

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

GUILHERME AURÉLIO CRESTANI MAGALHÃES

**IMPACTOS AMBIENTAIS DA URBANIZAÇÃO NA DINÂMICA DOS SISTEMAS
FLUVIAIS NO PERÍMETRO URBANO DE JANDAIA DO SUL/PR**

Dourados-MS

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

GUILHERME AURÉLIO CRESTANI MAGALHÃES

**IMPACTOS AMBIENTAIS DA URBANIZAÇÃO NA DINÂMICA DOS SISTEMAS
FLUVIAIS NO PERÍMETRO URBANO DE JANDAIA DO SUL/PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação – Mestrado em Geografia, da Faculdade de Ciências Humanas, da Universidade Federal da Grande Dourados como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Adelson Soares Filho.

Dourados-MS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

M189i Magalhães, Guilherme Aurélio Crestani
Impactos ambientais da urbanização na dinâmica dos sistemas fluviais no perímetro urbano de Jandaia do Sul/PR [recurso eletrônico] / Guilherme Aurélio Crestani Magalhães. -- 2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Adelsom Soares Filho.
Dissertação (Mestