estas localizadas nos municípios de Analândia (SP) e Corumbataí (SP). Como elemento de destaque, Analândia apresenta um *front* desdobrado com a presença de morros testemunhos, estando à bacia hidrográfica, que se constitui em um afluente do Córrego Santa Terezinha, sustentada por cinco formações geológicas e submetida ao uso majoritário para pastagens desde 1962 (Stefanuto, 2019). Ainda, o setor de voçorocamento analisado foi cercado e vegetado na terceira semana de janeiro de 2020, atividade proveniente de ações para preservação de nascentes, desenvolvidas pela Unidade Gestora do Projeto Nascentes Analândia (UGP-Nascentes Analândia), integrante do Comitê das Bacias PCJ; sendo este um destaque interessante, uma vez que se torna possível analisar o comportamento erosivo durante o desenvolvimento das espécies implementadas.

Já Corumbataí exhibe *front* simples, estando à bacia hidrográfica, formada por afluentes do córrego Boa Vista, mais afastada do *front* em relação à anterior, fato que permite analisar a dinâmica de sopé. O setor apresenta contato litológico entre as formações Pirambóia e Corumbataí, estando a voçoroca a ser estudada localizada no médio curso de um conjunto de canais de primeira ordem, os quais apresentam mata de cabeceira, áreas de pastagem no entorno e pacotes de sedimentos fluviais extensos.

## **2. OBJETIVOS**

Objetiva-se com essa pesquisa desenvolver procedimentos metodológicos que permitam monitorar e diagnosticar a evolução de voçorocas.

Ainda, têm-se como objetivos específicos:

I - Analisar a evolução de taludes erosivos de voçorocas localizados no contato Cuestas– Depressão Periférica Paulista;

II - Reconhecer as características e os comportamentos físicos dos materiais, as características morfométricas do relevo, e a interação entre os eventos de chuva que influenciam a evolução de voçorocas;

III - Verificar as condições do uso e cobertura da terra e sua interação com voçorocas;

IV - Avaliar os materiais que estão sendo erodidos, datando aqueles que se constituem em alúvios, analisando comparativamente a dinâmica erosiva dos setores pesquisados.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A presente seção foi organizada em dois subitens, sendo o primeiro uma revisão geral de variáveis que interagem com processos erosivos e o segundo uma revisão sobre o conceito de voçoroca.

#### 3.1 Erosão dos solos e elementos de interação

De acordo com Goudie (2004), a *cueta* constitui-se em um relevo assimétrico, com declive frontal íngreme e posterior suavemente inclinado. Devido a inclinação e a variação litológica, os setores de *cueta* são moldados por diferentes processos, sendo o *front* demarcado por movimentos de massa e processo erosivos que desencadeiam a formação de ravinas e de voçorocas. Quando submetida à climas quentes e úmidos, a evolução da *cueta* pode se associar a ação de drenagens através da erosão remontante de cabeceira, atividade erosiva que permite a formação de anfiteatros de erosão, os quais contribuem para outros processos denudativos como o solapamento (Penteado, 1976). Tais processos não são aleatórios e podem atuar de forma preferencial, devido à controles estruturais provenientes de falhamentos. Estes setores friáveis podem ainda estar relacionados às atividades neotectônicas (Facincani, 2000; Pinheiro; Queiroz neto, 2015) e ocorrerem de forma ampla a partir de campos de “stress regional” (Pinheiro *et al.*, 2019, p.7).

De acordo com Facincani (2000), em estudo realizado nas adjacências de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba (SP), ou seja, em um setor de interação entre o reverso, o *front cuetiforme* e a depressão periférica, dois eventos tectônicos são relevantes para o entendimento evolutivo do setor, sendo o mais antigo marcado por uma tectônica distensiva e o mais recente (neotectônico) por uma tectônica transcorrente. Os mesmos são evidenciados no relevo por feições morfoestruturais, como as voçorocas e as facetas trapezoidais e triangulares, e na drenagem, por vales suspensos e assimetrias (Facincani, 2000).

A partir dos processos denudativos, acumulam-se colúvios no sopé das escarpas, formando uma superfície inclinada denominada de tálus (Fisher, 1866). Tal superfície pode ser submetida a nova dinâmica erosiva, fazendo com que os materiais transportados pelos cursos hídricos, contribuam para formação de acumulações de planície e de terraços. Esta dinâmica não é estranha quando se analisa, por exemplo, o setor *cuetiforme* contido no estado de São Paulo, sendo as referidas feições identificadas em distintas localidades, como:

Botucatu (Bonzanini; Lupinacci, 2022); Corumbataí (Silva *et al.* 2022); Ipeúna (Souza *et al.*, 2020), Itirapina (Lupinacci; Souza, 2019) e São Pedro (Perez Filho *et al.*, 2021).

Sobre os referidos colúvios ou alúvios antigos, se desenvolvem processos erosivos lineares que dão origem a voçorocas, conforme constataram Pinton (2016) em Analândia (SP) e Mathias (2016) em São Pedro (SP). Em tais áreas a intervenção humana atua de forma enfática, de acordo com os trabalhos de Stefanuto e Lupinacci (2019) em Analândia (SP), de Corrêa (2016) em Ipeúna (SP) e Andrade *et al.* (2019) em Botucatu (SP). Alguns destes setores são destinados ao uso agrícola e a pecuária (Corrêa, 2016; Stefanuto; Lupinacci, 2019), práticas que apresentam inúmeros impactos aos solos e aos materiais (Guerra; Marçal, 2009), sendo estes potencializados a partir da aplicação de técnicas conservacionistas inadequadas (Casanelas *et al.*, 2003; Corrêa, 2016; Deuschle *et al.*, 2019).

As ações humanas interagem de forma dinâmica com as variáveis físicas e estruturais dos materiais de superfície, elementos que, a depender de suas características, corroboram com a erosão dos solos (Mafra, 1999; Bertol; Almeida, 2000; Vaz *et al.*, 2011; Mahmoodabadi; Sajjadi, 2016; Babaei *et al.*, 2018). Desta forma, diversos estudos buscam compreender a complexidade engendrada nos processos erosivos, discutindo e apresentando um conjunto de variáveis que fomentam o diagnóstico de ambientes com feições erosivas, sendo parte destas pesquisas apresentadas a seguir.

Para o entendimento da dinâmica de feições erosivas lineares, é importante avaliar aspectos clássicos, como a estrutura física dos solos e dos materiais. Neste sentido, Mafra (1999) afirma que a granulometria constitui-se em uma variável de grande importância na análise da vulnerabilidade à erosão, uma vez que influencia diversos comportamentos como, por exemplo, a resistência do solo à penetração (Vaz *et al.*, 2011; Bryk, 2018) e a capacidade de infiltração (Silva, 1999; Bertoni; Lombardi neto, 2012; Li *et al.*, 2018), sendo estas variáveis importantes na análise de processo erosivos (Bayat *et al.* 2017; Rossi *et al.*, 2018).

A resistência do solo à penetração apresenta, normalmente, correlações proporcionais em relação a granulometria, uma vez que o aumento do teor de silte e argila pode se relacionar com a elevação da compactação (Bryk, 2018), enquanto a redução da compactação, interage com ao aumento das frações de areia (Mathias, 2016). Já em relação ao teor de umidade do solo, podem ocorrer correlações inversamente proporcionais (Imhoff *et al.*, 2000; Vaz *et al.*, 2011).

Também a infiltração apresentará relação com a composição dos solos, visto que, teoricamente, arenosos, normalmente, apresentarão taxas de infiltração elevadas (Silva, 1999; Bertoni; Lombardi Neto, 2012; Mathias, 2016) e setores com solos argilosos, taxas de infiltração reduzidas (Fendrich *et al.*, 1997; Bertoni; Lombardi Neto, 2012).

Para além das características de resistência e de infiltração, Castro (2005) destaca a importância de considerar a atuação de fluxos de subsuperfície no desenvolvimento de feições erosivas. De acordo com a autora, quando se analisam setores, por exemplo, de vertentes destinadas a pastagens, a instalação de fenômenos erosivos associados a processos como o *piping* em zonas de fraqueza podem ocorrer, dada a rápida alimentação do nível freático, sendo que tal fato, segundo Suertegaray (2011), pode contribuir para formação de feições erosivas como as voçorocas. Ainda, se o nível freático for raso, este pode ser interceptado por fluxos superficiais concentrados, facilitando a descompressão e liberação do freático, o que aumenta o gradiente hidráulico e favorece a remoção de material e o estabelecimento de fluxos rápidos com alto poder erosivo (Castro, 2005).

Os fluxos de subsuperfície não são uniformes, uma vez que os solos podem apresentar diferenças laterais marcadas por variações texturais, as quais decorrem de possíveis alternâncias no funcionamento hídrico da vertente, formando feições caracterizadas pela perda de matéria (Villela *et al.*, 2018). Tal fato também é atestado por Castro *et al.* (2018) em São Pedro (SP), ao identificarem contrastes de textura e de umidade entre os horizontes, presença de bolsões arenosos e trechos da vertente de maior ou menor estagnação dos fluxos de água. Tais condições podem desencadear rotas preferenciais para o escoamento em subsuperfície.

Portanto, a resistência do solo, a infiltração e os processos de subsuperfície ganham importância quando se tratam de áreas do globo sob o domínio climático quente e úmido, uma vez que tais setores apresentam totais pluviométricos elevados e chuvas concentradas em determinadas épocas do ano (Lal, 1990), características que, em solos com alta resistência e capacidade de infiltração reduzida, potencializarão a ação denudativa dos eventos pluviais através de fluxos superficiais, e, em solos com maior infiltração, o abastecimento do nível freático, que pode desencadear processos de subsuperfície como o *piping*.

A energia potencial erosiva dos fluxos superficiais e subsuperficiais será variável de acordo com a intensidade e o volume de chuvas, a declividade, a cobertura do terreno e a ação antrópica (Mahmoodabadi; Sajjadi, 2016; Shen, *et al.*, 2016; Mathias; Nunes, 2019; Shin *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2019). Neste sentido, Mathias e Nunes (2019) analisaram como a ação

antrópica garantiu a contenção dos fluxos superficiais, mas dinamizou a atuação da água em subsuperfície. De acordo com os autores, em uma análise dos processos subsuperficiais, identificou-se, em um primeiro momento, que os terraços em nível, construídos a montante de uma voçoroca de cabeceira, garantiram uma efetiva retenção do escoamento superficial, no entanto, a partir do acúmulo das águas, uma redinamização dos processos erosivos foi desencadeada mediante a percolação e formação de fluxos de escoamento subsuperficiais, caracterizados pela ação do *piping*.

Já em relação aos fluxos de superfície, forma-se uma discussão complexa, uma vez que para alguns autores o uso da terra é preponderante para o potencial erosivo dos fluxos de superfície; já para outro conjunto, o potencial irá variar de acordo com a inclinação do terreno e a intensidade das chuvas.

Para Shin *et al.* (2019), por exemplo, o dossel vegetal apresenta uma relação intrínseca com o processo de escoamento superficial, uma vez que dosséis densos reduzem a energia potencial do escoamento, podendo prevalecer, nestes casos, processos como a infiltração. Já a partir da redução da densidade do dossel, a energia potencial do escoamento superficial ganha força, independentemente da intensidade do evento chuvoso.

Segundo Mahmoodabadi e Sajjadi (2016), a intensidade da chuva será relevante no destacamento (por *splash*) e transporte de materiais (por *runoff*), no entanto, a eficácia do segundo processo estará diretamente relacionada à inclinação do terreno (Mahmoodabadi; Sajjadi, 2016). Também Zhang *et al.* (2019) afirmam que a inclinação do terreno tem relação direta com a erosão laminar, confirmando, em parcelas que variam sua inclinação de 0 ° a 25 °, um aumento gradual na perda de material a partir da crescente inclinação; sendo que a partir de 20° a situação se torna crítica e requer atenção ao uso da terra.

Já Shen *et al.* (2016) constataram mudanças na taxa de perda de material a partir da intensidade da chuva e mudanças na inclinação do terreno. A relação entre a intensidade da chuva (intensidade: 50 mm h<sup>-1</sup>, 75 mm h<sup>-1</sup> e 100 mm h<sup>-1</sup>) e perda de solo através do escoamento superficial, apresentou correlação positiva; no entanto, de acordo com a inclinação (inclinação de 10°, 15° e 20°), registrou-se um aumento significativo na erosão laminar em 10° e 15° (de 7,4 para 13,2 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> sob intensidade de chuva de 50 mm h<sup>-1</sup>), sendo que comparando os valores de 15° e 20° as taxas de erosão permaneceram altas, mas com aumento pouco significativo (de 13,2 para 14,4 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> sob intensidade de chuva 50 mm h<sup>-1</sup>) (Shen *et al.*, 2016).

Desta forma, confirma-se também que a inclinação do terreno é um fator de complexidade na análise, uma vez que, alguns autores destacam os terrenos com mais de 20° de inclinação como críticos para o desenvolvimento de práticas agrícolas (Zhang *et al.*, 2019), sendo que outros identificam um aumento menos significativo entre declive e perda de material por escoamento laminar a partir de 15° de inclinação (Shen *et al.*, 2016).

Os diferentes materiais que compõe um respectivo setor de análise, assim como seus elementos físicos, podem estar submetidos a um determinado uso e cobertura da terra, o qual poderá transformar tais elementos. Assim, confirma-se a importância em mensurar e analisar a interação dos materiais e suas características com uso e cobertura da terra para a compreensão do desenvolvimento de processos erosivos (Chu *et al.*, 2019; Couto Júnior *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2019).

Neste sentido, Chu *et al.* (2019), ao analisarem a ocorrência de processos erosivos em uma área submetida ao plantio de eucalipto no sul da China, identificaram uma diferenciação nos processos de perda de material e nutrientes entre algumas parcelas. Na gleba submetida a um plantio tradicional de eucaliptos (área de controle) identificaram-se os maiores fluxos de superfície. Já em outras duas parcelas de plantio misto, a primeira com a presença de eucaliptos e espécies de árvores nativas de folha larga e a segunda com 60% a menos de exemplares de eucalipto e a presença de árvores nativas de folha larga, identificaram-se menores fluxos de superfície em relação à parcela controle, sendo que a primeira reduziu a produção de sedimentos em até 32% e a segunda em até 55%.

Já Li *et al.* (2019), em áreas submetidas a pastagens voltadas para pecuária, buscaram compreender a relação entre o pastoreio de gado, as mudanças climáticas e a erosão do solo. Desta forma, os autores constataram uma maior taxa de redistribuição do solo correlacionada, significativamente, com o aumento do pastoreio, mas não com os dados de mudanças climáticas da região (precipitação e temperatura). Ainda, de acordo com o estudo, identificou-se uma erosão acelerada no setor, principalmente nos últimos 50 anos, fato que sugere que o aumento do pastoreio de animais desempenhou papel fundamental na erosão acelerada do solo.

Por fim, Couto Júnior *et al.* (2019) afirmam que em um cenário com expansão contínua da cultura de cana-de-açúcar, as taxas de perda de solo podem aumentar em até 370 vezes em relação ao cenário pretérito. Os autores constatam que 57% da área de estudo apresentou valores de perda de solo acima dos limites de erosão toleráveis, cabendo uma

maior atenção para o período úmido, no qual se concentrou 90% do total de sólidos transportados pelo rio no ano de 2014. Assim, os autores concluem que a atuação humana vem acelerando os processos naturais de remoção do solo e, conseqüentemente, mudando a evolução da paisagem.

Com isso, mensurar as mudanças de uso e cobertura da terra relacionadas as atividades agrícolas constituem-se em elemento importante para a análise da interferência humana na paisagem, principalmente naquelas marcadas pela erosão. A análise das taxas de sedimentação fluvial em bacias hidrográficas constitui-se em um caminho para a verificação de tal dinâmica (Lupinacci *et al.*, 2022). Assim, o método de datação por Chumbo-210 apresenta relevância para o desenvolvimento de geocronologias para o estudo de mudanças ambientais no Quaternário Superior e é comumente utilizado para produzir modelos de idade de sedimentos recentes (últimos 150 anos) (Mustaphi *et al.*, 2019).

De acordo com Bowen *et al.* (2019) em análise da sedimentação em *playas* localizadas em High Plains, oeste do Kansas, por datação de Pb<sup>210</sup>, as taxas de sedimentação nos últimos ~100–175 anos indicam um claro impacto antrópico na acumulação de sedimentos, uma vez que estas estão inseridas em bacias hidrográficas dominadas por terras agrícolas e acumulam sedimentos 2 a 10 vezes mais rapidamente do que as taxas naturais de sedimentação a longo prazo.

Também Broce *et al.* (2022) obtiveram resultados satisfatórios de sedimentação nos últimos >159 anos a partir de datação por Pb<sup>210</sup> em sedimentos marinhos recentes da região do Pacífico no Panamá (Ilha de Coiba). De acordo com os autores, o aumento na taxa sedimentação registrado por volta da década de 1950 pode ser atribuído ao aumento da precipitação e variabilidade climática impulsionada pelo El niño, além de atividades humanas, como a agricultura e a extração de madeira.

O levantamento bibliográfico realizado aponta para interação da dinâmica erosiva com distintas variáveis, cabendo destaque às variáveis físicas dos solos, como granulometria, resistência do solo à penetração e taxa média de infiltração (Silva, 1999; Castro, 2005; Vaz *et al.*, 2011); aos fluxos superficiais, consorciados às características de declividade dos terrenos (Mahmoodabadi; Sajjadi, 2016; Zhang *et al.*, 2019); ao uso e cobertura da terra (Couto Júnior *et al.*, 2019; Chu *et al.*, 2019); às características dos eventos pluviométricos (Shen *et al.*, 2016); e à análise da retrospectiva erosiva recente a partir de técnicas de datação (Lupinacci, *et al.*, 2022; Mustaphi *et al.*, 2019). Desta forma, o levantamento bibliográfico subsidiou a

metodologia empregada na pesquisa, apontando ainda um caminho para a hipótese a qual, conforme já apresentando, defende que a partir das referidas variáveis é possível identificar as condições que propiciam maior ou menor evolução dos taludes erosivos de voçorocas.

### 3.2 Conceito de voçoroca

A complexidade conceitual se inicia com a diversidade de termos atribuídos ao fenômeno. De acordo com Goudie (2004, p. 503), *gully*, termo muito utilizado na bibliografia internacional ao se referir às voçorocas, segue derivação do latim *gula*, que significa garganta, do francês *goulet*, que significa uma entrada ou passagem estreita, e do inglês *golet*, ou esôfago. Ainda, diversos regionalismos são associados ao fenômeno erosivo, como *donga* na África do Sul (Rienks *et al.*, 2000), voçoroca no Brasil (Tricart, 1974), *lavaka* e *sakasaka* em Madagascar (Tricart, 1974; Bigarella, 2003) e *barrocas* em Angola (Bigarella, 2003).

Para Goudie (2004, p. 503), as voçorocas (*gullies*) apresentam conotações distintas quanto às suas dimensões. Por exemplo, uma voçoroca é bem maior que um sulco erosivo (*rill*), o qual se constitui em um pequeno canal facilmente atravessado pelas rodas de um veículo. Já uma voçoroca tem uma relação largura/profundidade maior que um *canyon* estreito e profundo (*slot canyon*; Carter; Anderson, 2006), diferenciando-se pelos taludes (*walls* ou *sidewalls*) dos *canyons* serem rochosos, enquanto os das voçorocas expõe o regolito. Por fim, Goudie (2004) também traz à tona o conceito de ravina, destacando seu típico formato em “V” na seção transversal, sendo que esta pode incidir tanto em regolito como em rochas. Nos aspectos gerais, Goudie (2004) compreende que os conceitos de voçoroca e de ravina se sobrepõem.

Portanto, em relação às dimensões, de acordo com Goudie (2004, p. 503), as voçorocas podem apresentar inicialmente 5 m ou 10 m de comprimento, 1 m ou 1,5 m de largura, atingindo a ordem de várias centenas de metros de comprimento, dezenas de metros de largura e, aproximadamente, vinte ou trinta metros de profundidade.

Já para Tricart (1974, p. 277), as voçorocas constituem-se em ravinas íngremes, com taludes geralmente irregulares. À jusante, gargalos asseguram a saída de material do sistema erosivo, ocorrendo nesses setores cones de dejeção. Ainda, as voçorocas se entalham em pacotes significativos de alterita, sendo um fenômeno típico de regiões intertropicais.

Assim como Goudie (2004), Tricart (1974) também admite variações nas formas das voçorocas, apontando que estas denunciam a origem do fenômeno. Por exemplo, voçorocas com formato linear podem ser provenientes de caminhos e áreas de passagem, assim como de

dutos subterrâneos de decímetros a metros que podem colapsar. Já voçorocas provenientes de escoamento difuso, apresentam formato mais digitado, sendo classificadas como em folha de carvalho. Estas podem derivar de voçorocas lineares, mas quando localizadas em encostas com declividade significativa, se alargam e se aprofundam, ocorrendo o processo de ramificação. Por fim, voçorocas em formato de pera, são fruto de movimentos de massa, sendo estas com fundo plano e arestas abruptas em seus limites. Estas são as mais comuns de acordo com Tricart (1974) e podem evoluir para voçorocas em formato de folha de carvalho.

Ainda, uma observação importante, é que, muitas vezes, os taludes erosivos, que caracterizam os limites das voçorocas, não se apresentam retilíneos, mas são ocupados por ravinas íngremes, as quais podem desencadear voçorocas em folha de carvalho. Por fim, em relação às dimensões, Tricart (1974, p. 278) classifica que, em média, as voçorocas apresentam 150 m a 250 m de comprimento, 100 m a 120 m de largura e 30 m a 40 m de profundidade, sendo que algumas voçorocas gigantes, como as que ocorrem em Madagáscar, apresentam até 2 km de comprimento e 300 m de largura.

Já para Bigarella (2003, p. 929), o termo voçoroca, no Brasil, é atribuído às ravinas com grandes dimensões, as quais podem apresentar comprimento de várias centenas de metros e profundidade entre 15 m e 30 m. O perfil transversal das voçorocas apresenta formato em “U” ou em manjedoura, sendo a porção a jusante estreita e mais larga à montante. Estas feições apresentam desenvolvimento acelerado e catastrófico, resultando em sistemas erosivos ramificados, que ocupam extensões consideráveis.

Bigarella (2003, p. 931-939) apresenta um caminho processual interessante para classificação, destacando que processos típicos ocorrem em voçorocas, como os movimentos de massa por liquefação, o escorregamento do material e o solapamento da base, ocasionados pela surgência de água e retirada de material da base do talude erosivo. Neste sentido, as voçorocas são compreendidas como fenômenos hídricos, sejam estes de origem superficial ou subterrânea. A ação das águas superficiais ocorre a partir da concentração dos fluxos em pequenos sulcos, os quais podem evoluir rapidamente para ravinas e para voçorocas.

Após constituir morfologia fruto do processo de voçorocamento, os fluxos superficiais podem atuar nos taludes erosivos, liquefazendo os materiais e contribuindo para ocorrência de movimentos de massa. Já a ação das águas subterrâneas, ocorre a partir da erosão tubular (*piping*), sendo determinante para rápida evolução das voçorocas. A erosão tubular constitui-se na retirada de partículas do solo ou sedimentos do interior de uma massa de material

inconsolidado localizado em uma vertente, a partir de linhas de fluxo confinadas ao longo de descontinuidades estruturais ou texturais, bem como em orifícios deixados por raízes ou animais perfuradores, além de fendas causadas por dissecação do manto de intemperismo ou dos depósitos colúvio-aluvionares das encostas (Bigarella, 2003, p. 931-939).

Por fim, sobre as formas do fenômeno, Bigarella (2003) insere na bibliografia nacional a classificação de Ireland *et al.* (1939), os quais organizam as voçorocas em formato linear, bulbiforme, dendrítica, em treliça, paralela e composta. Assim, de acordo com Ireland *et al.* (1939), as voçorocas lineares apresentam cabeceira estreita e poucos afluentes importantes ao longo das laterais, podendo evidenciar evolução na cabeceira e mudança de formato para bulbiforme, dendrítica ou composta; as bulbiformes apresentam no setor superior formato largo e semicircular/anfiteatro, com pequenos afluentes adentrando nas feições erosiva de forma desordenada, podendo evidenciar formato linear a jusante, sendo possível a evolução para voçorocas com forma dendrítica; as em formato dendrítico apresentam muitos tributários ramificados, com as cabeceiras em forma de anfiteatro, se desenvolvendo conforme as linhas de drenagem; as voçorocas em treliça apresentam tributários que acessam as voçorocas e apresentam confluência com o canal principal em ângulo de 90° e podem ocorrer em áreas planas ao longo de terraços; as paralelas, constituem-se em um ou mais tributários paralelos que desembocam no canal principal da voçoroca, sendo que o corte frontal gerado pelo canal principal, acentua o desenvolvimento paralelo por um determinado tempo, destacando que a captura de um canal por outro pode quebrar esse padrão; e em formato composto, as quais apresentam combinações de duas ou mais formas de voçorocas, sendo seus tributários com padrões também variados (dendríticos, paralelos ou bulbiformes).

Portanto, entende-se que classificar feições erosivas complexas como as voçorocas somente pela forma, dimensão ou dinâmica evolutiva, pode se constituir em uma simplificação, a qual gera correspondência do conceito com formas locais e específicas, limitando uma classificação mais ampla. Assim, integrar tais elementos constitui-se em uma alternativa interessante, ou seja, definir voçoroca pelo seu formato, pela dimensão e pela dinâmica evolutiva. Portanto, as voçorocas podem ser classificadas como feições erosivas lineares com dimensões na ordem de dezenas de metros de extensão, de largura e de profundidade, as quais apresentam perfil transversal em “U”, sendo marcadas por processos típicos como movimento de massa, solapamento da base e *piping*, os quais são evidenciados, por exemplo, por alcovas de regressão, dutos e blocos solapados.

Por fim, cabe destacar que o limites das voçorocas, marcados por quebrar abruptas no terreno, serão classificados nesta pesquisa como talude erosivo, constituindo-se em uma terminologia derivada do termo em inglês *sidewall*, amplamente utilizado na bibliografia internacional em trabalhos que analisam a dinâmica erosiva de voçorocas (Martínez-CasasNovas *et al.*, 2004; Whitford *et al.*, 2010; Martin *et al.* 2017).

#### 4. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Apresenta-se a seguir uma breve caracterização das áreas de estudo, visando elucidar variáveis que podem apresentar interação com os sistemas erosivos analisados.

##### 4.1. Caracterização da ocupação agrícola histórica da bacia hidrográfica do Rio Corumbataí

Ambas as áreas estão localizadas na bacia hidrográfica do rio Corumbataí (Figuras 1 e 2). Desta forma, a partir de uma análise histórica do setor cafeeiro paulista, em especial da porção contida na referida bacia, verifica-se que entre 1870 e 1890, a região sofre uma dinamização dos meios rural e urbana a partir da chegada dos ramais da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Os ramais instauraram a possibilidade de transporte rápido da produção de grãos de café para Santos (SP), desencadeando o crescimento de núcleos urbanos, como Rio Claro (SP) (Inoue, 2021). De acordo com Araújo Filho (1976), o apogeu do café no interior do estado de São Paulo ocorre entre 1890 e 1930, colapsando com a crise econômica de 1929.

A partir de 1946, com a retomada da demanda por café, os fazendeiros paulistas sofrem com a falta de mão-de-obra colona, fato que atravessa a retomada cafeeira (Araújo Filho, 1976, p. 65). Com isso, a partir de mapas de uso e ocupação da terra da década de 1960, identifica-se que os setores cafeeiros da alta bacia do rio Corumbataí passam a apresentar uso da terra voltado para pastagens com finalidade pecuária (Pinton; Cunha, 2015) e não cafeeira. Já na década de 1970, o uso agrícola se dinamiza novamente a partir do Decreto nº 76.593, que cria o Programa Nacional do Alcool. Desta forma, o mapa de uso da terra de Silva e Lupinacci (2021) confirma a ocorrência de áreas plantadas com cana-de-açúcar em 1988 na bacia hidrográfica do rio Cabeça (parte do sistema do rio Corumbataí) e Pinton e Cunha (2015) apontam para chegada da cana-de-açúcar a partir de 2009 na bacia do córrego Cavalheiro em Analândia (SP).

##### 4.2. Caracterização da bacia de um afluente do Ribeirão da Boa Vista - Corumbataí (SP)

A área de estudo em Corumbataí localiza-se no setor leste da Bacia Sedimentar do Paraná na província da Depressão Periférica, mais especificamente na Zona do Médio Tietê (Figura 1). Tal zona é constituída principalmente por sedimentos, com expressivas intrusões de rochas basálticas. A inclinação das camadas sedimentares destaca rochas mais resistentes das Formações Irati e Corumbataí, ocorrendo zonas elevadas no relevo fruto de intrusões basálticas. As demais formas são bastante suaves, com desníveis locais que raramente

ultrapassam 200 metros. Caracteriza-se, segundo IPT (1981), como Relevo de Morrotes, o qual apresenta interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos e achatados e vertentes ravinadas com perfis retilíneos. A drenagem apresenta de média a alta densidade, padrão dendrítico e vales fechados (IPT, 1981a, p.58).

A área de estudo aloca-se sobre a Formação Piramboia (IG, 1984), a qual se encontra sobreposta aos folhelhos e siltitos da Formação Corumbataí e sotoposta aos arenitos da Formação Botucatu, com ambos os contatos discordantes (Cortês; Perinotto, 2015). Segundo IPT (1981b), a Formação Pirambóia data do período entre o Triássico Inferior e o Jurássico Superior, apresentando estratificação cruzada do tipo diagonal, com sedimentos de origem fluvial relacionados a rios meandantes e pequenas lagoas com condição climática dominante de oxidação (Bósio, 1973). A respectiva formação apresenta na bacia hidrográfica do Rio Tietê espessura máxima de 300 m, reduzindo-se para o sul e nordeste do estado de São Paulo (Zaine, 1994).

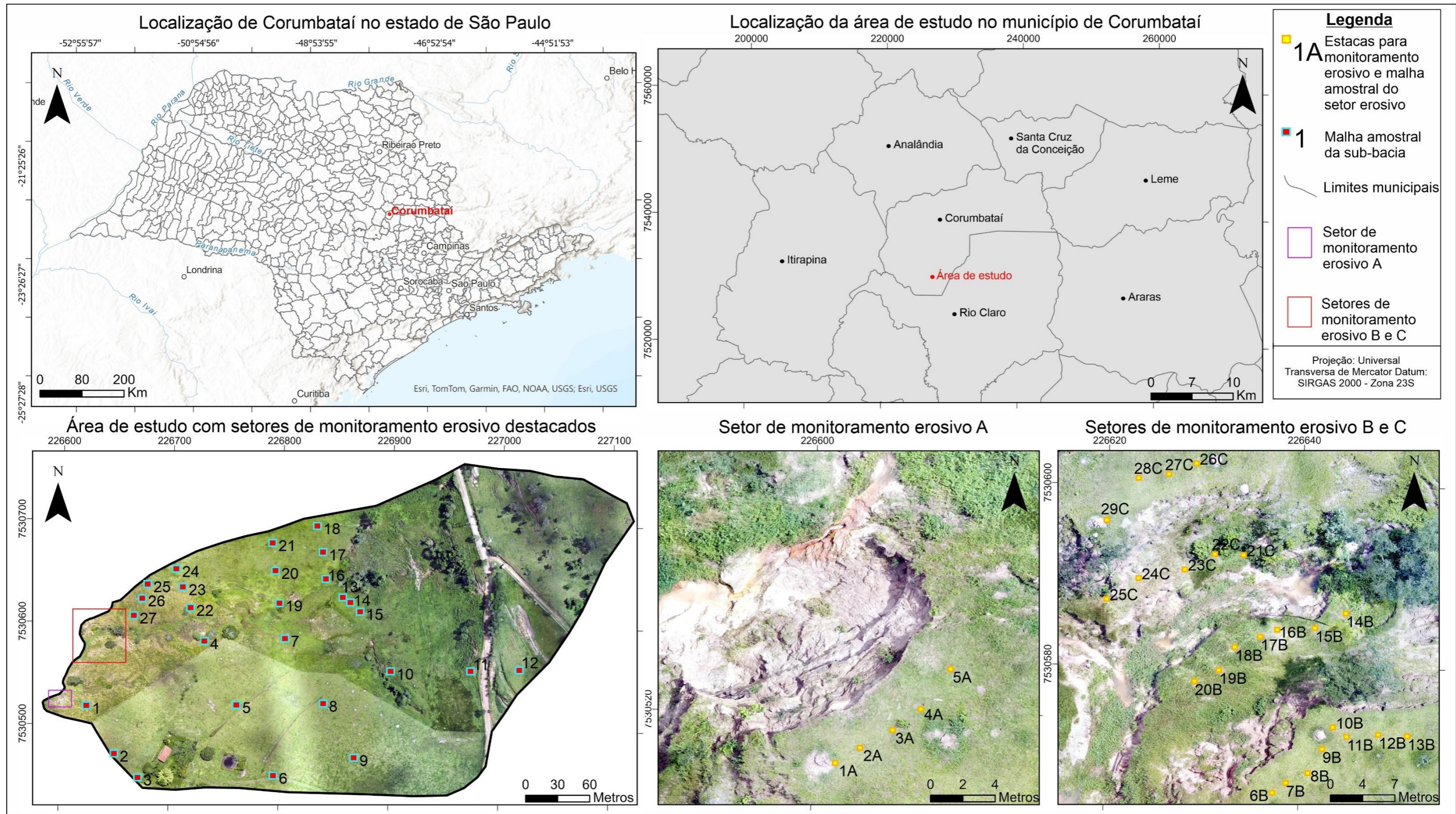
Os solos são predominantemente caracterizados por Argissolos Vermelho Amarelo Distrófico, da unidade Serrinha (Koffler *et al.*, 1992), os quais apresentam mudança textural abrupta caracterizada por um horizonte B textural. Em superfície ocorre um domínio de areia de granulometria fina (Oliveira; Prado, 1984). Já na porção nordeste da bacia verifica-se uma classe associada composta por Neossolos Quartizarênicos e Latossolo Vermelho Amarelo Álico da unidade São Lucas (Koffler *et al.*, 1992). Os Neossolos em questão apresentam horizonte A com estrutura granular fraca associada com grãos simples e horizonte C com organização estrutural não definida, sendo que, quando existente, constitui-se em estrutura subangular fraca (Oliveira; Prado, 1984). Tal classe de solo apresentam espessura superior a 200 cm e ausência de hidromorfismo a menos de 80 cm de profundidade (Oliveira; Prado, 1984). Já os Latossolos da unidade São Lucas apresentam textura arenosa no horizonte A e textura média no horizonte B, evidenciando acréscimo escalonado de argila ao longo do perfil até o horizonte B2 (Oliveira; Prado, 1984).

No que tange à dinâmica pluviométrica, o mês de janeiro constitui-se no mais chuvoso e agosto no mês mais seco. Em uma análise histórica (1983 a 2012) o ano de 1983 apresenta o maior volume pluviométrico registrado (2.229,3 mm), sendo o ano de 2003 o com menor volume (1.232,5 mm) (Mello, 2014).

Por fim, em relação ao uso da terra, a área de estudo possui um padrão bem demarcado desde 1988, sendo os cursos d'água circundados por vegetação arbórea, a qual está em

contato com área de pasto limpo, destinada à pecuária. Tal padrão de uso da terra se repete na própria bacia hidrográfica do Rio Cabeça, unidade a qual a área de estudo se insere, sendo tal bacia ocupada majoritariamente por pastos limpos tanto em 1988 (42,12%) como em 2010 (29,18%) (Silva; Lupinacci, 2021).

Figura 1 - Identificação da área de estudo em Corumbataí



Fonte: o autor.

#### 4.3. Caracterização da bacia do afluente do Córrego Santa Terezinha – Analândia (SP)

Esta área de estudo localiza-se no setor leste da Bacia Sedimentar do Paraná na província das Cuestas Basálticas, a qual evidencia relevo escarpado nos limites com a Depressão Periférica (Figura 2). Apresenta desde escarpas pouco extensas até longos trechos com escarpas contínuas. Os desníveis entre o topo das escarpas a sua base podem oscilar, desde menos de uma centena de metros até quase meio milhar de metros. Caracteriza-se por formas de relevo que se enquadram, segundo o IPT (1981a) como Relevos Residuais Suportados por Litologias Particulares, constituindo-se em morros testemunhos isolados; topos aplainados e arredondados; vertentes com perfis retilíneos, muitas vezes com trechos escarpados e exposição de rocha. A drenagem apresenta média densidade, padrão pinulado e subparalelo, com vales fechados (IPT, 1981a, p. 63).

De acordo o levantamento de 1984 do Instituto Geológico do Estado de São Paulo (IG) a área de estudo está localizada sobre a Formação Botucatu, a qual, de acordo com o IPT (1981b) data do Triássico-Médio Superior ao Cretáceo Inferior. Constitui-se em uma formação de ambiente de deposição predominantemente desértico, com atuação de dinâmica eólica. A estratificação apresenta-se como cruzada em grandes cunhas (Zaine, 1994), com intercalações de sedimentos fluviais e lacustres (Schneider *et. al.*, 1974). Formada, em grande parte, por arenitos silicificados, possui apenas nas parcelas mais altas do relevo pontos em contato com rochas eruptivas que caracterizam o Grupo Serra Geral, sendo que tal contato pode ocorrer em interdigitação.

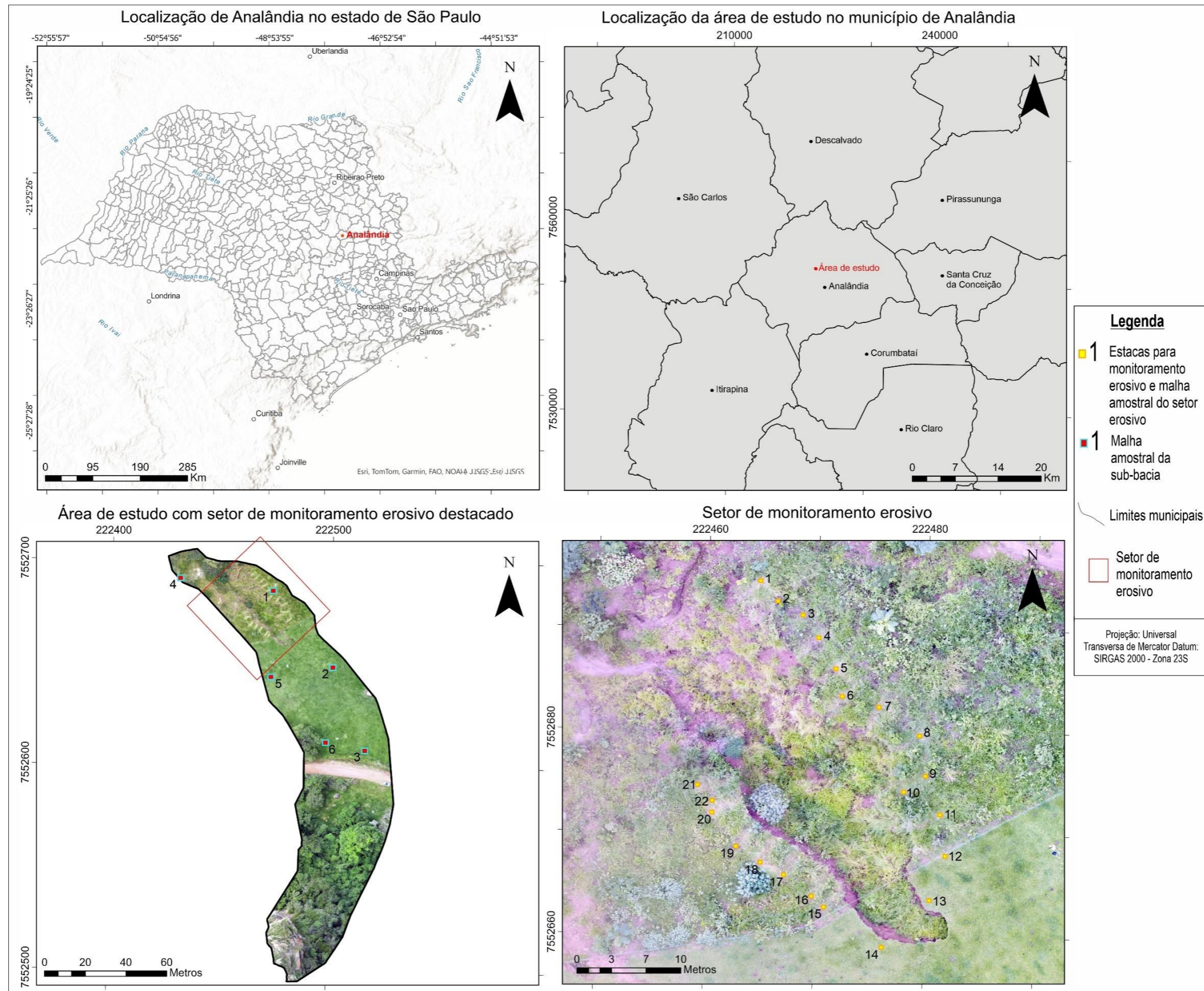
Em relações aos solos, a área de estudo localiza-se sobre um setor de associação entre Neossolos Litólicos Eutróficos e Nitossolos Eutróficos ou Distróficos da Unidade Estruturada (Koffler *et al.*, 1992). Os Neossolos constituem-se em solos poucos evoluídos, com o horizonte A localizado acima de horizontes C ou Cr, predomínio de características herdadas do material originário (Embrapa, 2018). Já os Nitossolos Eutróficos ou Distróficos da Unidade Estruturada apresentam textura argilosa ou muito argilosa; grande homogeneidade vertical em cor; espessura do *solum* superior a 120 cm; e horizonte B3 podendo apresentar estrutura fraca e friável (Oliveira; Prado, 1984).

Sobre a dinâmica pluviométrica, Analândia registra ocorrência de chuvas, em média, durante 82 dias do ano, totalizando média pluviométrica anual de 1.272,7 mm. O mês mais chuvoso do ano constitui-se em janeiro, no qual o índice pluviométrico ultrapassa 215 mm, tendo como mês mais seco julho ou agosto, com média pluviométrica que alcança 30,9 mm.

Ainda, a temperatura média do município está entre 19°C e 18,5°C, sendo janeiro o mais quente (22°C/média) e julho o mês mais frio (15,5°C/média) (Brino, 1973).

Em relação ao uso e cobertura da terra, a área de estudo apresenta desde 2010, confirmando-se novamente em 2019, uma predominância de pastos limpos, os quais são voltados para uso pecuário. Em ambos os períodos, identificam-se vegetações de áreas úmidas, as quais são coerentes a partir da incisão do sistema erosivo e contato com o nível freático. Ainda, setores de solo exposto e pasto degradado também ocorrem em 2010 e 2019, fato que indica baixa vitalidade da cobertura vegetal. Por fim, a alta bacia apresenta vegetação arbórea, estando associada ao sopé do morro testemunho do Camelo (Stefanuto; Lupinacci, 2020).

Figura 2 - Identificação da área de estudo em Analândia



Fonte: o autor.

## 5. METODOLOGIA

A interação entre as características físicas dos ambientes e as ações humanas pode desencadear a ocorrência e o agravamento ou contenção de processos erosivos, ocasionando um conjunto de dados complexos (Christofolletti, 1999; Limberger, 2006, Murray *et al.*, 2009), provenientes de sistemas que passam a emitir respostas não lineares, as quais são de difícil previsibilidade (Murray *et al.*, 2009) e atuam no campo das incertezas (Stefanuto *et al.*, 2017).

Neste contexto, pautando-se na Teoria Geral dos Sistemas, compreende-se que os sistemas podem apresentar troca de matéria e energia (sistemas abertos), comportamentos específicos a partir das propriedades físicas dos fenômenos e as formas de seus elementos (sistemas morfológicos), mudanças a partir de inter-relações (sistemas em sequência) e transformações a partir de intervenções humanas nos fluxos de matéria e energia (sistemas controlados) (Chorley; Kennedy, 1971). Desta forma, quando atuantes sem uma intervenção externa (ação humana), os sistemas geomorfológicos podem emitir respostas lineares que auxiliam no processo de previsibilidade. No entanto, quando ocorre a atuação de forçantes (ação humana), um determinado sistema geomorfológico passará a emitir respostas não lineares e conseqüentemente de difícil previsibilidade (Murray *et al.* 2009), fato que se constitui em um desafio para ciência, quando se busca um uso adequado das terras.

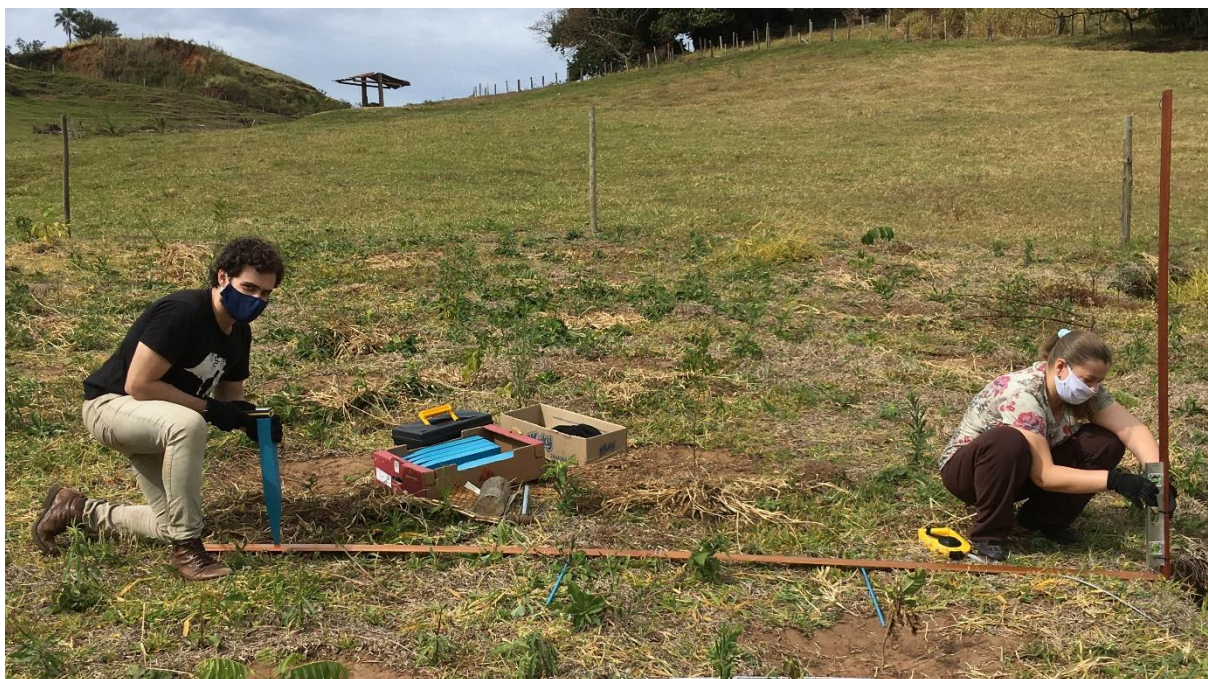
Neste contexto, se entende as voçorocas como um elemento responsável por agregar complexidade aos ambientes, por constituir-se em uma feição que sintetiza a interação entre estrutura, materiais e ação humana. Com isso, visando analisar as respostas de sistemas erosivos marcados por voçorocas, propõem-se uma metodologia ampla e integrada, composta pelo diagnóstico da área por monitoramento erosivo a partir de estaqueamentos; acompanhamento do uso e cobertura da terra a partir de imagens obtidas por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT); formulação de produtos morfométricos, como as cartas de Declividade e de Fluxo Acumulado de Superfície a partir de um Modelo Digital de Elevação - MDE de detalhe; análise de dados pluviométricos; levantamento das características físicas dos solos dos terrenos a partir de campanhas de campo, com posterior tratamentos dos dados para obtenção das frações granulométricas, da resistência do solo à penetração e da taxa média de infiltração, sendo tais dados submetidos às técnicas geoestatísticas; e reconstituição erosiva

recente da área de estudo, a partir de testemunhos de sedimentos fluviais submetidos à geocronologia por chumbo-210.

### 5.1. Monitoramento do talude erosivo

Os taludes erosivos das voçorocas foram monitorados a partir da proposta de Guerra (2002), a qual indica a mensuração da evolução de feições erosivas a partir de estacas instaladas em seu entorno. Para esta pesquisa, algumas adaptações foram necessárias, visando atribuir maior precisão à técnica. As estacas foram instaladas em Corumbataí em 07 de maio de 2020 e em Analândia em 13 de maio de 2020 (Figura 3). O monitoramento ocorreu até 08 de agosto de 2023 em ambas as áreas, sendo a frequência de monitoramento trimestral, visando abarcar a interação do talude erosivo com as estações secas e úmidas e suas respectivas transições, fato que totalizou 13 trimestres de monitoramento.

Figura 3 - Estacas sendo instaladas no setor de monitoramento em Analândia em maio de 2020.



Fonte: o autor.

Ao todo foram instaladas 29 estacas em Corumbataí e 22 estacas em Analândia. Ambas as áreas apresentam complexos e extensos sistemas em voçorocamento. Portanto, selecionou-se parte destes para o monitoramento, tendo como critério o grau de dinamicidade do talude erosivo, representado por blocos solapados, taludes desnudos e alcovas de regressão.

Em Corumbataí, foram escolhidos três setores localizados no médio curso do sistema erosivo, sendo os mesmos classificados em “A, B e C” (Figura 1). O setor A apresenta talude

erosivo proeminente, com desnível altimétrico de aproximadamente 6 m do topo do talude ao canal. Já os setores “B e C” apresentam talude erosivo desdobrado em dois patamares (superior e inferior), sendo o inferior em contato com o canal e o superior em contato com o topo do patamar inferior. Os setores “B e C” apresentam dinâmica espelhada, estando o B na margem esquerda do canal e o C na margem direita.

Já em Analândia, selecionou-se uma das ramificações do sistema erosivo, também com base em sua dinamicidade, além de considerar que o setor apresenta parte do talude erosivo em uma área destinada ao reflorestamento e parte em setor destinado a pastagem, sendo tal variação interessante para fins comparativos.

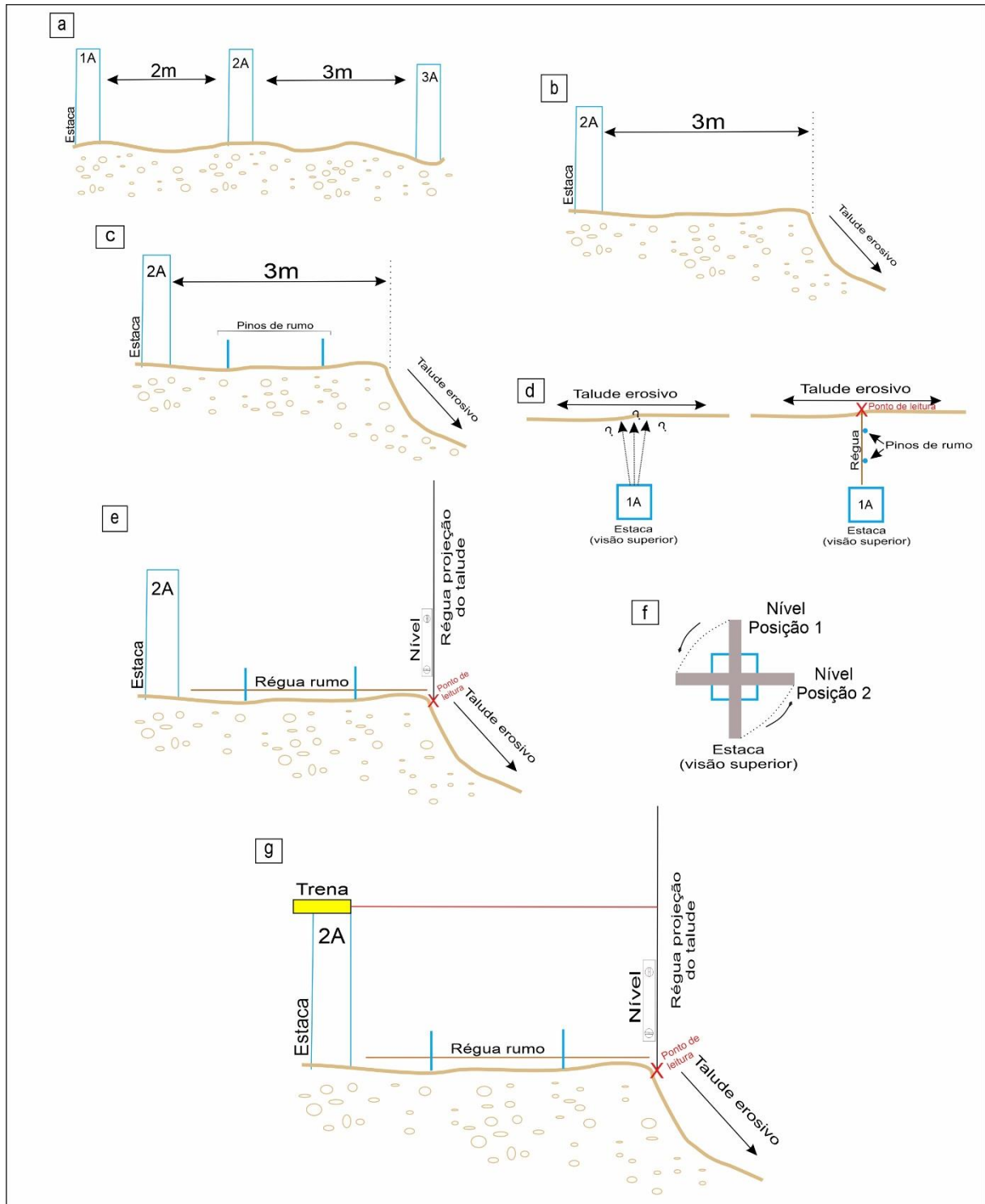
Considerando as características de cada setor monitorado e as condições dos terrenos, o distanciamento entre as estacas variam em, aproximadamente, 2 m ou 3 m em Corumbataí e em 3 m em Analândia (Figura 4a). Em relação à distância da estaca ao talude erosivo, foram instaladas a 3 m do limite superior do talude (Figura 4b), visando atribuir margem de segurança mediante evoluções intensas. Para garantir um padrão de medida e reduzir as interferências, foram adicionados pinos de forma alinhada entre a estaca e o talude erosivo, garantindo a obtenção de uma reta (Figura 4c) e, conseqüentemente, um ponto de leitura padrão entre os monitoramentos (Figura 4d).

Com o auxílio de uma régua alinhada paralelamente ao lado esquerdo dos pinos, identificaram-se os pontos de leitura no talude erosivo (Figura 4d), posicionando a régua de projeção do talude (Figura 4e), de forma nivelada, sobre os pontos. A régua de projeção possibilitou traçar uma reta suspensa até as estacas de monitoramento, desconsiderando possíveis irregularidades do terreno. Destaca-se, que a cada levantamento as estacas foram niveladas em cruz (Figura 4f), no intuito de reduzir ruídos nas medidas. Com as estacas niveladas, a trena a laser modelo Leica DISTO™ D5 foi posicionada sobre a cabeça da estaca, com seu sensor de leitura no limite da face voltada para o talude erosivo (Figura 4g). Assim, as medidas da distância entre as estacas e os taludes erosivos foram obtidas.

Visando a precisão na leitura, foram produzidos relatórios detalhados sobre cada ponto e cada período de monitoramento, destacando elementos como o posicionamento da régua na parte superior ou inferior do talude, a presença de vegetação no ponto de leitura e a necessidade de pressionar mais ou menos a régua no momento da leitura, dentre outros.

Os dados coletados em campo foram tabulados de acordo com cada trimestre de monitoramento, tomando como referência a evolução de cada ponto/estaca.

Figura 4 - Parâmetros utilizados para a instalação das estacas e para a leitura da dinâmica evolutiva dos taludes erosivos.



Fonte: o autor.

## 5.2. Imageamento a partir de Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT e processamento dos ortomosaicos

Os setores de monitoramento erosivo e das sub-bacias foram imageados de forma distinta, devido às características das áreas e especificidades técnicas dos equipamentos utilizados.

### 5.2.1. Imageamento e processamento das imagens dos setores de monitoramento erosivo

Para o imageamento utilizou-se um VANT DJI MAVIC Pro, tendo embarcado um sensor RGB com 1/2.3” (CMOS), pixels efetivos de 12.35 M (pixels totais 12.71 M).

Os imageamentos foram realizados trimestralmente, conjuntamente ao monitoramento analógico descrito no item anterior. Os voos foram realizados durante o período de 04 trimestres (de 08/05/2021 a 05/02/2022), abarcando períodos secos e úmidos e suas respectivas transições.

Os planos de voo foram organizados no software DroneDeploy, sendo definidos os seguintes parâmetros para Corumbataí e Analândia, respectivamente: altitude fixa, em relação ao ponto de decolagem, de 40 m com sobreposição frontal de 75% e 70% de sobreposição lateral, garantindo *Ground Sample Distance* - GSD de 1,3 cm; e altitude fixa de 45 m, em relação ao ponto de decolagem, com sobreposição frontal de 75% e 65% de sobreposição lateral, garantindo GSD de 1,5 cm.

Com as imagens obtidas em campo, os ortomosaicos foram processados a partir do software Open Drone Map em sua versão WebODM. De acordo com os desenvolvedores do ODM, a versão online apresenta mais recursos em relação à *desktop*, com destaque para a autenticação de usuário, exibições de mapas, exibições 3D e a capacidade de orquestrar vários nós de processamento (executar trabalhos em paralelo). Mesmo com parte do processamento online, um servidor físico foi necessário, sendo que para isso utilizou-se a ferramenta Docker Desktop para garantir conectividade entre o projeto on-line e o servidor. As configurações básicas do servidor foram: processador Intel(R) Core (TM) i7-5820K, memória RAM de 64GB e GPU NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB.

Para a formulação dos ortomosaicos realizou-se um conjunto de testes com base em contribuições comunitárias obtidas junto aos usuários da *OpenDroneMap Community*, portal oficial de compartilhamento de informações dos usuários das interfaces do ODM. Na função *nó de processamento* selecionou-se, a partir da função *manual*, o servidor correspondente ao computador destinado ao processamento. Em *opção* selecionou-se *high resolution*, buscando

atribuir melhor resolução aos ortomosaicos. Destaca-se que em *opção* testou-se uma configuração *personalizada*, ativando a ferramenta *ignore-gsd*, a qual visa otimizar o tempo de processamento, mas, de acordo com o desenvolvedor, a mesma pode reduzir a qualidade de resolução do produto final, sendo tal indicação constatada a partir de análise comparativa com o produto da função *high resolution*, com isso a ferramenta não foi utilizada. Por fim, um conjunto de usuários recomendou o uso da função de *redimensionamento* da imagem com especificação de *2048px*. A princípio, seguiu-se a orientação, mas, no decorrer da análise do produto, constatou-se uma redução da qualidade em relação às imagens obtidas pelo sensor acoplado ao VANT. Assim, testou-se outro ponto debatido na ODM Community, o qual não indica o uso de *redimensionamento* para servidores com alta capacidade de processamento, como o utilizado nesta pesquisa. Assim, desativando a função *redimensionamento*, os ortomosaicos apresentaram melhora na qualidade de resolução. Tal mudança justifica-se pelo fato de que com a função de *redimensionamento* desativada, o *software* utiliza os pixels totais das imagens obtidas, neste caso 4000X3000px de dimensão.

Os ortomosaicos foram georreferenciados no *software* QGis, mantendo-se o padrão de erro residual inferior à 2 cm por ponto. As coordenadas para correção espacial foram obtidas a partir de um GNSS RTK, sendo esta etapa descrita na sequência desta seção.

Por fim, devido as dimensões das áreas de estudo e alta resolução obtida nos ortomosaicos, uma vetorização dos usos e cobertura das terras não foi necessária. Os ortomosaicos atingiram princípios da geovisualização, possibilitando uma boa comunicação cartográfica com o usuário, focando quase que automaticamente, em padrões previamente representados (Zacharias; Martin, 2018), evidenciando os principais usos de ambas as áreas, sendo as pastagens destinadas à pecuária e os setores em recuperação de processo de degradação.

### 5.2.2. Imageamento e processamento das imagens das sub-bacias

No período de 19 a 21 de abril de 2022 foram imageadas as sub-bacias de Corumbataí e Analândia, utilizando o mesmo equipamento empregado para mensuração dos setores de monitoramento erosivo. No entanto, os marcos físicos distribuídos pela área de estudo apresentaram resposta espectral com excesso de reflectância, fato que impossibilitou a identificação dos mesmos e a realização da etapa de georreferenciamento.

Desta forma, em 22 de fevereiro de 2024 foram novamente imageadas as sub-bacias. Para isso utilizou-se um VANT Mavic 2 Enterprise Advanced, tendo embarcado um sensor

RGB com 1/2" (CMOS), pixels efetivos de 48 M, disponibilizado pelo Laboratório de Pesquisa em Geotecnologias e Cartografia – GEOCARTO lotado no Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental (DGPA) da UNESP Campus de Rio Claro.

Os planos de voo foram organizados no software DJI Pailot, sendo definidos os seguintes parâmetros para Corumbataí e Analândia: altitude fixa de 100 m, a partir do ponto de decolagem, com sobreposição frontal e lateral de 75%, garantindo GSD de 2,78 cm.

Os produtos foram processados a partir do software Agisoft Metashape. Optou-se pelo *software* devido a possibilidade de inserção das coordenadas para georreferenciamento no processamento inicial e a obtenção de um Modelo Digital de Elevação (MDE) no ambiente do próprio programa. Visando o detalhamento do uso Agisoft Metashape, esta etapa foi organizada em subitens, conforme verifica-se a seguir.

#### 5.2.2.1. Alinhamento e georreferenciamento das fotografias

As fotos foram adicionadas ao ambiente do Agisoft Metashape a partir da função *Add Photos*, verificando-se, através do visualizador de imagens, se alguma lacuna ocorreu durante o imageamento. Na sequência as fotografias foram alinhadas por meio da função *Align Photos*, selecionando-se a função *Reference Preselection*, para uso das referências já associadas às imagens. Por se tratar de um alinhamento inicial, a acurácia foi mantida como baixa (*low*). Destaca-se que a função (*Align Fotos*) já gera uma nuvem de pontos esparsa.

Com todas as imagens selecionadas, foi adicionado o sistema de coordenadas pertinente (SIRGAS 2000 – UTM Zona 23S) a partir da ferramenta *Convert Reference*. Em seguida, foram importados (*Import*) os pontos de controle coletados a partir do GNSS RTK (etapa descrita na sequência). Destaca-se que o Metashape utiliza “pontos” como separador de casas decimais. As colunas da tabela com as coordenadas foram organizadas conforme a sequência disposta no visualizador da ferramenta, importando os dados a partir da segunda linha, pois a primeira linha constituiu-se no cabeçalho. Ao final, adicionaram-se marcadores aos pontos de controle para identificação dos mesmos nas etapas seguintes.

Para etapa de georreferenciamento, selecionou-se o ponto de controle de interesse clicando com o botão direito do mouse sobre o mesmo, executando a função *Filter Photos by Markers*, a qual selecionou as fotos que apresentam o referido ponto de controle. Na sequência, com um duplo clique em cada foto selecionada, visualizou-se com maior zoom o referido ponto de controle e o marco físico presente na fotografia, arrastando o ponto de

controle sobre o marco físico pertinente. Ao término de cada ajuste, o ambiente de trabalho do programa foi atualizado, reaplicando o a função *Filter Photos by Markers*, para verificar a sobreposição dos pontos com os marcos identificados. Destaca-se que o procedimento foi realizado para cada ponto de controle importado.

Para finalizar, as fotos foram novamente alinhadas através da função *Align Photos*, selecionando-se a função *Reference Preselection*, para uso das referências já associadas às fotografias, e *Reset Current Alignment*, para não utilizar as informações do pré alinhamento. Por se tratar do alinhamento final, a acurácia foi média (*medium*), visando não atribuir muito ruído ao MDE.

#### 5.2.2.2 Formulação dos modelos digitais de elevação (MDE), das curvas de nível e dos ortomosaicos.

Inicialmente, a nuvem de pontos proveniente da etapa anterior, foi adensada a partir da ferramenta *Build Dense Cloud*, selecionando uma qualidade de processamento média, para otimizar a etapa de processamento, mas garantir produtos com boa qualidade. Nas opções avançadas, selecionou-se o filtro *Agressive*, buscando reduzir ruídos para o posterior processamento do MDE.

Na sequência, a nuvem de pontos foi classificada, a partir da ferramenta *Classify Points*, disponível na *Dense Cloud*, organizando as distintas coberturas do terreno em classes. Nem todas as classes são assertivas, com isso, através da ferramenta de seleção, foram selecionados individualmente os setores classificados erroneamente, sendo a classe adequada indicada a partir ferramenta *Assign Class*, novamente disponível na *Dense Cloud*. Vale uma maior atenção à classe *Ground*, pois esta será a base para a formulação do MDE.

Posteriormente, foi construído um modelo 3D a partir da ferramenta *Build Mesh (Work Flow)*. O dado base para uso da ferramenta foi a nuvem de pontos densa, selecionando em *Surface Type* a opção *Height Field (2.5D)* e nas opções avançadas somente a classe identificada como *Ground*. Desta forma, coberturas arbustivas e arbóreas e construções antrópicas (casas, ranchos, dentre outras) foram desconsideradas no processamento do modelo 3D.

Com o modelo 3D gerado, o mesmo foi suavizado a partir da ferramenta *Smooth Mesh*, visando subtrair ruídos. Em *Strength*, selecionou-se a opção padrão da ferramenta que é 3, visando realizar uma suavização leve, com pouca alteração das formas originais dos

terrenos analisados. Verificando o modelo 3D, identificaram-se setores com erros proeminentes, sendo os mesmos selecionados, individualmente, através da ferramenta de seleção, e deletados. Posteriormente, os setores deletados foram preenchidos a partir da ferramenta *Close Holes*, selecionando o percentual mínimo necessário para o fechamento de todas as áreas deletadas. Após o fechamento, foi aplicada uma nova suavização geral (*Smooth Mesh*).

Para gerar o MDE, utilizou-se a ferramenta *Build DEM*, selecionando como fonte de dados o modelo 3D corrigido e suavizado. Na sequência, a partir de um clique com o botão direito sobre o MDE, selecionou-se a opção *Generate Contours*, para gerar as curvas de nível das áreas de estudo. A equidistância entre as curvas (*Interval m*) foi de 0,5 m para ambas as áreas, visando gerar uma base cartográfica refinada para os produtos morfométricos; e selecionou-se a opção *Prevent Intersection*, para evitar cruzamentos entre as curvas. Os MDE foram exportados no formato TIFF, mantendo-se o tamanho de pixel padrão (15 cm), e as curvas de nível exportadas como *polylines*. Admite-se aqui limitações no MDE devido aos processos de suavização e correção, uma vez que tais técnicas geram estimativas da elevação. No entanto, no processo de reambulação dos mapas morfométricos, apresentados a seguir, foi possível constatar a boa correspondência dos produtos obtidos com as características das áreas de estudo.

Por fim, os ortomosaicos foram gerados a partir da ferramenta *Build Orthomosaic*, escolhendo como superfície de ortorretificação o modelo 3D corrigido e suavizado. Os ortomosaicos foram exportados também no formato TIFF, sendo Analândia com resolução espacial padrão (1,9 cm) e Corumbataí com resolução espacial de 4,9 cm, visando tornar o ortomosaico de Corumbataí compatível com a capacidade de processamento dos computadores disponíveis.

### 5.2.3 Coleta de pontos a partir do GNSS RTK e correção das coordenadas via IBGE-PPP

Os VANTs utilizados não apresentam GNSS RTK embarcado e as fotografias dos setores erosivos e das sub-bacias apresentaram acurácia posicional planialtimétrica com erro padrão aquém dos limites pretendidos para esta pesquisa. Visando atribuir acurácia posicional planialtimétrica, coletaram-se as coordenadas das estacas de monitoramento do talude erosivo (29 *Ground Control Points* - GCPs em Corumbataí e 22 GCPs em Analândia) e de marcos físicos distribuídos pelas sub-bacias (19 GCPs em Corumbataí e 14 GCPs em Analândia) através de um GNSS RTK com rádio interno modelo Spectra SP60, visando o

georreferenciamento por reconhecimento visual das estacas, no caso dos setores erosivos, e através dos dados de entrada do Agisoft Metashape, no caso das sub-bacias.

Zanetti (2017) aponta que a partir de 15 GCPs distribuídos de forma espalhada em uma área amostral de 9 hectares (0,6 GCPs por ha) em escala de 1:1.000, já é possível obter pontos com acurácia posicional Classe A. Desta forma, entende-se que os GCPs da área de estudos estão adequados, uma vez que a sub-bacia em Analândia apresenta 0,8 ha (14 GCPs por ha) e em Corumbataí (1,68 GCPs por ha).

Os pontos foram coletados a partir do aplicativo Survey Mobile, observando-se a cada ponto se o sinal com a base se apresentava como *fixo* e se a função *epochs* estava em “3”, visando à redução de variações na posição de nível por parte do operador do bastão do *rover* no momento da coleta.

A primeira etapa pós-campo constituiu-se em exportar os dados do aplicativo Survey Mobile, a partir da função “exportar”, localizada em “ferramentas”. Foram exportados os arquivos: Ponto do Survey Mobile (.txt), AutoCAD DXF e Tarafea Trimble XML.

Na sequência, para descarregar os dados brutos, a base foi conectada via cabo ao PC, sendo o acesso realizado pelo *software Spectra File Manager*. No ambiente do *software*, selecionou-se em *Port* a entrada USB correta, iniciando a conexão através da função *Connect*. Duas caixas de texto ficaram disponíveis no programa, sendo que na caixa da esquerda selecionou-se o diretório para salvar os dados brutos e na caixa da direita, a partir da conexão *Internal memory*, foram selecionados os dados dos levantamentos, verificando a data e horário. Com os arquivos selecionados, os mesmos foram enviados para o diretório através da função *Copy*. Ao final, o procedimento foi finalizado pela função *Disconnect*.

Para uso da ferramenta Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE-PPP), a qual visa aprimorar o georreferenciamento do GNSS base a partir da triangulação dos dados com a rede de monitoramento contínuo do IBGE, os arquivos precisam estar no formato *Rinex*. Para isso, no ambiente do *software Rinex Converter*, os dados brutos da base foram adicionados (*Add*), sendo verificado se ao final do processo a mensagem “*success*” foi indicado no painel de tarefas. Em *Into*, a versão *Rinex* utilizada foi a 2.11, considerando a compatibilidade com a ferramenta do IBGE. Para finalizar o procedimento, selecionou-se a função *Convert*. Destaca-se que ao final de cada conversão os dados foram removidos (*Remove*) para realizar uma nova conversão.

Os arquivos convertidos para o formato *Rinex*, foram aglutinados em arquivos ZIP para facilitar o uso da ferramenta IBGE-PPP. No ambiente da ferramenta selecionou-se o modo de processamento “estático”, adicionando o arquivo ZIP pertinente. O tipo de antena foi a SPP101861 NONE e indicou-se a altura da antena com três dígitos depois da vírgula. Um e-mail para recebimento dos dados foi adicionado, sendo a função *processar* ativada para início da ferramenta. Por fim, os dados ajustados das bases foram baixados. Os relatórios de qualidade podem ser conferidos no ANEXO A.

No Excel, os dados das bases do RTK foram corrigidos a partir da diferença entre os dados de campo (coordenada UTM N, coordenada UTM E e elevação) e os dados provenientes da ferramenta do IBGE-PPP (coordenada UTM N, coordenada UTM E e elevação). Para Corumbataí os Deltas (diferenças numéricas) de correção foram -1,2158 m (UTM N), 0,6596 m (UTM E) e -8,8534 m (Elevação). Já em Analândia foram -0,2145 m (UTM N), -1,269 m (UTM E) e -13,1975 m (Elevação). A diferença numérica entre a base de campo e base corrigida via IBGE-PPP serviu como parâmetro para ajustar as coordenadas dos pontos coletados com o *rover*. As elevações foram corrigidas de geométricas (elipsoidal) para ortométricas (geoidal), inicialmente a partir da proporcionalidade, sendo na sequência ajustadas a partir do “fator de conversão” fornecido pelo relatório PPP, o qual foi de -6,18 m para Corumbataí e -6,25 m para Analândia.

### 5.3 Cartas morfométricas

Como produtos morfométricos foram geradas para as sub-bacias analisadas as cartas de declividade e de fluxo acumulado de superfície em escala de 1:1.000, com curvas de nível de 0,5 m de equidistância.

#### 5.3.1 Carta de declividade

A princípio, a declividade dos terrenos foi calculada a partir do MDE e das curvas de nível extraídas do MDE via Agisoft Metashape. Analisando os produtos gerados, verificou-se uma quantidade maior de ruídos nos dados de declividade gerados via MDE. Com isso, as curvas de nível foram utilizadas como dados de entrada para produção da carta de declividade.

Ainda no processamento de teste, verificou-se que algumas crenulações atribuíram ruídos ao dado de declividade, devido a etapa de triangulação (*Create TIN*) ocorrer entre curva de nível com mesmo valor de elevação. Para amenizar os setores com erros, foram

adicionadas linhas com valores médios de elevação entre curvas, ou seja, 0,25 m para mais ou para menos, sendo tais linhas associadas ao *shape* das curvas de nível. Os ajustes permitiram fundos de vale mais encaixados e topos tendendo ao formato convexo, formas mais condizentes com os dados observados em campo.

As curvas de nível ajustadas foram processadas na ferramenta *Create TIN*, atribuindo ao campo *Height Field* a coluna com os valores de elevação; em *Type* a opção *Hard Line*, para destaque da triangulação; deixando a função *Tag Field* desativada. O *TIN* gerado foi reclassificado em intervalos definidos (*Defined Interval*) de 0,5 m, visando explorar ao máximo os valores de elevação presentes nas curvas de nível.

O *TIN* foi transformado em formato *Raster* a partir da ferramenta *Tin to Raster*, atribuindo ao tipo de saída a opção *Floating Point*, visando registrar as variações numéricas máximas, ou seja, sem arredondamentos. O método foi o *Natural Neighbors*, para cálculo dos valores das células com influências dos valores com vizinhança. Em *Sampling Distance*, utilizou-se a função *Cell Size* para indicar o tamanho da célula manualmente (0,5 m).

A declividade foi processada a partir da ferramenta *Surface Parameters*. De acordo com os desenvolvedores do *software* (ArcGis Pro), tal ferramenta é mais indicada que a tradicional *Slope*, uma vez que a *Slope* utiliza uma janela de interação de 3 por 3 para calcular os valores, já a *Surface Parameters* permite tamanhos de janela de 3 por 3 a 15 por 15 células. Janelas maiores são úteis para capturar formas da superfície terrestre em escalas de alta resolução. Também, a ferramenta *Surface Parameters* fornece uma opção de janela adaptativa, que avalia a variabilidade local do terreno e identifica o maior tamanho de vizinhança apropriado para cada célula. Isto pode ser útil em terrenos homogêneos interrompidos por cursos d'água, estradas ou rupturas abruptas no relevo.

No ambiente da ferramenta *Surface Parameters* não foram selecionadas máscara e o parâmetro utilizado foi o *Slope*, visando calcular a mudança na elevação. Em *Local Surface Type* utilizou-se o padrão (*Quadratic*), sendo a distância da vizinhança também mantida no padrão, que se constitui no tamanho de célula do *raster* de entrada (0,5 m). Em *Z unit* a unidade de medida foi metros, sendo a declividade calculada em graus (*Slope Measurement*), buscando obter resultados em padrão de processamento conhecido.

O *raster* com os dados de declividade foi reclassificado a partir da função *classify*, método *Manual Interval*. Os limites de cada classe foram: 0°-1,146°; 1,147°-2,862°; 2,863°-

6,843°; 6,844°-16,7°; 16,701° – 24,23°; 24,231° – 90°. As classes foram apresentadas em porcentagem, seguindo os intervalos correspondentes ( $\leq 2\%$ , 2-|5%, 5-|12%, 12-|30%, 30-|45% e  $\geq 45\%$ ) sugeridos por De Biasi (1992). As classes com baixa declividade foram demarcadas por cores claras, escurecendo o tom com o aumento da declividade (De Biasi, 1970; 1992).

### 5. 3. 2. Carta de fluxo acumulado de superfície

O fluxo acumulado de superfície foi processado a partir do *software* ArcGis Pro, tendo como dado de entrada o MDE descrito na etapa 5.2.2.2.

No ambiente da ferramenta *Flow Direction*, selecionou-se o algoritmo Multiple Flow Direction (MFD), no qual um expoente de valores de fluxo é criado a partir de uma abordagem adaptativa baseada nas condições locais do terreno, sendo utilizado para determinar a fração do fluxo que drena para todos os pontos vizinhos. O uso do algoritmo MFD também se justifica por ser um arquivo com boa interface com a ferramenta *Flow Accumulation* e por, de acordo com Qin *et al.* (2007), apresentar distribuição espacial mais suave e condizente com áreas de relevo ameno, quando comparado com o algoritmo D8. Ainda, destaca-se que a direção de fluxo MFD suporta apenas a criação de um *raster* de saída no formato *Cloud Raster Format* (.crf), devendo o arquivo de saída ser salvo em uma pasta (nome da pasta sem espaço) e não no banco de dados (GDB).

Na sequência, o arquivo *raster* com as direções de fluxo foi submetido a ferramenta *Flow Accumulation*, a qual, a partir das direções de fluxo MFD, distribui o fluxo acumulado de cada célula para todos os pontos vizinhos. Destaca-se que não foram adicionados valores em *Input weight raster*, em *output data type* manteve-se o padrão (*Float*), e em *Input flow Direction type* manteve-se o algoritmo MFD.

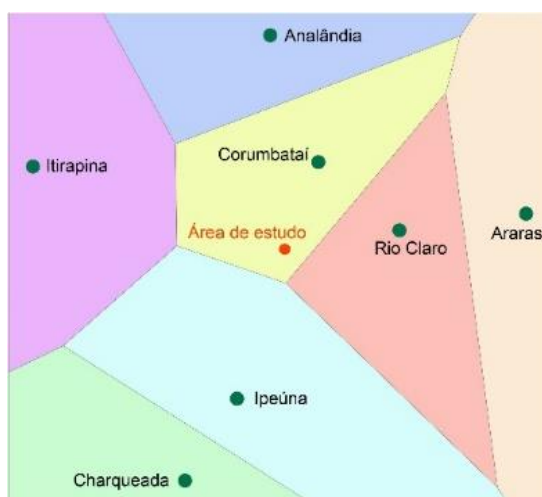
Após o processamento, alguns ajustes foram realizados na apresentação dos dados de fluxo acumulado a partir das funções disponíveis na aba *Primary Symbolology*. Em *Stretch type* selecionou-se a opção *Histogram Equalize*, visando reduzir as distâncias numéricas entre os valores máximos e os mínimos, evidenciando de forma mais clara as linhas de fluxo para apresentação. Destaca-se que a unidade de medida dos mapeamentos provenientes da ferramenta *Flow Accumulation* é  $m^2$ , conforme indicado pelos desenvolvedores do algoritmo (Qin *et al.*, 2007).

#### 5.4. Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos foram coletados junto ao Banco de Dados Hidrológicos do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. Em Analândia, a estação de coleta apresenta prefixo D4-035, com altitude de 643 m e está localizada nas coordenadas 22° 07' 47" S e 47° 40' 03" O, em linha reta a 3,3 km da área de estudo. Já em Corumbataí, a estação de coleta apresenta prefixo D4-125 e está localizada nas coordenadas 22° 19' 39" e 47° 38' 14", apresentando distância em linha reta de 2,6 km da área de estudo.

Os dados fornecidos pelo DAEE apresentaram déficit de alguns meses, sendo as lacunas preenchidas, quando possível, pelos dados do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIIAGRO, utilizando de informações das estações localizadas em Analândia (22° 7'19.92"S e 47°39'41.76"O – 3,3 km da área de estudo) e em Corumbataí (22°14'2.40"S e 47°37'6.60"O – 9 km da área de estudo). Devido a estação de Corumbataí estar a uma distância mais significativa da área de estudo, o emprego da mesma foi validado pelo método Thiessen (Figura 5), aplicado por meio do ArcMap, utilizando a ferramenta *Create Thiessen Polygons*. Os pontos verdes correspondem às estações do CIIAGRO à um raio de 25 km da área de estudo. A variação de cores indica a zona de influência espacial de cada estação.

Figura 5 - Identificação de estação meteorológica com boa correspondência espacial com a área de estudo em Corumbataí a partir do método Thiessen.



Fonte: o autor.

Em relação a Analândia, os dados fornecidos pelo DAEE foram divulgados até julho de 2023, ocorrendo uma lacuna em janeiro de 2023. Os dados do mês de janeiro foram preenchidos pelos dados do CIIAGRO, no entanto, os oito primeiros dias do mês de agosto de 2023 (data do último monitoramento 08/08/2023), não foram coletados pela estação

CIIAGRO, uma vez que o referido banco de dados apresentou uma lacuna de 13/07/2023 a 17/08/2023. Assim, o último trimestre de monitoramento pode apresentar uma variação para menos nos dados de chuva. Já em Corumbataí, os dados fornecidos pelo DAEE também foram divulgados até julho de 2023, sendo os oito primeiros dias de agosto de 2023 (data do último monitoramento 08/08/2023), preenchidos com os dados da estação CIIAGRO supracitada.

Os dados pluviométricos foram organizados em tabelas conforme o intervalo de tempo estipulado para o monitoramento erosivo (trimestral), visando uma análise comparativa.

#### 5.5. Características físicas dos solos

Em campo, foi coletado material e obtidos dados para as seguintes variáveis físicas dos solos: granulometria, infiltração e resistência do solo à penetração. Os trabalhos de campo foram organizados em janeiro, agosto e setembro de 2021, buscando mensurar os dados de infiltração e de resistência do solo à penetração em período úmido e seco. As amostras de solo para granulometria foram coletadas em janeiro, considerando a facilidade de tráfego devido ao solo úmido.

As amostras foram coletadas a partir de densa malha amostral, exemplificada por um total de 56 e de 28 pontos em Corumbataí e Analândia, respectivamente; sendo esta subdividida em escala de 1:1.000, abrangendo as sub-bacias de interesse (27 pontos de Corumbataí e 6 em Analândia), e em escala de 1:250, correspondente aos setores erosivos de interesse (29 pontos em Corumbataí e 22 em Analândia), conforme já apresentando nas Figuras 1 e 2.

A malha correspondente à sub-bacia, foi organizada a partir do princípio da topossequência, visando avaliar de forma ampla os solos que constituem as vertentes convergentes aos sistemas erosivos de Analândia e de Corumbataí. Destaca-se que devido as características da área em Analândia, a topossequência foi especializada a jusante da estrada rural que corta a sub-bacia, uma vez que os solos a montante da estrada são incipientes ou inexistentes, devido a presença do Morro Testemunho do Camelo.

##### 5.5.1 Taxa de infiltração

Os dados de infiltração (ANEXO B) foram obtidos a partir do infiltrômetro de Hills (Guerra, 2002), com medidas padrão de 150 mm de comprimento e 100 mm de diâmetro interno. O infiltrômetro foi confeccionado em tubo soldável, buscando agregar mais

resistência ao equipamento, sendo a porção inferior do tubo chanfrada para facilitar a instalação em campo.

O infiltrômetro sempre foi instalado próximo aos pontos amostrais identificados via GPS e demarcados em campo por uma estaca de identificação. Tal medida foi adotada para reduzir variações nos dados devido a mudanças no local de instalação nos períodos úmido e seco. Quando necessário, gramíneas foram podadas de forma discreta para permitir a correta instalação.

O procedimento de instalação foi executado com um martelo anti-repique e com uma tábua de madeira apoiada sobre o infiltrômetro, fato que diminuiu a reverberação de ondas a partir do impacto do martelo, interferindo, de forma discreta, nas características pedológicas. A tábua de madeira auxiliou também na inserção do equipamento uniformemente no solo, permitindo toda a circunferência do tubo estar a aproximadamente 5 cm no interior do solo, evitando vazamentos. Ainda, com o auxílio de um nível, o equipamento foi nivelado, tanto no sentido da inclinação da vertente como perpendicularmente a inclinação. Com o equipamento instalado, acoplou-se uma régua milimetrada na porção do tubo localizada mais acima na vertente, atribuindo mais conforto ao operador. A régua foi fixada com um alicate geral.

Assim, o equipamento foi preenchido com água, utilizando uma rampa de plástico a fim de diminuir o impacto e turbilhonamento na superfície do solo. Com a lâmina d'água na altura de 10 cm, o abastecimento foi cessado, sendo iniciado o cronômetro. O experimento foi executado por 30 minutos ininterruptos, sendo a altura da coluna de água marcada a cada 30 segundos nos dois primeiros minutos e a cada 1 minuto no restante do tempo do experimento. Caso a coluna de água atingisse menos que 5 cm de altura, o equipamento era reabastecido, sendo este procedimento destacado na planilha de campo.

Com os dados de campo tabulados, a taxa média de infiltração em  $\text{cm}^3$  foi obtida a partir das relações:

$$VI = \pi r^2 * h \quad (1)$$

Sendo  $VI$  o volume infiltrado,  $r^2$  o raio do tubo amostral (5cm) e  $h$  a infiltração em  $\text{cm}$  em relação a instante anterior (30 segundos ou 1 minuto). Destaca-se que o valor de  $h$  dos 30 segundos iniciais e de pontos com abastecimento do equipamento, foi obtido a partir da subtração da medida do instante menos 10, uma vez que a medida inicial e posterior ao abastecimento sempre foi 10 cm.

Por fim, a taxa média de infiltração ( $\text{cm}^3/\text{s}$ ) foi obtida pela relação:

$$TI = VIT / t \quad (2)$$

Sendo  $TI$  a taxa média de infiltração,  $VIT$  o volume infiltrado total do experimento e  $t$  o tempo total do experimento em segundos (1800s).

### 5.5.2 Resistência do solo à penetração

Os dados de resistência (ANEXO C) foram obtidos a partir de um penetrômetro modelo Stolf, sendo submetidos ao programa computacional de dados em EXCEL-VBA (Stolf *et al.*, 2014) para obtenção da resistência do solo à penetração em mega pascal (MPa).

Os intervalos amostrais foram organizados em duas profundidades (10 a 15 cm e 40 a 45 cm), buscando mensurar a dinâmica de superfície e de subsuperfície das áreas de interesse. Em todos os pontos, o procedimento foi repetido no mínimo três vezes, buscando evitar a mensuração de especificidades dos setores. Uma quarta amostragem foi realizada quando os números se apresentaram significativamente discrepantes ou identificaram-se variações no pacote do *solum*, como vazios de subsuperfície ou corpos rochosos.

Os pontos amostrados nas vertentes receberam distanciamento de 50 cm entre si, auxiliando assim em uma amostragem mais fidedigna ao contexto do ponto amostral. Já no setor de monitoramento erosivo, a amostragem ocorreu a partir de uma métrica que se constituiu em traçar 40 cm para cada lado da estaca (paralelamente ao talude), na sequência traçar mais 20 cm em direção ao talude erosivo para realizar a primeira e segunda amostragem, sendo, por fim, mais 80 cm em direção ao talude para realizar a terceira e, se necessário, quarta amostragem. Tal sistemática, visou atribuir uma métrica entre os levantamentos realizados nos períodos úmido e seco.

No que concerne ao procedimento em campo, a cada ponto amostral foi anotado o centímetro inicial marcado na régua do equipamento, uma vez que os terrenos apresentaram irregularidades e o início do experimento não foi sempre com a régua marcando 0 cm. Assim, os intervalos estipulados para amostragem (10 a 15 cm e 40 a 45 cm) também foram modificados para cada ponto, ou seja, um ponto com 4 cm de variação no início do experimento, acresceu mais 4 cm nos respectivos intervalos (exemplo: 14 a 19 cm e 44 a 49 cm). Ao atingir cada intervalo de profundidade, o número de impactos foi anotado e zerado. Por fim, o curso em queda livre do peso foi de 40 cm, considerando orientações do fabricante. Destaca-se que os valores inseridos nas planilhas EXCEL-VBA (Stolf *et al.*, 2014) foram

provenientes das médias da profundidade e do número de impactos dos três ou quatro experimentos executados em campo.

Nas planilhas EXCEL-VBA, os dados de entrada foram adicionados a aba “Plan1”, preenchendo-se os campos “Impactos” e “Prof (cm)”. Na primeira linha de dados foi adicionado o número zero nos respectivos campos, visando garantir a formulação do gráfico de resistência a partir do início do eixo Y. Ainda, de acordo com Stolf *et al.* (2014), a planilha não deve iniciar em zero, pois a haste do equipamento insere-se alguns centímetros nos solos devido ao seu posicionamento e peso. No entanto, nas áreas de estudo analisadas, as quais são submetidas há anos ao uso pecuário, a haste do equipamento não apresentou inserção espontânea, ou seja, só foi inserida fruto do impacto. Portanto, reforça-se que os centímetros iniciais são provenientes de variações nas formas dos terrenos e não fruto da inserção da haste do equipamento no solo, fato que justifica o início da tabulação em zero.

Já a partir da segunda linha, foram adicionadas as médias dos números de impactos para cada intervalo, e as profundidades reais, as quais são fruto da subtração entre a média da profundidade de campo mensurada na régua do equipamento e a média dos centímetros iniciais. Por exemplo, um ponto que apresentou média de 3,4 cm iniciais e média de 15 cm no primeiro intervalo registrado (10 a 15 cm), obteve uma inserção média da haste no solo (profundidade real) de 10,6 cm, sendo este o valor utilizado nas planilhas EXCEL-VBA.

### 5.5.3 Análise granulométrica

As amostras de solos para análise granulométrica (ANEXO D) foram coletadas a partir de um trado Eldman Eijkelkamp com cabo cruzeta e baioneta de extensão para amostragens profundas.

Previamente às amostragens, realizou-se trabalho de campo para reconhecimento dos solos das áreas, tradando alguns pontos a partir da hipótese de mudança no material, evidenciada por alterações na morfologia do relevo. Em Corumbataí identificou-se uma transição, a qual pode estar associada aos Argissolos mapeados no setor (Koffler *et al.*, 1992). Já em Analândia identificou-se pacote homogêneo, sendo que a área se encontra no sopé do morro testemunho do Camelo, com influência significativa de colúvios.

Desta forma, estipulou-se como parâmetro para coleta de amostras, profundidades próximas a 30 cm e a 60 cm, verificando assim os materiais alocados em superfície e subsuperfície. Tais intervalos interagem também com os dados de infiltração e resistência do solo à penetração. Por fim, destaca-se que as referidas profundidades foram parâmetros, sendo

que, quando identificados perfis significativamente heterogêneos, optou-se por coletar uma terceira amostra, estando esta em profundidade superior a 60 cm.

As amostras coletadas foram identificadas e armazenadas no Laboratório de Geomorfologia (LAGEO) para secagem. Todas as amostras foram submetidas ao peneiramento em malha de 2 mm, com posterior destorroamento em pistilo. Indica-se que uma fração de cada amostra foi preservada *in natura*, como medida de segurança, caso fossem necessárias análises nas quais o destorroamento gera interferência. Por fim, ¼ das amostras foi encaminhado para análise granulométrica.

Para as análises granulométrica utilizou-se o sedígrafo modelo Mastersizer 2000 com tecnologia de difração a laser e intervalo de leitura de 0,02 µm a 2000 µm, tendo acoplado um acessório de dispersão por via úmida modelo Hydro 2000MU, sendo o *software* de processamento o Mastersizer 2000 versão 6.01. Os parâmetros atribuídos ao Hydro 2000MU foram *Pump speed* 2400 rpm, *Ultrasonic displacement* 12.50 µ e *Ultrasonic timer* 00.15 s.

Antes de cada leitura granulométrica, o sistema do equipamento foi submetido à circulação de água deionizada para limpeza dos condutos, sendo a limpeza realizada três vezes, com permanência média de 3 minutos para cada jarra de água deionizada. Ao final da limpeza, um becker com 800 ml de água deionizada foi posicionado no agitador do equipamento, sendo o mesmo submetido a função *Measurement Background*, a qual realiza uma leitura da solução sem as partículas de solo ou sedimento, visando gerar um parâmetro de obscurescência da lente do sensor. O parâmetro de densidade estabelecido para leitura foi de 10 a 20%. Assim, adicionou-se solo à solução até a obscurescência ficar próxima de 10%, acrescentando, aproximadamente, 3 gotas de solução dispersante de hexametáfosfato de sódio em 10% de concentração e submetendo o conteúdo do becker a 15 segundos de ondas de ultrassom com 12.5 µ para fragmentação dos agregados do solo. Assim, por ação da solução dispersante e das ondas de ultrassom, o nível de obscurescência aumenta, devendo ficar entre 10 e 20% para se realizar a leitura. Em caso de obscurescência menor que o intervalo, mais solo foi adicionado à solução sendo novamente aplicado o ultrassom; já em caso de obscurescência superior ao intervalo, a amostra foi descartada. Por fim, a amostra foi submetida à leitura por difração a laser, obtendo-se a concentração de material em porcentagem em relação a cada intervalo de tamanho da partícula. A mensuração foi obtida em triplicata, utilizando ao final os dados médios.

As médias dos resultados geradas para cada ponto no ambiente do *software* do Mastersizer 2000, foram exportadas a partir da função *Export data*, usando como separador a função *tabs*. Posteriormente, os arquivos gerados foram organizados no ambiente Excel a partir dos intervalos propostos pela NBR 6502/1995 e apresentados em porcentagem (%). Destaca-se que os intervalos granulométricos (NBR 6502/1995) foram: areia como partículas entre 0,06 mm e 2 mm, sendo subdivido em areia fina (0,06 mm a 0,2 mm), areia média (0,2 mm a 0,60 mm) e areia grossa (0,60 mm a 2 mm); silte partículas entre 0,002 mm e 0,06 mm; e argila partículas menores que 0,002 mm.

#### 5.5.4 Análise dos dados das características físicas dos solos

Devido à complexidade dos sistemas em voçorocamento e conseqüentemente das variáveis físicas dos solos, os dados foram, preliminarmente, organizados a partir dos setores de monitoramento de Corumbataí (A; B superior e inferior e C superior e inferior) e de Analândia (margem direita, cabeceira e margem esquerda). Em cada setor, selecionaram-se os pontos de monitoramento que evidenciaram perda total acima da média geral, calculada em 0,45 m para Corumbataí e 0,62 m para Analândia. Dos pontos acima da média, selecionou-se um ponto por setor, utilizando com critério o maior valor de perda de material total. A partir destes pontos, verificaram-se os valores extremos das variáveis físicas do solo (valores máximos ou mínimos), notando-se uma boa correspondência, sendo tais dados tabulados e organizados a partir de valores de 0 a 5, no qual zero representada o não registro de valores extremos e cinco alta ocorrência de valores extremos.

#### 5.6 Geoespacialização das características físicas dos solos

Os dados correspondentes as características físicas dos solos foram submetidos às técnicas de *krigagem* (*Geoestatistical Wizard*) e de *Inverse Distance Weighted* (IDW) disponibilizadas pelo ArcGis Pro. Indica-se que inicialmente testou-se a técnica de *krigagem* para ambas as malhas, mas devido as características das malhas amostrais, adotou-se a técnica de *krigagem* para os dados da sub-bacia e a técnica IDW para os dados do setor erosivo, uma vez que, os espaçamentos dos pontos de coleta são mais irregulares nas malhas das sub-bacias e mais regulares no setor de monitoramento erosivo, questão que será detalhada na sequência. Para os dados submetidos à *krigagem* os limites de expansão foram os próprios divisores d'água das sub-bacias. Já para o produto IDW, foram gerados *buffers* de 3 metros no entorno de cada ponto amostral, visando delimitar uma zona de influência que atingisse o talude erosivos, os quais, originalmente, estavam a três metros das estacas de monitoramento. A partir dos *buffers*, foi possível delimitar as extremidades da área amostral.

### 5.6.1 Geoespacialização das características físicas dos solos das sub-bacias

A *krigagem* apresenta um componente estrutural que parte do princípio que a tendência local varia de um ponto ao outro (ESRI, 2024), apresentando boas respostas na espacialização de dados provenientes de malhas amostrais irregulares (Stefanuto *et al.*, 2022). Os pontos amostrais correspondentes a sub-bacia, apresentam distribuição irregular, fato que gera áreas mais ou menos densas do ponto de vista amostral. De acordo com as propostas de Carvalho e Schulte (2013), Carvalho (2014) e Stefanuto *et al.* (2022), os quais utilizaram dados similares ao deste estudo, a *krigagem* do tipo ordinária pode apresentar bons resultados na referida situação.

Sobre o uso da ferramenta *Kriging/CoKriging*, nos ajustes iniciais, selecionou-se a função *Predicion*, com o intuito de obter as estimativas de determinada variável em pontos não amostrados, descartando, assim, outros dados como a taxa de erro médio (em *Transformation Type* e *Order of trend removal* não foram adicionados comandos). Devido a malha de pontos ser irregular, optou-se pela interpolação dos valores a partir de semivariogramas, função que garante pesos iguais aos dois critérios utilizados (valor atribuído ao ponto e distância entre os pontos). Utilizou-se também a função *Stable*, a qual propiciou uma maior proximidade entre a linha do variograma e o valor médio dos pontos. A função *Optimize Model* não foi utilizada, buscando não atribuir ruídos aos dados matrizes, uma vez que a função recalcula os valores atribuídos para formulação do semivariograma através de técnicas de correção. Por fim, selecionou-se a função *Standard*, a qual possibilitou alguns ajustes de layout no produto da *krigagem*; optando pela repartição da espacialização em oito setores na função *Sector Type*, visando à formulação de um produto mais detalhado; e, nas correlações máximas entre vizinhos, adotou-se o valor de 10, buscando explorar o máximo de correlações possíveis entre os pontos amostrais.

Devido aos valores poucos variáveis entre as amostras coletadas, os dados da fração granulométrica areia fina, da camada superficial e profunda, correspondentes a sub-bacia em Analândia; e os dados de silte, da camada profunda, correspondentes a sub-bacia em Corumbataí, foram *krigados* com a função *Model Nugget* desabilitada, visando melhorar a visualização dos dados espacializados. A função serve para atenuar, em microescalas, pequenas variações numéricas, fato que, nesta situação, mascarou o pequeno *range* numérico presente nas referidas amostras, generalizando toda a área em uma ou duas classes.

Por fim, o produto da *krigagem* foi exportado no formato vetorial a partir da ferramenta *Export to Contour*, selecionando a função *Presentation*, a qual garante isolinhas mais detalhadas para a classe do dado de saída, e a função *Geometric Interval*, visando gerar quebras de contorno calculadas com base em intervalos geométricos. Em *Contour Type* selecionou-se *Same as layer*, visando utilizar o renderizador da camada geoestatística de entrada. O número de classes do intervalo geométrico foi o mesmo de cada produto proveniente da *krigagem*. Os produtos foram estendidos para o limite da sub-bacia a partir da função *Extent of a Layer*.

#### 5.6.2 Geoespacialização das características físicas dos solos dos setores de monitoramento erosivo

A ferramenta IDW gera uma média ponderada da distância, sendo que esta não pode ser maior nem menor que o dado de entrada (Philip; Watson, 1982). Os melhores resultados do IDW são obtidos quando a amostragem é suficientemente densa em relação à variação local. Se a amostragem dos pontos de entrada for esparsa ou irregular, os resultados podem não representar adequadamente a especialização desejada (Philip; Watson, 1982). As malhas amostrais dos setores de monitoramento erosivo são densas, apresentando uma frequência de um ponto amostral para 33 m<sup>2</sup> (área total 727 m<sup>2</sup> com 22 pontos amostrais) em Analândia, um ponto amostral para 16 m<sup>2</sup> (área total 81 m<sup>2</sup> com 5 pontos amostrais) no setor A de Corumbataí e um ponto amostral para 29 m<sup>2</sup> (área total 847 m<sup>2</sup> com 29 pontos amostrais) nos setores B e C de Corumbataí.

No ambiente da ferramenta IDW (*Geostatistical Analyst Tools*) manteve-se a função *power* com números baixos (2), visando permitir a influência dos dados vizinhos na interpolação de um determinado ponto e garantir a proposta de amostragem através de uma malha de pontos. Selecionou-se também a função *Standard*, a qual possibilitou alguns ajustes de layout no produto IDW, como a setorização, a qual foi atribuído o valor máximo (8), buscando explorar as interações entre os dados; e o número máximo (15) e mínimo (10) de vizinhos que foram utilizados para estimar o valor local. Por fim, em *Environments*, a interpolação IDW foi estendida (*Extent of a Layer*) para o limite da área de estudo pertinente. As classes geradas pela ferramenta IDW foram mantidas. Desta forma, utilizou-se intervalos geométricos distribuídos em 10 classes, fato que permitiu a visualização de uma variação paulatina entre as variáveis representadas pelos pontos amostrais.

## 5.7 Datação por Pb<sup>210</sup>

A datação por Pb<sup>210</sup> foi realizada a partir dos sedimentos fluviais do Córrego da Boa Vista em Corumbataí e de um afluente do córrego Santa Terezinha em Analândia, permitindo ampla compreensão da taxa de sedimentação das bacias hidrográficas nas quais as voçorocas estão inseridas. As bacias hidrográficas foram amostradas no alto, médio e baixo curso. Em Corumbataí as amostras foram coletadas em 26/07/2022 no alto e médio curso e em 04/11/2022 no baixo curso. Já em Analândia todas as amostras foram coletadas em 24/04/2023.

Para coleta utilizou-se um amostrador Multisampler operado por haste da Eijkelkamp. As amostras foram coletadas sempre no leito menor dos córregos e transportadas para o Laboratório para Análise de Formações de Superfície (LAFS), visando a retirada dos sedimentos do tubo de amostragem.

Em Corumbataí, a amostra do Ponto 1 (alta bacia) apresentou coluna de sedimentos de 55 cm, do Ponto 2 (média bacia) 50 cm e do Ponto 3 (baixa bacia) 70 cm. O intervalo de fatiamento das amostras foi definido em 5 cm, originando 11 amostras para datação no Ponto 1, 10 no Ponto 2 e 14 no Ponto 3.

Já em Analândia, o Ponto 1 (alta bacia) apresentou coluna de sedimentos de 70 cm; Ponto 2A e 2B (média bacia) colunas de 25 cm e 18 cm, respectivamente; e o Ponto 3 (baixo curso) coluna com 30 cm. Destaca-se que nos Pontos 1, 2A e 3 os intervalos de fatiamento foram de 5 cm, sendo que no ponto 2B, o intervalo foi de 3 cm, por constituir-se em um testemunho pequeno (18 cm). Sendo assim, foi possível obter 14 amostras para o Ponto 1, 5 para o Ponto 2A, 6 para o Ponto 2B, 6 para o Ponto 3. Devido aos testemunhos poucos representativos dos pontos 2A, 2B e 3, as datações das referidas amostras não foram consideradas na análise dos resultados, uma vez que podem apresentar margem de erro significativa quanto as taxas de sedimentação e de deposição.

As amostras fracionadas foram armazenadas na sala de Entrada de Amostras do LAFS para secagem, sendo posteriormente destorroadas em pistilo. Na sequência foram pesadas e acondicionadas em placas de Petri de 62 mm de diâmetro e 23 mm de altura. As placas com as amostras também foram pesadas e identificadas com o número de registro do laboratório, sendo lacradas e armazenadas durante quatro semanas para estabilização dos sinais radioativos dos isótopos de Rádio (Ra<sup>226</sup>) e Chumbo (Pb<sup>210</sup>).

Posteriormente, as amostras foram submetidas à quantificação destes isótopos por espectrometria gama, através um cristal de Germânio hiperpuro, modelo Gamma-X HPGe acoplado ao Solid-State Photon Detector da Ortec. Cada amostra foi submetida a aproximadamente 24 horas de leitura pelo equipamento, sendo posteriormente identificados os picos de atividade de  $Ra^{226}$  e  $Pb^{210}$ , descartando-se os backgrounds. O limite de detecção foi de  $3Bqkg^{-1}$  para  $Ra^{226}$  e  $Pb^{210}$ , com eficiência de 30 %, e resolução de 1,8 KeV para o pico de  $60-Co$  (1,33 MeV). As taxas de sedimentação foram determinadas com base na taxa constante de fornecimento de modelo  $Pb^{210}$  não suportado em excesso ou modelo CRS ( $Pb^{210}_{xs(z)}$ ) (Robbins, 1978; Appleby; Oldfield, 1978), no qual:

$$Pb^{210}_{xs(z)} = Pb^{210} - Ra^{226} \quad (3)$$

Ainda, para o modelo CRS, o excesso de  $Pb^{210}$  em qualquer camada  $z$  do núcleo sedimentar é dado pela Equação:

$$Pb^{210}_{xs(z)} = Pb^{210}_{xs(0).e^{(-\lambda_{210}.t)}} \quad (4)$$

Onde  $Pb^{210}_{xs(z)}$  representa o não suportado ou excesso de  $Pb^{210}$  na interface sedimento-água ( $Bqkg^{-1}$ );  $\lambda_{210}$  é o decaimento da constante radioativa para  $Pb^{210}$  ( $0,0311 \text{ ano}^{-1}$ );  $t$  é o tempo desde a deposição (ano).

Por fim, os dados foram organizados em gráficos para apresentação.

## 5.8 Proposta de modelo diagnóstico para taludes erosivos de voçorocas

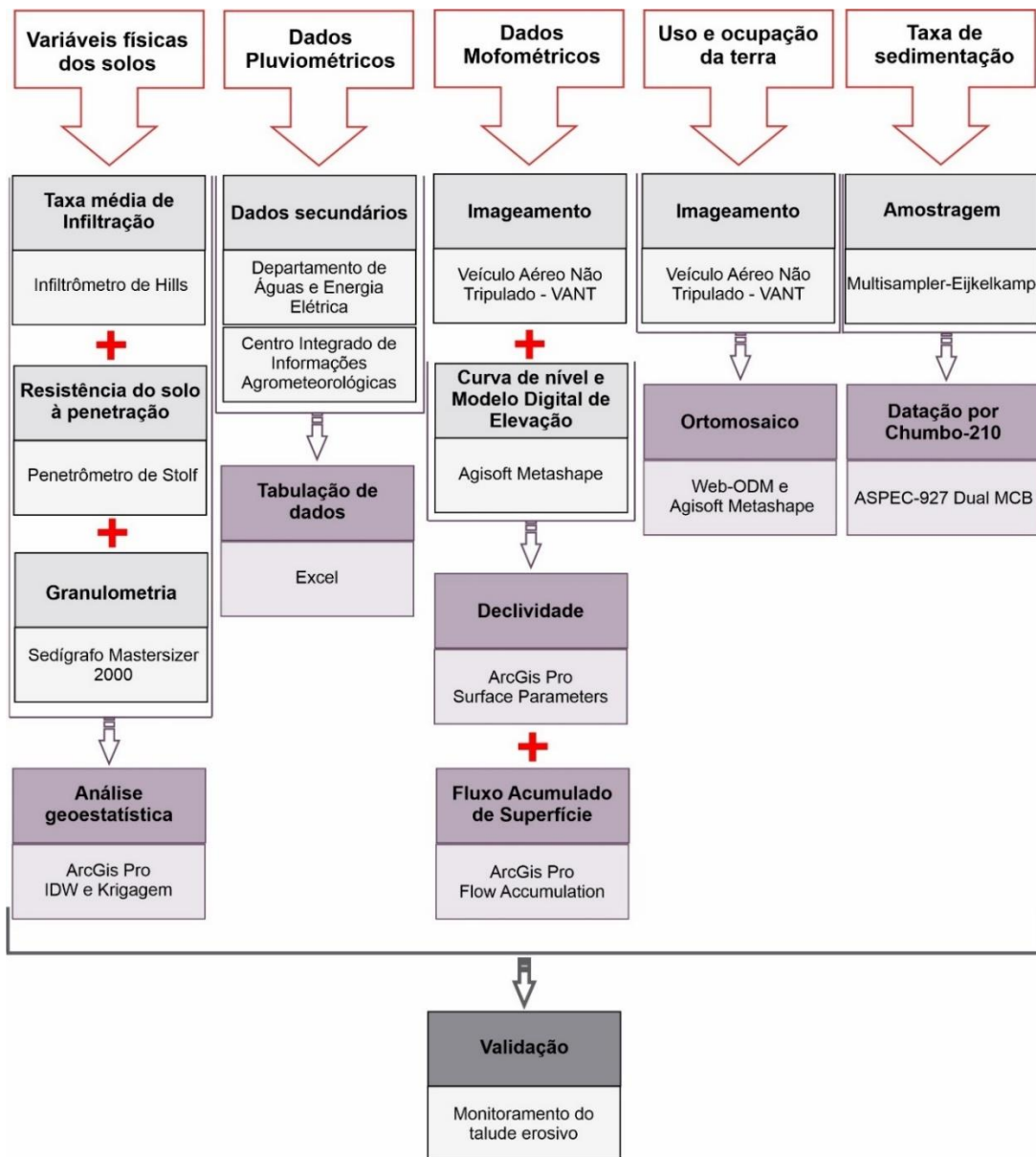
A partir da compilação das técnicas apresentadas, é possível propor um modelo diagnóstico para o talude erosivo de voçorocas em ambiente quente e úmido, sendo este organizado em cinco eixos: variáveis físicas dos solos, dados pluviométricos, dados morfométricos, uso e cobertura da terra e taxa de sedimentação (Figura 6).

Neste contexto, as variáveis físicas são identificadas a partir da taxa média de infiltração, resistência do solo à penetração e granulometria, sendo relevante analisar tais dados especialmente a partir de técnicas geoestatísticas. Os dados pluviométricos serão variáveis a partir do padrão de coleta da fonte secundária de dados, valendo priorizar dados com frequência, no mínimo, diária. Para os dados morfométricos, destacam-se os de declividade e de fluxo acumulado de superfície, sendo importante considerar o nível de detalhamento do dado de entrada para o processamento destes mapas. O uso e cobertura da terra também é relevante, e pode ser obtido a partir de ortomosaicos com resolução espacial de detalhe, fato que permite a análise do uso da terra sem o processo de vetorização. Por fim,

para obter a taxa de sedimentação, vale analisar o range temporal da pesquisa, sendo que neste caso foi relevante analisar um passado recente, optando-se pela datação por Pb<sup>210</sup>.

Ao final do levantamento das variáveis citadas, é relevante ponderá-las em grau de importância para compreender, no referido sistema em voçorocamento, quais dados refletem maior ou menor concordância com os setores mais ou menos dinâmicos do talude erosivo. Neste sentido, o monitoramento de detalhe do talude erosivo é imprescindível, pois garante o acompanhamento da referida dinamicidade. Para o monitoramento indica-se o período mínimo de dois anos, visando gerar trimestres comparativos e identificar possíveis *out lighters*.

Figura 6 - Fluxograma metodológico.



Fonte: o autor.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

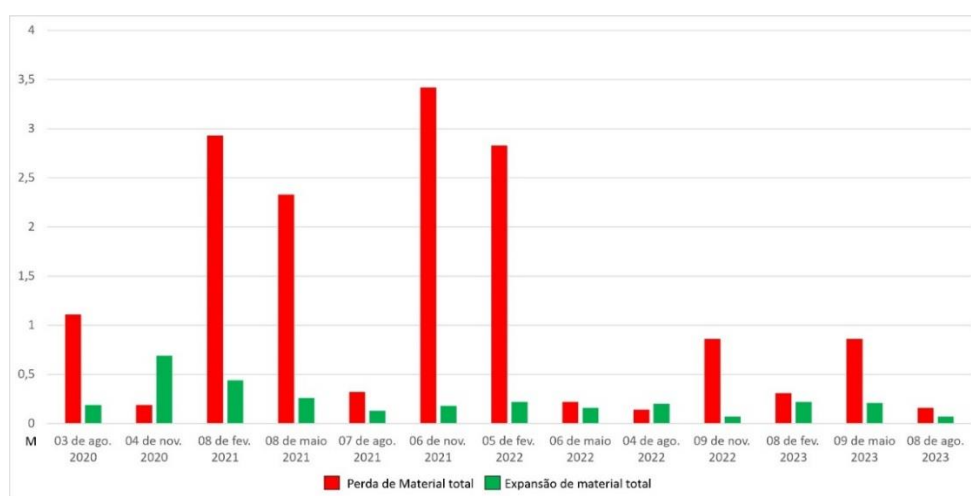
Os resultados foram organizados conforme os objetivos específicos propostos, subdividindo cada item a partir das áreas de estudo. Ao final desta seção apresenta-se o cruzamento das informações das áreas de estudo, visando uma análise integrada dos compartimentos geomorfológicos abarcados.

### 6.1. Análise da evolução dos taludes erosivos das voçorocas.

#### 6.1.1 Corumbataí

O talude erosivo monitorado em Corumbataí apresenta fator dinâmico, que se evidencia pelas características de campo (Figura 7) e por medidas que apontam para uma relação distinta, entre perda (valores em vermelho) e expansão de material<sup>1</sup> (valores em verde na Tabela 1). De modo geral, quatro trimestres ganharam relevância em relação aos valores totais de perda (Gráfico 1), sendo estes: novembro de 2021 (3,42 m de perda de material), fevereiro de 2021 (2,93 m), fevereiro de 2022 (2,83 m) e maio de 2021 (2,33 m). Em contraponto, os períodos com menor perda de material foram: novembro de 2020 (0,19 m), agosto de 2023 (0,16 m) e agosto de 2022 (0,14 m). A dinâmica de expansão mais significativa, se concentrou de forma sequencial nos meses de novembro de 2020 (0,69 m), fevereiro (0,44 m) e maio (0,26 m) de 2021, sendo os valores de expansão menos significativos registrados em novembro de 2022 (0,07 m), agosto de 2023 (0,07 m) e em agosto de 2021 (0,13 m) (Tabela 1).

Gráfico 1 – Perda e expansão de material total em Corumbataí

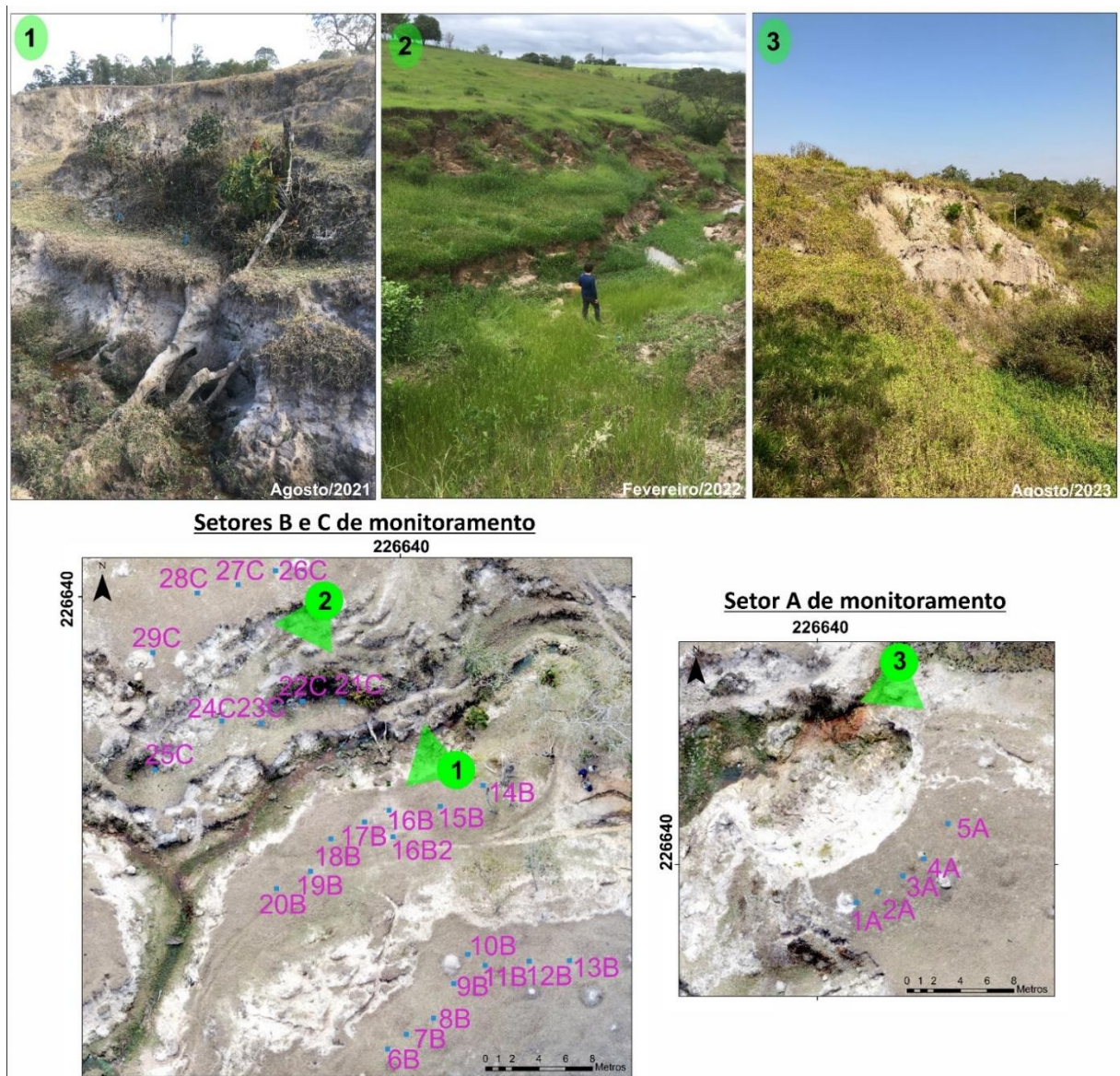


Fonte: o autor.

<sup>1</sup> A expansão do material é caracterizada pelo aumento da distância entre a estaca de monitoramento e o ponto de leitura, na borda do talude erosivo.

Em relação à perda de material, esta constitui-se em uma característica clássica dos taludes erosivos de voçorocas com grau significativo de dinamicidade, na qual materiais se desprendem do mesmo, se acumulando ou sendo transportados pelo canal. De acordo com Bigarella (2003), a evolução morfológica dos taludes erosivos de voçorocas está intrinsecamente ligada aos fluxos de superfície e de subsuperfície, os quais contribuem para perda de material a partir da liquefação, ocasionando movimentos de massa e morfologias em forma de degrau, assim como escavações na base dos taludes em forma de concha com subsequente solapamento. De acordo com Wang *et al.* (2016), o processo de solapamento pode ocorrer por cisalhamento (*shearing failure*), tombamento (*toppling failure*) e/ou stress (*stress failure*) (Figura 8).

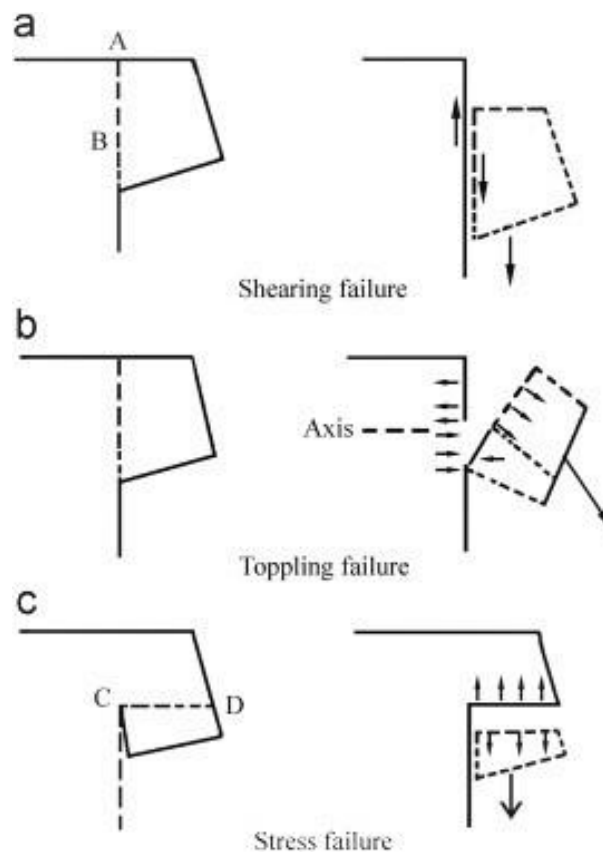
Figura 7 - Caracterização do sistema erosivo monitorado.



Fonte: o autor.

Já Oliveira (1999) destaca a dinamicidade a partir do processo de erosão por quedas d'água (*plunge pool erosion*), a qual pode ocorrer em taludes erosivos mais coesos na parte superior e menos coesos no sopé, sendo que, no processo de entrada do fluxo no sistema erosivo, ocasiona linhas de fluxo que criam um vórtice, com inversão da direção de fluxo na base do talude, gerando um processo de retirada de material. Ainda, fluxos superficiais com volumes reduzidos ocasionam filmes d'água no talude erosivo, gerando feições intituladas de filetes subverticais de escoamento superficial (Oliveira, 1999).

Figura 8 - Tipos de solapamento



Fonte: Wang *et al.* (2016)

Neste sentido, alguns pontos localizados nos setores A e B e C inferiores ganham destaque quanto a perda de material por período, uma vez que estão acima da média dos setores monitorados (Figura 9). Destaca-se que a média de perda de material no período total de monitoramento (agosto de 2020 a agosto de 2023) foi de 0,45 m. Assim, apresentam relevância numérica os pontos 2A (perda total em 13 meses de 0,46 m), 14B (1,03 m), 15B (2,23 m), 16B (1,88 m), 17B (0,81 m), 18B (0,49 m), 20B (0,71 m), 21C (2,56 m) e 22C (0,91 m).

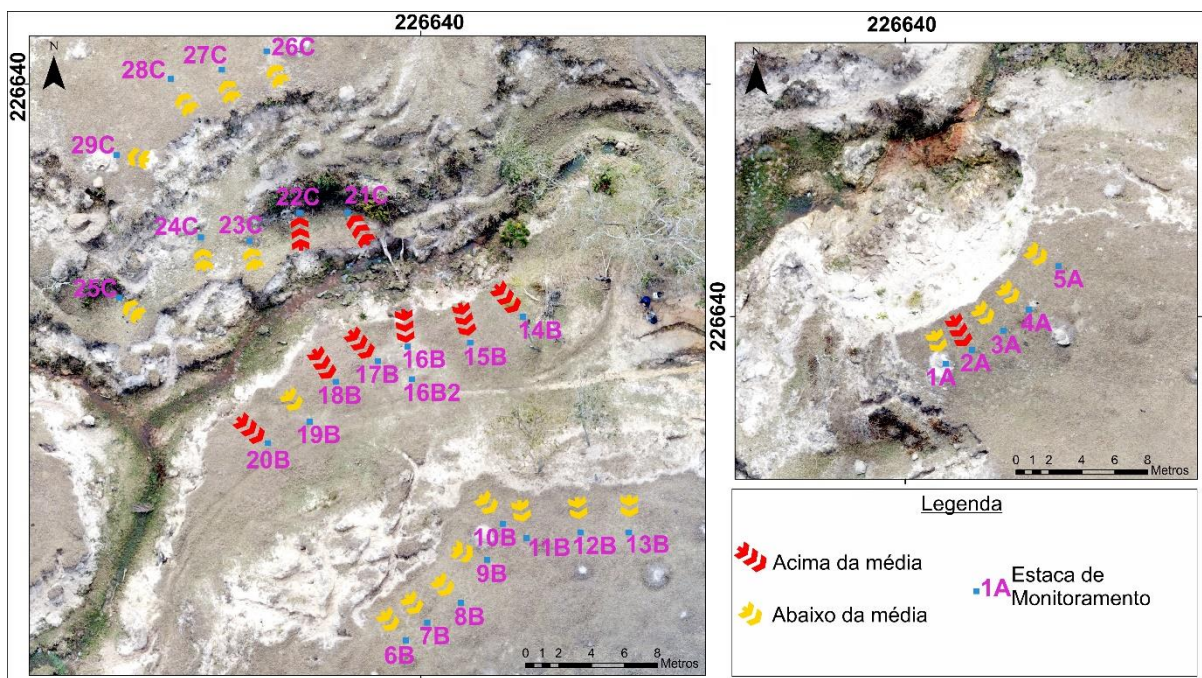
Tabela 1 - Dados de monitoramento do talude erosivo da voçoroca localizada em Corumbataí.

03 de ago. 2020			04 de nov. 2020		08 de fev. 2021		08 de maio 2021		07 de ago. 2021			06 de nov. 2021			05 de fev. 2022			06 de maio 2022			04 de ago. 2022			09 de nov. 2022		08 de fev. 2023		09 de maio 2023		08 de ago. 2023	
Setor A			Setor A		Setor A		Setor A		Setor A			Setor A			Setor A			Setor A			Setor A			Setor A		Setor A		Setor A		Setor A	
Identi.	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Identi.	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Identi.	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	
1A	2,90	0,10	2,91	0,01	2,91	0,00	2,91	0,00	1A	2,90	0,01	2,90	0,00	2,91	0,01	2,90	0,01	1A	2,91	0,01	2,91	0,00	2,91	0,00	2,91	0,00	2,93	0,02	2,92	0,01	
2A	2,90	0,10	2,88	0,02	2,88	0,00	2,88	0,00	2A	2,86	0,02	2,87	0,01	2,78	0,09	2,80	0,02	2A	2,81	0,01	2,55	0,26	2,56	0,01	2,54	0,02	2,54	0,00	2,54	0,00	
3A	3,00	0,00	2,94	0,06	2,73	0,21	2,74	0,01	3A	2,74	0,00	2,74	0,00	2,74	0,00	2,72	0,02	3A	2,72	0,00	2,72	0,00	2,73	0,01	2,71	0,02	2,71	0,00	2,71	0,00	
4A	3,00	0,00	3,00	0,00	3,02	0,02	3,02	0,00	4A	3,02	0,00	2,94	0,08	2,92	0,02	2,92	0,00	4A	2,93	0,01	2,93	0,00	2,94	0,01	2,92	0,02	2,92	0,00	2,92	0,00	
5A	3,00	0,00	2,99	0,01	3,00	0,01	3,02	0,02	5A	3,01	0,01	3,01	0,00	3,01	0,00	3,00	0,01	5A	3,02	0,02	3,01	0,01	3,02	0,01	2,99	0,03	2,98	0,01	2,98	0,01	
Setor B			Setor B		Setor B		Setor B		Setor B			Setor B			Setor B			Setor B			Setor B			Setor B		Setor B		Setor B		Setor B	
6B	3,00	0,00	3,00	0,00	3,00	0,00	3,01	0,01	6B	3,02	0,01	2,99	0,03	3,01	0,02	3,01	0,00	6B	2,98	0,03	2,97	0,01	2,97	0,00	2,97	0,00	2,97	0,00	2,97	0,00	
7B	3,00	0,00	3,00	0,00	3,02	0,02	3,04	0,02	7B	3,00	0,04	3,02	0,02	3,00	0,02	3,00	0,00	7B	2,99	0,01	2,99	0,00	3,00	0,01	3,00	0,00	3,00	0,00	3,00	0,00	
8B	3,00	0,00	3,05	0,05	3,07	0,02	3,08	0,01	8B	3,01	0,07	3,02	0,01	3,05	0,03	3,06	0,01	8B	3,05	0,01	3,05	0,00	3,06	0,01	3,05	0,01	3,02	0,03	3,02	0,03	
9B	3,00	0,00	3,06	0,06	3,08	0,02	3,08	0,00	9B	3,05	0,03	3,06	0,01	3,05	0,01	3,05	0,00	9B	3,06	0,01	3,07	0,01	3,03	0,04	3,06	0,03	3,08	0,02	3,08	0,02	
10B	3,00	0,00	3,00	0,00	3,06	0,06	3,06	0,00	10B	3,05	0,01	3,04	0,01	3,06	0,02	3,06	0,00	10B	3,09	0,03	3,05	0,04	3,05	0,00	3,03	0,02	3,04	0,01	3,04	0,01	
11B	2,96	0,04	3,00	0,04	3,00	0,00	2,95	0,05	11B	2,95	0,00	2,92	0,03	2,85	0,07	2,84	0,01	11B	2,85	0,01	2,87	0,02	2,84	0,03	2,86	0,02	2,86	0,00	2,86	0,00	
12B	3,00	0,00	3,00	0,00	3,01	0,01	2,95	0,06	12B	2,96	0,01	2,95	0,01	2,96	0,01	2,89	0,07	12B	2,90	0,01	2,92	0,02	2,89	0,03	2,89	0,00	2,88	0,01	2,88	0,01	
13B	3,00	0,00	3,06	0,06	3,03	0,03	3,05	0,02	13B	3,02	0,03	3,03	0,01	3,05	0,02	3,05	0,00	13B	3,04	0,01	3,04	0,00	3,02	0,02	3,04	0,02	3,04	0,01	3,03	0,01	
14B	2,80	0,20	2,82	0,02	2,82	0,00	2,89	0,07	14B	2,90	0,01	2,36	0,54	2,05	0,31	1,99	0,06	14B	2,01	0,02	1,95	0,06	1,95	0,00	1,97	0,02	1,97	0,00	1,97	0,00	
15B	2,89	0,11	2,87	0,02	2,91	0,04	2,52	0,39	15B	2,50	0,02	1,42	1,08	0,77	0,65	0,78	0,01	15B	0,78	0,00	0,78	0,00	0,78	0,00	0,78	0,00	0,77	0,01	0,77	0,01	
16B	3,03	0,03	3,08	0,05	2,19	0,89	1,60	0,59	16B	1,60	0,00	1,66	0,06	1,11	0,55	1,11	0,00	16B	1,11	0,00	1,11	0,00	1,12	0,01	1,12	0,00	1,12	0,00	1,12	0,00	
17B	2,93	0,07	2,92	0,01	2,88	0,04	2,91	0,03	17B	2,90	0,01	2,18	0,72	2,18	0,00	2,20	0,02	17B	2,19	0,01	2,15	0,04	2,18	0,03	2,19	0,01	2,19	0,00	2,19	0,00	
18B	3,05	0,05	3,10	0,05	2,85	0,25	2,85	0,00	18B	2,86	0,01	2,52	0,34	2,51	0,01	2,53	0,02	18B	2,56	0,03	2,54	0,02	2,52	0,02	2,52	0,00	2,51	0,01	2,51	0,01	
19B	3,00	0,00	3,00	0,00	3,02	0,02	3,05	0,03	19B	3,02	0,03	3,03	0,01	3,04	0,01	3,04	0,00	19B	3,05	0,01	3,04	0,01	3,05	0,01	3,05	0,00	3,05	0,00	3,05	0,00	
20B	3,00	0,00	3,05	0,05	3,16	0,11	2,71	0,45	20B	2,72	0,01	2,73	0,01	2,40	0,33	2,44	0,04	20B	2,45	0,01	2,30	0,15	2,28	0,02	2,28	0,00	2,29	0,01	2,29	0,01	
Setor C			Setor C		Setor C		Setor C		Setor C			Setor C			Setor C			Setor C			Setor C			Setor C		Setor C		Setor C		Setor C	
21C	3,03	0,03	3,07	0,04	2,13	0,94	2,17	0,04	21C	2,18	0,01	1,92	0,26	1,19	0,73	1,20	0,01	21C	1,18	0,02	1,13	0,05	1,16	0,03	0,44	0,72	0,44	0,00	0,44	0,00	
22C	2,55	0,45	2,57	0,02	2,32	0,25	2,16	0,16	22C	2,14	0,02	2,17	0,03	2,22	0,05	2,20	0,02	22C	2,17	0,03	2,07	0,10	2,07	0,00	2,07	0,00	2,07	0,00	2,09	0,02	
23C	3,03	0,03	3,06	0,03	3,16	0,10	2,67	0,49	23C	2,71	0,04	2,71	0,00	2,75	0,04	2,77	0,02	23C	2,79	0,02	2,77	0,02	2,81	0,04	2,88	0,07	2,89	0,01	2,89	0,01	
24C	3,03	0,03	3,10	0,07	2,88	0,22	2,85	0,03	24C	2,86	0,01	2,84	0,02	2,83	0,01	2,82	0,01	24C	2,81	0,01	2,81	0,00	2,83	0,02	2,83	0,00	2,83	0,00	2,83	0,00	
25C	3,00	0,00	3,04	0,04	3,02	0,02	2,96	0,06	25C	2,96	0,00	2,71	0,25	2,71	0,00	2,70	0,01	25C	2,70	0,00	2,71	0,01	2,56	0,15	2,57	0,01	2,56	0,01	2,56	0,01	
26C	3,02	0,02	3,06	0,04	3,06	0,00	3,05	0,01	26C	3,05	0,00	3,03	0,02	3,04	0,01	3,04	0,00	26C	3,04	0,00	3,04	0,00	3,04	0,00	3,05	0,01	3,05	0,00	3,05	0,00	
27C	3,00	0,00	3,04	0,04	3,03	0,01	3,01	0,02	27C	3,02	0,01	2,99	0,03	2,99	0,00	2,99	0,00	27C	2,99	0,00	3,00	0,01	3,01	0,01	3,00	0,01	3,00	0,01	3,00	0,00	
28C	2,96	0,04	2,98	0,02	2,90	0,08	2,88	0,02	28C	2,89	0,01	2,89	0,00	2,88	0,01	2,89	0,01	28C	2,88	0,01	2,80	0,08	2,81	0,01	2,80	0,01	2,80	0,01	2,75	0,05	
29C	3,00	0,00	2,93	0,07	2,93	0,00	2,93	0,00	29C	2,91	0,02	2,92	0,01	2,90	0,02	2,90	0,00	29C	2,90	0,00	2,89	0,01	2,89	0,00	2,89	0,00	2,89	0,00	2,88	0,01	
Total perda de material		1,11	0,19	2,93	2,33	0,32	3,42	2,83	0,22	0,14	0,86	0,31	0,86	0,16																	
Total expansão de material		0,19	0,69	0,44	0,26	0,13	0,18	0,22	0,16	0,20	0,07	0,22	0,21	0,07																	
Legenda:		Setor de monitoramento A				Setor de monitoramento B e C superior				Setor de monitoramento B e C inferior																					

Fonte: o autor.

Destaca-se que os pontos mencionados estão em contato com o canal, sendo que, de acordo com Wells *et al.* (2013), o volume de água no canal terá uma interação determinante com os taludes. Se a coluna d'água estiver atuando no topo do talude, esta poderá exercer uma pressão confinante, a qual tenderá a manter o material em seu lugar. Colunas d'água menos profundas, em comparação a altura do talude, poderão atuar no sopé do mesmo, ocasionando a retirada de material, tornando tais taludes mais suscetíveis a ocorrência de processos gravitacionais (Wells *et al.*, 2013). Outro fator que contribui para hipótese de atuação do canal na perda de material, são os dados dos setores B e C superiores, os quais não estão em contato com o canal e evidenciam diversos pontos em estabilidade ou com baixa dinamicidade, uma vez que, no caso do setor B superior, 63% dos pontos apresentam valores iguais ou superiores à 3 m (distância inicial de instalação da estaca) e, no caso do C superior, 50% dos pontos de monitoramento apresentarem tal dinâmica.

Figura 9 - Setores do talude erosivo e suas respectivas dinâmicas. A média total de perda de material durante o período total analisado foi 0,45 metros.



Fonte: o autor.

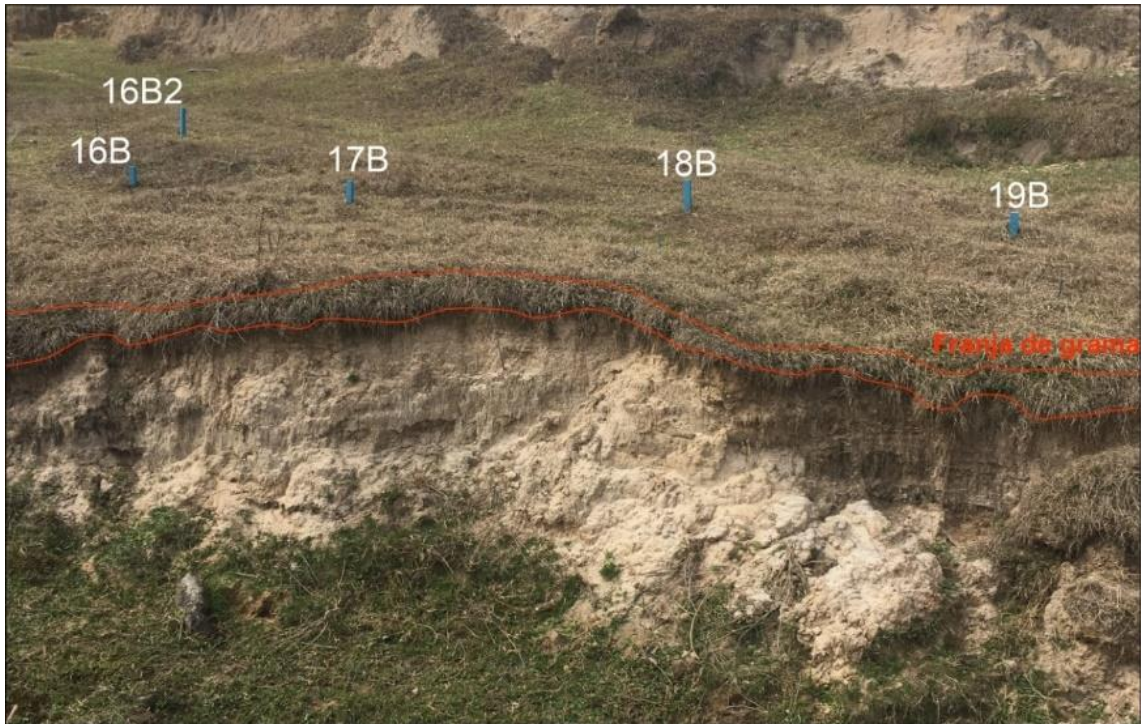
Já a expansão do talude erosivo constitui-se em uma dinâmica pouco explorada na literatura, sendo possível sua verificação somente a partir de técnicas de monitoramento de detalhe do talude erosivo. Neste sentido, o processo de tombamento (Wang *et al.*, 2016) pode se constituir em um caminho de análise, uma vez que, previamente ao solapamento, a parte superior do talude pode inclinar-se para o interior das voçorocas, sendo que, de acordo com a

técnica de monitoramento utilizada, pode aumentar a distância entre a estaca e o ponto de leitura no talude erosivo.

Alguns pontos de monitoramento ratificam tal informação (Tabela 1). Por exemplo, o Ponto 20B apresentou 0,11 m de aumento da distância da estaca ao talude em fevereiro de 2021 (valor mais significativo no período de análise), sendo que no monitoramento seguinte (maio de 2021) registrou-se 0,45 m de recuo do talude; o Ponto 23C apresentou 0,10 m aumento da distância em fevereiro de 2021, registrando perda de material de 0,49 m em maio de 2021 (monitoramento seguinte); Ponto 24C, expansão de 0,07 m em novembro de 2020, culminando em 0,22 m de recuo no monitoramento seguinte (fevereiro de 2021); Ponto 16B, 0,06 m de expansão em novembro de 2021, com 0,55 m de evolução em fevereiro de 2022; Ponto 14B, com destaque para o fator não linear no processo e resposta, com expansões seguidas de 0,07 m (maio de 2021) e de 0,01 (agosto de 2021), culminando em perda de material em de 0,54 m em novembro de 2021.

No entanto, nem todos os dados/pontos apresentam relação direta entre expansão e posterior solapamento. Com isso, é importante analisar a dinâmica expansiva a partir da ocupação do ponto de leitura do talude erosivo por gramíneas. Estas podem ter variações significativas no índice de massa foliar e conseqüentemente de fitomassa, a partir da disponibilidade de água e estação do ano (Viana *et al.*, 2007), fato que, por estarem localizadas nos pontos de leitura (ponto de posicionamento da régua de leitura), podem interferir e variar a medida em alguns centímetros. Em campo, verificou-se a ocorrência de franjas de gramas sobrepostas à parte superior do talude erosivo (Figura 10), cabendo destacar que mesmo em períodos secos (agosto de 2021) as franjas apresentam-se sobre os pontos de leitura, ocasionando interferências.

Figura 10 - Franja de grama sobre os pontos de leitura em agosto de 2021.

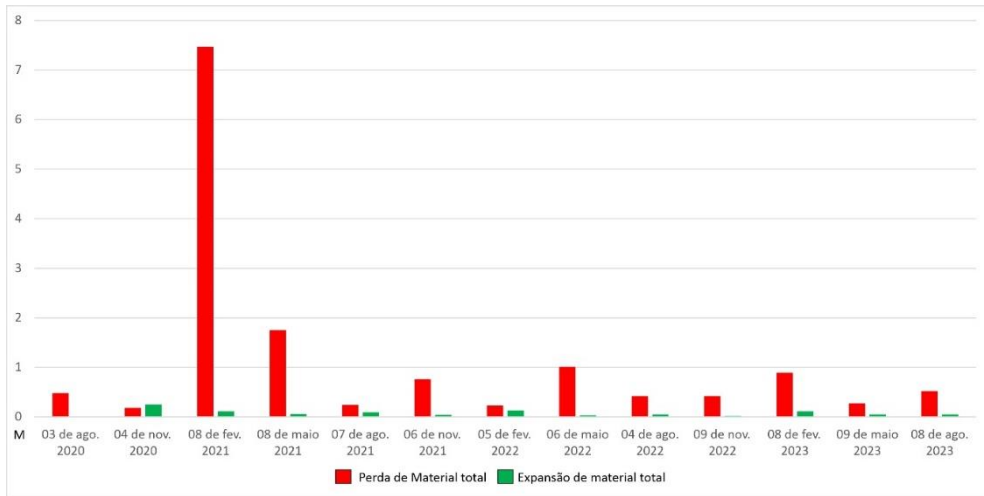


Fonte: o autor.

#### 6.1.2. Analândia

De modo geral, quatro trimestres ganham relevância na análise dos valores de perda de material (Tabela 2; Gráfico 2), sendo estes: fevereiro de 2021 (7,47 m de total de perda de material), maio de 2021 (1,75 m), maio de 2022 (1,01 m) e fevereiro de 2023 (0,89 m). Os dois maiores valores estão associados às perdas de material ocorrentes nos pontos de monitoramento 13 e 14, sendo ambos localizados no setor de cabeceira do sistema erosivo. Em fevereiro de 2021, por exemplo, o ponto 13 apresentou 1,97 m de perda de material e o ponto 14 registrou 3,00 m, sendo que no monitoramento seguinte, maio de 2021, o ponto 14 também apresentou valores ascendentes, registrando 1,13 m de perda de material. Nos demais cenários (maio de 2022 e fevereiro de 2023), o setor de cabeceira reduz expressividade quanto à perda de material, sendo registrados valores mais significativos nas margens esquerda e direita.

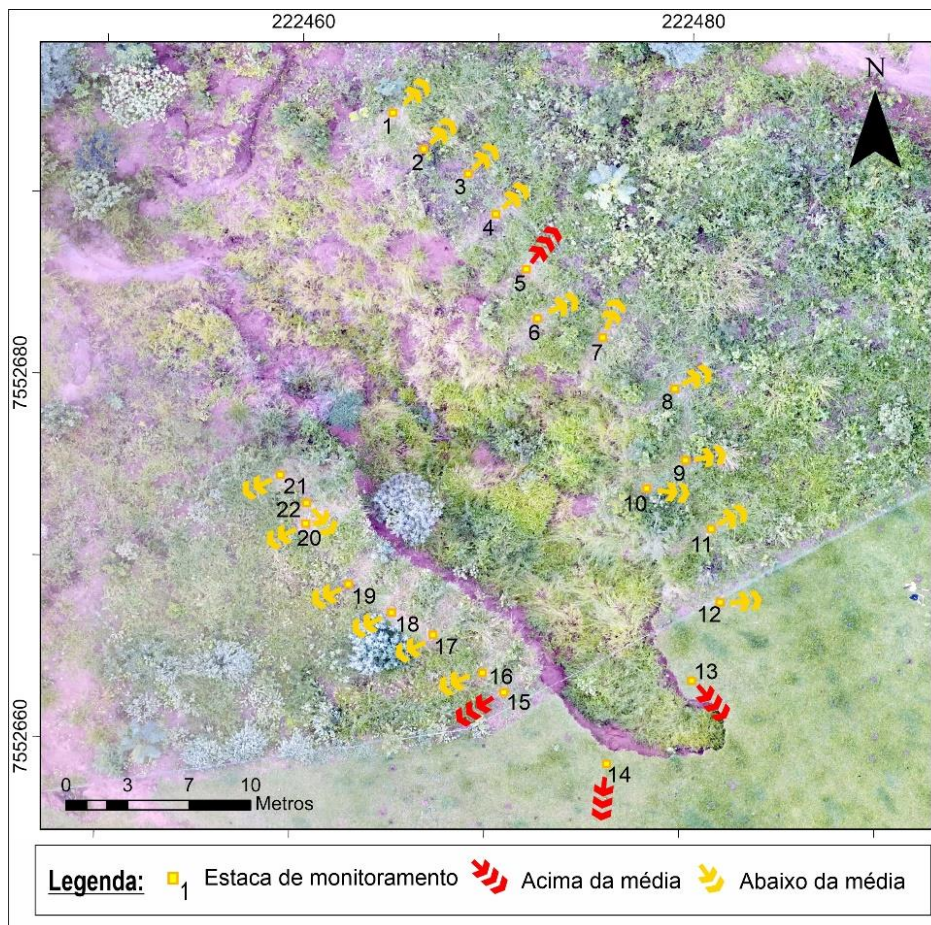
Gráfico 2 – Perda e expansão total de material em Analândia



Fonte: o autor.

Destaca-se ainda que a média de perda de material por ponto no período foi de 0,62 m, com relevância numérica (acima de média) para os pontos 5 (perda total em 13 meses de 1,13m), 13 (2,06 m), 14 (4,34 m) e 15 (0,96 m) (Figura 11).

Figura 11 - Setores do talude erosivo e suas respectivas dinâmicas. A média total de perda de material durante o período analisado foi 0,62 metros.



Fonte: o autor.

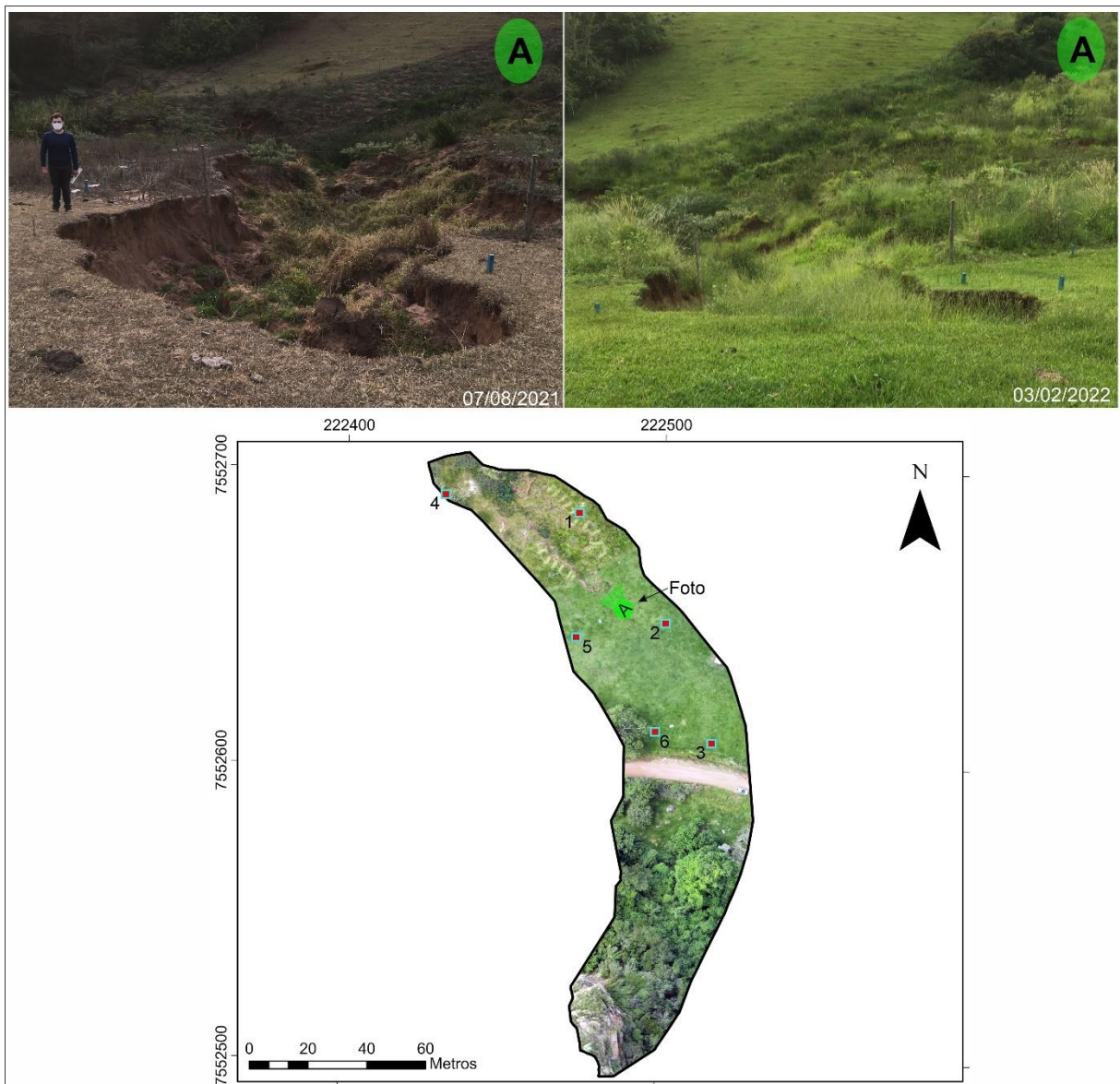
Tabela 2 - Dados de monitoramento do talude erosivo da voçoroca localizada em Analândia.

03 de ago. 2020			04 de nov. 2020		08 de fev. 2021		08 de maio 2021		07 de ago. 2021			06 de nov. 2021		05 de fev. 2022		06 de maio 2022		04 de ago. 2022			09 de nov. 2022		08 de fev. 2023		09 de maio 2023		08 de ago. 2023	
Margem direita			Margem direita		Margem direita		Margem direita		Margem direita			Margem direita		Margem direita		Margem direita		Margem direita			Margem direita		Margem direita		Margem direita		Margem direita	
Identi.	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Identi.	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Identi.	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)	Dist. (M)	Evo. (M)
1	3,00	0,00	2,92	0,08	2,74	0,18	2,75	0,01	1	2,75	0,00	2,77	0,02	2,73	0,04	2,71	0,02	1	2,71	0,00	2,72	0,01	2,69	0,03	2,68	0,01	2,67	0,01
2	3,00	0,00	3,00	0,00	3,00	0,00	3,01	0,01	2	3,01	0,00	2,97	0,04	2,95	0,02	2,94	0,01	2	2,94	0,00	2,94	0,00	2,96	0,02	2,95	0,01	2,95	0,00
3	3,00	0,00	3,00	0,00	3,03	0,03	2,88	0,15	3	2,84	0,04	2,83	0,01	2,86	0,03	2,78	0,08	3	2,62	0,16	2,62	0,00	2,62	0,00	2,57	0,05	2,51	0,06
4	3,00	0,00	2,98	0,02	3,01	0,03	2,81	0,20	4	2,80	0,01	2,80	0,00	2,79	0,01	2,79	0,00	4	2,80	0,01	2,80	0,00	2,68	0,12	2,67	0,01	2,67	0,00
5	3,00	0,00	3,00	0,00	2,14	0,86	2,14	0,00	5	2,14	0,00	2,12	0,02	2,11	0,01	1,92	0,19	5	1,91	0,01	1,90	0,01	1,88	0,02	1,87	0,01	1,87	0,00
6	3,00	0,00	3,04	0,04	2,65	0,39	2,66	0,01	6	2,65	0,01	2,66	0,01	2,66	0,00	2,66	0,00	6	2,66	0,00	2,66	0,00	2,63	0,03	2,56	0,07	2,57	0,01
7	3,00	0,00	3,00	0,00	2,77	0,23	2,71	0,06	7	2,75	0,04	2,72	0,03	2,70	0,02	2,70	0,00	7	2,71	0,01	2,69	0,02	2,69	0,00	2,69	0,00	2,69	0,00
8	3,00	0,00	3,02	0,02	3,03	0,01	3,01	0,02	8	3,01	0,00	3,00	0,01	2,98	0,02	3,00	0,02	8	2,99	0,01	3,00	0,01	2,99	0,01	2,98	0,01	2,98	0,00
9	3,00	0,00	3,02	0,02	3,01	0,01	3,01	0,00	9	3,01	0,00	2,99	0,02	3,00	0,01	2,96	0,04	9	2,93	0,03	2,91	0,02	2,90	0,01	2,91	0,01	2,91	0,00
10	2,97	0,03	2,98	0,01	3,00	0,02	2,99	0,01	10	2,99	0,00	3,00	0,01	2,99	0,01	2,98	0,01	10	2,99	0,01	2,96	0,03	2,85	0,11	2,83	0,02	2,57	0,26
11	3,00	0,00	3,02	0,02	3,02	0,00	3,02	0,00	11	3,01	0,01	3,00	0,01	2,99	0,01	2,63	0,36	11	2,62	0,01	2,55	0,07	2,60	0,05	2,57	0,03	2,55	0,02
12	3,00	0,00	3,02	0,02	3,00	0,02	2,89	0,11	12	2,88	0,01	2,87	0,01	2,87	0,00	2,66	0,21	12	2,66	0,00	2,64	0,02	2,57	0,07	2,57	0,00	2,57	0,00
Cabeceira			Cabeceira		Cabeceira		Cabeceira		Cabeceira			Cabeceira		Cabeceira		Cabeceira		Cabeceira			Cabeceira		Cabeceira		Cabeceira		Cabeceira	
13	3,00	0,00	3,02	0,02	1,05	1,97	1,04	0,01	13	1,02	0,02	1,02	0,00	1,02	0,00	1,02	0,00	13	1,02	0,00	1,01	0,01	0,91	0,10	0,94	0,03	0,94	0,00
14	3,00	0,00	3,07	0,07	0,07	3,00	0,94	1,13	14	0,92	0,02	0,91	0,01	0,84	0,07	0,82	0,02	14	0,84	0,02	0,64	0,20	0,66	0,02	0,65	0,01	0,66	0,01
Margem esquerda			Margem esquerda		Margem esquerda		Margem esquerda		Margem esquerda			Margem esquerda		Margem esquerda		Margem esquerda		Margem esquerda			Margem esquerda		Margem esquerda		Margem esquerda		Margem esquerda	
15	3,00	0,00	2,99	0,01	2,42	0,57	2,43	0,01	15	2,41	0,02	2,41	0,00	2,42	0,01	2,42	0,00	15	2,42	0,00	2,42	0,00	2,04	0,38	2,04	0,00	2,04	0,00
16	3,00	0,00	3,02	0,02	3,00	0,02	3,01	0,01	16	3,04	0,03	2,77	0,27	2,77	0,00	2,76	0,01	16	2,76	0,00	2,75	0,01	2,75	0,00	2,75	0,00	2,75	0,00
17	2,80	0,20	2,73	0,07	2,64	0,09	2,62	0,02	17	2,61	0,01	2,56	0,05	2,60	0,04	2,60	0,00	17	2,59	0,01	2,57	0,02	2,57	0,00	2,56	0,01	2,57	0,01
18	2,90	0,10	2,91	0,01	2,93	0,02	2,90	0,03	18	2,91	0,01	2,91	0,00	2,91	0,00	2,87	0,04	18	2,87	0,00	2,87	0,00	2,88	0,01	2,88	0,00	2,73	0,15
19	2,97	0,03	2,97	0,00	2,96	0,01	2,97	0,01	19	2,98	0,01	2,73	0,25	2,71	0,02	2,71	0,00	19	2,60	0,11	2,59	0,01	2,58	0,01	2,59	0,01	2,58	0,01
20	2,92	0,08	2,92	0,00	2,92	0,00	2,92	0,00	20	2,92	0,00	2,92	0,00	2,92	0,00	2,92	0,00	20	2,92	0,00	2,92	0,00	2,93	0,01	2,93	0,00	2,94	0,01
21	2,96	0,04	2,96	0,00	2,95	0,01	2,95	0,00	21	2,95	0,00	2,93	0,02	2,96	0,03	2,94	0,02	21	2,90	0,04	2,90	0,00	2,90	0,00	2,89	0,01	2,88	0,01
22	3,00	0,00	3,00	0,00	2,89	0,11	2,88	0,01	22	2,79	0,09	2,78	0,01	2,79	0,01	2,80	0,01	22	2,76	0,04	2,76	0,00	2,76	0,00	2,74	0,02	2,75	0,01
<b>Total perda de material</b>	<b>0,48</b>		<b>0,18</b>		<b>7,47</b>		<b>1,75</b>			<b>0,24</b>		<b>0,76</b>		<b>0,23</b>		<b>1,01</b>			<b>0,42</b>		<b>0,42</b>		<b>0,89</b>		<b>0,27</b>		<b>0,52</b>	
<b>Total expansão de material</b>	<b>0</b>		<b>0,25</b>		<b>0,11</b>		<b>0,06</b>			<b>0,09</b>		<b>0,04</b>		<b>0,13</b>		<b>0,03</b>			<b>0,05</b>		<b>0,02</b>		<b>0,11</b>		<b>0,05</b>		<b>0,05</b>	

Fonte: o autor.

Os pontos 5 e 15 encontram-se em setor cercado e com implementação de reflorestamento, fato que atribui valores numericamente significativos, mas inferiores em representatividade em relação aos pontos 13 e 14, os quais estão em área com cobertura distinta, caracterizada por pastagens destinadas à pecuária (Figura 12). Ainda, é importante destacar que três, dos quatro pontos, estão na parte superior do sistema erosivo (considerando o caimento da vertente), o que pode permitir uma ação mais intensa dos fluxos de superfície com os respectivos setores, fato que será explorado a partir dos materiais morfométricos no decorrer do texto.

Figura 12 - Variações na cobertura do setor de reflorestamento em campo e localização do sistema erosivo na vertente.



Fonte: o autor.

Quanto aos valores totais de expansão do material, ganham destaque os monitoramentos de novembro de 2020 (0,25 m de total de expansão de material), fevereiro de

2021 (0,11 m) e fevereiro de 2022 (0,13 m) (Gráfico 2). Em uma análise específica dos períodos, identifica-se uma relação entre expansão e subseqüente perda de material. Por exemplo, em novembro de 2020 registra-se expansão de 0,07 m (Ponto 14) e 0,04 m (Ponto 6) e perda de material de 0,39 m (Ponto 6) e 3,00 m (Ponto 14) no monitoramento seguinte (fevereiro de 2021); e em agosto de 2021 destaca-se o ponto 7, com 0,04 m de expansão e com 0,03 m de perda de material em novembro de 2021 (monitoramento seguinte). Já em fevereiro de 2022 o ponto 17 apresenta 0,04 m de expansão, não sendo registrada perda de material no monitoramento seguinte (maio de 2022). Ainda, vale destacar que dos 14 pontos que registraram perda de material em fevereiro de 2021, 6 foram precedidos por expansão; dos 11 pontos que registraram perda de material em maio de 2021, 5 foram precedidos por expansão; e dos 12 pontos que registraram perda de material em maio de 2022, 3 foram precedidos por expansão.

Conforme ocorrido em Corumbataí, atribui-se às expansões principalmente ao processo de inclinação do talude erosivo, com posterior perda de material por tombamento. Em relação ao fator de vitalidade das gramíneas, entende-se o mesmo como pouco expressivo em Analândia, pois os taludes laterais, que abarcam 91% dos pontos de monitoramento, foram submetidos à variados momentos de intervenções com herbicidas, fato que propiciou um talude desnudo e sem cobertura na maioria dos pontos e períodos, sendo a exceção o setor cabeceira, o qual apresentou gramíneas durante todo o período por se constituir em uma área de pastagem para pecuária.

## 6.2 Análise das características e dos comportamentos físicos dos materiais.

### 6.2.1 Corumbataí

#### 6.2.1.1 Setor erosivo

O setor de erosivo de Corumbataí se caracteriza por solos com valores significativos de areia, com 91,4% das amostras apresentando mais de 70% de areia total, sendo 94,2% o valor máximo de areia total em uma amostra e 55,6% o menor valor. Ainda, em uma análise por setor, a variação entre os valores máximo e mínimo de areia total no setor A é de 11,8%, no setor B superior 7,8%, no setor B inferior 22,1%, no setor C superior 18,9% e no setor C inferior 35,2%, fato que aponta para camadas com granulometria mais discrepante nas porções inferiores dos setores B e C. Ainda em relação às areias, o destaque geral fica para a fração areia fina, a qual apresenta a maior concentração dentre as frações em 87,9% dos pontos e camadas amostrais, seguida pela areia média (relevância em 10,3% dos pontos e

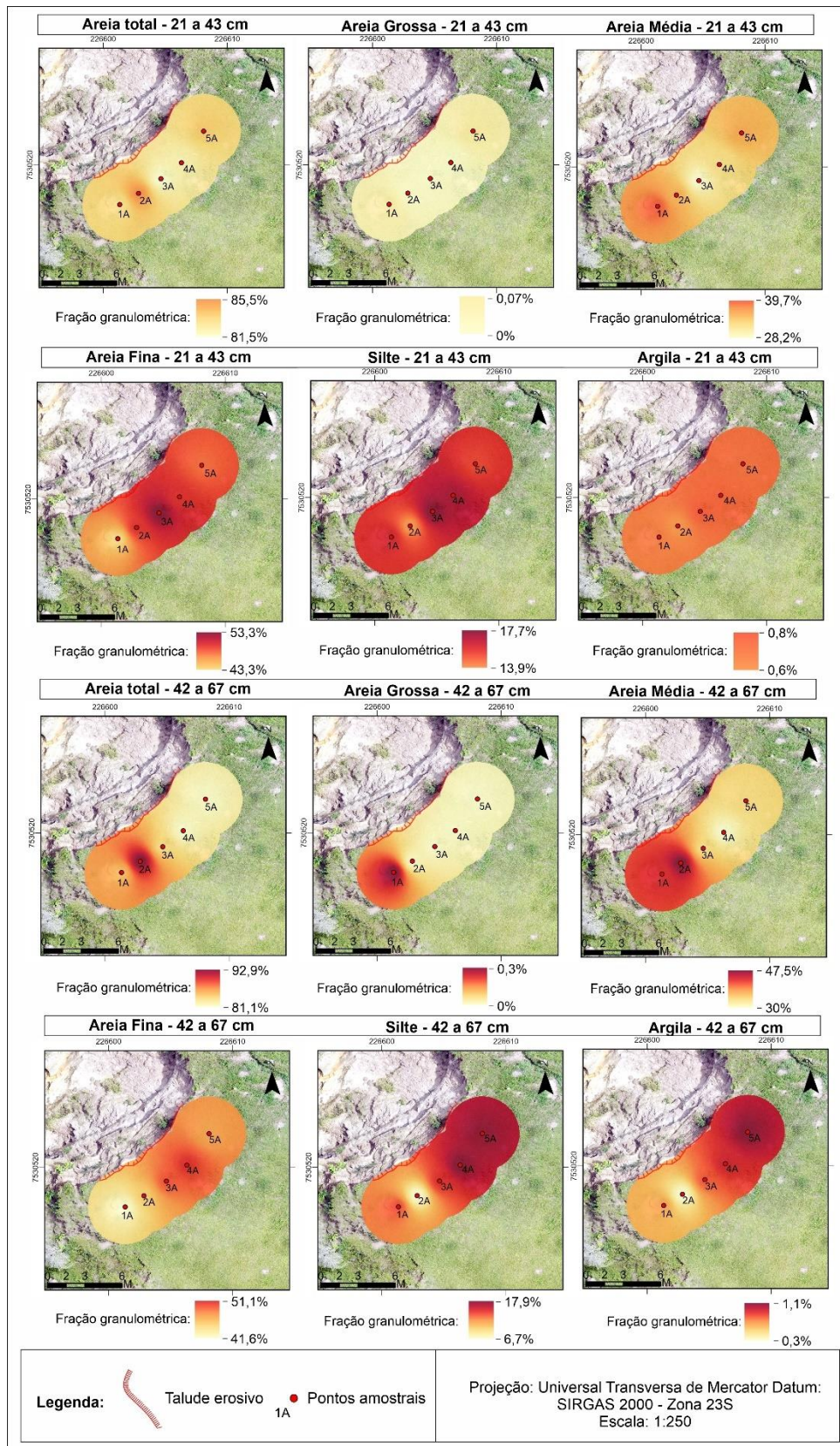
camadas amostrais). Já a areia grossa, constitui-se na fração granulométrica de menor ocorrência em 94,8% das 58 camadas amostrais, sendo que, em diversas destas, foi constatada a inexistência do respectivo intervalo granulométrico. Já a fração silte apresenta concentração superior às areias (fina, média e grossa) somente no ponto 24C, sendo a fração argila representada por pontos com baixa concentração e variação granulométrica de 3,4% a 0,1%.

Neste sentido, buscando uma análise setorial, assim como verificar os pontos com perda de material acima de média, destaca-se no setor A o ponto amostral 2A, o qual apresenta a maior proporção de areia total no setor (Figura 13), tanto na camada superficial (85,4%) como na camada profunda (92,9%), com destaque para fração areia fina em superfície e areia média em subsuperfície. Em contraponto, a baixa concentração de frações finas, como silte e argila, são evidentes a partir da especialização (Figura 13). Tal fato, pode gerar materiais menos agregados, tornando os taludes mais friáveis e suscetíveis a processos ligados a perda de material.

Já em relação ao setor B Inferior, este apresenta evolução acima da média em praticamente todos os pontos, com exceção do ponto 19B. O referido setor também apresenta alta concentração da fração areia total, mas evidencia relevância na concentração de material fino (silte e argila), principalmente da cama superior (Figura 14), fato que é interessante, pois, teoricamente, geraria maior agregação do material e dificuldade para ação de processos erosivos. No entanto, na camada inferior do setor B Inferior, ganha relevância a fração areia fina, diminuindo a influência das frações silte e argila.

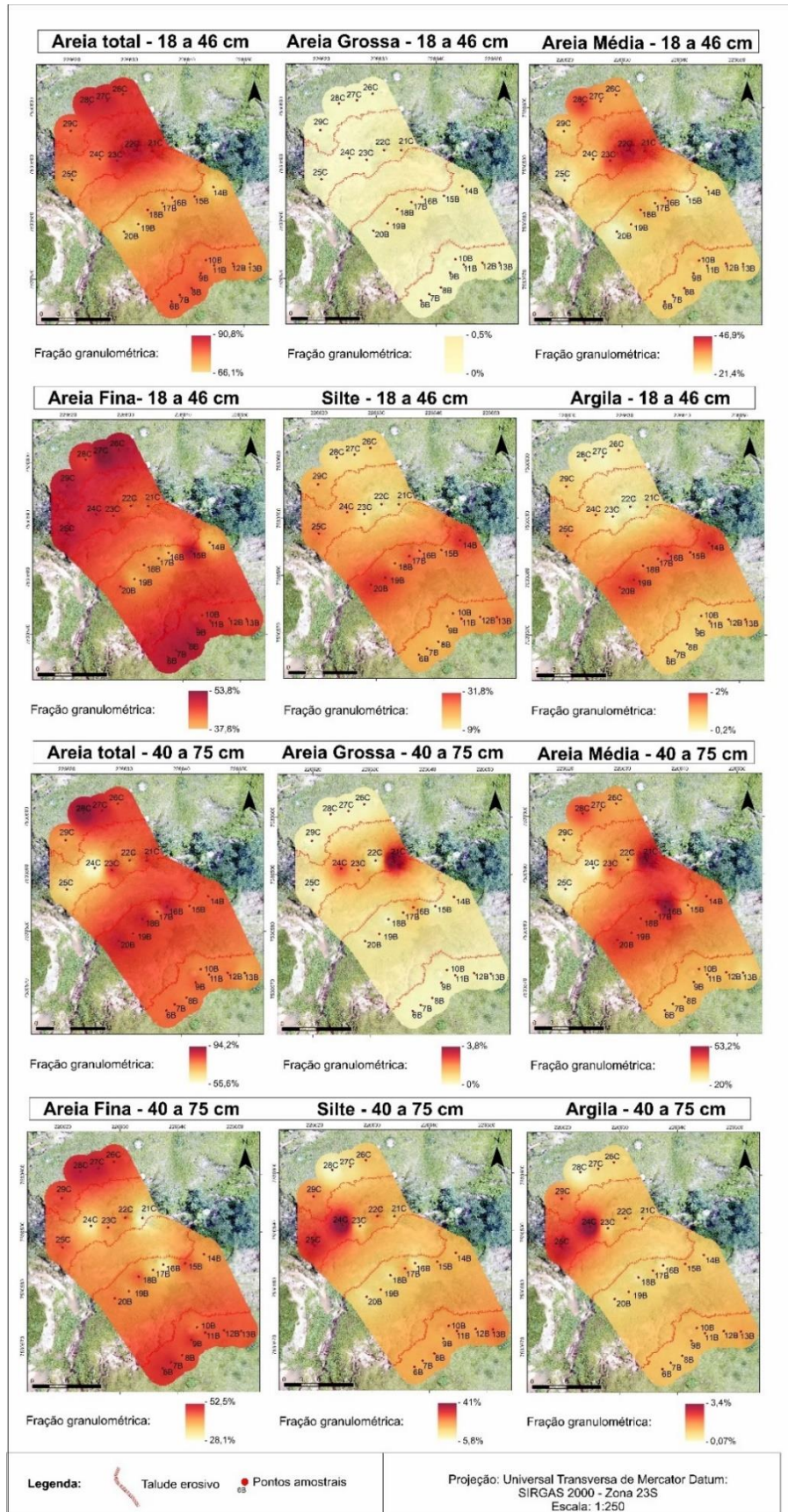
Em relação ao setor C, os pontos amostrais 21C e 22C apresentam perda de material acima da média, corroboram com a relação entre materiais arenosos (Figura 14) e perda de material, conforme já apontado para o setor A. No caso destes pontos, o destaque está na areia média, a qual evidencia concentração significativa na camada superior (21C e 22C) e, principalmente, na inferior do ponto 21C.

Figura 13 - Talude erosivo localizado no Setor A e as respectivas frações granulométrica por ponto amostral.



Fonte: o autor.

Figura 14 - Taludes erosivos localizados nos setores B e C e as respectivas frações granulométrica por ponto amostral.



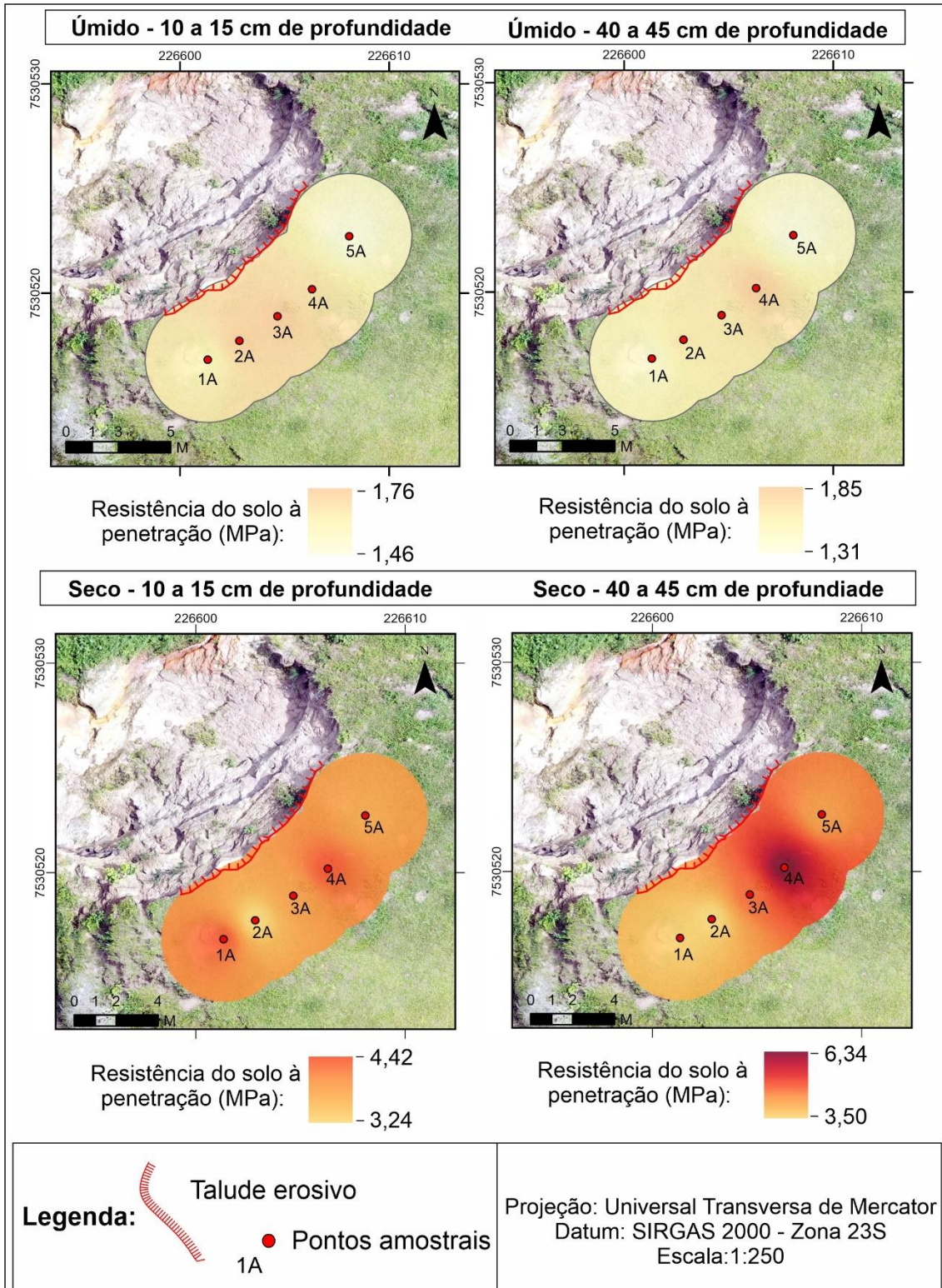
Fonte: o autor.

Em relação aos dados de resistência do solo à penetração, estes apresentam uma nítida variação entre os períodos úmido e seco (Figura 15 e 16). Durante o período seco, a resistência é, em média, três vezes maior. Tal dado sugere partículas mais agregadas durante os períodos seco, fato que teoricamente pode interagir com uma menor perda de material. Os pontos 2A, 21C e 22C corroboram com este raciocínio, pois apresentam perda de material acima da média (Figura 9) e baixa resistência em ambas as camadas. Ainda neste sentido, o ponto 4A também chama a atenção (Figura 15), sendo que este, em contraponto, apresenta elevada resistência em ambas as camadas durante o período seco, com apenas 0,08 m de perda de material durante o período total de análise (Tabela 1), segundo menor valor do setor A. Com isso, fruto da baixa resistência, processos como a ação erosiva do canal (Wells *et al.*, 2013), devem apresentar maior facilidade de atuação, devido a maior friabilidade do material, realizando a remoção do material em formato de concha (Bigarella, 2003), modelando alcovas de regressão.

No entanto, em contraponto, o setor B Inferior evidencia significativa resistência dos materiais, principalmente no período seco (Figura 16), fato que não impede o setor de constituir-se na principal área de perda de material. A princípio, o dado de resistência apresenta relação com a granulometria, pois há frações finas como o silte e a argila presentes nas camadas superiores, assim como a areia fina abundante em subsuperfície, fato que pode originar pacotes menos porosos e, conseqüentemente, maior atrito à haste do equipamento utilizado (penetrômetro de Stolf), aumentando a resistência.

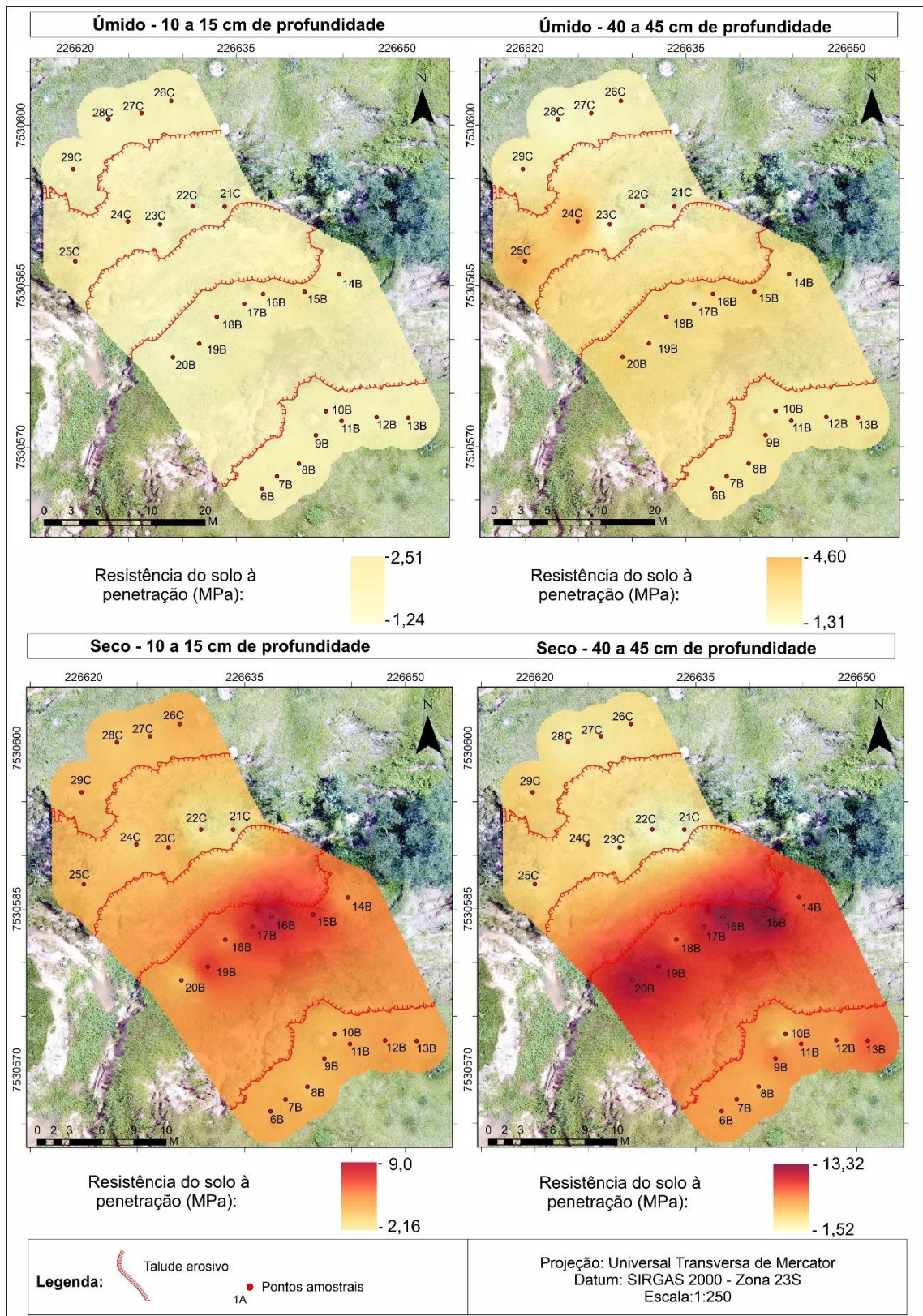
Neste sentido, vale ponderar que o setor B Inferior também está suscetível a ação do canal, fato que pode gerar ambiente propício aos processos de solapamento (cisalhamento, tombamento e/ou stress) propostos por Wang *et al.* (2016). O solapamento ocorre a partir do destacamento de blocos do talude erosivo, que, devido a maior agregação das partículas desencadeada pela granulometria fina e, ratificada, pelos valores de resistência do solo à penetração no setor, podem ocasionar o desprendimento de blocos com volumes mais significativos, mesmo em setor com alta resistência.

Figura 15 - Resistência do solo à penetração no setor A por ponto amostral.



Fonte: o autor.

Figura 16 - Resistência do solo à penetração nos setores B e C por ponto amostral.



Fonte: o autor.

Sobre a taxa média de infiltração, esta apresenta semelhança entre os períodos úmido e seco, ocorrendo uma variação maior no setor A, em relação aos setores B e C (Figuras 17 e 18). A maior variação no setor A ocorre devido ao comportamento do ponto 5A, o qual

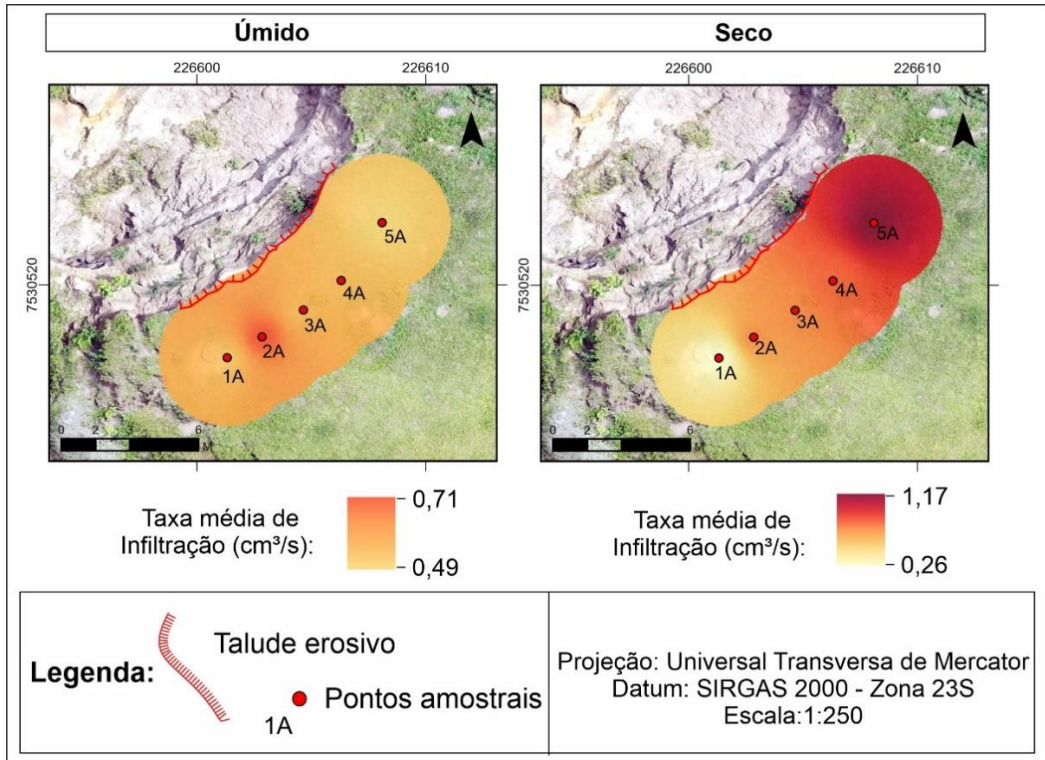
apresenta a menor taxa de infiltração do setor A durante o período úmido ( $0,54 \text{ cm}^3/\text{s}$ ), invertendo-se para a maior taxa de infiltração durante o período seco ( $1,17 \text{ cm}^3/\text{s}$ ). Destaca-se que o ponto 5A apresenta a menor perda de material do setor A ( $0,02 \text{ m}$  / Tabela 1).

Os pontos com perda de material acima da média, apresentam, em sua maioria, taxa média de infiltração pouco significativa. A afirmação pode ser verificada a partir da análise dos pontos presentes nos setores B e C inferiores (Figura 18). Em relação aos pontos 21C e 22C, é interessante destacar que a baixa infiltração não é esperada, pois a granulometria dos pontos apresenta significativa quantidade de areia média e baixa resistência do solo à penetração. No entanto, destaca-se que, em campo, verificou-se a presença de pontos de exfiltração próximos aos pontos amostrais (21C e 22C), tanto em período úmido como em período seco, fato que pode reduzir a taxa média de infiltração devido a hidratação do material a partir da oscilação do nível freático.

Já as baixas taxas de infiltração registradas no setor B Inferior (Figura 18), podem estar associadas à granulometria fina (silte e argila) presente nas camadas superiores dos solos, assim como com a significativa resistência do solo à penetração, fato que atesta a agregação do material. Nesse sentido, as baixas taxas de infiltração, garantem maior disponibilidade de água em superfície nesses setores e, conseqüentemente, fluxos superficiais mais expressivos. Assim, analisando a atuação de processos erosivos a partir de quedas d'água (Oliveira, 1999), é possível verificar a maior dinamicidade desses setores do talude erosivo provenientes de taxas de infiltração pouco expressivas, uma vez que fluxos mais intensos desencadeiam vórtices potencialmente mais significativos na base dos taludes.

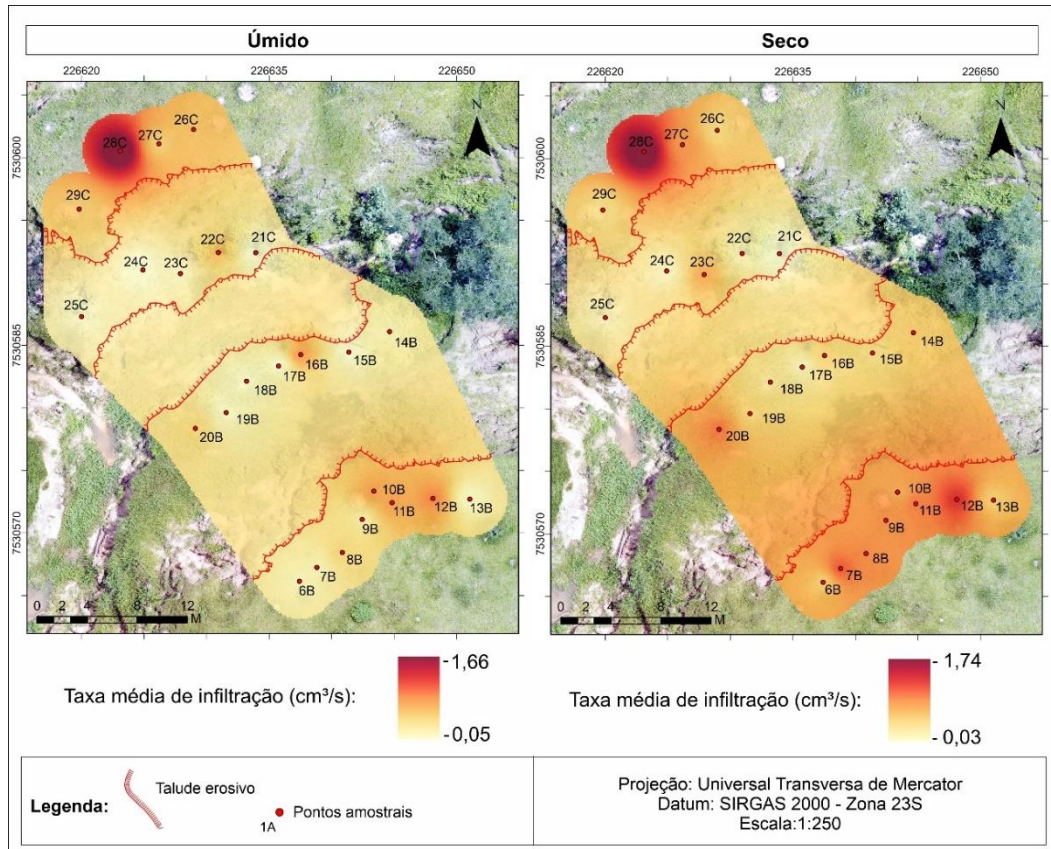
No entanto, vale destacar que nem todos os pontos apresentam o referido comportamento, uma vez que o 28C evidencia as maiores taxas de infiltração tanto no período úmido ( $1,66 \text{ cm}^3/\text{s}$ ), como no período seco ( $1,74 \text{ cm}^3/\text{s}$ ), mas constitui-se no ponto com perda de material mais proeminente do setor B superior,  $0,25 \text{ m}$  no período total de análise. A relação de perda de material com valores extremos será tratada no último subitem desta seção.

Figura 17 - Taxa Média de Infiltração no setor A.



Fonte: o autor.

Figura 18 - Taxa Média de Infiltração nos Setores B e C.



Fonte: o autor.

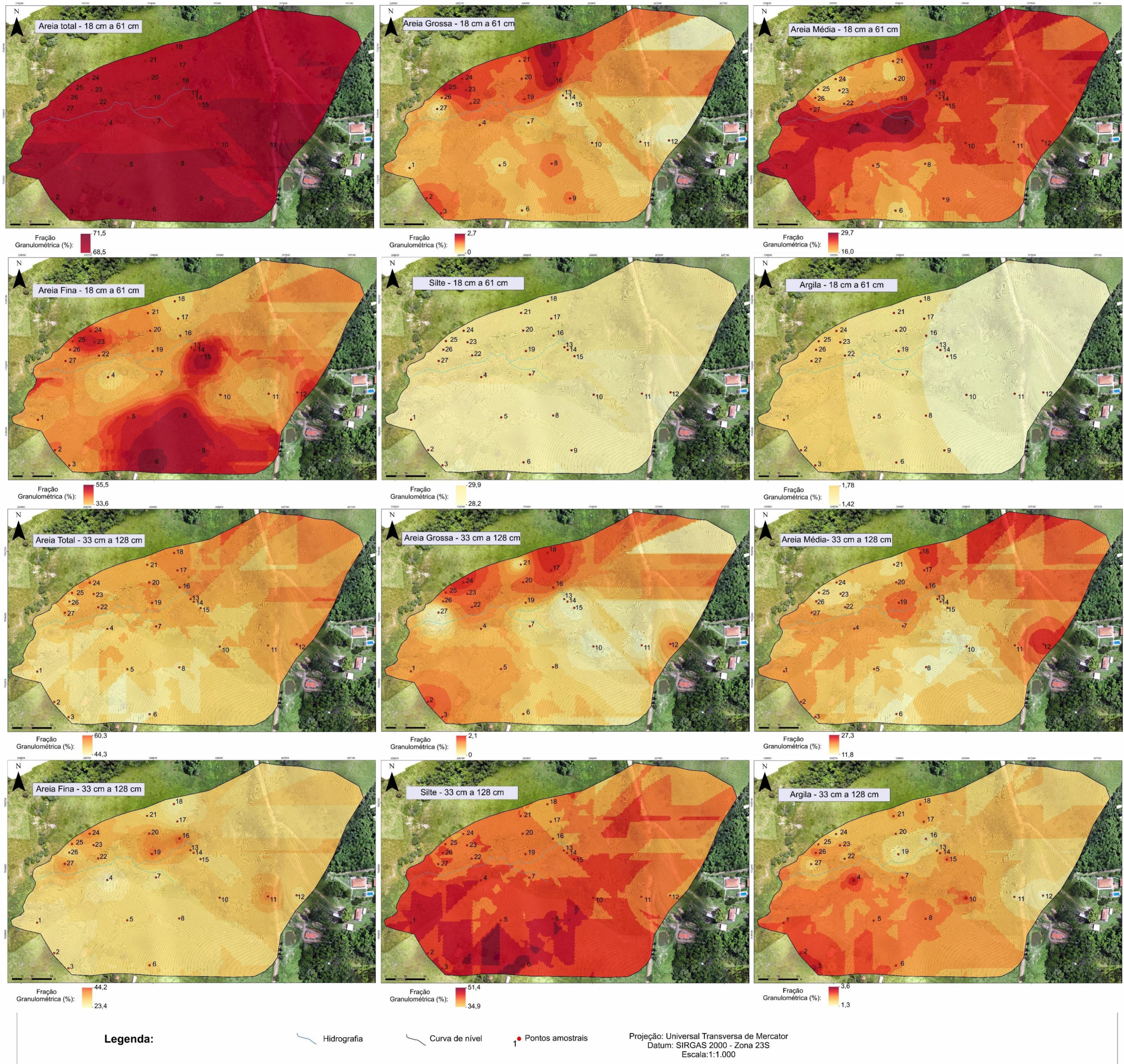
### 6.2.1.2 Sub-bacia

Em relação as frações granulométricas que compõem a sub-bacia (Figura 19), as areias ganham destaque, principalmente em superfície, sendo que 96% dos pontos nas camadas superiores apresentam mais de 60% de areia total, número que reduz para somente 15% dos pontos das camadas inferiores com mais de 60% de areia total. Em relação a fração areia, destacam-se as areias finas, as quais são maioria em todos os pontos amostrais, tanto nas camadas superiores, quanto nas inferiores. Verifica-se que 89% das camadas amostrais superiores apresenta mais de 40% da fração areia fina, sendo que somente 23% nas camadas inferiores apresenta mais de 40% da fração areia fina.

Já as frações silte e argila evidenciam uma dinâmica de incorporação ao longo do perfil, com menor quantidade nas camadas superiores. Tal afirmação se valida ao verificar que não há registro da fração argila acima de 3% nas camadas superiores, sendo que nas camadas inferiores, 54% das amostras apresentaram fração entre 3% e 4%. Já em relação ao silte, não há registro de amostra com mais de 50% de concentração da referida fração na camada superior, sendo que na camada inferior 38% das amostras apresentam mais de 50% de silte.

Desta forma, analisando espacialmente a fração areia total, verifica-se concentração na camada superior da margem esquerda, havendo uma inversão na margem direita com maior concentração na camada inferior. Já a alta bacia apresenta concentração de areia total significativa em ambas as camadas (Figura 19). A fração areia fina acompanha a referida distribuição, com zonas de concentração mais bem demarcadas em ambas as camadas. A fração silte apresenta regularidade de distribuição na camada superior, ficando por conta da camada inferior as zonas de concentração mais proeminentes e localizadas na margem esquerda do canal, ocorrendo também uma concentração da média para baixa bacia (Figura 19). Já a fração argila apresenta uma lógica de distribuição distinta na camada superior, evidenciando uma concentração gradual da alta para baixa bacia. Ainda, a camada inferior varia sua concentração em relação às margens do canal, com pontos de maior concentração da fração na margem esquerda em relação à margem direita (Figura 19).

Figura 19 - Frações granulométrica da sub-bacia de análise em Corumbataí.



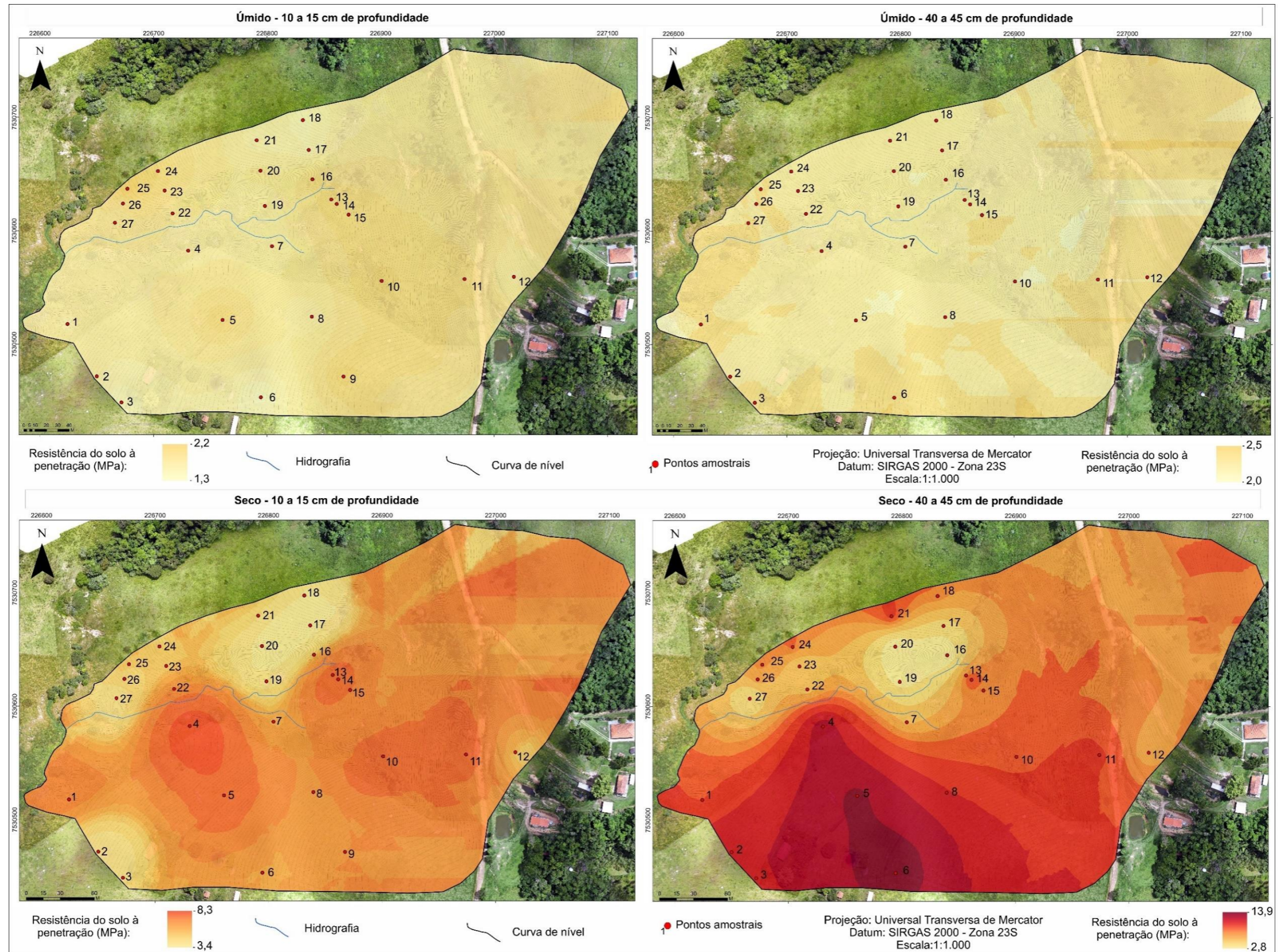
Fonte: o autor.

Sobre os dados de resistência do solo à penetração da sub-bacia, estes também apresentam uma nítida variação entre os períodos úmido e seco (Figuras 20), conforme já identificado no setor de monitoramento erosivo. A resistência é, em média, 2,9 vezes na camada superior e 3,3 vezes na camada inferior mais intensa durante o período seco, em relação ao período úmido. Também é possível verificar que as camadas inferiores são mais resistentes em relação às camadas superiores, sendo a média de resistência das camadas superiores 1,81 MPa (úmido) e 5,28 MPa (seco) e das camadas inferiores 2,26 MPa (úmido) e 7,53 MPa (seco).

Assim, verifica-se que os setores de maior resistência do solo à penetração interagem em superfície com areias finas (Figura 19), e na camada inferior com a fração silte (Figura 19), fato que pode justificar camadas inferiores significativamente mais resistentes. Neste sentido, verifica-se também que espacialmente os dados de resistência são mais significativos na margem esquerda (Pontos 4, 5 e 6) e durante o período seco, fato que agrega alta resistência às longas vertentes deste setor.

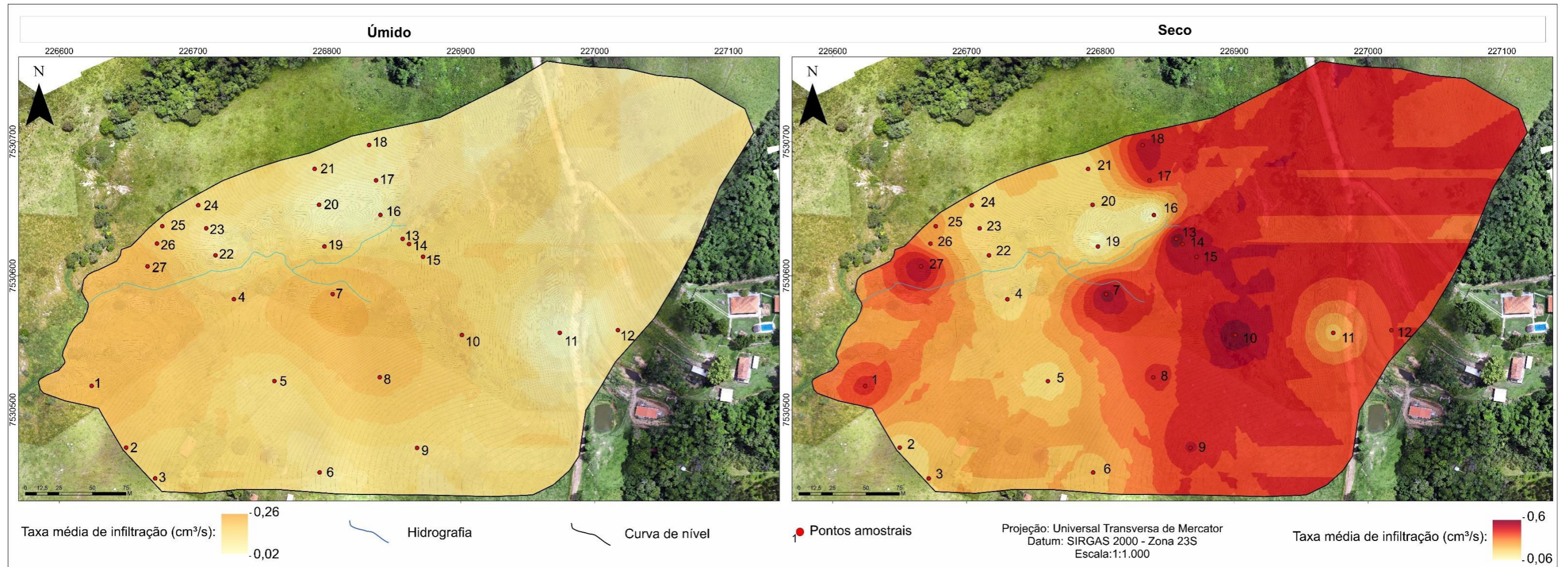
Por fim, a taxa média de infiltração total da bacia hidrográfica é 4,6 vezes maior no período seco em relação ao período úmido, com a ocorrência de taxas de infiltração elevadas durante o período seco na média e alta bacia (Figura 21). Ainda, vale destacar novamente a topossequência (Pontos 4, 5 e 6), a qual permite verificar que a alta resistência interage com baixas taxas de infiltração tanto no período úmido como no período seco, fato que será oportunamente analisado em relação aos fluxos de superfícies, mas que pode proporcionar ambiente favorável para fluxo energeticamente consideráveis.

Figura 20 - Resistência do solo à penetração da sub-bacia de análise em Corumbataí.



Fonte: o autor.

Figura 21 - Taxa média de infiltração da sub-bacia de análise em Corumbataí.



Fonte: o autor.

## 6.2.2. Analândia

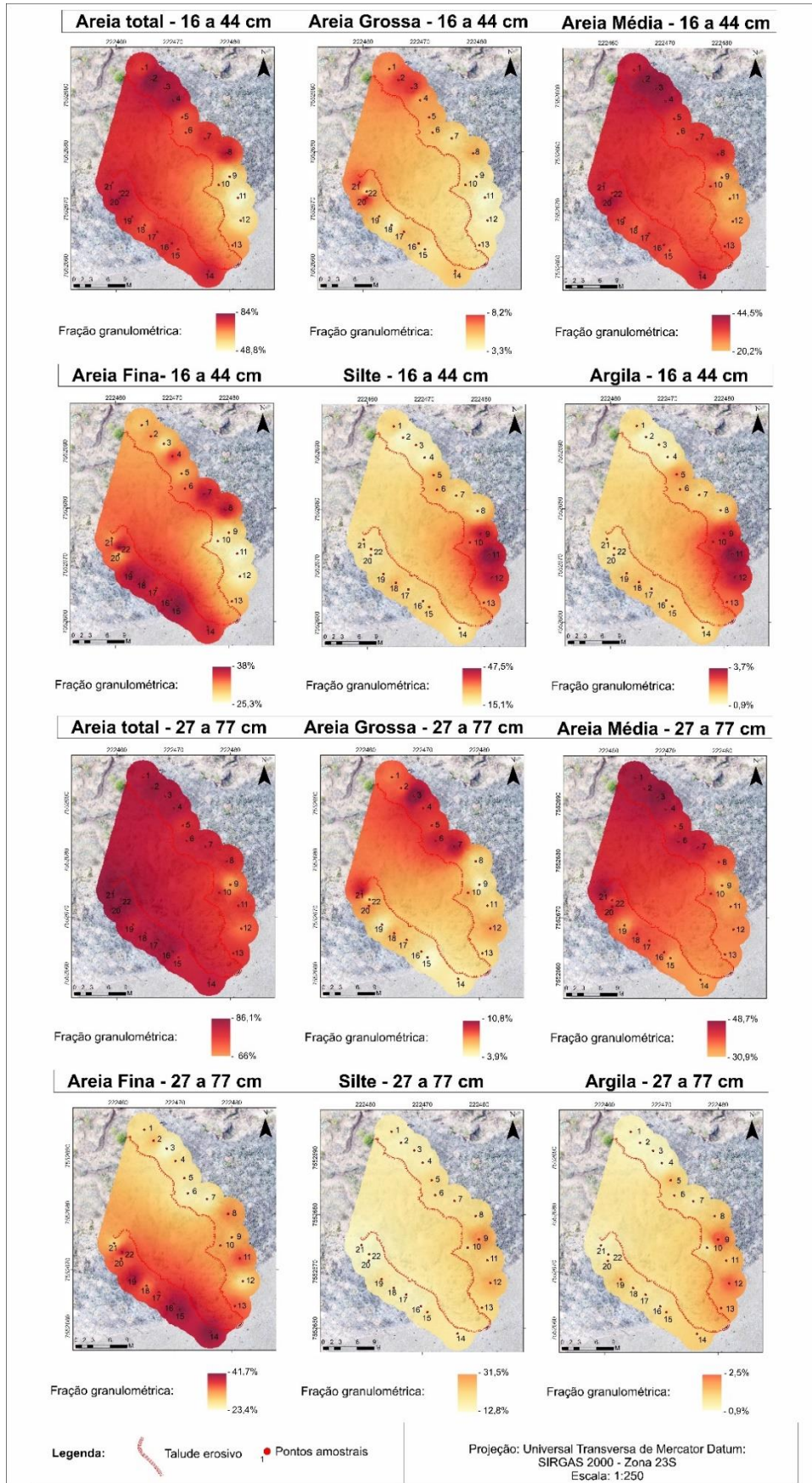
### 6.2.2.1 Setor erosivo

O setor erosivo de Analândia apresenta valores significativos de areia, sendo 84,4% das amostras com mais de 70% de areia total. Os valores de areia total no setor margem direita variam de 84,8% a 48,8%, na cabeceira de 81,66% a 66,5% e na margem esquerda de 86,1% a 73,1%. O destaque geral fica para as frações de areia fina e média, sendo a grossa pouco relevante nos pontos amostrais. Em sequência, vale destacar a fração siltosa, com variação de 47,5% a 16,6% na margem direita, 31% a 16,9% na cabeceira e 27,6% a 12,8% na margem esquerda. Em relação às argilas, as porcentagens são pouco significativas, variando de 3,7% a 0,9 na margem direita, 2,5% a 1,5% na cabeceira e de 2% a 1% na margem esquerda.

Assim, os perfis amostrais na margem direita apresentam maior heterogeneidade (Figura 22). Neste setor, destaca-se que, do ponto 1 ao 8, considerando as amostras mais próximas da superfície, os valores de areia total variam entre 84% e 69,8%, sendo que as amostras mais rasas apresentam menor porcentagem de areia em relação as mais profundas. Já entre os pontos 9 e 12, a porcentagem total de areia é menor e varia entre 62,1% e 48,8%, ganhando relevância a fração silte, com concentrações de 42,2% (ponto 9), 35,1% (ponto 10), 47,5% (ponto 11) e 42% (ponto 12). Neste sentido, o ponto 9 apresenta baixa perda de material total (0,09m), sendo que os pontos 10 (0,43m), 11 (0,45m) e 12 (0,43m) estão abaixo da média de perda de material da área (0,62m), mas apresentam valores intermediários para o contexto da margem direita.

Buscando uma análise setorial e verificar os pontos com perda de material acima de média, destaca-se o ponto 13, sendo este com composição majoritariamente de areias, mas que apresenta proximidade espacial e, possível influência, de materiais finos, principalmente na fração silte (Figura 22). Já nos setores dos pontos 5, 14 e 15, também tem destaque a fração areia, com relevância para as areias finas, as quais espacialmente são marcantes (Figura 22).

Figura 22 - Fração granulométrica por ponto amostral.



Fonte: o autor.

Em um contexto geral da área, a fração silte é significativa, principalmente na camada superior, perdendo representatividade na camada inferior (Figura 22). Desta forma, o material da camada superior pode apresentar maior agregação, interagindo com processos de superfície como a infiltração, fato que poderá aumentar o fluxo em superfície e, conseqüentemente, dinamizar a evolução do talude erosivo. A interação com a variável infiltração será explorada na seqüência. Por outro lado, a areia fina é marcante tanto na superfície e como em subsuperfície nos pontos 14 e 15, mas somente na superfície do ponto 5. Tais areias poderão ter comportamento similar ao mencionado para o silte, mas com um grau maior de influência na perda de material, pois apresentam menor agregação e maior friabilidade.

A presença da fração silte nas camadas superior e inferior do ponto 13 fica evidente a partir dos dados de resistência do solo à penetração (Figura 23), uma vez que o ponto apresenta alta resistência tanto no período úmido como no período seco. Os dados de resistência apontam ainda que no período úmido, todo o setor de cabeceira (pontos 13 e 14) apresentou alta resistência à penetração na camada superficial, fato que interage com o período de maior perda de material, registrado em fevereiro de 2021 (Tabela 2).

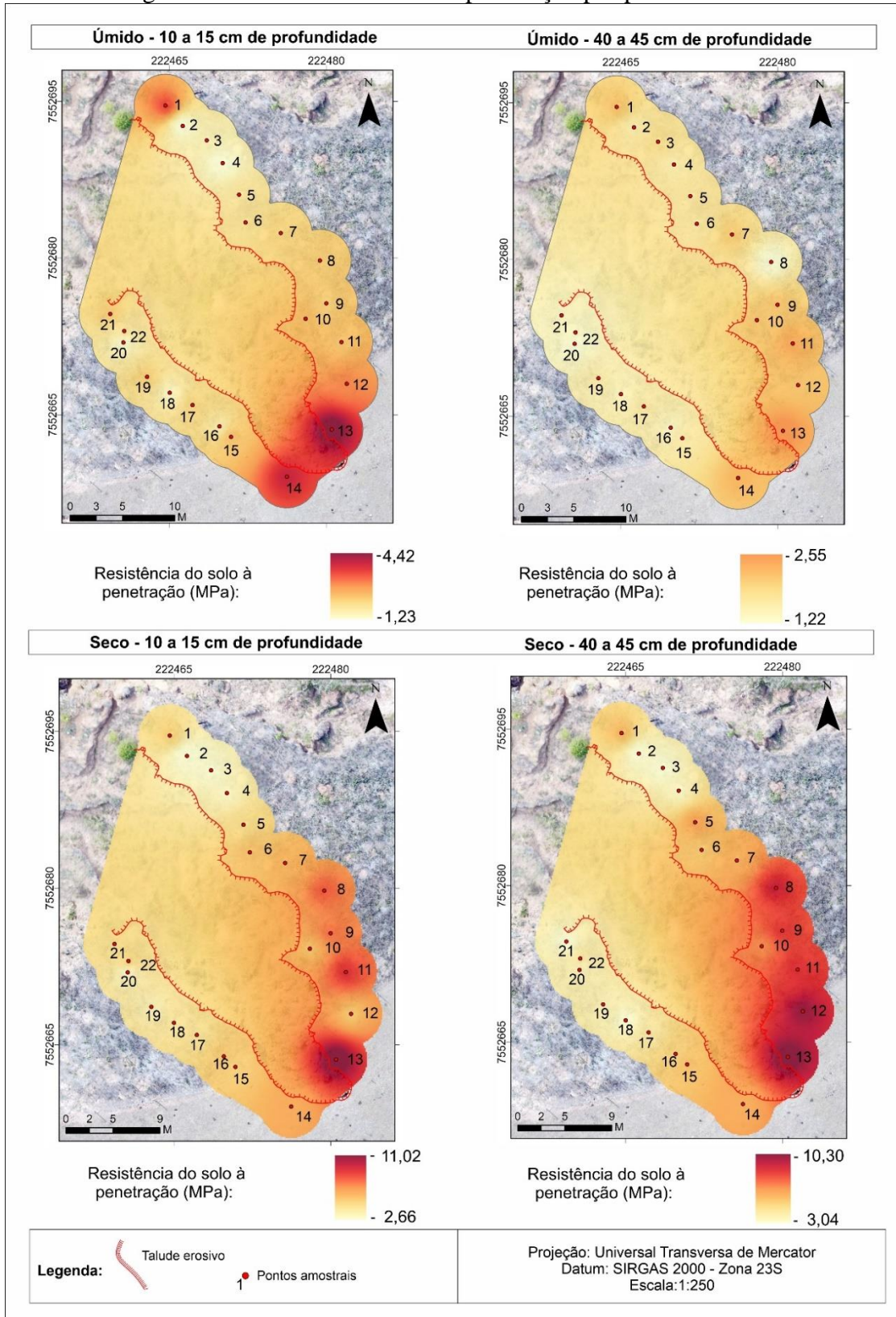
Ainda em relação a resistência, os pontos 5 e 15 são pouco significativos na espacialização dos dados por apresentarem resistência média. No entanto, vale destacar o ponto 15, o qual espacialmente está próximo ao setor de cabeceira e pode apresentar sintomas similares ao dos pontos 13 e 14, fato ratificado pelo período de maior perda de material do ponto 15 também ocorrer em fevereiro de 2021.

Sobre a taxa média de infiltração, verifica-se uma alteração do período úmido para o período seco, com taxa média aproximadamente 40% maior no segundo período (seco). As maiores taxas de infiltração foram registradas no intervalo de pontos de 1 a 8 e associam-se à setores com a ocorrência de areia grossa, fato condizente com o apontado pela bibliografia, devido a maior porosidade do material (Figura 24).

Já em relação as baixas taxas médias de infiltração, destaca-se o setor de cabeceira (pontos 13 e 14), o qual pode desencadear o acúmulo de água em superfície, potencializando processos como o *runoff*. Tal dado interage também com a resistência do solo à penetração, a qual é elevada no respectivo setor (Figura 23). Deste modo, a proeminente evolução do setor de cabeceira apresenta contribuições de materiais pouco permeáveis, fato que a partir da ocorrência de eventos extremos gera processo de erosão por quedas d'água (*plunge pool erosion*), ocasionando linhas de fluxo que criam um vórtice, com inversão da direção de fluxo

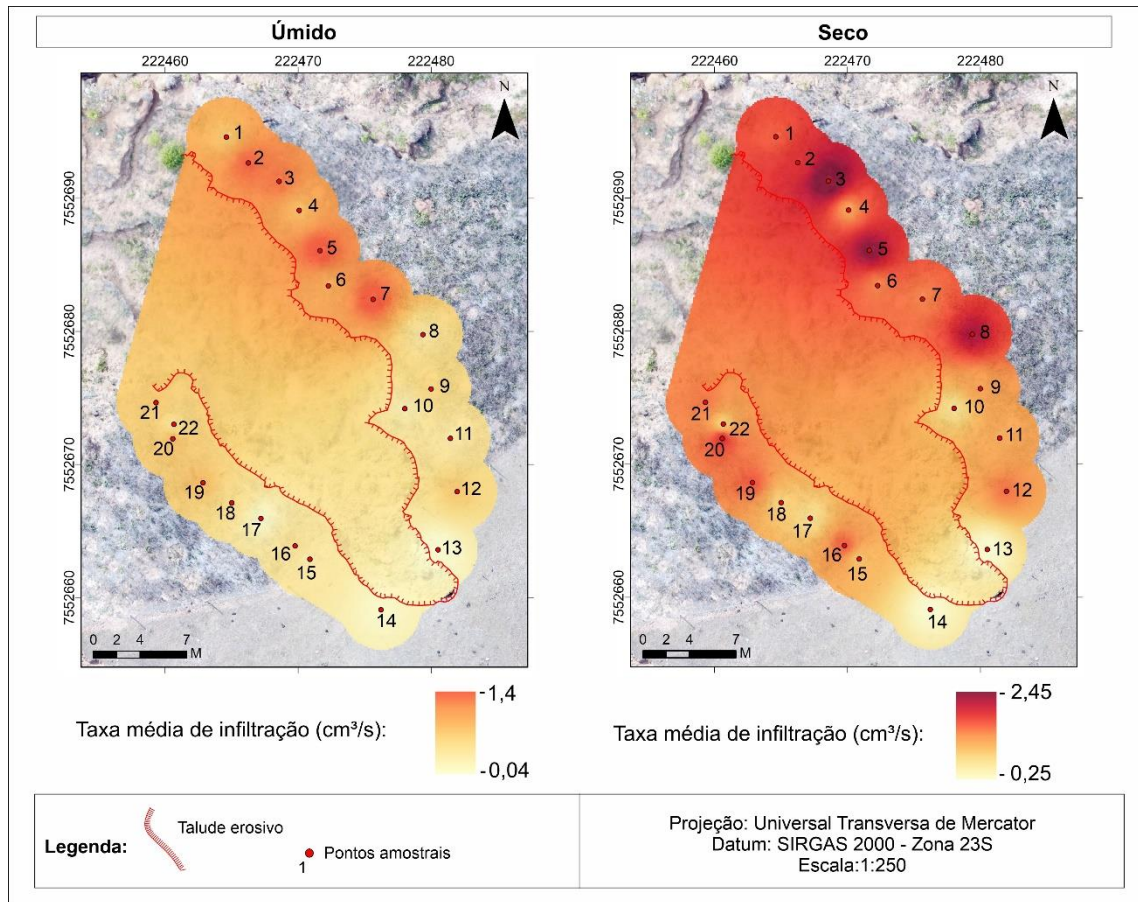
na base do talude (Oliveira, 1999), gerando um processo de retirada de material e posterior solapamento (Wang *et al.*, 2016)

Figura 23 - Resistência do solo à penetração por ponto amostral.



Fonte: o autor.

Figura 24 - Taxa Média de Infiltração.



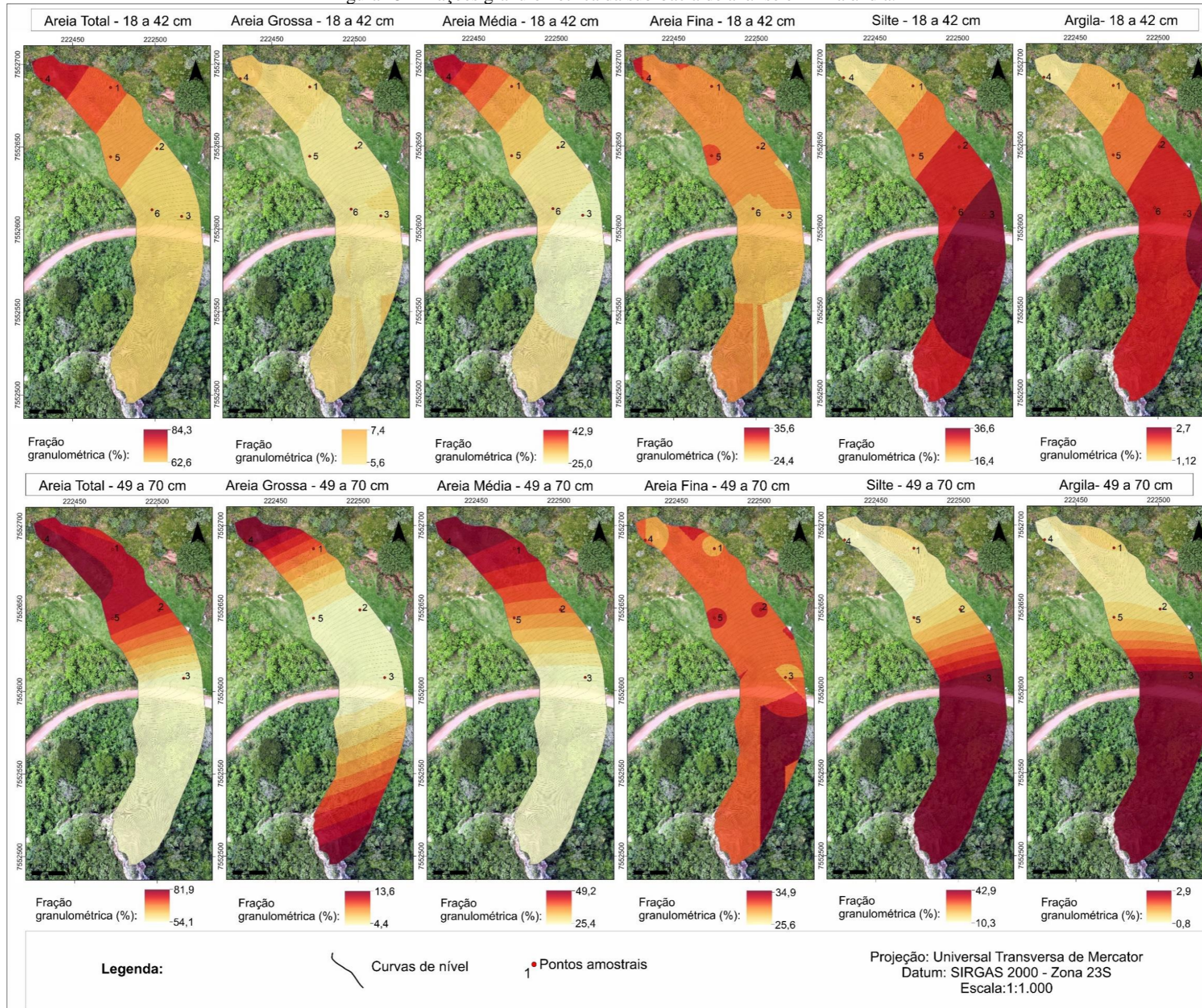
Fonte: o autor.

#### 6.2.2.2 Sub-bacia

Já em relação a análise da sub-bacia, Analândia apresenta uma lógica de distribuição das frações granulométrica, que se evidencia pela concentração das frações de areia da média para baixa bacia e a concentração de silte e de argila da média para alta bacia (Figura 25). A areia total é determinante na área de estudo com, 67% das amostras superiores com mais de 70% de areia total, porcentagem que atinge 80% das amostras na camada inferior. Em relação à fração das areias, ganha destaque, em ambas as camadas, a areia média.

Em relação as frações finas, as maiores concentrações de argila ocorrem nas camadas inferiores, com valores entre 3% e 4% de concentração. Já o silte apresenta porções mais significativas em relação a argila, com média de concentração na camada superior de (27%) e na camada inferior de (21%).

Figura 25 - Frações granulométrica da sub-bacia de análise em Analândia.



Fonte: o autor.

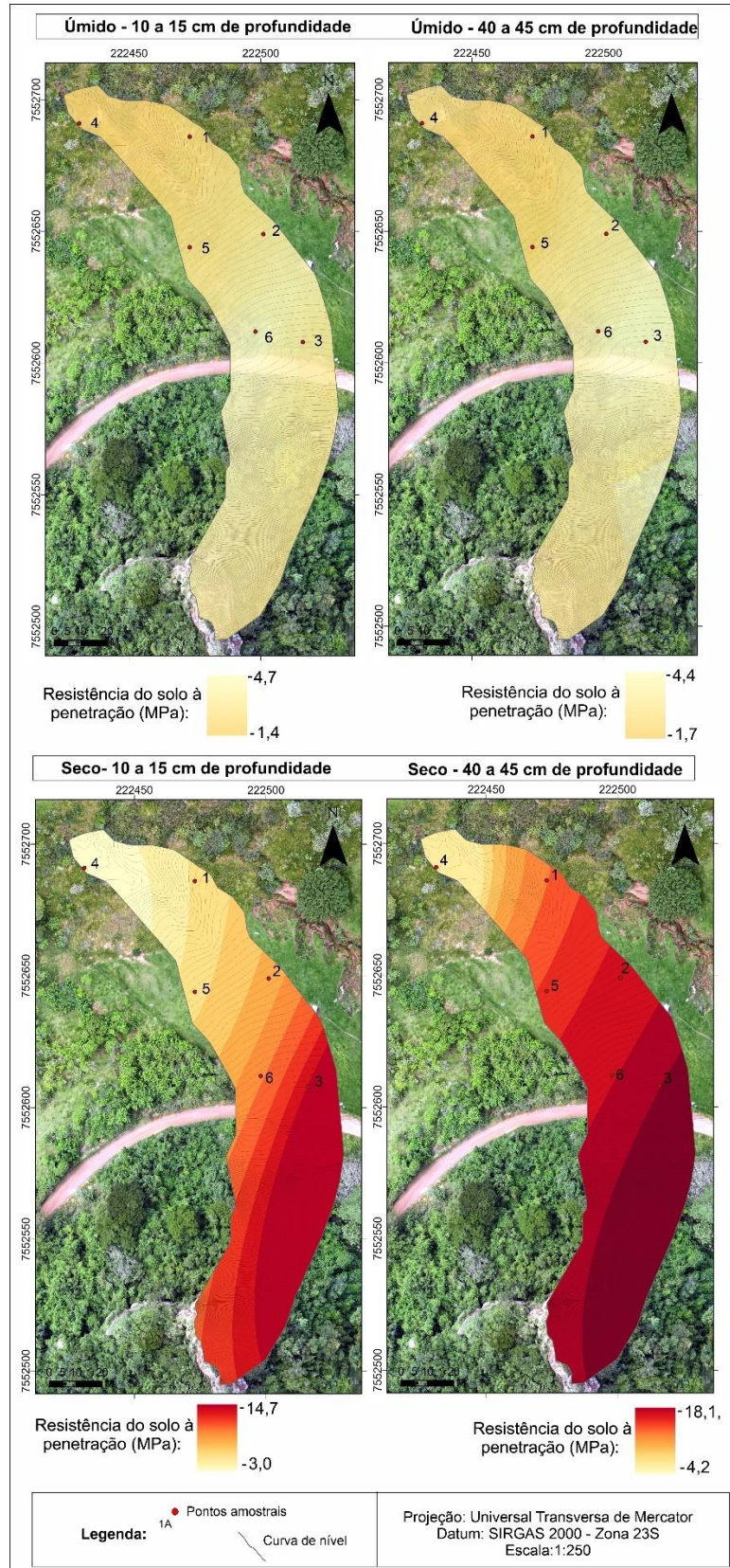
Os dados de resistência do solo à penetração da sub-bacia também apresentam uma nítida variação entre os períodos úmido e seco (Figuras 26). Durante o período seco, a resistência é, em média, 2,7 vezes na camada superior e 3,5 vezes na camada inferior mais intensa que no período úmido. Também é possível verificar que as camadas inferiores são mais resistentes que as camadas superiores, somente no período seco, sendo a média de resistência das camadas superiores 3,14 MPa (úmido) e 8,51 MPa (seco) e camadas inferiores 2,85 MPa (úmido) e 9,95 MPa (seco).

A distribuição espacial da resistência durante o período úmido apresenta pouca variação, tendo maior destaque no período seco, o qual evidencia aumento na resistência da média para alta bacia na camada superior e elevada resistência em quase toda a bacia na camada inferior. Desta forma, destaca-se que durante o período seco, ocorre uma relação entre setores com concentração de silte e argila e altas resistências (camada superior), fato que não é tão claro na camada inferior, uma vez que os dados de alta resistência avançam para o setor arenoso, onde se localiza a voçoroca monitorada.

A taxa média de infiltração total da bacia hidrográfica é 1,4 vezes maior no período seco em relação ao período úmido, variação menor em relação à Corumbataí (4,6 vezes maior) (Figura 27). Ainda, a maiores taxa de infiltração são registradas preferencialmente da média para baixa bacia, fato que se relaciona com o aumento das frações arenosas.

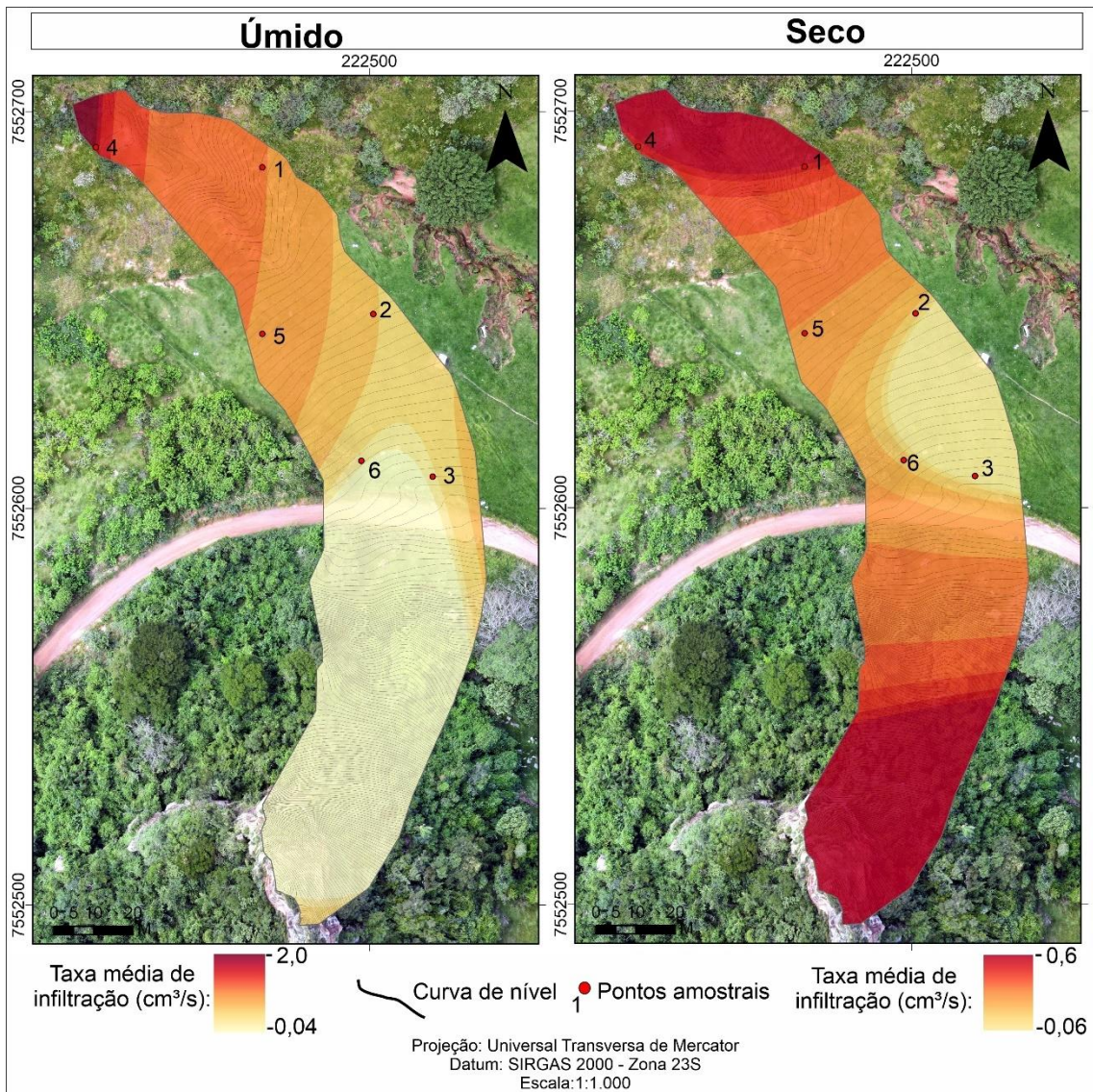
Por fim, a sub-bacia em Analândia apresenta um padrão de distribuição entre a média e a baixa bacia e entre a média e alta bacia. A porção da média e da baixa bacia apresentam concentração de frações granulométricas arenosas (Figura 25), que interagem, na maioria dos cenários, com valores mais discretos de resistência do solo à penetração (Figura 26) e valores mais proeminentes de infiltração (Figura 27). Já a outra parte, da média e alta bacia, apresenta maior concentração de silte e argila (Figura 25), fato que interage com uma alta resistência do solo à penetração (Figura 26) e, principalmente no período úmido, com menores taxa médias de infiltração (Figura 27).

Figura 26 - Resistência do solo à penetração da sub-bacia de análise em Analândia.



Fonte: o autor.

Figura 27 - Taxa média de infiltração da sub-bacia de análise em Analândia.



Fonte: o autor.

### 6. 3. Análise das características morfométricas do relevo e sua contribuição para o desenvolvimento de voçorocas

Os processos erosivos que ocorrem nos setores de monitoramento não estão isolados dos sistemas atuantes nas bacias hidrográficas. Assim, verificar a morfometria desta unidade de análise constitui-se em um elemento importante.

#### 6.3.1. Corumbataí

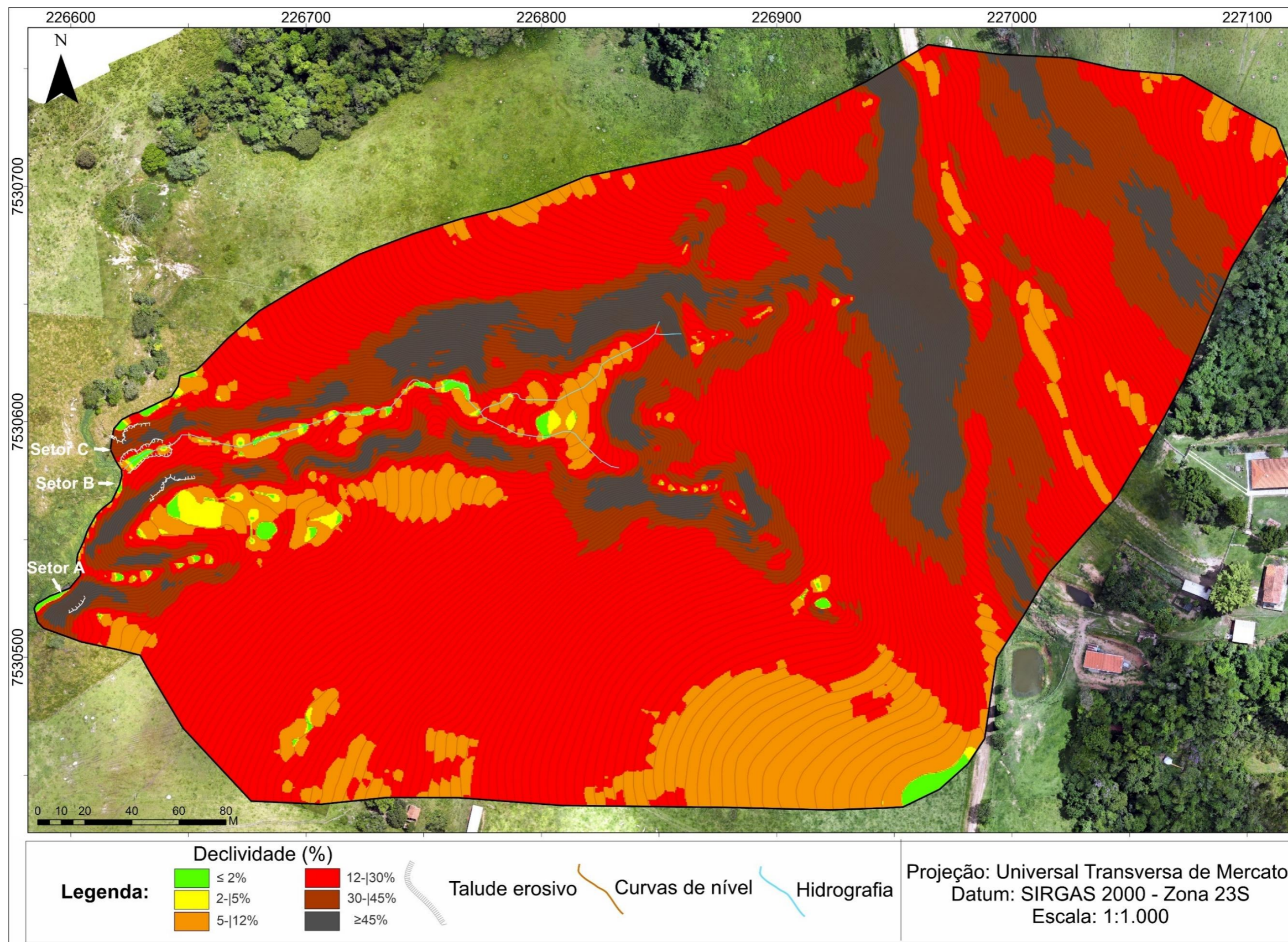
A bacia hidrográfica apresenta declividade elevada a montante do sistema erosivo analisado, principalmente na alta bacia, com diversos setores atingindo mais de 30% (18,5°)

de inclinação (Figura 28). De acordo com Zhang *et al.* (2019), a partir de 20° de inclinação a situação se torna crítica para ocorrência de processos erosivos e requer atenção ao uso da terra. Terrenos como os identificados a montante do sistema, podem agregar energia aos fluxos superficiais, dinamizando o sistema em voçorocamento que se encontra a jusante. Tal afirmação é corroborada por Silva e Lupinacci (2021), que identificaram, a partir da carta de energia do relevo, parte do setor da alta bacia do Ribeirão da Boa Vista com grau “forte” de energia, sendo tais setores posicionados, justamente, a montante do sistema erosivo aqui analisado.

As vertentes, em sua maioria apresentam classe de declividade de 12-30% (7,6°-18,5°), a qual merece atenção do ponto de vista erosivo. De acordo com Shen *et al.* (2016), em eventos chuvosos de alta intensidade (50 mm h<sup>-1</sup>), a erosão laminar apresenta aumentos significativos no carregamento de material a partir de 10° de inclinação, avançando, por exemplo, a 15° de inclinação, de 7,4 (10°) para 13,2 kg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, ou seja, quase dobrando em apenas 5° de inclinação. Destaca-se ainda, que terrenos com mais de 12% de inclinação poderão apresentar restrições a mecanização principalmente da cana-de-açúcar (São Paulo, 2002), sendo esta uma cultura comum na região, fato que condiciona a área de estudo a um padrão de uso vinculado as pastagens.

Em relação aos fundos de vale, as classes de declividade identificadas apresentam-se entre as menores de 12%, fato que atesta um fundo de vale em formato plano, proveniente do acúmulo de sedimentos no setor. A quantidade de sedimento indica a dinamicidade erosiva do sistema e incapacidade de transporte do canal.

Figura 28 - Carta de declividade de Corumbataí



Fonte: o autor.

Também é interessante verificar que os setores A, B superior e C superior, apresentam inclinação proeminente, estando o primeiro em classe  $\geq 45\%$  e os demais em área de predominância da classe de 30-45%. Já os taludes B e C inferiores apresentam menor inclinação, estando associados, principalmente à classe de 12-30%. Neste sentido, retomando os dados de evolução do talude erosivo (Tabela 1), recorda-se que os taludes mais dinâmicos estão localizados nos setores inferiores (12-30% de inclinação), estando estes sobrepostos por setores com declividade mais significativa, fato que pode evidenciar uma relação de vizinhança no processo evolutivo (Stefanuto *et al.* 2022), com os setores mais declivosos dos taludes erosivos superiores agregando energia aos fluxos, desencadeando ambiente propício à processos evolutivos nos taludes inferiores.

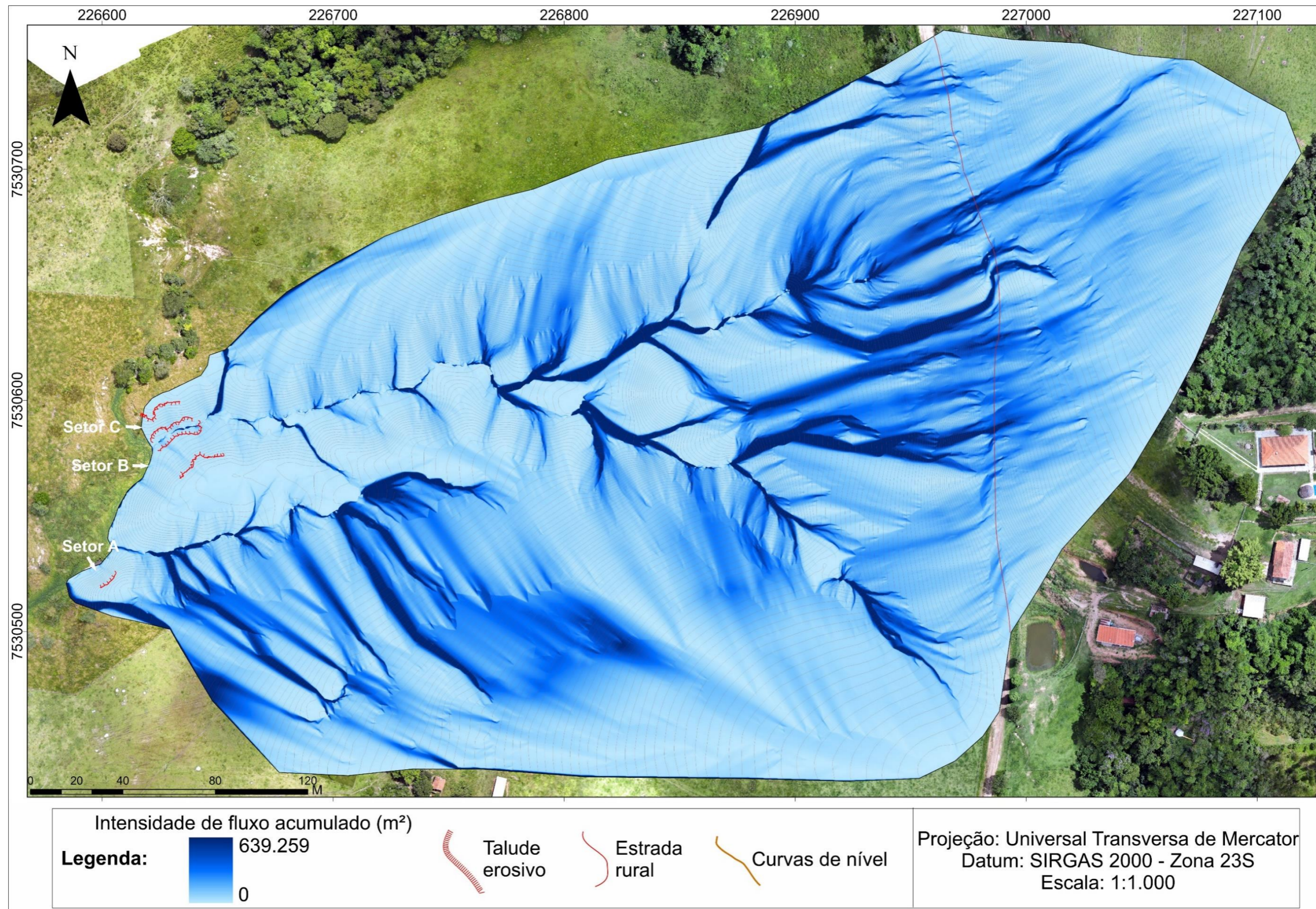
Frente ao apresentado, é relevante analisar o fluxo acumulado de superfície, visando verificar a chegada de volumes significativos de água ao setor de erosivo (Figura 29). As áreas com fluxos mais expressivos estão na alta bacia e na margem esquerda do canal (setor sudoestes da bacia). Tais setores possuem vertentes extensas, sendo que estas apresentam potencial de acúmulo, fato que gera descargas significativas no sistema erosivo. Vale destacar que o setor com maior fluxo, localizado a montante, apresenta uma estrada rural que o transpassa, fato que vale ser considerado como um potencializador do fluxo, por apresentar vertedouros responsáveis pelo direcionamento de fluxo da via de acesso para o sistema erosivo. Já na margem esquerda do canal, o fluxo acumulado não chega a atingir os setores de monitoramento B e C, devido à proximidade com uma grande concavidade que concentra o fluxo em outra direção. Já o setor A pode ser mais impactado pelo referido fluxo, uma vez que parte deste é direcionado em seu rumo.

O fluxo de superfície inserido através da parte superior do sistema erosivo, percorre o fundo de vale e acessa os taludes inferiores B e C, fato que pode explicar parte da maior dinamicidade destes em relação aos demais. Neste sentido, ganha força a argumentação da formação de alcovas de regressão provenientes da ação das águas do canal, ocasionando, posteriormente, o solapamento de blocos do talude erosivo.

Por outro lado, o setor A também está em contato com o canal, mas, devido à altura e inclinação do talude, a formação de alcovas de regressão não ocorre próxima a parte superior do talude erosivo (ponto de leitura), fato que difere este setor dos setores B e C inferiores. Ainda, o setor A não tem o mesmo comportamento dos setores B e C superiores, apresentando maior dinamicidade, fato que, neste caso, pode ser analisado pela perspectiva da

chegada de fluxos acumulados de superfície provenientes da longa vertente localizada na margem esquerda do canal. O referido fluxo pode ainda se associar a setores com concentração de areia fina na camada superior (figura 19) e baixa infiltração principalmente no período seco (Figura 21).

Figura 29 - Carta de fluxo acumulado de superfície de Corumbataí

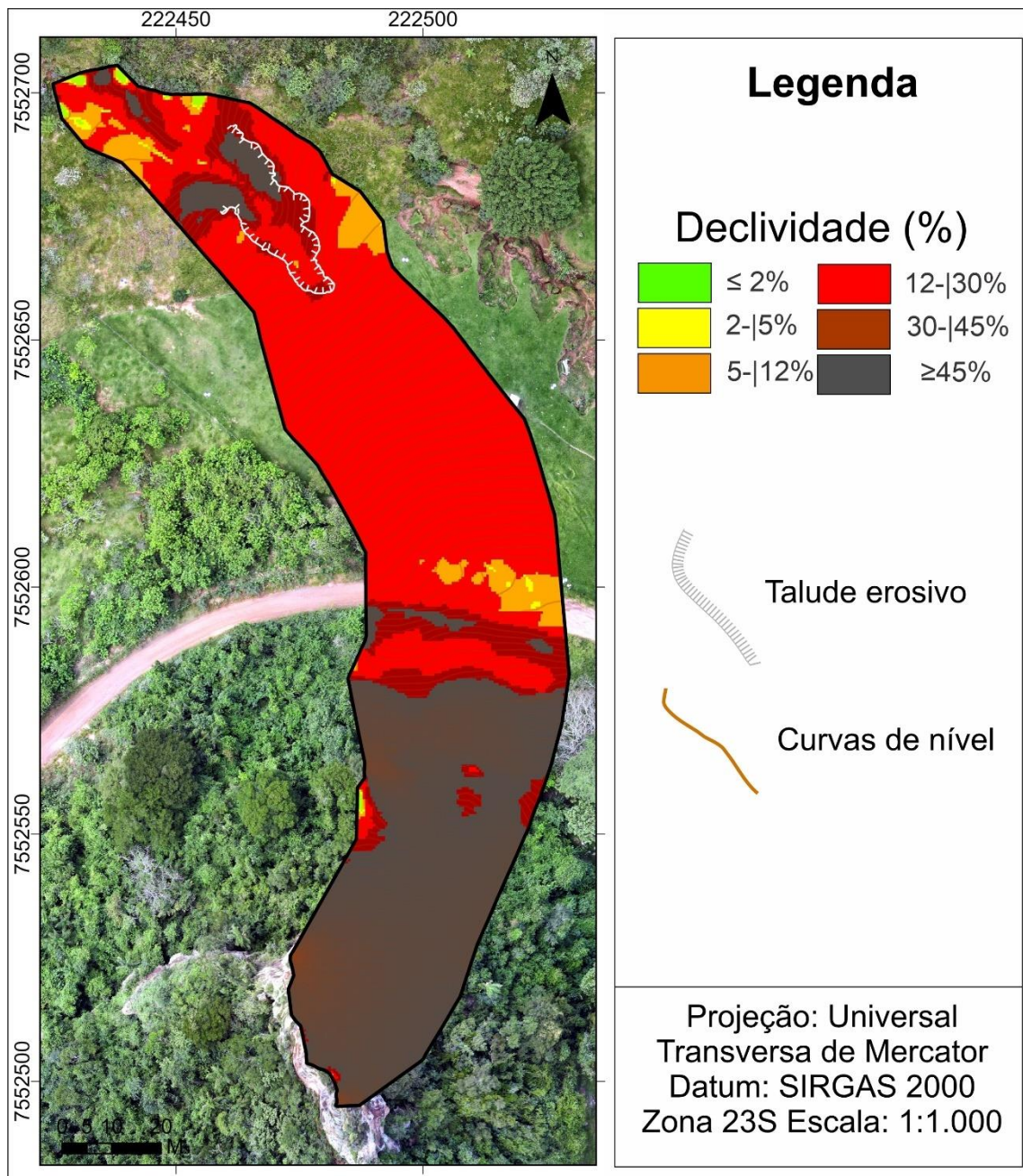


Fonte: o autor.

### 6.3.2. Analândia

A alta bacia apresenta como divisor d'água o morro testemunho do Camelo, fato que agrega declividade significativa ( $\geq 45\%$ ) neste setor (Figura 29). No sopé do morro testemunho há uma estrada rural, a qual atravessa a área de estudo, apresentando classes de declividade mais amenas (5-|12%). Logo abaixo da estrada, as classes de declividade voltam a estar no intervalo de 12-|30%, se estendendo até a voçoroca monitorada.

Figura 30 - Carta de declividade de Analândia.



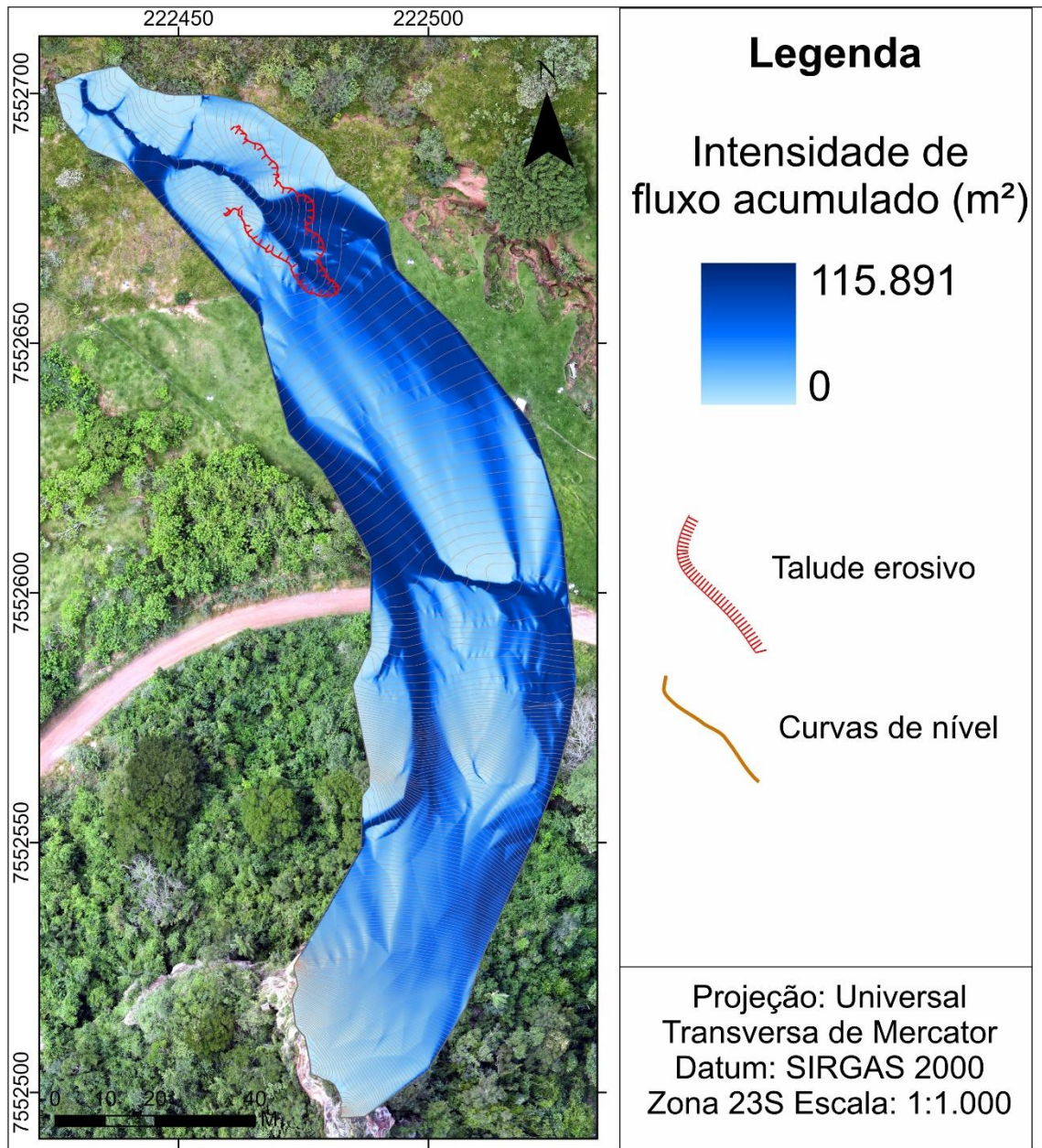
Fonte: o autor.

Desta forma, é interessante apontar que as vertentes com mais de 12% de inclinação localizadas a montante dos taludes erosivos, podem contribuir com fluxos com energia significativa, desencadeando da média para baixa vertente feições erosivas lineares, processo destacado também em Analândia por Stefanuto *et al.* (2022) e em Botucatu por Bonzanini *et al.* (2022). Ainda, alguns setores da zona de monitoramento erosivo, apresentam classe de declividade  $\geq 45\%$ , fato que evidencia a ocorrência de taludes erosivos em degraus, ou seja, um patamar superior, no qual ocorreu o monitoramento (30-45%), sobreposto a um patamar inferior ( $\geq 45\%$ ), o qual não foi monitorado.

Em relação ao fluxo acumulado de superfície (Figura 31), é interessante verificar como a estrada direciona os fluxos da bacia hidrográfica, desviando parte deste do sistema erosivo, mas também concentrando outra parte no rumo da voçoroca a partir de um vertedouro de retirada de fluxo da via (Figura 32). Os fluxos direcionados por este vertedouro atingem diretamente o setor de cabeceira (pontos 13 e 14), o qual é o mais relevante em perda de material (Tabela 2).

Também o setor representado pelos pontos de 8 a 12 recebe o referido fluxo e, conforme apresentado (Figura 22), evidenciam material fino (silte e argila) em superfície, fato que pode dinamizar estes taludes a partir de processos como as quedas d'água (Oliveira, 1999), uma vez que a infiltração (Figura 24), principalmente no período úmido, é baixa.

Figura 31 - Carta de fluxo acumulado de superfície de Analândia.



Fonte: o autor.

Figura 32 - Vertedouro e fluxo de água superficial.



Fonte: o autor.

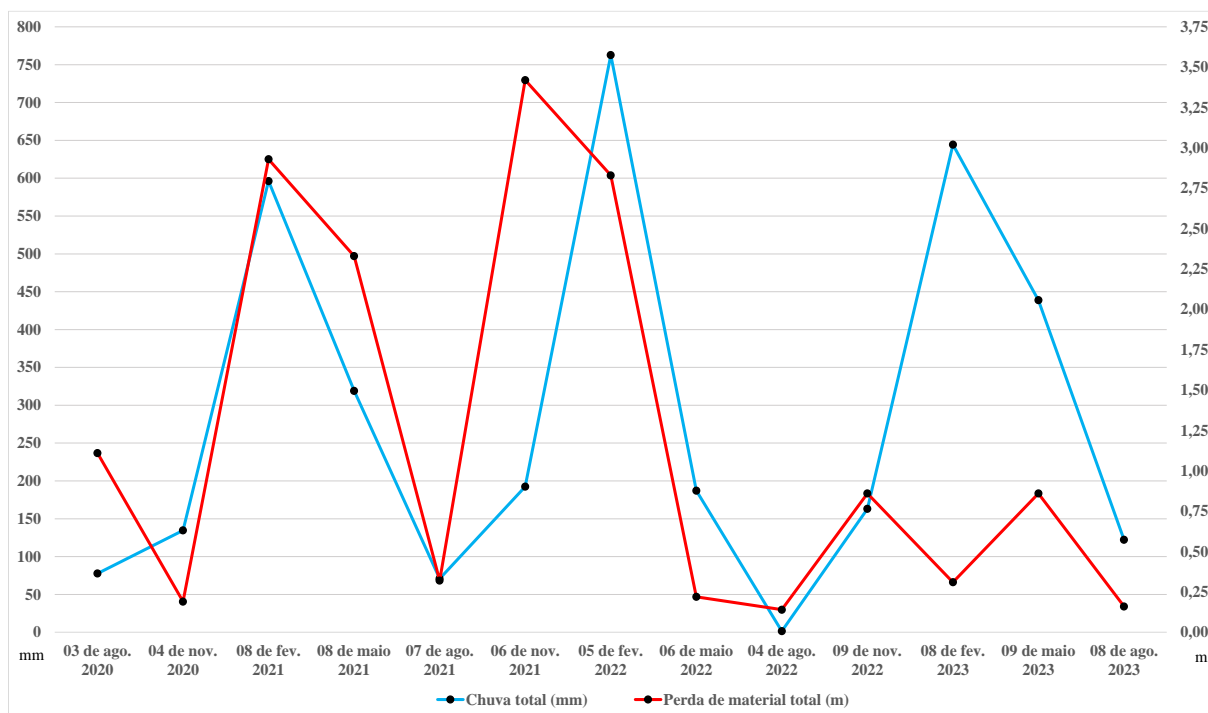
#### 6. 4. Análise da interação entre eventos de chuva e a evolução de voçorocas

##### 6.4.1 Corumbataí

Os trimestres de maio a agosto de 2020, 2021, 2022 e 2023 foram os que apresentaram menor volume pluviométrico, com um extremo de 1,5 mm no trimestre de 2022 (Tabela 3). Já os trimestres com volumes mais significativos são os de novembro a fevereiro, com o volume máximo de chuva no período registrado no trimestre 2021/22 (762,7 mm). Constata-se também a coerência entre os dados de chuva e de perda de material em 66,6% dos trimestres analisados (Gráfico 3), ou seja, dados ascendentes ou descendentes se combinam. Tal consonância entre o aumento da chuva e a perda de material constitui-se em uma dinâmica esperada e debatida de forma ampla pela bibliografia (Anderson *et al.*, 2021). Destaca-se que o gado foi retirado da área de estudo em 26/11/2021, fato que será explorado na sequência, mas que justifica a queda de perda de material registrada no Gráfico 3.



Gráfico 3 – Interação entre os dados de perda de material e pluviométricos por trimestres em Corumbataí.



Fonte: o autor.

Com isso, quatro trimestres (novembro de 2020, fevereiro de 2022, fevereiro de 2023 e maio de 2023) evidenciam relação distinta entre perda de material e volume de chuva. As variações mais díspares ocorrem nos meses de fevereiro de 2022 e de 2023, com os dados de chuva do primeiro período ascendendo da cota de 200 mm (nov. 2021) para cota de 750-800 mm (fev. 2022) e os dados de perda de material decaindo da cota de 3,25-3,50 m para 2,75-3,0 m; o segundo período também apresenta relação similar, com dados de chuva ascendendo de 150 mm (nov. 2022) para 600-650 mm e os dados de perda de material decaindo da cota de 0,75-1,0 m (nov. 2022) para 0,25-0,50 m.

Assim, analisando cada trimestres com relação distinta entre chuva e perda de material, averigua-se que em novembro de 2020 os dados de chuva não apresentam volume/dia muito significativos (Tabela 3). Tal fato pode ter contribuído para a menor perda de material do talude erosivo, justificando, a princípio, o aumento de chuva com a redução na perda de material (Gráfico 3). Já sobre fevereiro de 2022 e de 2023 pode-se encaminhar a análise para a questão da umidade antecedente (Karimov *et al.*, 2015). Como é possível constatar no Gráfico 3, a ascendência da curva dos dados pluviométricos inicia entre os monitoramentos de agosto e novembro de 2021 e 2022. Com isso, entende-se que tais chuvas hidratam os solos, propiciando maior agregação das partículas e conseqüentemente maior resistência dos materiais (Karimov *et al.*, 2015). Portanto, mesmo com volumes de chuva

ascendentes em fevereiro de 2022 e em fevereiro de 2023, os solos da área monitorada apresentam maior agregação fruto da umidade antecedente, fazendo com que os valores totais de perda de material apresentem queda. Já maio de 2023 apresentou 438 mm de precipitação (Tabela 3), com alguns dias evidenciando mais de 70 mm de precipitação, fato que pode justificar, pelo volume dos eventos, dados de chuva descendentes com dados de perda ascendentes.

Por fim, ao analisar os pontos de monitoramento erosivo com evolução acima da média (Figura 9), identifica-se outra perspectiva de análise, uma vez que, principalmente no setor B inferior, os maiores valores de perda de material da série de monitoramento ocorrem entre o trimestre de agosto a novembro, ou seja, na passagem da estação seca para úmida.

Nesse período, os materiais da área de estudo, os quais são compostos majoritariamente pela fração areia (Figuras 13, 14 e 19), apresentam baixa agregação devido a suas características, fato que propicia um material mais friável para ação das primeiras chuvas do período úmido. Tal variável perde força posteriormente a hidratação do material, a qual aumenta o grau de agregação destes. Com isso, pode-se entender, a partir dos dados de resistência do solo a penetração do período seco (Figura 16), que os solos, principalmente dos setores B e C inferiores são coesos, fato que atribui alta resistência, mas poucos agregados, gerando a característica friável.

#### 6.4.2 Analândia

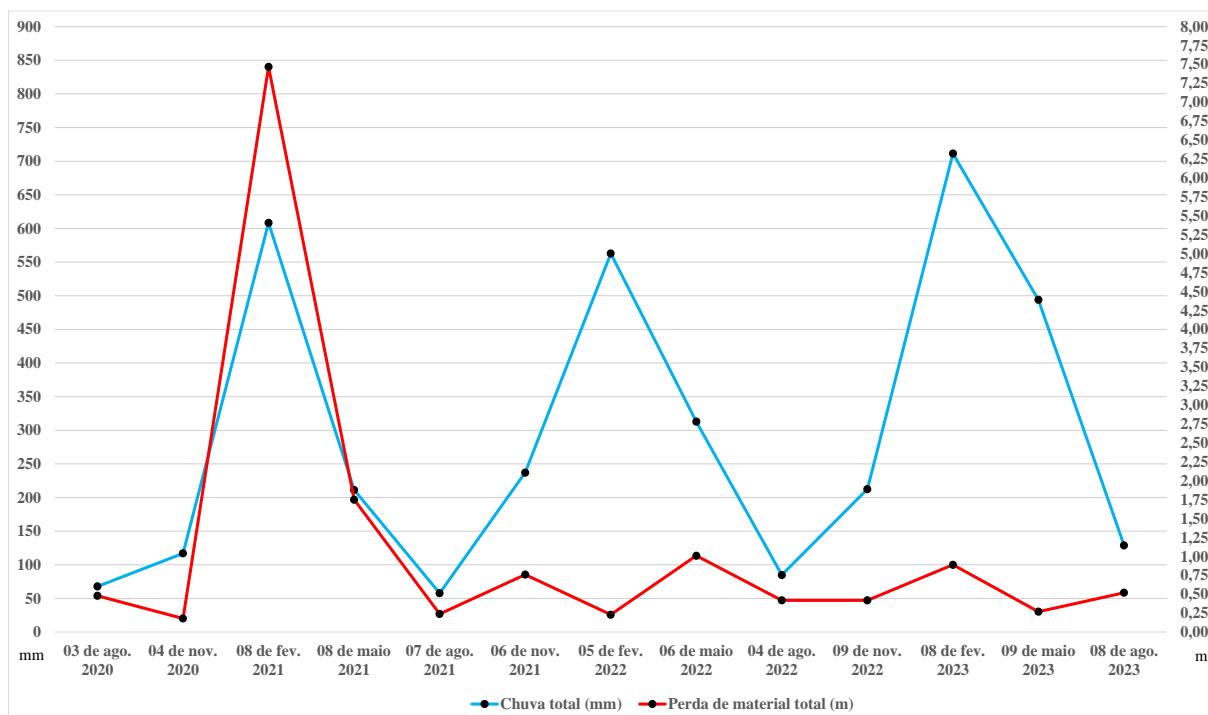
Os trimestres com menor volume pluviométrico se constituem nos períodos de maio a agosto, com exceção do período de 2023, os quais apresentaram 67,9 mm de precipitação em 2020, 57,8 mm em 2021 e 84,9 mm em 2022 (Tabela 4). Já os trimestres com maior precipitação ocorrem entre novembro e fevereiro, apresentando 608,4 mm em 2020/21, 562,8 mm em 2021/22 e 711,4 mm em 2022/23. Ainda, 58,3% dos trimestres evidenciam dados de chuva ou de perda de material apresentando ascensão ou queda conjuntamente no respectivo período (Gráfico 4).

Tabela 4 - Dados pluviométricos de Analândia.

Mês/Ano/Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Chuva máxima mês (mm)	Chuva total no trimestre (mm)		
05/2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,8	0	0,2	0	0	0	0	0	0	14,5	0	0	0	0	0	0	0	0	14,5	67,9	
06/2020	0	0	0,5	0	3,4	0	13	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	17,2	0	0	---	17,2	67,9		
07/2020	0	3,8	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,8	67,9	
08/2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	9	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	117,1	
09/2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	117,1	
10/2020	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	1,2	0	0	0	0	9,3	3,6	0,8	0	0	7,5	0,1	0,8	0	4,2	0	18,9	0	0	0	28,5	0	28,5	117,1		
11/2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,1	0	4,5	12,4	18,6	0	3,3	1,1	12,5	18,7	5,2	0,1	0	0	0	0	0	4,6	2,6	0,4	7,5	0	18,7	117,1		
12/2020	4,1	2,6	8,5	0	0	42,6	13	5,5	8,9	8,7	0,2	0	29,5	8,5	0	0,1	5,4	39	0,1	0	0	0	49,3	0,2	0	2,9	29,1	20,7	4,6	23,8	6,6	55	608,4		
01/2021	26	8,3	7,5	4,5	0,1	0	0	1,2	0,4	0	20,5	18,5	2,5	8,5	4,3	10	0	0	7	3,5	0	0,2	0,5	0	0,1	0,3	0,8	0,7	10,8	0	0	26	608,4		
02/2021	0	13,2	0	0	0	0	0	0	0	0	1,7	6	22	17,5	0	0	0	16,3	0	0	0	0	0	0	10	3,1	6,3	---	---	---	---	22	608,4		
03/2021	1,5	0	0	0	7,4	22	6,3	47	0	1,7	0,3	0,4	0	0	0	0	0	23	4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47	211,3	
04/2021	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	9,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,2	211,3	
05/2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	211,3	
06/2021	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0	28,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2	0	3,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28,2	57,8
07/2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4,8	0	0	0	6	57,8	
08/2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	0	1	0	0	4,5	57,8	
09/2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,1	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5	0	0	0	0	0	4,5	237,1	
10/2021	0	2,5	1	18	0	0	0	0	0	38,5	0,9	0	0	0	1	13,6	0	0	18	8,5	0	0,1	0	35	0,1	0	0,5	68,2	0,7	0,1	3,5	0	68,2	237,1	
11/2021	9,8	0	0	0	0	0	0	0	0	19	6,5	0	0	0	0	0	0,9	24,6	1,5	0	0,1	0	0	0	9,3	29	0,1	0	7	---	---	29	237,1		
12/2021	14,5	0,2	0	0	0	6,5	8,5	0	0	0,1	0,1	0	1,9	25	11,2	7,4	1,1	39,1	0	0	0	0	4,5	0	0	0	0	7,5	0	10,5	0	39,1	562,8		
01/2022	8,2	0	0	6	16,8	0,3	35,6	0,6	0	2,6	0,1	12,8	2,6	11,5	0	16	1,8	1,6	18,3	2,4	0	0	0	0	1,5	5,4	0	37,4	13	45,8	0	45,8	562,8		
02/2022	5,4	45,6	18,6	14,5	2,3	21,9	19,7	3,9	0,2	0,1	0,2	1,5	0	0,1	0	27,7	4	0	0	1,2	0,1	0,1	0	0,2	0	0	0,9	---	---	---	---	45,6	562,8		
03/2022	0	0	0	27,5	0,2	0	2,5	0	0,2	0	27,6	21	43,7	3,7	45,6	31,5	1,1	0	0	0,6	0	0	0	0	2,9	2,4	0,7	0,5	0,1	0,2	0	45,6	312,9		
04/2022	9,1	0,2	0	0	0	0,9	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0,2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,1	312,9	
05/2022	0	0	0	3,5	3,8	0,2	0,2	0	0	1,5	0	0	0	0	11,3	0,6	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31,4	0	31,4	312,9	
06/2022	16,6	0,2	0	0	0	0	0	0,2	6,8	8,6	0,2	0,2	0,2	0,1	0	0	0,2	3,2	0,1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16,6	84,9	
07/2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	84,9	
08/2022	0	0	0	0	0	0	0	7,1	4,1	13,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,2	84,9
09/2022	0	0	0	0	0	0	13,8	11,3	0	0	0	0	0	0	1,3	0,9	0,0	0	0	0	0	15,4	1,3	0	0	0,0	12,0	1,8	12,8	0	---	---	15,4	212,6	
10/2022	15,9	0,1	0	0	0	0	27,4	0,4	0	2,0	4,5	0,1	0	0	0	0	0,0	0	6,7	5,4	17,5	0,2	0	0	0	0	0	5,4	0,0	22,8	0,4	0,4	27,4	212,6	
11/2022	8,4	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	5,6	0	12,8	12,5	0	0	0	0	0	0	3,0	0	0	15,8	24,5	0,0	0	0	2,9	6,0	---	24,5	212,6	
12/2022	8,2	0,2	0	0,2	18	7	7,6	2	0	0	2,8	3,6	19	40,5	0,2	0,2	47,8	0,2	0,2	3,3	25,6	0,2	0	24	0	40,8	6,4	11,6	12,5	0,1	0	47,8	711,4		
01/2023	1,5	20,6	5,8	21,3	25,7	12,5	0	0	5,6	15,2	18,3	16,8	0,3	7,9	0	0,8	0	2,3	0	3,0	30,2	17,8	22,6	21,6	0	0	0	0	0,8	8,1	11,4	30,2	711,4		
02/2023	5,8	36,1	2,4	3,6	0,1	0,2	5,9	22,0	7,9	6,5	0,8	12,9	0,6	11,8	0	45,8	8,2	19,9	10	0	2,5	1,6	0,3	39	0	5,6	0,2	5,2	---	---	---	45,8	493,9		
03/2023	0	0,2	3,5	1,4	15,2	0,2	6,8	2	0,2	2,9	0,3	22,2	0,2	48,7	18,6	0,2	11,8	0,2	3,6	0,2	0,2	0,3	0,2	0,7	0,2	0,1	5,5	11,4	5,6	5,5	3,1	48,7	493,9		
04/2023	2,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0	37,2	2,8	1,7	0,4	0,1	0	0	4,8	50,7	0,5	0	3,7	18,6	0,2	0,2	0	0	0	0	0	9,2	10,4	0,4	0	---	---	50,7	493,9	
05/2023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,1	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,3	0	0,2	0	0	8,1	8,1	
06/2023	0,2	0,6	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	21	79	12,6	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79	129	
07/2023	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0	0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,2	129	
08/2023	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	

Fonte: o autor.

Gráfico 4 – Interação entre os dados de perda de material e pluviométricos por trimestres em Analândia.



Fonte: o autor.

Assim, realizando uma análise pormenorizada dos trimestres que evidenciam relação diversa, é importante novamente destacar, além dos volumes trimestrais, a intensidade dos eventos pluviométricos diários. Com isso, é possível analisar que a inversão ocorrida em novembro de 2020 (chuva ascendente e perda decrescente) e a estabilidade registrada em novembro de 2022 nos dados de perda de material, podem estar associadas às chuvas com intensidades pouco significativas para o contexto da área. Por exemplo, em novembro de 2020, as três chuvas diárias de maior intensidade apresentaram volumes de 28,5 mm, 19 mm e 18,9 mm, sendo que em novembro de 2022, os três principais eventos diários apresentaram volume de 27,4 mm, 22,8 mm e 17,5 mm. Compreende-se tais volumes como poucos significativos, considerando que os eventos extremos dos respectivos anos foram de 55 mm/dia (2020) e 47,8 mm/dia (2022).

Já a inversão evidenciada em fevereiro de 2022 (chuva ascendente e perda decrescente) pode estar associada a umidade antecedente. Como apresentando na Tabela 4, o mês de outubro 2021, último mês antes do trimestre de análise, evidencia alguns eventos com volumes significativos, com chuvas diárias de 68,2 mm e 38,5 mm, podendo ser os mesmos suficientes para hidratação dos solos, a qual gera maior agregação das partículas finas e menor probabilidade de perda de material do talude erosivo.

Por fim, maio de 2022 e agosto de 2023 apresentam relação inversa distinta (chuva decrescente e perda ascendente), fato que pode se dar pelo ressecamento dos solos fruto da redução na precipitação de fevereiro para maio de 2022, redução de 44,4% em relação ao volume precipitado no período anterior (novembro de 2021 a fevereiro de 2022), e redução da precipitação de maio para agosto de 2023 de 73,8% em relação ao volume precipitado no período anterior (fevereiro a maio de 2023).

Por fim, é interessante analisar que os pontos de monitoramento erosivo com evolução acima da média (Figura 11), concentram seus maiores valores de perda de material em fevereiro de 2021. Neste sentido, verificando os eventos do semestre, nota-se que em dezembro de 2020 ocorre o evento de chuva mais intenso destes trimestres, com 55 mm/dia. Tal fato pode ter intensificado o processo erosivo no período, ocasionando a referida dinâmica. Ainda, é importante destacar que nos dois dias anteriores ao evento já havia precipitado 55,6 mm, com um evento/dia de 42,6 mm. Neste caso, destaca-se que os eventos de chuva prévios podem ganhar relevância para ocorrência de processo de perda de material de talude erosivo. De acordo com Wells *et al.* (2013), os solos dos taludes encharcados, aumentam o peso do material e, a partir da atuação da erosão no sopé do talude e formação de alcovas de regressão, o talude erosivo pode solapar de maneira proeminente.

## 6. 5. Avaliação das condições do uso e cobertura da terra e sua interação com as voçorocas monitoradas

### 6.5.1 Corumbataí

Os setores de monitoramento são predominantemente recobertos por pastagens destinadas à pecuária, com gado em sistema de pastejo livre, sem rotacionamento (Figuras 33 e 34). De acordo com os dados obtidos junto ao proprietário, a área de estudo apresentou gado até 26/11/2021, sendo a área de voçorocamento cercada em 07/06/2022. Os ortomosaicos de maio, de agosto e de novembro de 2021 evidenciam gramíneas poucos densas, fato constatado pela exposição dos taludes erosivos tanto no setor A como nos setores B e C. Também é possível identificar sulcos erosivos e ravinas que compõem o respectivo sistema erosivo (Figuras 33 e 34). A mudança na cobertura da terra é evidente para o imageamento de 22/02/2024 (2 anos e 3 meses após a retirada do gado), com taludes erosivos recobertos e demais feições erosivas que compõem o sistema erosivo poucos visíveis devido ao adensamento da cobertura vegetal.

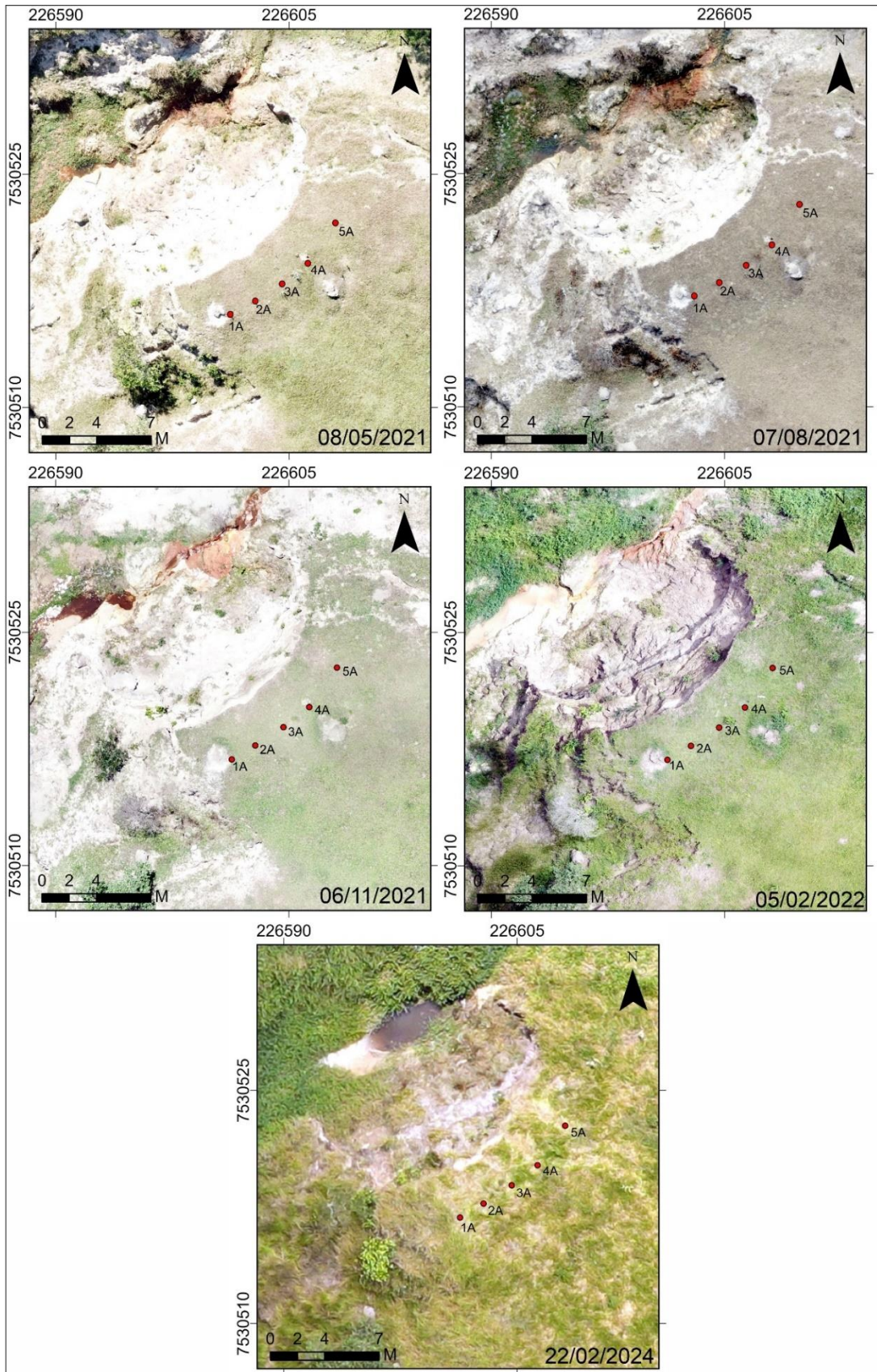
Como mencionado, o talude erosivo do setor A apresenta desnível altimétrico de aproximadamente 6 m do topo do talude ao canal, com classes de declividade  $\geq 45\%$ , fato que, pela própria característica do terreno, dificulta a instalação da vegetação. Essa característica é constatada pelos ortomosaicos, que indicam que até 05/02/2022 não houve uma mudança significativa na cobertura do talude erosivo. Já em 22/02/2024 é possível verificar uma maior cobertura por gramíneas, responsável por proteger o talude erosivo, contribuindo para redução da perda de material.

Mesmo com o aumento da cobertura no setor A, esta não chega a ser tão efetiva como nos setores B e C, fato que é evidenciado em novembro de 2022 pelo registro do maior valor de perda de material, com 0,26 m no Ponto 2A (Tabela 1), praticamente 1 ano após a retirada do gado da área. No entanto, há que se ponderar, que a perda de material de um ponto é proveniente também de um histórico de degradação, que extravasa o período de um ano e que o período após a retirada do gado apresentou 8% de redução na taxa de erosão do setor A.

Já em relação aos setores B e C, é interessante analisar a transição da área de monitoramento B superior para a B inferior, principalmente entre os pontos 6B, 7B, 19B e 20B. Conforme mapeado por Stefanuto e Lupiancci (2024), o referido setor apresenta uma associação de feições erosivas lineares, sendo que além do talude erosivo monitorado, mapeiam-se sulcos erosivos e ravinas. A afirmação dos autores fica evidente nos quatro primeiros imageamentos, sendo que em fevereiro de 2024 (Figura 34), a cobertura vegetal praticamente recobre as feições, com poucos pontos evidenciando solo exposto.

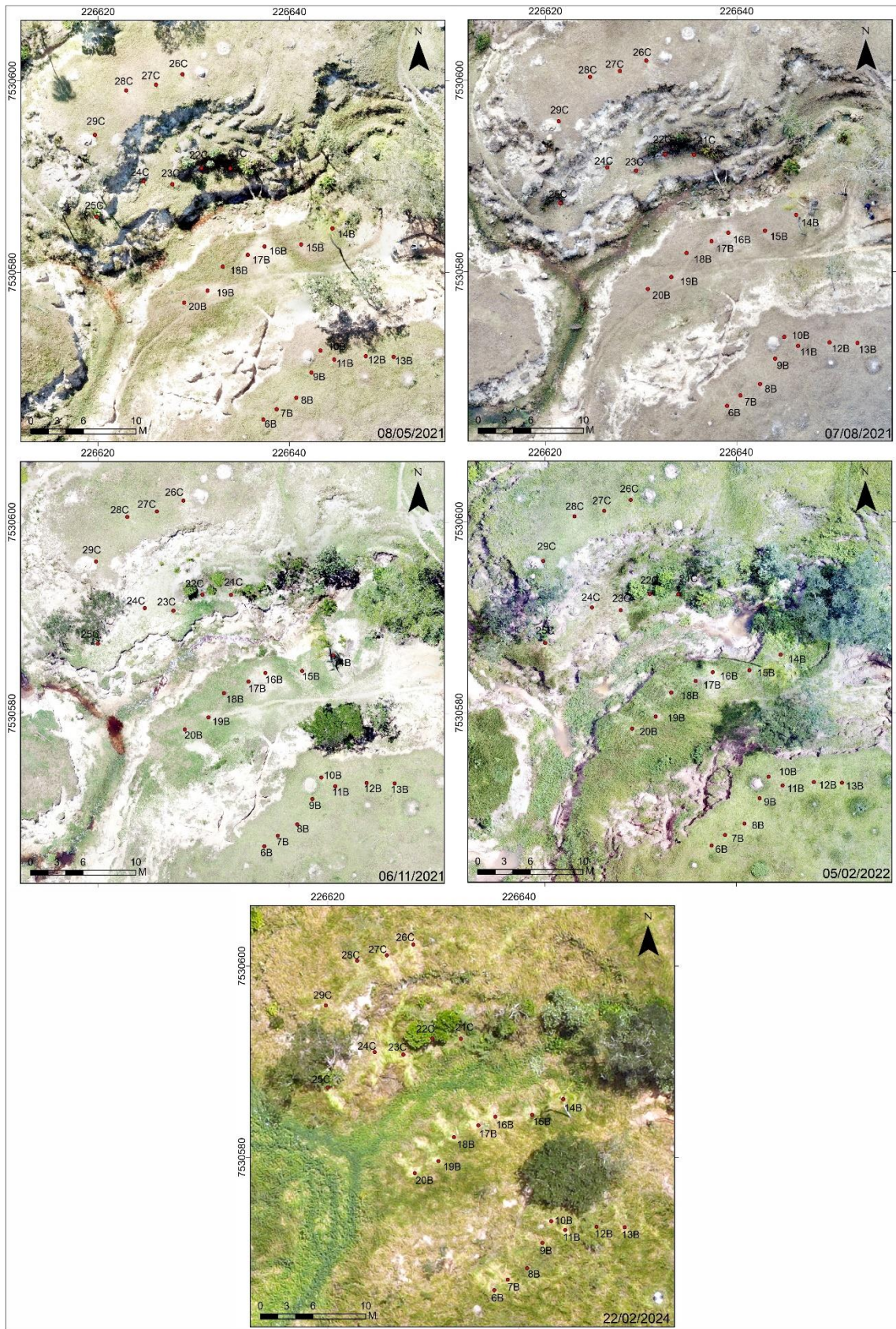
Outro setor interessante para notar a mudança na dinamicidade erosiva está entre os pontos 14B, 15B, 16B, 21C e 22C (Figura 34). Stefanuto e Lupiancci (2024), identificam no setor, em fevereiro de 2022, um espelho d'água marcante, o qual indicava setores mais profundos do canal, que possibilitavam o acúmulo de água. De acordo com os autores, o fato do canal ser mais profundo neste setor, pressupõe maior energia e com isso maior disponibilidade para o destacamento de materiais do talude erosivo e atuação de processos como o solapamento. Já em fevereiro de 2024, a área apresenta-se recoberta por gramíneas, inclusive no setor do canal.

Figura 33 - Histórico da cobertura do solo no setor A.



Fonte: o autor.

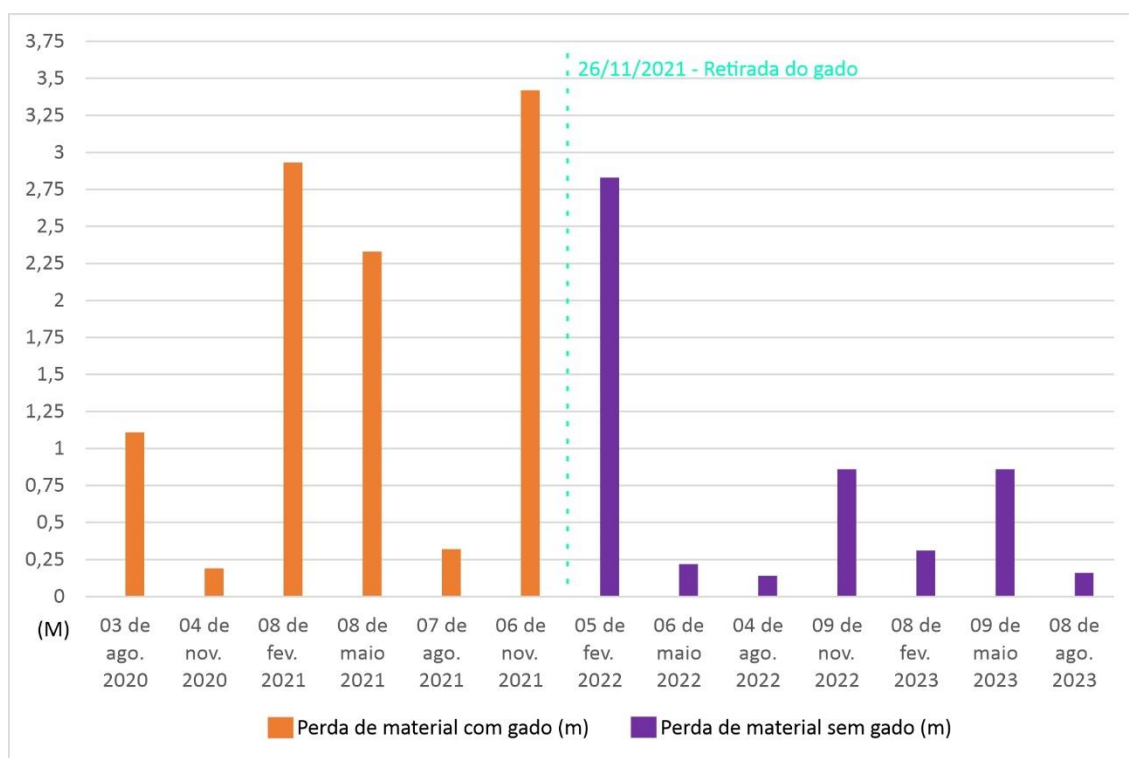
Figura 34 - Histórico da cobertura do solo nos setores B e C.



Fonte: o autor.

Desta forma, analisando comparativamente os totais de perda de material após a retirada do gado (Gráfico 5), é notável uma redução na dinâmica erosiva atuante nos taludes monitorados. Ainda, destaca-se que o período de monitoramento subsequente a retirada do gado (fevereiro de 2022) apresentou marcante perda total de material (perda de 2,83 m), no entanto, compreende-se que a cobertura vegetal pode levar alguns meses para recompor sua vitalidade e recobrir significativamente o solo, elemento que, a princípio, justifica parte da perda de material registrada em fevereiro de 2022 mesmo com o setor sem gado. Já nos monitoramentos seguintes, de maio de 2022 a agosto de 2023, os valores totais de perda de material apresentaram reduções significativas a partir da análise comparativa entre os períodos anteriores e posteriores a retirada do gado e cercamento.

Gráfico 5 – Dados de perda de material por período sem e com gado acessando o sistema erosivo monitorado.



Fonte: o autor.

Neste sentido, a pesquisa de Zanatta *et al.* (2019), em estudo aplicado à Marabá Paulista (SP), localizada na região do Pontal do Paranapanema, reforça a relação entre voçorocas e as áreas de pastagens destinadas à pecuária. De acordo com os autores, desde 1963 as feições erosivas lineares mapeadas apresentam relação intrínseca com pastagens classificadas como pasto e pasto sujo, sendo que o pasto sujo se constitui em setores de pastagem com baixa manutenção, caracterizados por gramíneas entremeadas por espécies vegetais arbustivas. Neste contexto, as voçorocas constituem-se na feição linear com relação

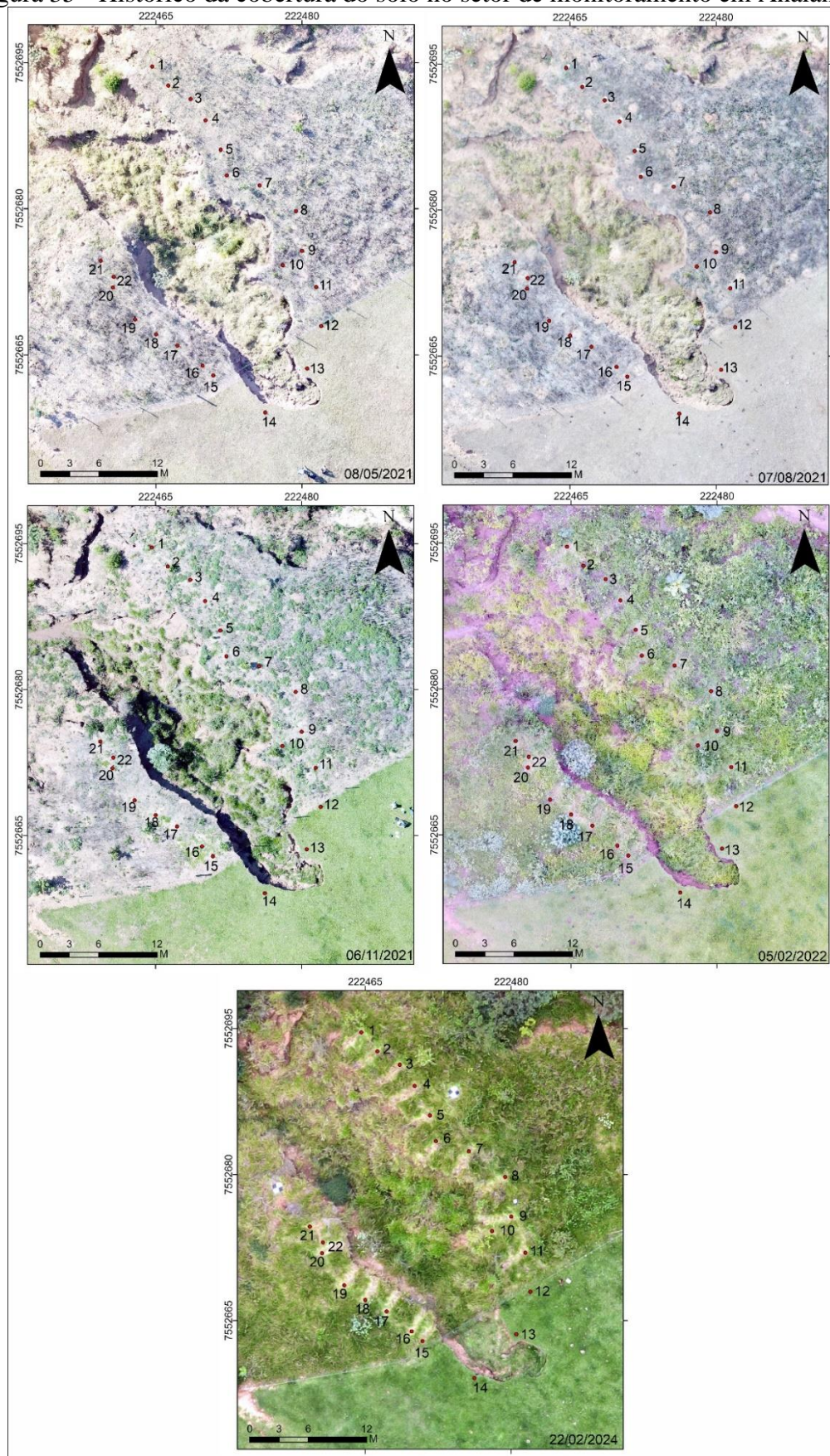
mais determinante com as pastagens, uma vez que em 1997, 100% das feições mapeadas ocorreram em área de pasto (Zanatta *et al.*, 2019). Assim, compreende-se que a retirada do gado da área de estudo desta pesquisa tenha influenciado na redução da perda de material do talude erosivo.

#### 6.5.2 Analândia

Em Analândia, desde o início do monitoramento, as margens direita e esquerda localizam-se em um setor de intervenção para fins de reflorestamento, sendo o setor de cabeceira destinado a pastagem para pecuária. Destaca-se que, a princípio, o setor de reflorestamento deveria se constituir em uma área sem acesso dos animais, no entanto, no decorrer dos 13 trimestres de monitoramento, diversas vezes identificou-se gado no interior da área, fato que pode ter dinamizado o talude erosivo nas áreas de margem. Outra característica importante do setor de reflorestamento é a cobertura vegetal, sendo que esta variou de forma significativa no decorrer dos trimestres, devido ao combate de ervas daninhas com herbicidas (Figura 35).

É importante resgatar que os contratos de prestação de serviço de manutenção das áreas de reflorestamento foram publicados em 2021, com vigência de 28/10/2021 a 27/10/2022 (035/2021), 10/01/2022 a 09/01/2023 (040/2021) e 30/12/2021 a 29/06/2023 (043/2021), no entanto, desde agosto de 2022 verificou-se em campo uma manutenção menos agressiva da cobertura vegetal (Figura 35), possibilitando o desenvolvimento, principalmente, de espécies de gramíneas, que estão presentes até o último imageamento em 22/02/2024.

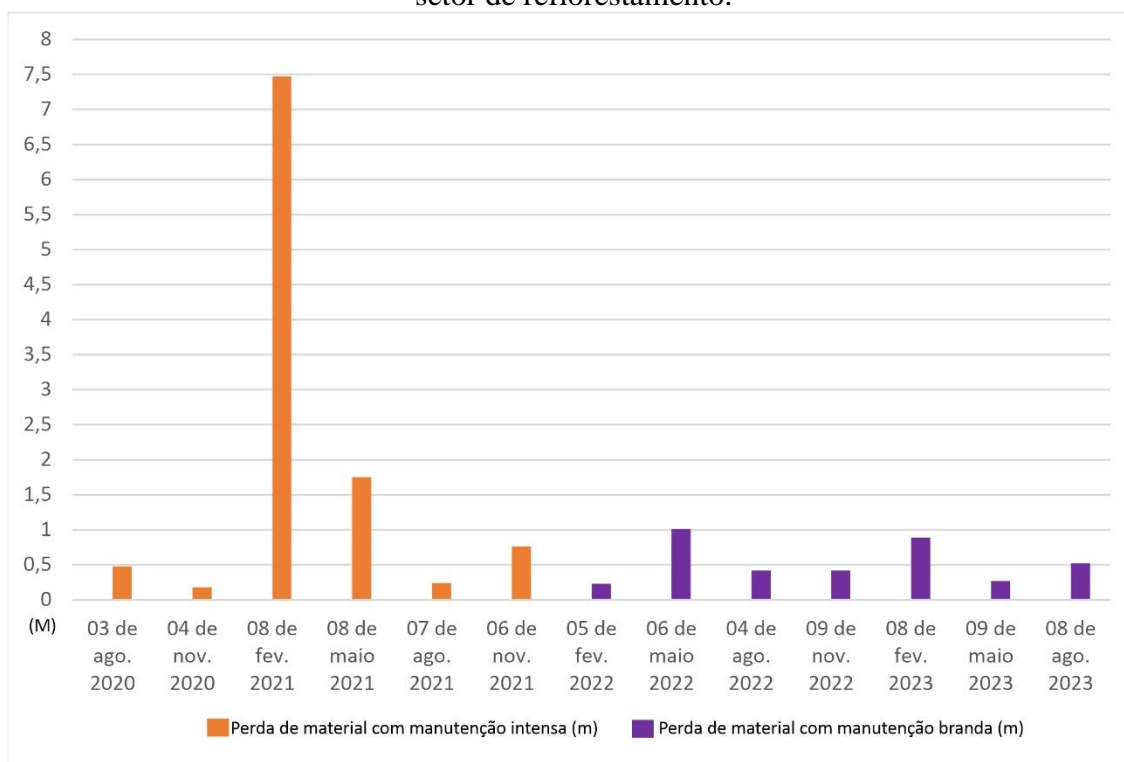
Figura 35 - Histórico da cobertura do solo no setor de monitoramento em Analândia.



Fonte: o autor.

Vale destacar que mesmo após uma cobertura mais efetiva dos solos da área por gramíneas, conforme registrado em 05/02/2022, ainda é possível identificar o terceiro e quarto pico de perda de material em maio 2022 e fevereiro de 2023 (Gráfico 6). Neste sentido, constatou-se em campo, o registro de gado na área de reflorestamento em maio de 2022, agosto de 2022, maio de 2023 e agosto de 2023. O gado no interior da área de estudo reduziu a cobertura vegetal de gramíneas devido ao pastejo e impactou diretamente nos taludes erosivos devido ao pisoteio, fato que pode ter contribuído para os referidos picos mesmo após a mudança no padrão de combate às ervas daninhas.

Gráfico 6 – Dados de perda de material por período com manutenção intensa e branda do setor de reflorestamento.



Fonte: o autor.

#### 6.6. Análise da dinâmica erosiva dos compartimentos geomorfológicos a partir da datação por Chumbo-210.

O setor de análise em Corumbataí situa-se na província da Depressão Periférica, próximo ao contato com a província Cuestas Basálticas, na qual está localizada a área de estudo em Analândia (IPT, 1981a). Tais características atribuem a Corumbataí a possibilidade de análise de um dinâmica de sopé, em uma localidade marcada por patamares estruturais com cotas altimétricas em torno de 656 m. Já em Analândia é possível verificar uma típica dinâmica do *front* cuestiforme com cotas entorno de 858 m. Desta forma, é interessante

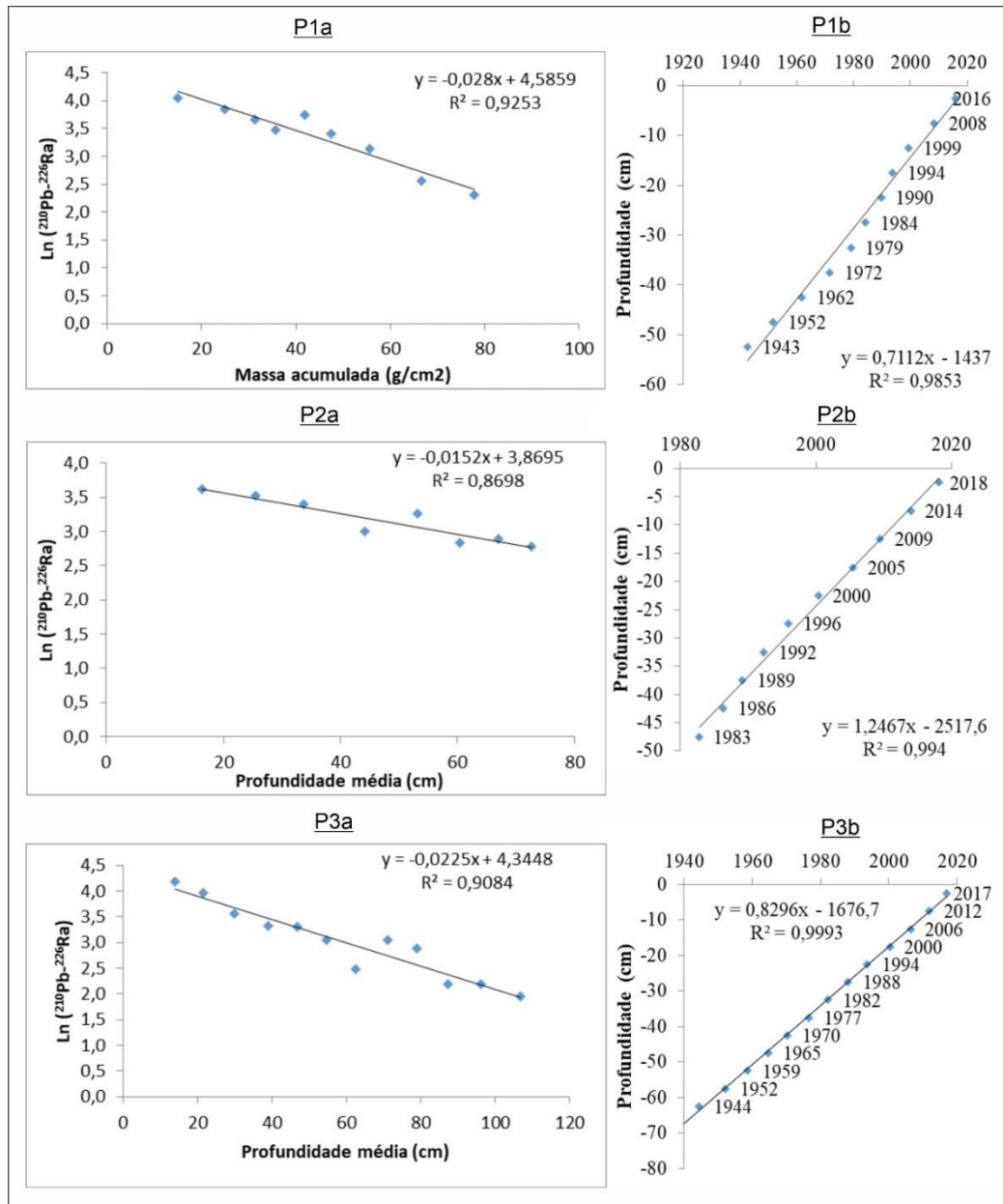
analisar as taxas de sedimentação e deposição nas referidas bacias, verificando-as comparativamente.

Os testemunhos mais antigos coletados em Corumbataí datam de 1943 (P1b), com retrospecto de sedimentação de 73 anos no alto curso (P1b), 35 anos no médio curso (P2b) e 73 anos no baixo curso (P3b), considerando os anos máximos e mínimos datados. Neste contexto, as taxas de sedimentação apresentaram o seguinte padrão 1107 g/cm<sup>2</sup>/ano (P1a), 2040 g/cm<sup>2</sup>/ano (P2a) e 1378 g/cm<sup>2</sup>/ano (P3a), com taxa de deposição de 7,1 mm/ano (P1b), 12,5 mm/ano (P2b) e 8,3 mm/ano (P3b) (Gráfico 7).

Desta forma, verifica-se que o alto curso apresenta a menor taxa de deposição, mesmo se constituindo no ponto mais próximo ao sistema erosivo monitorado, o qual está associado a parte das nascentes do córrego amostrado. O dado é esperado, pois compreende-se que no alto curso o fluxo apresenta energia e capacidade de transporte, fazendo com que grande parte do material erodido seja transportado. Já no médio curso as taxas aumentam, fato que pode estar associado à redução da energia do canal. Neste caso, vale também destacar que o ponto amostral está à jusante de um ponto de canalização do canal (50 m), fruto da passagem sob a rodovia Washington Luiz (SP-310). Tal dinâmica pode reter parte dos sedimentos e contribuir para a elevação da taxa de deposição, conforme verificado. Por fim, o P3, coletado à aproximadamente 400 m da foz, devido à barramentos para formação de lagos artificiais, apresenta nova redução nas taxas em relação ao P2, fato que também é esperado, pois parte do material transportando provavelmente vem sendo retido no médio curso, restando ao baixo curso a chegada de material somente após o ponto de canalização da rodovia.

Em Analândia, conforme descrito na metodologia, somente o ponto do alto curso (P1) possibilitou o cálculo de taxas seguras (Gráfico 8). Com isso, o testemunho mais antigo foi datado de 1990, com registros de 30 anos (1990-2020). As taxas de sedimentação (3229 g/cm<sup>2</sup>/ano) e de deposição (21,8 mm/ano) são significativamente maiores em relação as registradas em Corumbataí. O P1 em Analândia se constitui em um ponto localizado no alto curso, logo à jusante do sistema erosivo monitorado, fato que evidencia a baixa capacidade energética do canal para o transporte de grandes volumes de sedimentos. Ainda, é relevante ponderar que desde 1962 a cabeceira do córrego amostrado apresenta pastagem destinada à pecuária, evidenciando também desde 1962 a instalação de um sistema erosivo caracterizado como voçoroca (Stefanuto, 2019).

Gráfico 7 – Excesso de  $^{210}\text{Pb}$  versus massa seca acumulada (a) e relações profundidade versus tempo de deposição (b) do núcleo de sedimentos - Corumbataí

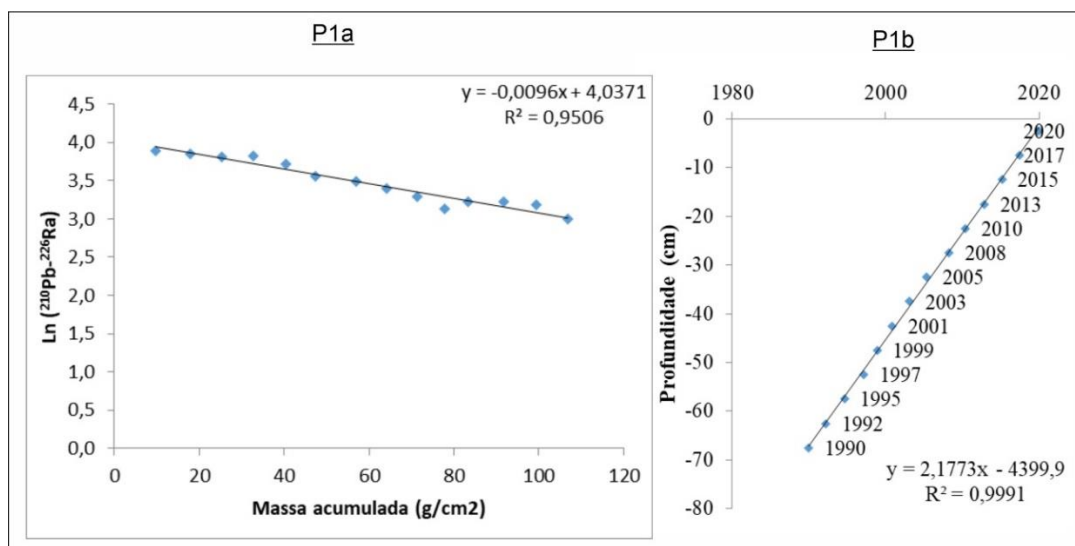


Fonte: o autor.

Com isso, analisando os referidos dados a partir dos compartimentos geomorfológicos, averigua-se, à princípio, taxas de sedimentação aproximadamente 210% mais dinâmicas na província das Cuestas Basálticas (Analândia), em relação a zona de sopé (Corumbataí), próximo ao contato entre a Depressão Periférica e as Cuestas Basálticas. Além disso, quando comparada à bibliografia, a taxa de deposição em Analândia (21,8 mm/ano), assemelha-se à bacia hidrográfica altamente atingida por processos de mineração (Córrego Santa Gertrudes - SP), a qual possui taxas que variam historicamente entre 26,5 mm/ano<sup>-1</sup> e 33,0 mm/ano<sup>-1</sup> (Lupinacci *et al.*, 2022). Também é interessante apontar que de acordo com Conceição *et al.*

(2020), as taxas de deposição no baixo curso do rio Piracicaba, a montante do reservatório de Barra Bonita, apresentam-se em  $9 \text{ mm/ano}^{-1}$ , taxa significativamente menor que as registradas em Analândia.

Gráfico 8 – Excesso de  $^{210}\text{Pb}$  versus massa seca acumulada (a) e relações profundidade versus tempo de deposição (b) do núcleo de sedimentos – Analândia



Fonte: o autor.

Portanto, indica-se que as taxas de sedimentação e deposição merecem averiguação em estudos futuros, com mais pontos para validação, visando compreender também a interferência humana neste processo, com o intuito de verificar sistemas erosivos previamente e posteriormente à intervenção humana.

#### 6.7. Análise integrada da dinâmica erosiva das voçorocas de Analândia e de Corumbataí

Para verificação da influência das variáveis físicas dos solos, os setores erosivos em Corumbataí e em Analândia foram subdivididos. Reforça-se que tal fato se justifica devido a diversidade dos setores. Por exemplo, em Corumbataí, alguns apresentam contato com o canal (setor A, B inferior e C inferior) (Figura 9), já outros, atualmente, não (setor B e C superiores); alguns (setor C) recebem baixos valores de fluxo, por estarem muito próximo aos divisores d'água da sub-bacia (Figura 29), já outros (setor B e principalmente o setor A) estão associados ao sopé de uma longa vertente com fluxos intensos (Figura 29); o setor A, por exemplo, também está desconectado espacialmente setores B e C. Já em Analândia a cabeceira (pontos 13 e 14) detém características distintas de uso da terra dos demais pontos amostrais (Figura 35); a margem direita (pontos de 1 a 12) apresenta contato com uma linha de fluxo superficial intensa, fruto do vertedouro da estrada, além de concentrar significativa

proporção de granulometria fina (silte e argila) em alguns pontos (Figura 22); e a margem esquerda (pontos de 15 a 22) recebe menos fluxo de superfície em relação a sua margem oposta (Figura 31) e apresenta concentração da fração areia fina (Figura 22).

Desta forma, compreende-se que analisar em um único conjunto os dados do setor de monitoramento em Corumbataí e do setor de monitoramento em Analândia, pode se constituir em uma tarefa complexa para obtenção de tendências, uma vez que as características dos setores são distintas. Nesse sentido, as figuras 9 e 11 auxiliam no entendimento que alguns pontos apresentam dinâmica erosiva de perda de material acima da média, fato que permite encaminhar a análise pormenorizada para os setores A, B inferior e C inferior (Corumbataí) e margem direita, cabeceira e margem esquerda (Analândia). Ainda neste contexto, verifica-se que os referidos setores apresentam pontos de destaque em relação a perda de material, sendo em Corumbataí, 2A (perda total de 0,46 m), 15B (2,23 m) e 21C (2,56 m); e em Analândia, 5 (perda total de 1,13 m), 13 (2,06 m), 14 (4,34 m) e 15 (0,96 m).

Assim, analisando comparativamente os referidos pontos (2A, 15B, 21C, 5, 13, 14 e 15) a partir das características e dos comportamentos físicos dos materiais (granulometria, taxa média de infiltração e resistência do solo à penetração), verifica-se uma recorrência de valores extremos nestes pontos de monitoramento, quando comparados aos demais do seu setor, ou seja, valores que se constituem em alta ou em baixa ocorrência de uma respectiva variável física do solo (Tabela 5).

Por exemplo, no setor A, o principal ponto de destaque (2A) apresenta na camada superior, a maior concentração de areia total (85,5%) e as menores concentrações das frações silte (13,8%) e argila (0,62%) do setor. Já na camada inferior apresenta as maiores concentrações das frações areia total (92,9%) e areia média (47,54%) e as menores concentrações de silte (6,71%) e argila (0,33%). Em relação a infiltração, o valor extremo acontece no período úmido, evidenciando a maior taxa média de infiltração do setor A (0,71 cm<sup>3</sup>/s). Por fim, em relação à resistência do solo à penetração, destaca-se o período seco, no qual os menores valores de resistência são registrados tanto na camada superior (3,24MPa), como na camada inferior (3,50MPa) (Tabela 5).

Tabela 5 - Características e comportamentos físicos dos materiais com valores extremos nos contextos das áreas de estudo.

Ponto amostral	Granulometria											Taxa média de infiltração		Resistência do solo à penetração					
	Superior					Inferior						Úmido	Seco	Úmido		Seco			
	Areia total	Areia Grossa	Areia média	Areia fina	Silte	Argila	Areia total	Areia Grossa	Areia média	Areia fina	Silte			Argila	Superior	Inferior	Superior	Inferior	
2A	85,50%	no data	no data	no data	13,80%	0,62%	92,90%	no data	47,54%	no data	6,71%	0,33%	0,71cm³/s	no data	no data	no data	3,24MPa	3,50MPa	
15B	no data	no data	no data	51,30%	no data	no data	no data	no data	32,90%	47%	no data	1,19%	0,10cm³/s	no data	2,50MPa	no data	no data	13,3MPa	
21C	no data	0,46%	no data	43,60%	no data	no data	no data	3,78%	51,30%	28,10%	no data	no data	no data	0,03cm³/s	no data	no data	2,16MPa	1,52MPa	
5	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	1,43cm³/s	no data	no data	no data	no data	no data	
13/14	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	no data	41,70%	no data	no data	0,04cm³/s	0,24cm³/s	4,42MPa	2,56MPa	11,03MPa	10,31MPa	
15	no data	no data	no data	38,03%	no data	no data	79,10%	3,96%	33,70%	41,40%	19,20%	no data	no data	no data	2,30MPa	no data	no data	5,42MPa	
	Alta ocorrência			Baixa ocorrência															

Fonte: o autor.

Neste sentido, exemplificando a dinâmica também em Analândia, averigua-se o setor de cabeceira e seus dois pontos de monitoramento. Destaca-se que, como estes foram os pontos com maior perda de material durante o período de monitoramento, os dois foram avaliados conjuntamente em relação aos valores extremos e comparados com os outros 20 pontos amostrais que compõem a área, uma vez que o setor de cabeceira possui somente dois pontos amostrais. Assim, o setor de cabeceira, apresenta na camada profunda a maior concentração da fração areia fina registrada na área de estudo (41,7%, ponto 14). Em relação à taxa média de infiltração, os valores extremos são representados pelas duas menores taxas, tanto no período úmido (0,04 cm<sup>3</sup>/s – ponto 13), quanto no período seco (0,24 cm<sup>3</sup>/s, ponto 13). Por fim, sobre a resistência do solo à penetração, todos os valores extremos máximos registrados no setor de monitoramento estão contidos na área de cabeceira, sendo no período seco 11,03 MPa (camada superior e ponto 13) e 10,31MPa (camada inferior e ponto 13); e no período úmido 4,42 MPa (camada superior e ponto 13) e 2,56 MPa (cama inferior e ponto 13) (Tabela 5).

Desta maneira, visando apontar um conjunto de características físicas preferenciais para ocorrência de pontos com perda de material significativa, apresenta-se a Tabela 6, a qual pode apresentar índices de 0 a 6, sendo 0 a não ocorrência de valores extremos em nenhum dos pontos de maior perda de material e 6 a ocorrência de valores extremos em todos os pontos de maior perda de material. Isso também vale para as colunas máximo e mínimo, as quais indicam se os extremos foram de alta ocorrência ou baixa ocorrência na respectiva variável física analisada.

Assim, ao analisar a Tabela 6, verifica-se que as principais frequências de valores extremos (3, 4 e 5) ocorrem nas frações granulométricas areia média (camada inferior) e areia fina (camadas superior e inferior); na taxa média de infiltração do período úmido; e na resistência do solo à penetração durante o período úmido na camada superior e durante o período seco em ambas as camadas.

Neste sentido, as variáveis areia média e infiltração apresentam dados equilibrados entre a alta (2) e a baixa (2) ocorrência, demonstrando que tanto a alta concentração, como a baixa concentração podem ser problemáticas do ponto de vista erosivo. Compreende-se que tais dados apontam novamente para o entendimento dos extremos como problemáticos do ponto de vista erosivo, mas não são conclusivos em relação a qual extremo interage diretamente com o fenômeno (Tabela 6).

Tabela 6 - Número de repetições de um dado extremo por variável e por característica do dado (alta ou baixa ocorrência).

Variável	Frequência de valor extremo	Alta ocorrência	Baixa ocorrência
Areia total - Camada superior	1	1	0
Areia total - Camada inferior	2	1	1
Areia grossa - Camada superior	1	1	0
Areia grossa - Camada inferior	2	1	1
Areia média - Camada superior	0	0	0
Areia média - Camada inferior	4	2	2
Areia fina - Camada superior	3	2	1
Areia fina - Camada inferior	4	3	1
Silte - Camada superior	1	0	1
Silte - Camada inferior	2	1	1
Argila - Camada superior	1	0	1
Argila - Camada inferior	2	1	1
Taxa média de infiltração período úmido	4	2	2
Taxa média de infiltração período seco	2	0	2
Resistência do solo à penetração - Camada superior - período úmido	3	3	0
Resistência do solo à penetração - Camada inferior - período úmido	1	1	0
Resistência do solo à penetração - Camada superior - período seco	3	1	2
Resistência do solo à penetração - Camada inferior - período seco	5	3	2

Fonte: o autor.

As variáveis areia fina superior (3) e inferior (4) e a resistência do solo à penetração superior úmido (3), superior seco (3) e inferior seco (5) apresentaram caminhos preferenciais para análise, ao verificar a alta ou baixa ocorrência. A fração areia fina apresenta alta ocorrência, tanto na camada superior (2), como na camada inferior (3). Já a resistência do solo à penetração apresenta no período úmido altos valores de resistência na cada superior (3), sendo que no período seco a camada superior apresenta preferencialmente valores

extremamente baixos de resistência (2), com mudança para valores de alta resistência à penetração nas camadas inferiores (3).

Já a morfometria apresenta influência na dinâmica erosiva em ambas as áreas (Analândia e Corumbataí), sendo que os setores a montante dos sistemas erosivos evidenciam elevada inclinação e elevado fluxo acumulado de superfície. Neste contexto, porções significativas das vertentes apresentam inclinação superior a 30%, apresentando fluxos superficiais elevados e concentrados a partir de caminhos preferenciais. De acordo com a bibliografia (Shen *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2019; Silva; Lupinacci, 2021), tais características são relevantes para ocorrência de fluxos com alto volume e grau elevado de energia, elementos que são agregados ao longo das vertentes e que, ao chegarem da média para baixa vertente, passam a ter capacidade erosiva para dar origem ou dinamizar feições erosivas lineares (Stefanuto *et al.*, 2022; Bonzanini *et al.*, 2022)

Por fim, a ação humana a partir do uso e ocupação da terra também apresentou influência nas tendências evolutivas das duas áreas de estudo. Em Analândia, os setores margem direita e margem esquerda apresentaram-se integralmente, desde o início do monitoramento, destinados a uma cobertura de reflorestamento com finalidade de recuperação ambiental da área, principalmente das nascentes ali instaladas. Desta forma, pastagens registradas desde 1962 (Stefanuto, 2019) na área de estudo deram lugar ao referido uso, sendo que o setor de cabeceira ainda foi destinado às pastagens para pecuária. Neste contexto, destaca-se que valores mais elevados de perda de material estão localizados justamente nas áreas de cabeceira. Já em Corumbataí, a intervenção com finalidade de recuperação (retirada do gado) ocorreu com 46% do monitoramento realizado, fato que foi esclarecedor quanto à influência do gado na dinâmica erosiva. Após a retirada dos animais do setor erosivo, a perda média de material reduziu em 55%.

Desta forma é importante destacar que as referidas intervenções modificaram as tendências evolutivas, mas a forma de manutenção das áreas também pode ter apresentado interferência nestas tendências. Em Corumbataí foram construídas cercas resistentes, que impediram a entrada do gado no setor erosivo, não ocorrendo intervenção em relação à cobertura vegetal, fato que aumentou o povoamento de gramíneas na área (Figura 33 e 34). Já em Analândia as cercas apresentaram menor grau de eficiência, permitindo a entrada do gado em alguns setores, conforme relatado anteriormente. Ainda, visando o desenvolvimento das mudas de árvores, gramíneas e ervas daninhas foram combatidas com herbicidas e capina,

reduzindo a cobertura vegetal em alguns períodos (Figura 35). No contexto dos ortomosaicos da Figura 35, valida-se tal afirmação, ao verificar que dos quatro períodos imageados, justamente o com maior cobertura vegetal (05/02/2022) é o que menos apresenta perda de material total (0,23m).

Portanto, diagnostica-se que alguns elementos requerem atenção do ponto de vista erosivo, sendo estes a alta concentração da fração areia fina; as altas resistências dos solos à penetração e a alternância nas resistências das camadas, principalmente com camadas poucos resistentes em superfície e muito resistentes em profundidade; a forma dos terrenos, uma vez que como apontado pelas cartas morfométricas, há a possibilidade de fluxos volumosos e com alta energia atingirem os sistemas erosivos; e forma de intervenção a partir do uso da terra, uma vez que a depender desta, o ritmo de perda de material poderá sofrer desaceleração (Corumbataí e Analândia) ou aceleração (Analândia).

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia proposta pautou-se no emprego de técnicas comumente utilizados em unidades de análise como as bacias hidrográficas e as vertentes. No entanto, nesta pesquisa, a granulometria, a infiltração e a resistência do solo à penetração foram associadas a uma malha semirregular tipicamente utilizada para o monitoramento de taludes erosivos de voçorocas. Devido a densidade da malha, tais técnicas foram exigidas a um intenso grau de replicabilidade padrão, devido à proximidade entre os pontos amostrais e, muitas vezes, a diferença ocorrer por pequenos detalhes. Ainda, a técnica de monitoramento erosivo proposta por Guerra (2002) foi reorganizada, visando adicionar a referida replicabilidade à monitoramentos de detalhe como o desta pesquisa. Reforça-se que as unidades de análise vertente e bacia hidrográfica foram empregadas, entendendo que estas também têm interação com os sistemas em voçorocamento.

Desta forma, os procedimentos metodológicos possibilitaram o detalhamento e a compreensão mais aprofundada de alguns processos típicos dos sistemas erosivos com enfoque em voçorocas. A análise a partir de duas áreas de estudo em compartimentos geomorfológicos distintos diversificou a emissão de respostas dos sistemas erosivos, fato que permitiu a confirmação de características amplas ou específicas. Além disso, o uso de malhas amostrais densas, exemplificadas, por um total de 56 pontos em Corumbataí e de 28 pontos em Analândia, consorciadas em duas escalas de análise (1:1.000 e 1:250), contribuiu para os referidos resultados.

Um primeiro ponto de destaque foi o comportamento dos taludes erosivos, com momentos de perda e expansão de material. A perda constitui-se em uma característica clássica dos taludes erosivos de voçorocas com grau significativo de dinamicidade, na qual materiais se desprendem do mesmo, se acumulando ou sendo transportados pelo canal. Já a expansão do material é caracterizada pelo aumento da distância entre a estaca de monitoramento e o ponto de leitura, podendo ter conexão com o processo de solapamento, uma vez que, previamente à queda, a parte superior do talude pode inclinar-se para o interior das voçorocas, sendo que, de acordo com a técnica de monitoramento utilizada, pode aumentar a distância entre a estaca e o ponto de leitura no talude erosivo. Também, em alguns setores específicos, as gramíneas recobrem os taludes erosivos, apresentando variações significativas no índice de massa foliar e conseqüentemente de fitomassa, a partir da

disponibilidade de água e estação do ano, oscilando em alguns centímetros a distância entre o ponto de leitura e as estacas de monitoramento.

Outro conjunto de dados interessante constitui-se na resposta das voçorocas a algumas intervenções humanas, principalmente relacionadas ao uso da terra e às vias de acesso sem pavimentação. Em Corumbataí, a área de estudo apresentou gado até 26/11/2021. Neste sentido, os ortomosaicos de maio, de agosto e de novembro de 2021 evidenciam gramíneas poucos densas, fato constatado pela exposição dos taludes erosivos tanto no setor A como nos setores B e C. As mudanças na cobertura da terra ficaram evidentes no imageamento de 22/02/2024 (2 anos e 3 meses após a retirada do gado), com taludes erosivos recobertos e demais feições erosivas que compõem o sistema pouco visíveis devido ao adensamento da cobertura vegetal. A redução da perda de material após a retirada do gado foi de 55% (Gráfico 5).

Já em Analândia, as áreas em reflorestamento auxiliam na contenção erosiva, mas os dados não são tão claros como em Corumbataí, devido às ações de manejo com herbicidas e capina, e a invasão constante do gado. No entanto, vale destacar que ao verificar os quatro períodos imageados (Figura 35), justamente o com maior cobertura vegetal (05/02/2022) é o que apresenta menor perda de material total (0,23m). Ainda no contexto da intervenção humana em Analândia, vale destacar o carreamento de fluxo superficial da estrada para o sistema erosivo, o qual, de acordo com a Carta de Fluxo Acumulado de Superfície, pode contribuir diretamente para a evolução do setor de cabaceira da voçoroca, sendo este o mais dinâmico.

Desta forma, verifica-se que uso da terra tem ação determinante na degradação dos solos a partir de processos erosivos. Conforme apontado pelos dados da pesquisa, em Corumbataí, após uma mudança simples na cobertura, evidenciada somente pelo recobrimento de gramíneas, há uma desaceleração significativa do ritmo de perda de material; sendo que em Analândia o ritmo de perda de material também diminuiu a partir do aumento da cobertura vegetal, e os taludes erosivos se dinamizam a partir do carreamento de fluxos de superfície provenientes de uma via de acesso.

As características e os comportamentos físicos dos materiais também permitiram análises interessantes. Comparando os dados de granulometria, taxa média de infiltração e resistência do solo à penetração dos principais pontos de perda de material por setor (2A, 15B, 21C, 5, 13, 14 e 15), verificou-se a recorrência de valores extremos nestes pontos de

monitoramento quando comparados aos demais do seu setor, ou seja, valores que se constituem na máxima ou na mínima ocorrência de uma respectiva variável física do solo. Neste sentido, os pontos com perda de material mais significativa nos setores analisados, apresentam, preferencialmente, alta concentração da fração granulométrica areia fina, tanto na camada superior, como na inferior, fato que reforça um dado já apontado e debatido pela bibliografia. Evidenciam também alta resistência dos solos à penetração durante o período úmido na camada superior, com alternância da resistência das camadas durante o período seco, sendo a superior com menor resistência e a inferior mais resistente. Destaca-se que camadas extremamente resistentes durante o período úmido podem dinamizar os fluxos de superfície, assim como a inversão da resistência entre a camada superior (menor resistência) e profunda (maior resistência) durante o período seco, pode gerar um diferencial de percolação da água entre as camadas. Ambos os fatores contribuem para processos geomorfológicos sobre os taludes erosivos (solapamento e erosão por quedas d'água).

Por fim, algumas variáveis apontam para estudos futuros, na perspectiva de ajustes metodológicos e dinâmicas a serem pesquisadas. Primeiramente, os dados pluviométricos apresentam relação com a perda de material registrada nos taludes, sendo coerentes (ascensão ou queda conjuntamente) em 66,6% dos trimestres analisados em Corumbataí e em 58,3% em Analândia. No entanto, tais dados não apontam a frequência dos eventos na unidade hora, somente o evento por dia. Desta forma, pensar a relação de eventos de alta intensidade e de longa duração, em relação ao processo de perda de material, não foi possível de forma aprofundada, sendo importante, para estudos futuros, dados com maior refinamento.

Aponta-se também melhorias para o emprego das datações por Chumbo-210. As datações indicaram um diferencial marcante nas taxas de sedimentação e deposição a partir da distância do *front* da *cuesta*, no entanto compreende-se que um *range* temporal mais extenso pode apontar outros caminhos sobre o funcionamento dos sistemas erosivos, permitindo uma análise das referidas taxas previamente e posteriormente à intervenção humana. O caminho talvez esteja em amostrar testemunhos de sedimentos mais extensos, a partir de aprimoramentos no sistema de amostragem.

Outro importante apontamento constitui-se na busca por sensores remotos com maior capacidade de detalhamento em relação aos sensores RGB, como o LIDAR. O emprego do LIDAR para sistemas erosivos já se encontra em curso (Guerra *et al.*, 2023), no entanto ainda cabe aprimoramentos visando detalhar a morfologia interna das voçorocas, a qual pode apontar para algumas das tendências evolutivas dos referidos sistemas.

Por fim, indica-se a importância de verificar os fluxos de subsuperfície, apontados pela bibliográfica como pertinentes para evolução de sistemas erosivos. Tal dinâmica pode ser investigada a partir da morfologia interna dos perfis pedológicos por equipamentos como o *Ground Penetrating Radar* (GPR), o qual pode contribuir para identificação de mudanças abruptas nos materiais ou a presença de vazios de subsuperfície.

Desta forma, em relação a hipótese de pesquisa, verifica-se que o emprego de diferentes técnicas para monitorar e gerar diagnósticos de voçorocas foi parcialmente alcançada, uma vez que dentre o arcabouço metodológico arquitetado, os levantamentos das características e dos comportamentos físicos dos materiais, dos dados morfométricos, dos dados de uso e ocupação da terra, e das taxas de deposição e sedimentação apontarem caminhos relevantes para a análise erosiva. Já os dados pluviométricos, poderiam ter sido mais detalhados, possibilitando uma melhor compreensão de eventos de alta intensidade calculados em horas ou em minutos. Reforça-se que análise crítica da hipótese de pesquisa fez-se possível devido aos dados de monitoramento do talude erosivo obtidos em campo, sendo estes importantes para ratificação ou refutação das referidas variáveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT. 1995.

ANDERSON, R.L., ROWNTREE, K.M., LE ROUX, J.J. An interrogation of research on the influence of rainfall on gully erosion. **Catena**, v. 206, p. 105482, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2021.105482>. Acesso em: 15 ago. 2022.

ANDRADE, R. V. de.; LUPINACCI, C. M.; STEFANUTO, E. B. Análise do uso e ocupação da terra em faixa de proteção no reverso da cuesta de Botucatu (SP). *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, XVIII, 2019, Fortaleza – CE. **Anais...** Fortaleza: XVIII SBGFA, 2019. 1-12. Disponível em: <<http://www.editora.ufc.br/catalogo/28-geografia/982-geografia-fisica-e-as-mudancas-globais>>. Acesso em: 22 de jan. de 2020.

APPLEBY, P. G.; OLDFIELD, F. O. The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported <sup>210</sup>Pb to the sediment. **Catena**, n.5, p.1-8, 1978. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(78\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(78)80002-2). Acesso em: 15 de ago. 2022.

ARAÚJO FILHO, J. R. O café em São Paulo. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 50, p. 57–82, 1976. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/index.php/boletim-paulista/article/view/1122>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

BABAEI, F.; ZOLFAGHARI, A. A.; YAZDANI, M. R.; SADEGHIPOUR, A. Spatial analysis of infiltration in agricultural lands in arid areas of Iran. **Catena**, n. 170, p. 25–35, 2018. Disponível em: Acesso em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.039> 15 de ago. 2022.

BAYAT, H.; SHEKLABADI, M.; MORADHASELI, M.; EBRAHIMI, E. Effects of slope aspect, grazing, and sampling position on the soil penetration resistance curve. **Geoderma**, n. 303, p. 150–164, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.003>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda do solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 24, n. 3, p.657-668, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/GKjTgCjXvXtXLKjVwcJq4VR/> Acesso em: 15 de ago. 2022.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012.

BEZERRA, M.O., BAKER, M., PALMER, M.A., FILOSO, S. Gully formation in headwater catchments under sugarcane agriculture in Brazil. **J. Environ. Manage.** v. 270, p. 110271, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110271>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e Origens das Paisagens Tropicais e Subtropicais**: processos erosivos, vertentes, movimentos de massa, atividade endógena, superfície de erosão, compartimentação do relevo, depósitos correlativos e ambientes fluviais. Florianópolis: Editora da UFSC, 2003.

BOARDMAN, J. How old are the gullies (dongas) of the Sneeuberg uplands, Eastern Karoo, South Africa? **Catena**, v. 113, p. 79–85, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2013.09.012>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

BONZANINI, H. L.; LUPINACCI, C. M. Uso da terra e mudanças morfológicas em ambiente de cuesta na alta Bacia do Rio Capivara – Botucatu (São Paulo, Brasil). **Geografares**, v. 2, n. 35, p. 277–303, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/38377>. Acesso em: 15 de ago. 2023.

BONZANINI, H. L.; LUPINACCI, C. M.; STEFANUTO, E. B. A Erosão Linear e Sua Relação com a Morfometria do Relevo na Alta Bacia do Rio Capivara – Botucatu (SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 4, p. 1947–1964, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/251894>. Acesso em: 15 de ago. 2023.

BÓSIDO, N. J. **Geologia da Área de São Pedro**. 1973. 125 f. Tese – Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1973.

BOWEN, M. W.; JOHNSON, W. C. Sediment accumulation and sedimentation rates in playas on the High Plains of western Kansas, USA. **Geomorphology**, v. 342, p.117-126, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.06.014>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

BRINO, W. C. **Contribuição à definição climática da Bacia do Corumbataí e adjacências (SP), dando ênfase à caracterização dos tipos de tempo**. 1973. 119 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1973.

BROCE, K.; RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C.; BATISTA, A. FRANCO-ÁBREGO, A. K.; SANCHEZ-CABEZA, J. A.; PÉREZ-BERNAL, L. H.; GUERRA-CHANIS, G. E. Background concentrations and accumulation rates in sediments of pristine tropical environments. **Catena**, v.214, p.106252, 2022. Disponível em: Acesso em: 15 de ago. 2022.

BRYK, M. Resolving compactness index of pores and solid phase elements in sandy and silt loamy soils. **Geoderma**, v. 318, p. 109–122, 2018. Disponível em: Acesso em: 15 de ago. 2022.

CARTER, L. C.; ANDERSON, R. S. Fluvial erosion of physically modeled abrasion-dominated slot canyons. **Geomorphology**, v. 81, p. 89-113, 2006. Disponível em: Acesso em: 15 de ago. 2022.

CARVALHO, F.; SCHULTE, L. Morphological control on sedimentation rates and patterns of delta floodplains in the Swiss Alps. **Geomorphology**, v.198, p.163-176, 2013. Disponível em: Acesso em: 15 de ago. 2022.

CARVALHO, R. F. F de. **Análisis multi-proxy paleoambiental y modelización de registros sedimentarios fluviales en los Alpes Suizos**. 2014. 259 f. Tese (Doutorado em Geografía, Planificación Territorial y Gestión ambiental) - Facultat de Geografia i Història, Universitat de Barcelona, Barcelona, 2014.

CASANELLAS, J. P.; REGUERÍN, M. L. A.; LABURU, C. R. de. **Edafología: para la agricultura y el medio ambiente**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2003.

CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Editora da UFG, 1994.

CASTILLO, C.; GOMÉZ, J. A. A century of gully erosion research: Urgency, complexity and study approaches. **Earth-Science Reviews**, v. 160, p. 300-319, 2016. DOI: 10.1016/j.earscirev.2016.07.009

CASTRO, S. S. Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Geography Department, University of Sao Paulo**, v. 17, p. 38–60, 2005. Disponível em: Acesso em: 15 de ago. 2022.

CASTRO, S. S.; DIAS FERREIRA, R. P.; QUEIROZ NETO, J. P.; RUELLAN, A. Morfogênese e pedogênese em São Pedro (SP). **Boletim Paulista de Geografia**, v. 100, p. 130-155, 2018. Disponível em: Acesso em: 15 de ago. 2022.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: a systems approach**. London: Prentice Hall, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CHU, S.; OUYANG, J.; LIAO, D.; ZHOU, Y.; LIU, S.; SHEN, D.; WEI, X.; ZENG, S. Effects of enriched planting of native tree species on surface water flow, sediment, and nutrient losses in a Eucalyptus plantation forest in southern China. **Science of the Total Environment**, v. 675, p. 224–234, 2019. Disponível em: Acesso em: 15 de ago. 2022.

CONCEIÇÃO, F. T. DA. FERNANDES, A. M.; HISSLER, C.; LUPINACCI, C. M.; MENEGÁRIO, A. A.; MORUZZI, R. B. Multi-tracer analysis to estimate the historical evolution of pollution in riverbed sediment of subtropical watershed, the lower course of the Piracicaba River, São Paulo, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 743, p. 140730, 15 nov. 2020. Disponível em: Acesso em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140730> 15 de ago. 2022.

CORRÊA, E. A. **Perdas de solo e índice de vegetação: Proposta metodológica para determinação do fator C (Meups) em pastagens e cana-de-açúcar**. 2016. 187f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2016.

CÔRTEZ, A.; PERINOTTO, J. A. Fácies e associação de fácies da Formação Piramboia na região de Descalvado (SP). **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, v. 15, n. 3-4, p. 23-40, 2015. Disponível em: Acesso em: 15 de ago. 2022.

COUTO JÚNIOR, A. A.; CONCEIÇÃO F. T.; FERNANDES, A. M.; SPATTI JÚNIOR, E. P.; LUPINACCI, C. M.; MORUZZI, R. B. Land use changes associated with the expansion of sugar cane crops and their influences on soil removal in a tropical watershed in São Paulo State (Brazil). **Catena**. v. 172, p. 313–323, 2019. Disponível em: Acesso em: 15 de ago. 2022.

DE BIASI, M. Cartas de declividade: confecção e utilização. **Geomorfologia**. São Paulo, n. 21, p. 8-13, 1970. Disponível em: Acesso em: 15 de ago. 2022.

DE BIASI, M. A carta clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**. São Paulo, n. 6, p. 45-60, 1992. Disponível em: Acesso em: 15 de ago. 2022.

DEUSCHLE, D.; MINELLA, J. P. G.; HORBE, T. A. N.; LONDERO, A. L.; SCHNEIDER, F. J. A. Erosion and hydrological response in no-tillage subjected to crop rotation intensification in southern Brazil. **Geoderma**, v. 340, p. 157–163, 2019. Disponível em: Acesso em: 15 de ago. 2022.

DUBE, H.B., MUTEMA, M., MUCHAONYERWA, P., POESEN, J., CHAPLOT, V. A global analysis of the morphology of linear erosion features. **Catena**, v.190, p. 104542. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104542

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Rio de Janeiro, 2018.

ESRI. **Kriging (Spatial Analyst)**. 2024. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/kriging.htm>

FACINCANI, E. M. **Morfotectônica da Depressão Periférica Paulista e Cuesta Basáltica: regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba, SP**. 2000. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. Curitiba: Champagnat, 1997.

FISHER, O. IV. On the Disintegration of a Chalk Cliff. **Geological Magazine**, v. 3, n. 26, p. 354–356, 1866.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Status of the World's Soil Resources**. Roma, 2015.

GOUDIE, A. S. **Encyclopedia of Geomorphology (Volume 1)**. London and New York: Routledge, 2004.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: CUNHA, S. B. da.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia: Exercícios, Técnicas e Aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. p. 139-155.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro (Brasil), Bertrand Brasil: 2010.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; JORGE, M. do C. O. Recuperação de voçorocas e de áreas degradadas, no Brasil e no mundo - estudo de caso da voçoroca do Sacavém - São Luís

– MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 24, n. 00, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i00.2306>. Acesso em: 15 de ago. 2023.

INOUE, L. M. O Papel Das Ferrovias Na Formação Do Território Paulista: O Caso Da Companhia Paulista De Estradas De Ferro E Suas Vilas Ferroviárias. **Revista Mosaico - Revista de História**, v. 14, n. 1, p. 22–35, 9 jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.18224/mos.v14i1.8466>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981a. Escala:1.000.000

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa geológico do estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981b. Escala:1.000.000

INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – IG. **Formações Geológicas de Superfície**. Folha Corumbataí, 1984.

IRELAND, H. A.; SHARPE, F. S. EARGLE, D. H. Principles of gully erosion in the piedmont of South Carolina. **Technical Bulletin**, v. 633, p. 1-143, 1939. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/209847>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. de.; TORMENA, C. A. Aplicação da Curva de Resistência no Controle da Qualidade Física em um Solo Sob Pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35, n.7, p.1493-1500, 2000. [v10.1590/S0100-204X2000000700025](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000700025). Acesso em: 15 de ago. 2022.

KARIMOV, V., SHESHUKOV, A., BARNES, P. Impact of precipitation and runoff on ephemeral gully development in cultivated croplands. **Proc. Int. Assoc. Hydrol. Sci.** v. 367, p. 87–92, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/PIAHS-367-87-2015>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

KERTZMAN, F. F., OLIVEIRA, A. M. S., SALOMÃO, F. X. T., GOUVEIA, M. I. F., Mapa de Erosão do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, volume especial, 31-36, 1995. Disponível em: <https://docplayer.com.br/84161732-Mapa-de-erosao-do-estado-de-sao-paulo.html>Acesso em: 15 de ago. 2022.

KOFFLER, N. F. et. al. **Solos da bacia do Rio Corumbataí. Rio Claro: Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica** - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1992. Escala: 1:50.000

LAL, R. **Soil Erosion in the Tropics: Principles and Management**. New York: McGraw-Hill, Inc., 1990.

LI, Y.; REN, X.; HILL, R.; MALONE, R.; ZHAO, Y. Characteristics of Water Infiltration in Layered Water-Repellent Soils. **Pedosphere**. v.28, p. 775–792, 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60414-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60414-4). Acesso em: 15 de ago. 2022.

LI, Y.; LI, J.; ARE, K. S.; HUANG, Z.; YU, H.; ZHANG, Q. Livestock grazing significantly accelerates soil erosion more than climate change in Qinghai-Tibet Plateau: Evidenced from <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pbex measurements. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 285, p.

106643, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106643>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

LIMBERGER, L. Abordagem Sistêmica e Complexidade na Geografia. **Geografia (Londrina)**. v.15, n.2, p. 95-109, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2006v15n2p95>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

LUPINACCI, C. M.; SOUZA, T. DE A. DE. Terraços Fluviais Como Indicadores Da Dinâmica Geomorfológica No Quaternário: Estudo De Caso Na Depressão Periférica Paulista. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 2, p. 427–444, 1 abr. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v20i2.1562>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

LUPINACCI, C. M.; CONCEIÇÃO, F. T.; PASCHOAL, L. G. Geomorphic responses due to the second-largest global producer of ceramic tiles in the State of São Paulo, Brazil. **Catena**, v.218, p.106550, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106550>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

MAFRA, N. M. C. Erosão e Planificação de Uso do Solo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 301-320.

MAHMOODABADI, M.; SAJJADI, S. A. Effects of rain intensity, slope gradient and particle size distribution on the relative contributions of splash and wash loads to rain-induced erosion. **Geomorphology**, v. 253, p. 159–167, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.10.010>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

MATHIAS, D. T. **Contribuição Metodológica para o Diagnóstico da Dinâmica Erosiva Linear e seu Prognóstico Evolutivo visando subsidiar Projetos de Recuperação**. 2016. 178 f. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Presidente Prudente, 2016.

MATHIAS, D. T.; NUNES, J. O. R. A dinâmica geotecnogênica em áreas periurbanas: município de São Pedro (SP). **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 484–498, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p484>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

MELLO, B. F. de. **Dinâmica pluvial e turismo em Corumbataí – SP**. 2014. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2014.

MENDES, I. A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do córrego Lafon – Araçatuba – SP**. 1993. 171f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MURRAY, A. B.; LAZARUS, E.; ASHTON, A.; BAAS, A.; COCO, G.; COULTHARD, T.; FONSTAD, M.; HAFF, P.; MACNAMARA, D.; PAOLA, C.; PELLETIER, J.; REINHARDT, L. Geomorphology, complexity, and the emerging science of the Earth's Surface. **Geomorphology**. v.103, p.496-505, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.08.013>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

MARTIN, Y. E.; JOHNSON, E. A.; CHAIKINA, O. Gully recharge rates and debris flows: A combined numerical modeling and field-based investigation, Haida Gwaii, British Columbia. **Geomorphology**, v. 278, p. 252–268, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.012>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A.; RAMOS, M. C.; POESEN, J. Assessment of sidewall erosion in large gullies using multi-temporal DEMs and logistic regression analysis. **Geomorphology**, v. 58, n. 1–4, p. 305–321, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2003.08.005>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

MUSTAPHI, C. J. C.; BRAHNEY, J.; AQUINO-LÓPEZ, M. A.; GORING, S.; ORTON, K.; NORONHA, A.; CZAPLEWSKI, J.; ASENSA, Q.; PATON, S.; BRUSHWORTH, J. P. Guidelines for reporting and archiving 210Pb sediment chronologies to improve fidelity and extend data lifecycle. **Quaternary Geochronology**, v. 52, p.77-87, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2019.04.003>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

NIR, D. **Man, a geomorphological agent: An introduction to Antropic Geomorphology**. Jerusalem (Israel), Keter Publishing House, 1983

OLIVEIRA, J. B. de; PRADO, H. do. Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de São Carlos – II Memorial Descritivo. **Boletim Técnico Nº 98**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1984.

OLIVEIRA, M. A. T. de. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 57-99.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **World Population Prospects 2022**. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2022. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/>. Acesso em: 06 jun. 2024.

PENTEADO, M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

PEREZ FILHO, A.; MOREIRA, V. B.; LÄMMLE, L.; TORRES, B. A.; VALEZIO, E. V.; RUBIRA, F., ADERALDO, P. I. C.; SOUZA, A. O. Depositional rates obtained from absolute dating on surficial covers in the paulista peripheral depression, SE-Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 111, p. 103491, 1 nov. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103491>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

PHILIP, G. M., D. F. WATSON. A Precise Method for Determining Contoured Surfaces. **Australian Petroleum Exploration Association Journal**, v. 22, p. 205–212. 1982. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/AJ81016>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

PINHEIRO, M. R.; QUEIROZ NETO, J. P. DE. Neotectônica e evolução do relevo da região da Serra de São Pedro e do baixo Piracicaba / sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 4, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v16i4.668>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

PINHEIRO, M. R.; QUEIROZ NETO, J. P. DE. From the semiarid landscapes of

southwestern USA to the wet tropical zone of southeastern Brazil: Reflections on the development of cuestas, pediments, and talus. **Earth-Science Reviews**. v.172, p. 27-42, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.07.005>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

PINHEIRO, M. R.; CIANFARRA, P.; VILLELA, F. N. J.; SALVINI, F. Tectonics of the Northeastern border of the Parana Basin (Southeastern Brazil) revealed by lineament domain analysis. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 94, p. 102231, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102231>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

PINTON, L. G. **Evolução dos processos morfogenéticos em relevo cuestiforme: a bacia do Córrego do Cavalheiro – Analândia (SP)**. 2016. 129 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016.

PINTON, L. DE G.; CUNHA, C. M. L. DA. O uso de Geoindicadores em paisagem rural: Subsídios à análise das mudanças morfológicas Antropogênicas da Bacia do Córrego do Cavalheiro – Analândia (SP). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 29, p. 1–19, 17 jun. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v29i0.102128>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

POESEN, J.; NACHTERGAELE, J.; VERSTRAETEN, G.; VALENTIN, C. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. **Catena**, v. 50, n. 2-4, p. 91-133, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(02\)00143-](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(02)00143-). Acesso em: 15 de ago. 2022.

QIN, C. *et al.* An adaptive approach to selecting a flow-partition exponent for a multiple-flow-direction algorithm. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 21, n. 4, p. 443–458, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13658810601073240>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

RIENKS, S. M.; BOTHA, G. A. HUGHES, J. C. Some physical and chemical properties of sediments exposed in a gully (donga) in northern KwaZulu-Natal, South Africa and their relationship to the erodibility of the colluvial layers. **Catena**, v.39, p.11-31, 2000. Disponível em: Acesso em: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00082-X](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00082-X). 15 de ago. 2022.

ROBBINS, J. A. Geochemical and geophysical applications of radioactive lead isotopes. *In*: **NRIAGU, J. O. Biochemistry of Lead**. Amsterdam: Elsevier, 1978, p.285-337.

RODRIGUEZ, J. M. M; MAURO, C. A. DE; RUSSO, I. L; SILVA, C. M. DOS S; BOVO, R.; ARCURI, M. E. P; MARINHO, V. L. F. Análise da paisagem como base para uma estratégia de organização geoambiental: Corumbataí (SP). **Geografia**, 20 (1), 81-129, 1995. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/14855>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

ROSSI, M. J.; ARES, J.O.; JOBBÁGY, E. G.; VIVONI, E. R.; VERVOORT, R. W.; SCHREINER-MCGRAW, A. P.; SACO, P. M. Vegetation and terrain drivers of infiltration depth along a semiarid hillslope. **Science of the Total Environment**. v.644, p.1399–1408, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.052>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

RUBEY, W. W. Gullies in the Great Plains formed by sinking of the ground. **American Journal of Science**, v. s5-15, n.89, p. 417-422, 1928. Disponível em: <https://doi.org/10.2475/ajs.s5-15.89.417>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

SÃO PAULO. **LEI Nº 11.241, DE 19 DE SETEMBRO DE 2002**. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei-11241-19.09.2002.html>. Acesso em: 16 jun. 2024.

SCHNEIDER, R. L. *et. al.* Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA. 28. 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 1974, p. 41-65.

SHEN, H.; ZHENG, F.; WEN, L.; HAN, Y.; HU, W. Impacts of rainfall intensity and slope gradient on rill erosion processes at loessial hillslope. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 429–436, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.011>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

SHIN, S. S.; PARK, S. D.; PIERSON, F. B.; WILLIAMS, C. J. Evaluation of physical erosivity factor for interrill erosion on steep vegetated hillslopes. **Journal of Hydrology**, v. 571, p. 559–572, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.064>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

SILVA, A. S. da. Análise Morfológica dos Solos e Erosão. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da. BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 101-124.

SILVA, M. M.; LUPINACCI, C. M. Feições Erosivas Lineares em Ambientes de Cuesta: estudo de caso no interior paulista. **Geografia** (Londrina), v. 30, n. 1, p. 421 – 437, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2021v30n1p421>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

SILVA, M. M.; LUPINACCI, C. M. Análise de variáveis morfométricas da Alta Bacia do Ribeirão da Boa vista-Corumbataí (SP): subsídios ao planejamento ambiental de paisagem rural em escala de detalhe. **Geografia** (Rio Claro), v. 46, n. 1, p. 1 – 24, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/geografia.v46i1.15451>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

SILVA, M. M.; LUPINACCI, C. M.; STEFANUTO, E. B. A contribuição da cartografia do relevo para análise de feições erosivas lineares na alta bacia do ribeirão da Boa Vista-Corumbataí (SP). **Geosul**, v. 37, n. 82, p. 275–302, 21 set. 2022. Disponível em: Acesso em: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2022.e77196>. 15 de ago. 2022.

SOUZA, T. DE A.; ANDRADE, R. V.; LUPINACCI, C. M. Análise Geomorfológica da Transição Cuestas-Depressão Periférica: A Alta Bacia do Rio Passa Cinco (SP) como estudo de caso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 465–486, 7 abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p465-486>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

STEFANUTO, E. B. **Análise da Dinâmica Erosiva Linear e seu Potencial Evolutivo em Ambiente Agrícola**. 2019. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2019.

STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M. Avaliação das Características Ambientais de Ocorrências das Feições Erosivas Lineares nos Limites Depressão-Cuesta - Analândia (SP). **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 70, p. 367–384, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/RCG207043159>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

STEFANUTO, E. B.; ZANATTA, F. A. S.; LUPINACCI, C. M. Análise histórica do uso da terra em Antropogeomorfologia: Alguns exemplos paulistas. **Revista Brasileira de Geografia**, v.62, n.2, p. 95-112, 2017. Disponível em: [https://doi.org/10.21579/issn.2526-0375\\_2017\\_n2\\_p95-112](https://doi.org/10.21579/issn.2526-0375_2017_n2_p95-112). Acesso em: 15 de ago. 2022.

STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M. Uso e ocupação das terras e a interferência na dinâmica erosiva de bacias hidrográficas. *In*: DI MAURO, C.; SILVEIRA, A.; SOUZA, T. S. **Enfoques: recursos hídricos e bacias hidrográficas**. Tupã: ANAP, 2020. p.139-156.

STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M. CARVALHO, F.; FRANCOS, M.; ÚBEDA, X. An evaluation of erosion in cuesta relief: São Paulo State, Brazil. **Geomorphology**, v. 398, p. 108049, 1 fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.108049>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M. O uso de imagens de altíssima resolução no mapeamento de paisagens afetadas por erosão. **Agua y Territorio / Water and Landscape**, v. 23, n. 23, p. e7291–e7291, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.17561/at.23.7291>. Acesso em: 15 de ago. 2024.

STOLF, R.; MURAKAMIL, J. H.; BRUGNATO, C.; SILVA, L. G. SILVA, L. C. F. da.; MARGARIDO, L. A. C. Penetrômetro de impacto stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 38, n. 3, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300009>. Acesso em: 20 de ago. 2020.

SUERTEGARAY, D. M. A. Erosão nos Campos Sulinos: Arenização no sudoeste do Rio Grande Do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 3, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v12i0.259>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

TEBEBU, T.Y., ABIY, A.Z., ZEGEYE, A.D., DAHLKE, H.E., EASTON, Z.M., TILAHUN, S.A., COLLICK, A.S., KIDNAU, S., MOGES, S., DADGARI, F., STEENHUIS, T.S. Surface and subsurface flow effect on permanent gully formation and upland erosion near Lake Tana in the northern highlands of Ethiopia. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 14, n. 11, p. 2207–2217, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/HESS-14-2207-2010>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

TRICART, J. **Le Modelé des Régions Chaudes**: forêts et savanes. Paris: Societe D’edition D’enseignement Superieur, 1974.

VAZ, C. M. P.; MANIERI, J. M.; MARIA, I. C. de.; TULLER, M. Modeling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content. **Geoderma**, v.166, 92-101, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.07.016>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

VIANA, M. C. M.; QUEIROZ, C. G. S.; LEMOS FILHO, J. P.; ANDRADE, C. L. T. FREIRE, F. M.; PURCINO, H. M. A.; RESENDE, G. A. Acúmulo de fitomassa e índice de

área foliar de gramíneas forrageiras em sistema irrigado e de sequeiro. **44ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia – UNESP – Jaboticabal**. 2007.

VILLELA, F. N. J.; PINHEIRO, M. R.; QUEIROZ NETO, J. P.; MANFREDINI, S.; ALVES, G. B.; BARREIROS, A. M.; NAKASHIMA, B. F.; SCIGLIANOS, C. R.; MICHELON, C. R.; SANTOS, A. A.; SOARES, A. F. A.; BORSOI, H. R. G.; MELO, G. V.; SANTOS, R. F. Evolução do modelado de relevo e dos materiais no sopé da escarpa de cuesta de São Pedro-SP. **Revista de Geografia**, v. 35, n. 4, p. 131-144, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2018.238211>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

WANG, Y., KUANG, S., SU, J. Critical caving erosion width for cantilever failures of river bank. **Int. J. Sediment Res.** v. 31, p. 220–225, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.IJSRC.2016.05.003>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

WELLS, R.R., MOMM, H.G., RIGBY, J.R., BENNETT, S.J., BINGNER, R.L., DABNEY, S.M. An empirical investigation of gully widening rates in upland concentrated flows. **Catena**, v. 101, p. 114–121, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2012.10.004>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

WHITFORD, J. A. NEWHAM, L. T. H.; VIGIAK, A. R. MELLAND, A. R. ROBERTS, A. M. Rapid assessment of gully sidewall erosion rates in data-poor catchments: A case study in Australia. **Geomorphology**, [s. l.], v. 118, n. 3–4, p. 330–338, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.01.013>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

ZACHARIAS, A.A.; MARTINS, T. J. Paradigma da Geovisualização e a Cartografia Multimídia interativa em mapas para escolares: novas possibilidades de compreensão da realidade espacial? **Estudos Geográficos**, n. 16, p. 180-212, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/estgeo.v16i1.13362>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)**. 1994. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

ZANATTA, F.A.S., LUPINACCI, C.M., BOIN, M.N. Dinâmica erosiva linear: estudo de caso em área rural no oeste paulista. **Geografia**, v. 44, p. 273–294, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/geografia.v44i2.15117>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

ZANETTI, J. **Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT**. 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

ZHANG, J.; YANG, M.; DENG, X.; LIU, Z.; ZHANG, F. The effects of tillage on sheet erosion on sloping fields in the wind-water erosion crisscross region of the Chinese Loess Plateau. **Soil and Tillage Research**, v. 187, p. 235–245, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.12.014>. Acesso em: 15 de ago. 2022.

## ANEXO A – Relatórios do Processamento do Ponto Preciso (PPP)



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

### Sumário do Processamento do marco: N/A

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2022/04/19 12:20:10,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2022/04/19 18:05:50,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	SPP101861 NONE
Órbitas dos satélites: <sup>1</sup>	FINAL
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	5,00
Sigma <sup>2</sup> da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena <sup>3</sup> (m):	1,671
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	0,23 GPS 0,32 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,77 GPS 0,86 GLONASS

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (é a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-22° 18' 28,9528"	-47° 39' 06,9078"	639,24	7530675.242	226791.899	-45
Na data do levantamento <sup>5</sup>	-22° 18' 28,9445"	-47° 39' 06,9099"	639,24	7530675.496	226791.834	-45
Sigma(95%) <sup>6</sup> (m)	0,001	0,002	0,005			

### Coordenada Altimétrica

Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA		
Fator para Conversão (m):	-6,18	Incerteza (m):	0,06
Altitude Normal (m):	645,42		

### Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

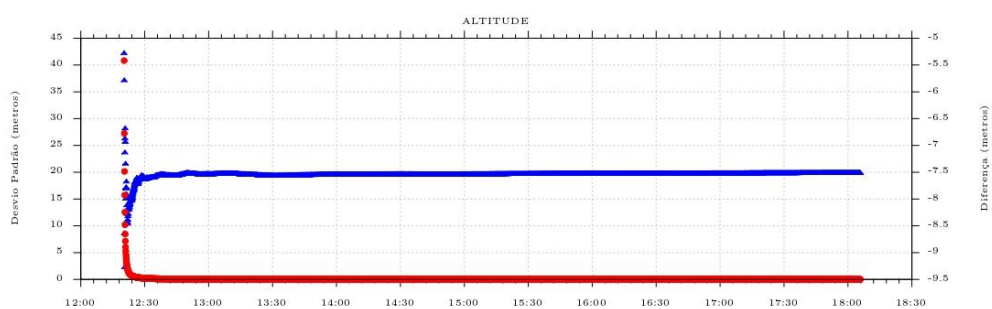
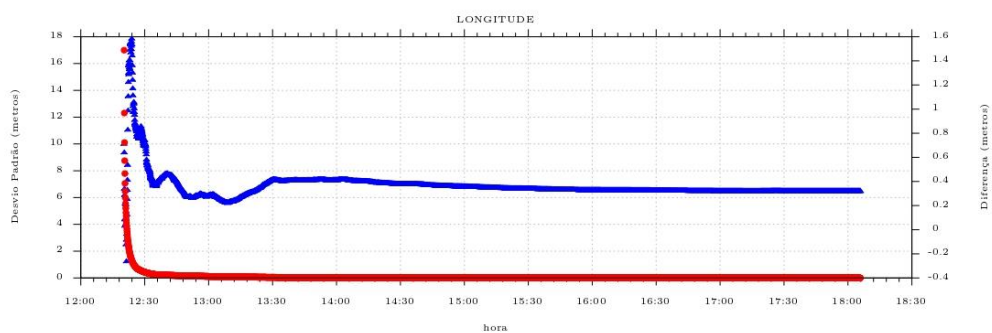
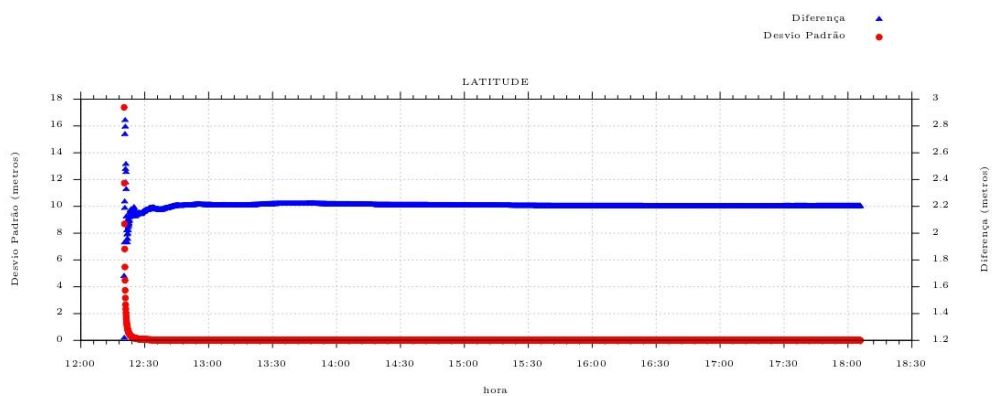
<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN).

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
0500109b.92a



## Sumário do Processamento do marco: N/A

Inicio:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2022/04/20 17:45:35,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2022/04/20 21:15:40,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	SPP101861 NONE
Órbitas dos satélites: <sup>1</sup>	FINAL
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	5,00
Sigma <sup>2</sup> da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena <sup>3</sup> (m):	1,816
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	0,19 GPS 0,26 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,74 GPS 1,13 GLONASS

## Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (É a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-22° 18' 28,9530"	-47° 39' 06,9085"	639,23	7530675.235	226791.879	-45
Na data do levantamento <sup>5</sup>	-22° 18' 28,9447"	-47° 39' 06,9106"	639,23	7530675.490	226791.814	-45
Sigma(95%) <sup>6</sup> (m)	0,002	0,005	0,007			

## Coordenada Altimétrica

Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA		
Fator para Conversão (m):	-6,18	Incerteza (m):	0,06
Altitude Normal (m):	645,41		

## Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

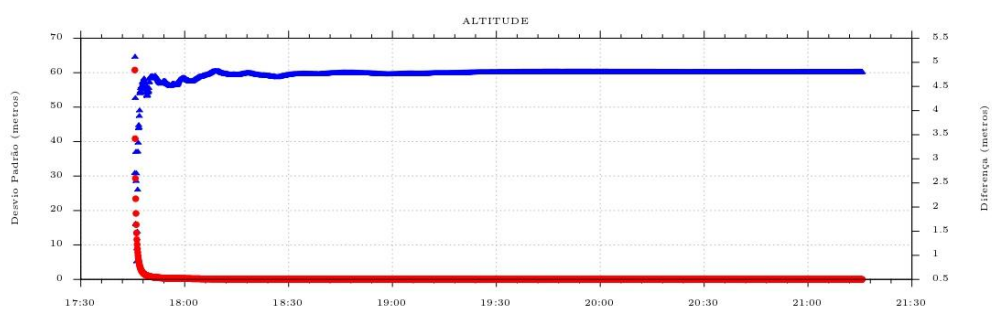
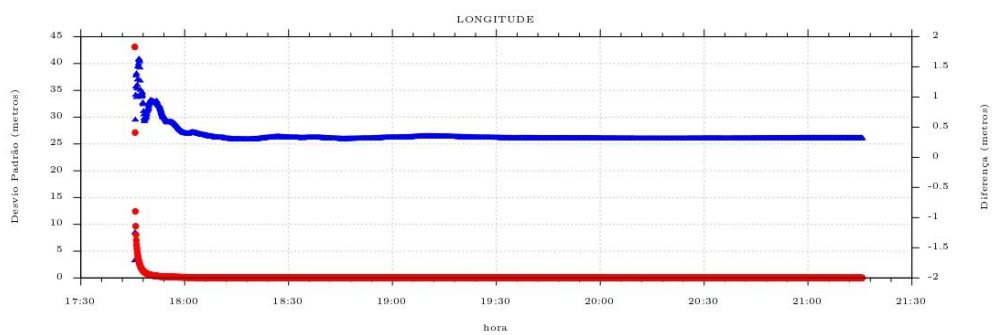
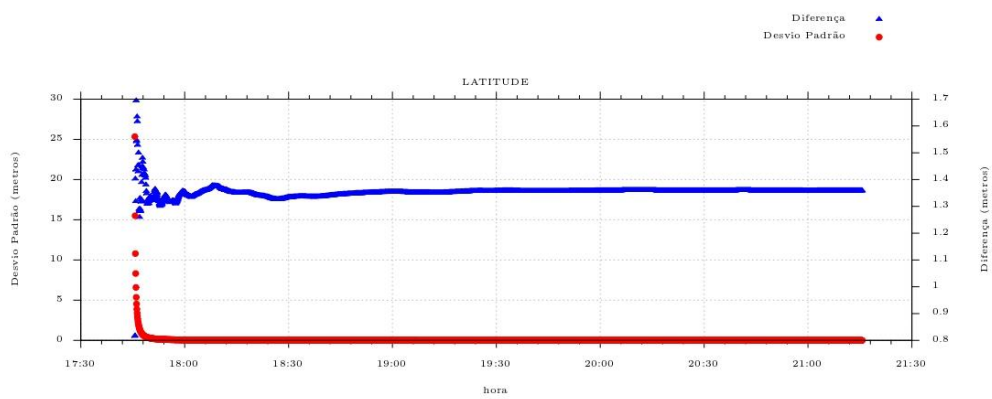
<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN).

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
0500110a.22o



### Sumário do Processamento do marco: N/A

<b>Início:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2022/04/21 17:09:10,00
<b>Fim:</b> AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2022/04/21 20:14:45,00
<b>Modo de Operação do Usuário:</b>	ESTÁTICO
<b>Observação processada:</b>	CÓDIGO & FASE
<b>Modelo da Antena:</b>	SPP101861 NONE
<b>Órbitas dos satélites:</b> <sup>1</sup>	FINAL
<b>Frequência processada:</b>	L3
<b>Intervalo do processamento(s):</b>	5,00
<b>Sigma<sup>2</sup> da pseudodistância(m):</b>	5,000
<b>Sigma da portadora(m):</b>	0,010
<b>Altura da Antena<sup>3</sup>(m):</b>	1,871
<b>Ângulo de Elevação(graus):</b>	10,000
<b>Resíduos da pseudodistância(m):</b>	0,35 GPS 0,37 GLONASS
<b>Resíduos da fase da portadora(cm):</b>	0,68 GPS 1,10 GLONASS

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
<b>Em 2000.4</b> (É a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-22° 06' 33,9829"	-47° 41' 22,7975"	857,93	7552606.875	222510.385	-45
<b>Na data do levantamento<sup>5</sup></b>	-22° 06' 33,9747"	-47° 41' 22,7996"	857,93	7552607.126	222510.320	-45
<b>Sigma(95%)<sup>6</sup> (m)</b>	0,003	0,006	0,013			

### Coordenada Altimétrica

<b>Modelo:</b>	hgeoHNOR_IMBITUBA		
<b>Fator para Conversão (m):</b>	-6,25	<b>Incerteza (m):</b>	0,06
<b>Altitude Normal (m):</b>	864,18		

### Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
<b>Após 1 hora</b>	0,700	0,600	0,040	0,040
<b>Após 2 horas</b>	0,330	0,330	0,017	0,018
<b>Após 4 horas</b>	0,170	0,220	0,009	0,010
<b>Após 6 horas</b>	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

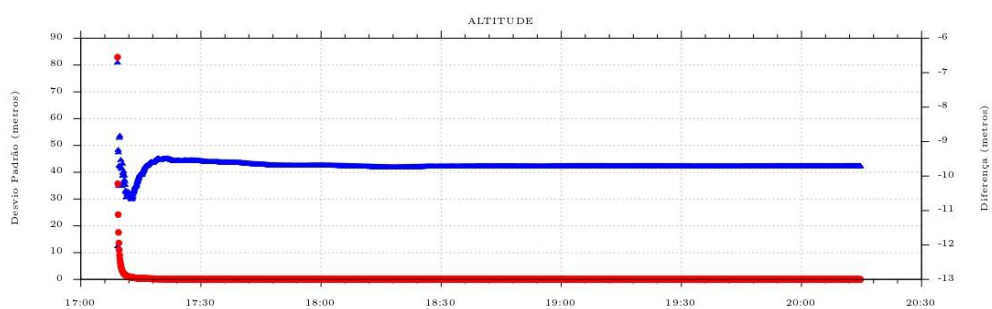
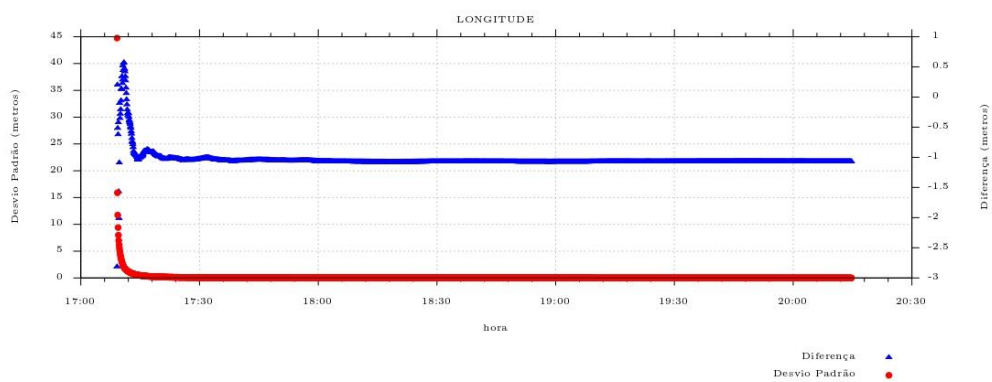
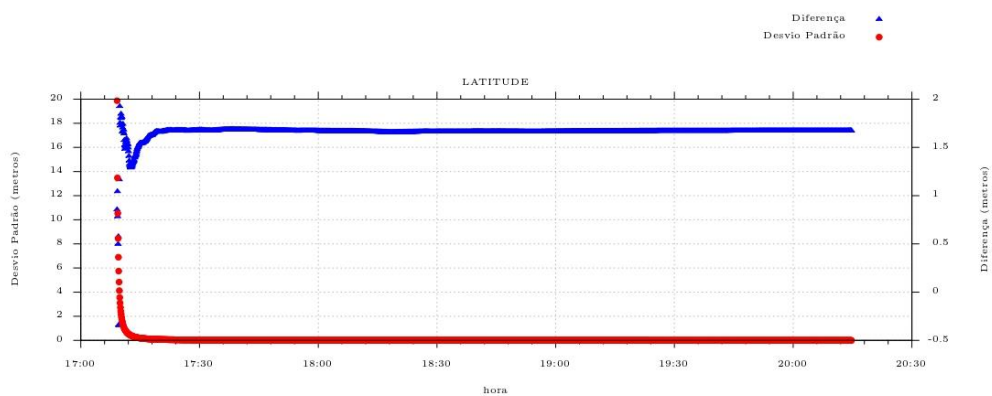
<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br) ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN)

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
0500111b.22o



### Sumário do Processamento do marco: N/A

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2024/02/22 10:34:30,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2024/02/22 13:15:05,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	SPP101861 NONE
Órbitas dos satélites: <sup>1</sup>	ULTRA-RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	5,00
Sigma <sup>2</sup> da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena <sup>3</sup> (m):	1,613
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	0,17 GPS 0,27 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,51 GPS 0,33 GLONASS

### Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (é a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-22° 18' 37,4552"	-47° 39' 01,3827"	656,76	7530416.396	226954.691	-45
Na data do levantamento <sup>5</sup>	-22° 18' 37,4462"	-47° 39' 01,3849"	656,76	7530416.672	226954.623	-45
Sigma(95%) <sup>6</sup> (m)	0,004	0,014	0,012			

### Coordenada Altimétrica

Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA		
Fator para Conversão (m):	-6,18	Incerteza (m):	0,06
Altitude Normal (m):	662,94		

### Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

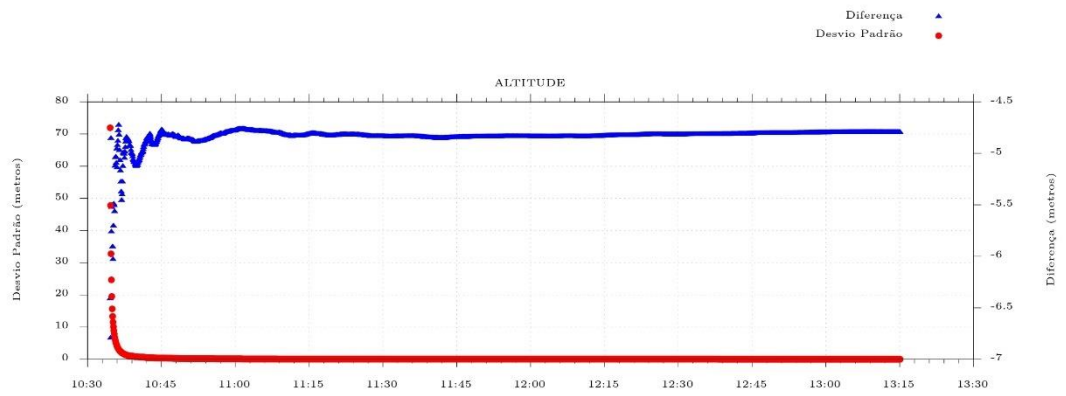
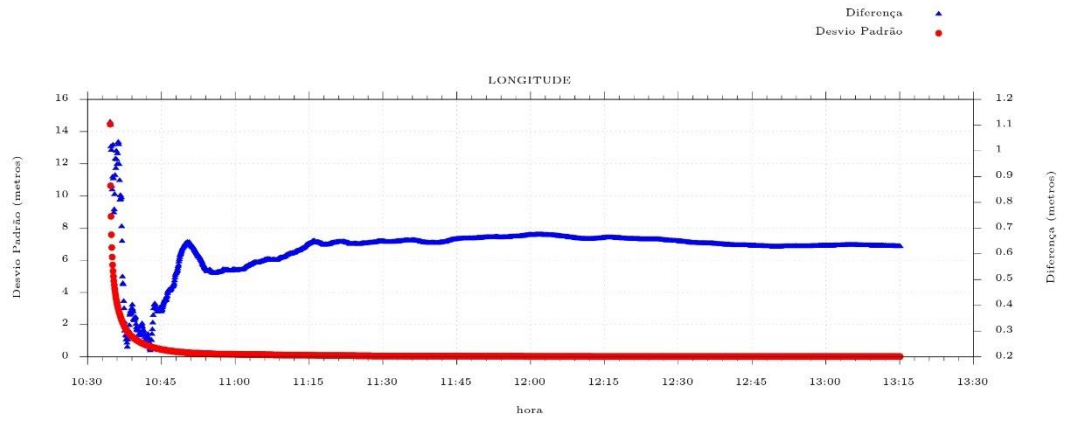
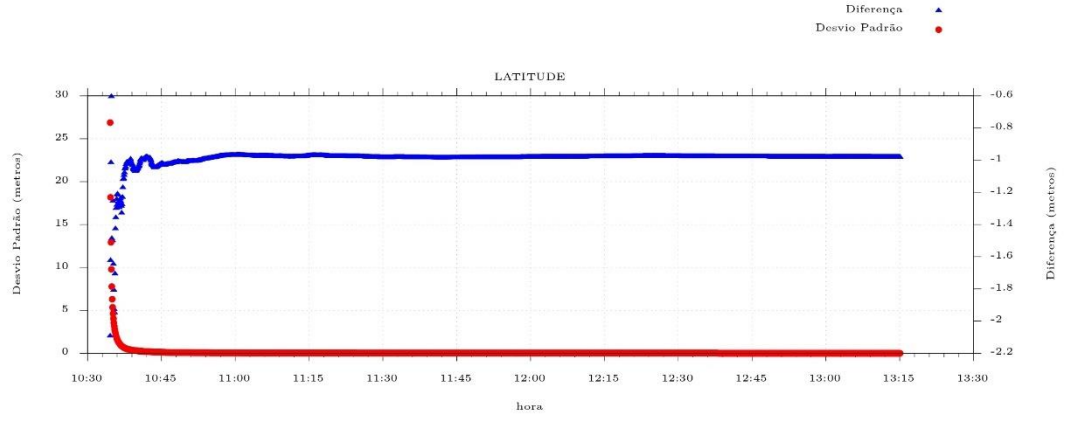
<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: <http://www.ibge.gov.br/atendimento.html> ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN)

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
0167053b.24e



## Sumário do Processamento do marco: N/A

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2024/02/22 17:23:30,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2024/02/22 19:00:50,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	SPP101861 NONE
Órbitas dos satélites: <sup>1</sup>	RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	5,00
Sigma <sup>2</sup> da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena <sup>3</sup> (m):	1,552
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	0,36 GPS 0,43 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,91 GPS 1,11 GLONASS

## Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (é a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-22° 06' 34,1731"	-47° 41' 22,1636"	858,94	7552601.344	222528.664	-45
Na data do levantamento <sup>5</sup>	-22° 06' 34,1642"	-47° 41' 22,1658"	858,94	7552601.617	222528.597	-45
Sigma(95%) <sup>6</sup> (m)	0,007	0,017	0,017			

## Coordenada Altimétrica

Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA		
Fator para Conversão (m):	-6,25	Incerteza (m):	0,06
Altitude Normal (m):	865,19		

## Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

<sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

<sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

<sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

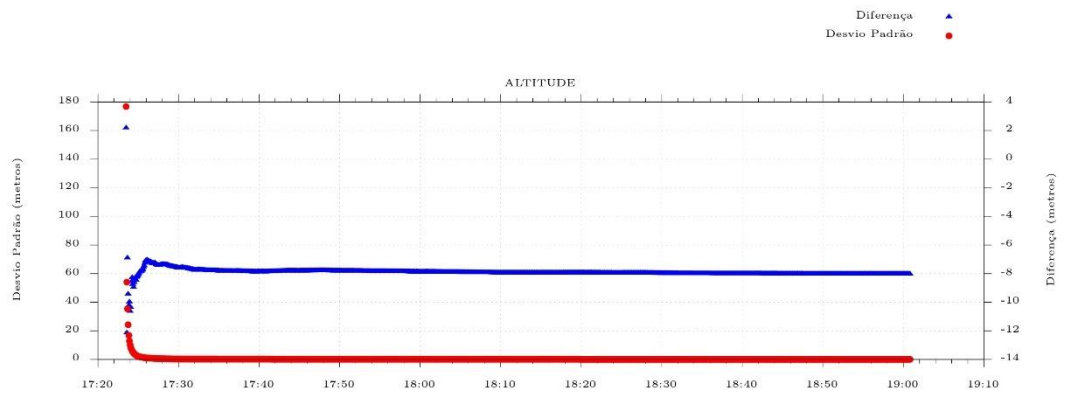
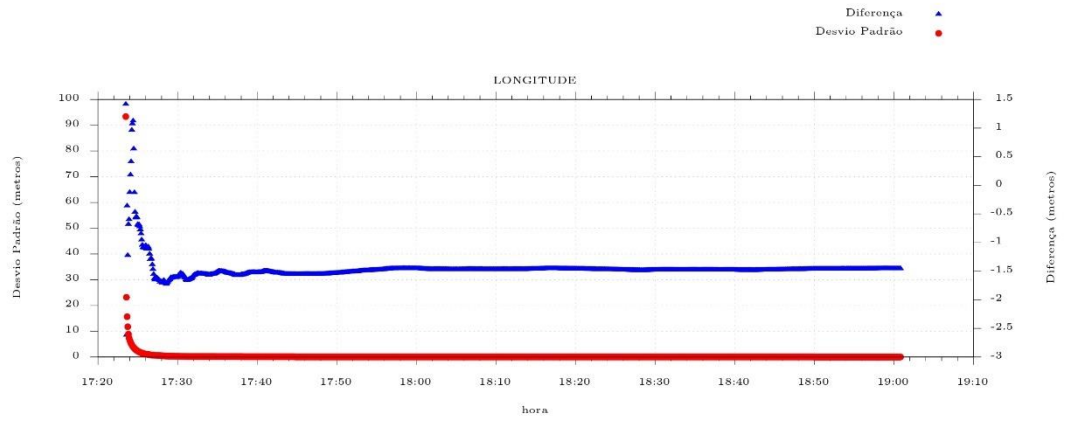
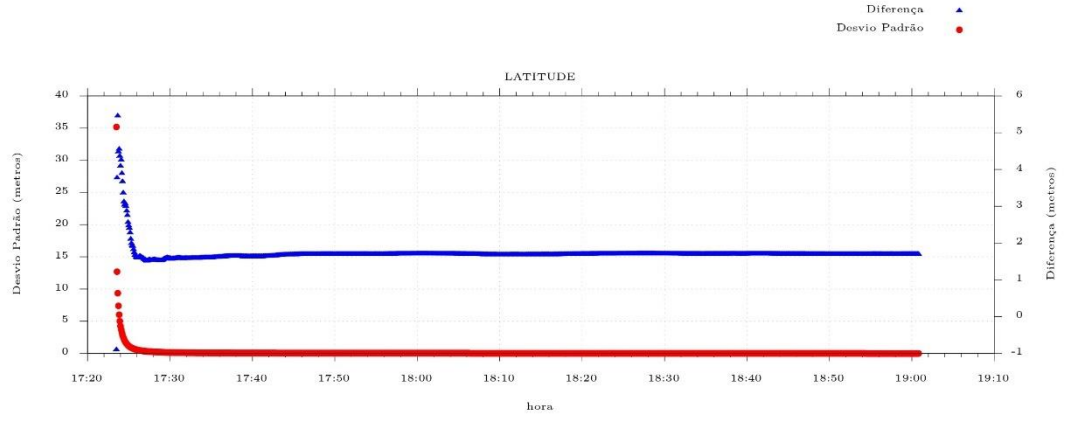
<sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

<sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: <http://www.ibge.gov.br/atendimento.html> ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN)

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori  
0167053d.24e



## ANEXO B – Dados Brutos de Infiltração

Corumbataí

Setor erosivo período úmido		Setor erosivo período seco		Sub-bacia período úmido		Sub-bacia período seco	
Ponto	Taxa média de infiltração (cm <sup>3</sup> )	Ponto	Taxa média de infiltração (cm <sup>3</sup> )	Ponto	Taxa média de infiltração (cm <sup>3</sup> )	Ponto	Taxa média de infiltração (cm <sup>3</sup> )
1A	0,53	1A	0,27	1	0,21	1	0,47
2A	0,71	2A	0,74	2	0,08	2	0,19
3A	0,56	3A	0,75	3	0,07	3	0,25
4A	0,55	4A	0,82	4	0,12	4	0,20
5A	0,49	5A	1,18	5	0,04	5	0,19
6B	0,18	6B	0,51	6	0,02	6	0,26
7B	0,18	7B	0,99	7	0,27	7	0,58
8B	0,43	8B	0,85	8	0,18	8	0,46
9B	0,24	9B	0,82	9	0,05	9	0,50
10B	0,69	10B	0,70	10	0,10	10	0,61
11B	0,69	11B	0,89	11	0,00	11	0,27
12B	0,80	12B	1,17	12	0,05	12	0,44
13B	0,12	13B	0,52	13	0,10	13	0,61
14B	0,22	14B	0,53	14	0,05	14	0,53
15B	0,10	15B	0,43	15	0,09	15	0,53
16B	0,72	16B	0,50	16	0,00	16	0,07
17B	0,11	17B	0,22	17	0,05	17	0,48
18B	0,12	18B	0,35	18	0,04	18	0,52
19B	0,13	19B	0,48	19	0,02	19	0,10
20B	0,44	20B	0,90	20	0,04	20	0,20
21C	0,09	21C	0,04	21	0,05	21	0,21
22C	0,54	22C	0,22	22	0,01	22	0,22
23C	0,17	23C	0,69	23	0,04	23	0,19
24C	0,05	24C	0,18	24	0,08	24	0,24
25C	0,14	25C	0,22	25	0,09	25	0,33
26C	0,53	26C	0,46	26	0,05	26	0,31
27C	0,46	27C	0,80	27	0,24	27	0,57
28C	1,67	28C	1,74				
29C	0,49	29C	0,43				

Analândia

Setor erosivo período úmido		Setor erosivo período seco		Sub-bacia período úmido		Sub-bacia período seco	
Ponto	Taxa média de infiltração (cm <sup>3</sup> )	Ponto	Taxa média de infiltração (cm <sup>3</sup> )	Ponto	Taxa média de infiltração (cm <sup>3</sup> )	Ponto	Taxa média de infiltração (cm <sup>3</sup> )
1	0,75	1	1,47	1	0,55	1	1,56
2	1,32	2	1,69	2	0,14	2	0,25
3	1,24	3	2,45	3	0,05	3	0,24
4	0,83	4	1,18	4	2,00	4	1,49
5	1,43	5	2,16	5	0,46	5	0,62
6	0,93	6	1,31	6	0,04	6	0,28
7	1,43	7	1,31				
8	0,43	8	2,01				
9	0,61	9	1,14				
10	0,31	10	0,68				
11	0,39	11	1,10				
12	0,72	12	1,37				
13	0,04	13	0,25				
14	0,15	14	0,30				
15	0,38	15	0,94				
16	0,50	16	1,48				
17	0,14	17	0,70				
18	0,56	18	0,83				
19	0,79	19	1,49				
20	0,79	20	1,70				
21	0,71	21	1,36				
22	0,52	22	0,82				

## ANEXO C – Dados Brutos de Resistência do Solo à Penetração

Corumbataí

Setor erosivo período úmido			Setor erosivo período seco			Sub-bacia período úmido			Sub-bacia período seco		
Ponto	Resistência do solo à penetração (MPa)		Ponto	Resistência do solo à penetração (MPa)		Ponto	Resistência do solo à penetração (MPa)		Ponto	Resistência do solo à penetração (MPa)	
	Superior	Inferior		Superior	Inferior		Superior	Inferior		Superior	Inferior
1A	1,59	1,43	1A	4,39	3,63	1	1,62	2,19	1	5,91	8,23
2A	1,75	1,65	2A	3,24	3,50	2	1,68	2,69	2	3,94	10,43
3A	1,76	1,64	3A	3,88	4,75	3	1,38	2,30	3	4,44	10,10
4A	1,68	1,85	4A	4,42	6,34	4	1,67	1,74	4	8,25	11,54
5A	1,46	1,31	5A	3,78	4,29	5	2,14	2,99	5	6,91	12,39
6B	1,88	2,23	6B	4,50	6,78	6	1,31	2,70	6	5,11	13,90
7B	1,84	2,33	7B	4,46	6,60	7	1,63	1,65	7	5,20	6,26
8B	1,79	2,24	8B	3,97	6,09	8	1,64	2,15	8	5,40	9,24
9B	1,77	2,59	9B	4,27	7,85	9	2,19	no data	9	5,48	no data
10B	1,75	2,02	10B	4,01	5,07	10	2,15	2,21	10	6,79	7,95
11B	1,77	2,17	11B	4,73	7,22	11	2,09	2,46	11	6,68	8,54
12B	1,66	2,20	12B	5,03	6,84	12	1,67	2,18	12	4,71	6,61
13B	1,81	2,44	13B	4,66	8,58	13	2,02	1,85	13	6,72	7,34
14B	1,90	2,62	14B	5,11	8,97	14	2,02	2,53	14	7,32	8,46
15B	2,50	3,26	15B	7,05	13,33	15	2,05	2,23	15	5,11	7,06
16B	2,36	3,28	16B	9,00	12,72	16	2,03	1,61	16	4,83	3,06
17B	1,68	2,49	17B	7,32	10,73	17	1,50	2,48	17	3,43	4,97
18B	1,79	2,94	18B	5,61	8,50	18	1,46	2,54	18	4,20	7,45
19B	1,66	2,66	19B	6,99	11,43	19	1,63	2,37	19	4,35	3,87
20B	1,24	3,29	20B	4,01	11,81	20	1,81	1,93	20	3,53	2,83
21C	1,74	1,57	21C	2,16	1,52	21	1,53	2,83	21	4,98	8,74
22C	1,34	1,56	22C	2,27	1,69	22	1,75	1,92	22	5,32	5,93
23C	1,47	1,31	23C	4,29	3,05	23	1,95	1,87	23	5,02	5,42
24C	2,42	4,61	24C	3,57	4,65	24	2,09	2,59	24	5,11	7,75
25C	2,52	3,98	25C	4,10	4,46	25	2,41	2,94	25	4,82	7,22
26C	1,80	1,82	26C	4,40	3,76	26	1,85	2,07	26	5,31	6,94
27C	1,78	1,55	27C	3,94	3,43	27	1,77	1,86	27	3,91	3,77
28C	1,69	1,40	28C	3,74	3,18						
29C	1,87	1,97	29C	4,07	4,98						

Analândia

Setor erosivo período úmido			Setor erosivo período seco			Sub-bacia período úmido			Sub-bacia período seco		
Ponto	Resistência do solo à penetração (MPa)		Ponto	Resistência do solo à penetração (MPa)		Ponto	Resistência do solo à penetração (MPa)		Ponto	Resistência do solo à penetração (MPa)	
	Superior	Inferior		Superior	Inferior		Superior	Inferior		Superior	Inferior
1	3,27	2,09	1	5,11	5,63	1	1,97	1,79	1	5,51	5,24
2	1,25	1,61	2	2,66	3,06	2	4,01	3,16	2	10,83	13,58
3	1,60	1,83	3	3,07	3,04	3	4,23	4,35	3	14,74	18,09
4	1,23	1,60	4	3,40	3,47	4	1,44	2,09	4	3,09	4,30
5	1,82	1,71	5	4,71	6,16	5	2,59	1,65	5	4,50	4,19
6	1,90	1,68	6	5,48	5,27	6	4,66	4,08	6	12,40	14,32
7	2,08	2,01	7	5,81	5,81						
8	2,16	1,22	8	7,52	8,67						
9	2,14	2,06	9	7,18	8,08						
10	2,35	2,04	10	5,44	6,60						
11	2,25	2,29	11	8,51	8,23						
12	2,84	2,07	12	5,34	9,62						
13	4,42	2,56	13	11,03	10,31						
14	3,72	2,19	14	6,01	5,86						
15	2,30	1,64	15	5,03	5,42						
16	1,69	1,46	16	5,26	4,97						
17	2,07	1,65	17	4,39	4,11						
18	1,50	1,48	18	4,19	3,18						
19	2,15	1,62	19	3,76	3,82						
20	1,36	1,30	20	3,33	3,71						
21	2,19	1,46	21	4,63	3,17						
22	1,88	1,41	22	5,03	4,22						

## ANEXO D – Dados Brutos de Granulometria

Setor Erosivo - Corumbataí

Identificação	Intervalo de	Arliga (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia média (%)	Areia grossa (%)	Areia total (%)
	profundidade (cm)						
P.1A	24-42	0,72	16,24	43,25	39,73	0,06	83,04
P.1A	42-66	0,71	14,24	41,59	43,16	0,30	85,05
P.2A	28-43	0,63	13,89	49,89	35,59	0,00	85,48
P.2A	54-64	0,34	6,72	45,40	47,55	0,00	92,95
P.3A	22-32	0,84	17,68	53,27	28,21	0,00	81,48
P.3A	53-67	0,87	15,30	49,84	33,99	0,00	83,83
P.4A	21-32	0,81	17,03	49,88	32,28	0,00	82,17
P.4A	42-61	1,00	17,86	51,14	29,99	0,00	81,14
P.5A	24-38	0,77	15,43	47,80	35,94	0,07	83,81
P.5A	49-63	1,14	17,50	47,18	34,18	0,00	81,36
P.6B	21-33	0,88	19,34	49,85	29,92	0,00	79,78
P.6B	53-64	1,16	19,15	49,94	29,76	0,00	79,70
P.7B	18-30	0,87	19,76	50,63	28,75	0,00	79,37
P.7B	49-62	1,08	18,87	50,36	29,70	0,00	80,06
P.8B	21-43	0,74	17,78	51,02	30,46	0,00	81,48
P.8B	49-61	1,07	20,73	47,16	31,04	0,00	78,20
P.9B	21-30	0,85	19,51	49,81	29,82	0,00	79,64
P.9B	58-67	1,18	18,28	49,17	31,37	0,00	80,54
P.10B	20-30	0,92	20,90	46,99	31,14	0,04	78,17
P.10B	51-64	1,23	21,47	44,10	33,00	0,19	77,29
P.11B	23-31	0,98	22,13	47,97	28,89	0,03	76,90
P.11B	50-61	1,20	21,45	47,12	30,21	0,03	77,35
P.12B	28-37	0,95	21,44	46,62	30,70	0,29	77,61
P.12B	42-52	1,22	19,86	47,08	31,65	0,19	78,91
P.13B	25-33	1,12	25,19	45,34	28,31	0,03	73,68
P.13B	57-65	1,45	24,55	46,39	27,60	0,00	74,00
P.14B	23-33	2,04	31,84	37,76	27,99	0,37	66,12
P.14B	53-67	1,01	17,91	42,23	38,42	0,43	81,08
P.15B	22-31	1,57	23,71	51,33	23,40	0,00	74,73
P.15B	55-63	1,19	18,80	47,09	32,92	0,00	80,01
P.16B	24-33	1,87	25,07	38,69	34,01	0,36	73,07
P.16B	59-69	0,61	11,17	33,61	53,25	1,37	88,22
P.17B	20-30	1,55	27,83	40,92	29,36	0,34	70,62
P.17B	58-66	1,06	20,18	38,10	40,03	0,64	78,76
P.18B	28-39	1,53	23,09	41,85	33,17	0,36	75,38
P.18B	48-62	0,67	12,34	46,25	40,74	0,00	86,99
P.19B	29-37	2,00	31,00	39,28	27,42	0,29	67,00
P.19B	54-62	0,99	15,20	42,61	40,89	0,31	83,81
P.20B	25-34	1,83	31,72	45,01	21,44	0,00	66,45
P.20B	57-63	0,75	11,95	44,63	42,44	0,22	87,30
P.21C	27-42	0,61	13,67	43,61	41,64	0,47	85,72
P.21C	59-75	0,99	15,79	28,10	51,33	3,78	83,22
P.22C	25-40	0,16	9,05	43,75	46,88	0,16	90,79
P.22C	40-68	1,20	22,31	44,45	32,00	0,04	76,49
P.23C	26-37	0,36	12,50	46,70	40,44	0,01	87,14
P.23C	56-70	0,92	14,60	43,76	39,40	1,32	84,48
P.24C	27-36	1,00	20,92	49,19	28,89	0,00	78,08
P.24C	56-64	3,40	41,02	33,54	20,00	2,03	55,58
P.25C	26-37	1,40	25,07	49,91	23,62	0,00	73,53
P.25C	56-68	2,52	30,68	46,14	20,66	0,00	66,80
P.26C	19-32	0,53	15,78	50,66	33,02	0,00	83,68
P.26C	56-66	0,91	17,31	48,72	33,06	0,00	81,78
P.27C	29-46	0,30	12,30	53,81	33,59	0,00	87,40
P.27C	57-70	0,84	11,90	51,81	35,45	0,00	87,26
P.28C	18-31	0,43	12,55	45,97	41,05	0,00	87,02
P.28C	57-70	0,07	5,76	52,47	41,70	0,00	94,17
P.29C	27-37	0,93	20,02	50,16	28,88	0,00	79,05
P.29C	54-63	1,78	22,95	47,82	27,44	0,00	75,26

## Setor erosivo - Analândia

Inter.							
Ident.	Profund. (cm)	Arliga (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia média (%)	Areia grossa (%)	Areia total (%)
P.1	24-44	1,68	25,24	29,63	37,09	6,36	73,08
P.1	59-77	1,10	16,60	28,21	46,49	7,60	82,30
P.2	24-36	0,88	15,11	31,81	44,46	7,74	84,01
P.2	48-66	0,96	14,20	30,92	46,03	7,88	84,84
P.3	22-34	1,19	20,12	27,47	43,09	8,13	78,69
P.3	48-66	1,06	16,00	23,41	48,72	10,80	82,94
P.4	22-33	1,08	17,45	34,36	41,10	6,01	81,47
P.4	51-62	0,92	15,41	28,88	46,02	8,76	83,67
P.5	25-39	2,38	27,77	29,96	33,86	6,03	69,85
P.5	53-67	1,70	20,49	27,43	42,04	8,34	77,81
P.6	20-33	1,97	27,89	32,80	31,90	5,44	70,14
P.6	55-75	1,42	18,38	26,01	45,03	9,16	80,20
P.7	29-44	1,61	23,12	36,16	34,58	4,53	75,27
P.7	57-65	1,19	18,02	26,08	44,96	9,75	80,79
P.8	30-42	1,52	20,34	36,11	36,25	5,78	78,14
P.8	56-69	1,52	19,11	34,03	39,91	5,43	79,37
P.9	16-27	3,13	42,19	28,03	22,51	4,13	54,68
P.9	27-39	2,46	31,49	30,66	30,86	4,52	66,05
P.9	56-61	1,42	21,21	29,77	39,42	8,19	77,38
P.10	24-39	2,86	35,07	26,65	30,41	5,01	62,07
P.10	52-67	1,22	19,92	32,59	39,31	6,95	78,86
P.11	20-32	3,70	47,49	25,31	20,20	3,30	48,81
P.11	46-61	1,61	20,75	36,25	35,49	5,90	77,64
P.12	20-32	3,31	42,00	26,53	24,43	3,73	54,69
P.12	48-63	2,22	25,43	27,92	37,26	7,17	72,35
P.13	21-33	2,51	30,98	29,88	32,17	4,46	66,51
P.13	55-76	1,89	19,92	35,95	36,54	5,70	78,19
P.14	21-39	1,50	20,68	35,42	36,98	5,42	77,82
P.14	53-73	1,52	16,87	41,74	34,86	5,01	81,61
P.15	18-31	1,78	25,16	38,03	30,71	4,32	73,06
P.15	49-65	1,52	19,30	41,44	33,77	3,96	79,18
P.16	20-38	1,69	22,61	36,30	34,00	5,40	75,70
P.16	59-73	1,15	13,88	40,32	39,06	5,59	84,97
P.17	20-37	1,73	23,67	34,65	34,34	5,61	74,60
P.17	55-71	1,26	14,84	37,53	40,16	6,21	83,90
P.18	18-32	1,97	27,61	36,62	30,07	3,72	70,41
P.18	59-73	1,37	16,31	34,20	41,24	6,88	82,32
P.19	29-42	1,82	23,45	36,69	32,84	5,20	74,73
P.19	59-74	1,65	18,62	40,30	34,64	4,78	79,72
P.20	19-33	1,28	19,21	29,33	41,95	8,23	79,51
P.20	59-71	1,26	13,37	34,31	43,62	7,44	85,37
P.21	26-39	1,60	22,42	31,41	37,14	7,43	75,98
P.21	52-65	1,04	12,83	29,15	47,51	9,47	86,13
P.22	24-41	1,54	22,00	37,33	34,61	4,52	76,46
P.22	58-71	1,06	14,11	38,81	40,22	5,80	84,83

## Sub-bacia - Corumbataí

Identificação	Intervalo de profundidade (cm)	Intervalo de					
		Arliga (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia média (%)	Areia grossa (%)	Areia total (%)
P. 1	48-59	1,67	24,86	43,95	29,20	0,32	73,5
P. 1	87-99	3,17	49,91	28,31	18,03	0,58	46,9
P. 1	114-126	1,15	16,40	44,15	35,48	2,82	82,4
P. 2	24-36	1,44	22,01	47,71	27,33	1,51	76,5
P. 2	63-96	3,39	47,77	30,65	17,01	1,17	48,8
P. 3	20-35	2,19	28,14	44,84	23,64	1,18	69,7
P. 3	55-70	3,62	50,18	29,73	15,54	0,92	46,2
P. 4	26-43	1,72	29,77	34,84	32,96	0,71	68,5
P. 4	123-128	3,60	51,55	23,39	20,93	0,54	44,8
P. 4	140-148	3,20	46,73	25,95	23,74	0,38	50,1
P. 5	34-43	1,97	31,06	49,10	17,66	0,21	67,0
P. 5	64-72	3,06	50,08	33,09	13,17	0,59	46,9
P. 6	28-39	1,79	30,21	55,46	12,25	0,29	68,0
P. 6	62-68	3,09	53,26	34,73	8,53	0,39	43,7
P. 7	19-26	0,98	20,97	43,12	34,62	0,32	78,1
P. 7	57-69	3,22	49,27	28,88	18,32	0,32	47,5
P. 8	19-32	1,52	27,25	51,97	18,19	1,07	71,2
P. 8	47-58	3,23	52,76	33,15	10,43	0,42	44,0
P. 8	65-72	2,72	48,72	41,20	6,92	0,43	48,6
P. 9	28-36	1,32	25,97	51,46	20,28	0,97	72,7
P. 10	38-55	1,45	29,24	43,87	25,06	0,38	69,3
P. 10	87-97	3,44	54,41	33,96	8,10	0,09	42,2
P. 11	18-29	1,86	37,80	39,47	20,63	0,25	60,3
P. 11	37-44	2,04	38,65	41,94	17,32	0,06	59,3
P. 11	61-70	1,76	40,55	38,02	19,46	0,21	57,7
P. 12	19-29	1,13	25,17	48,48	25,22	0,00	73,7
P. 12	56-64	1,32	33,18	32,55	32,28	0,68	65,5
P. 13	29-39	1,10	22,59	48,51	27,79	0,02	76,3
P. 13	62-78	2,51	40,32	38,60	18,42	0,14	57,2
P. 13	93-98	2,47	44,38	43,02	10,13	0,00	53,1
P. 14	30-40	1,74	28,43	48,06	21,61	0,16	69,8
P. 14	77-90	2,91	50,60	34,53	11,73	0,23	46,5
P. 14	101-115	2,86	47,82	33,76	14,74	0,83	49,3
P. 15	35-49	1,32	25,34	52,27	21,07	0,00	73,3
P. 15	79-89	3,23	51,16	33,50	12,04	0,08	45,6
P. 15	102-112	3,02	55,25	34,03	7,59	0,12	41,7
P. 16	21-33	1,38	29,48	41,43	25,53	2,18	69,1
P. 16	33-50	1,71	35,23	44,20	17,85	1,01	63,1
P. 16	75-83	2,33	45,72	42,51	9,07	0,37	51,9
P. 17	33-42	1,52	30,03	40,45	25,90	2,11	68,4
P. 17	62-76	3,06	44,59	29,33	21,45	1,56	52,3
P. 18	35-45	1,68	29,17	33,61	32,86	2,68	69,2
P. 18	67-76	3,10	46,02	25,60	23,16	2,12	50,9
P. 19	29-39	1,24	28,33	45,69	23,44	1,29	70,4
P. 19	54-72	1,43	28,80	43,41	25,82	0,54	69,8
P. 19	72-90	2,58	41,71	31,17	23,55	0,98	55,7
P. 20	33-52	1,83	36,58	46,31	14,49	0,80	61,6
P. 20	52-71	2,55	41,39	40,57	14,54	0,96	56,1
P. 20	71-90	3,09	51,85	36,08	8,36	0,61	45,1
P. 21	19-29	1,72	34,12	47,45	15,82	0,89	64,2
P. 21	42-52	2,94	56,26	32,97	7,49	0,33	40,8
P. 21	58-63	2,88	53,50	35,36	7,92	0,34	43,6
P. 22	46-61	1,57	32,08	47,57	17,37	1,41	66,4
P. 22	73-96	2,73	43,79	37,97	14,57	0,95	53,5
P. 22	96-111	3,09	50,35	35,38	10,18	1,00	46,6
P. 23	35-52	1,84	32,40	50,18	13,99	1,59	65,8
P. 23	66-88	3,03	48,23	37,05	10,71	0,97	48,7
P. 23	99-117	2,89	49,17	36,70	10,03	1,20	47,9
P. 24	31-46	2,23	31,19	46,96	18,05	1,57	66,6
P. 24	60-80	2,32	38,25	42,14	15,33	1,95	59,4
P. 24	91-94	2,69	46,42	35,49	13,29	2,11	50,9
P. 25	40-56	1,58	26,02	51,64	18,70	2,06	72,4
P. 25	56-73	2,69	43,39	38,84	13,98	1,09	53,9
P. 25	86-101	3,21	53,06	34,41	8,63	0,70	43,7
P. 26	18-30	2,44	43,07	42,12	11,79	0,57	54,5
P. 26	62-72	3,50	58,08	29,75	7,92	0,75	38,4
P. 26	92-101	3,73	56,47	28,83	9,70	1,27	39,8
P. 27	28-44	0,84	19,51	47,94	31,69	0,02	79,6
P. 27	133-146	2,03	32,60	42,22	23,15	0,00	65,4
P. 27	158-167	1,87	24,37	49,00	24,76	0,00	73,8

Sub-bacia - Analândia

	<b>Intervalo de</b>						
<b>Identificação</b>	<b>profundidad</b>	<b>Arliga (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Areia fina (%)</b>	<b>Areia média (%)</b>	<b>Areia grossa (%)</b>	<b>Areia total (%)</b>
	<b>e (cm)</b>						
P.1	29-42	1,81	23,58	29,95	38,05	6,62	74,61
P.1	58-70	1,25	16,60	26,28	45,87	9,99	82,15
P.2	24-39	3,12	39,47	27,87	25,91	3,63	57,41
P.2	53-68	1,14	17,99	38,18	38,23	4,45	80,87
P.3	28-34	1,81	24,83	29,42	35,96	7,98	73,36
P.3	58-64	2,91	42,96	24,11	25,42	4,60	54,14
P.4	27-35	0,55	8,95	34,33	47,90	8,28	90,50
P.4	56-68	0,77	10,32	26,02	49,25	13,64	88,91
P.5	20-33	1,09	16,17	38,43	38,57	5,74	82,74
P.5	49-68	1,40	16,76	39,65	37,10	5,09	81,84
P.6	18-25	3,44	49,65	22,53	19,00	5,38	46,92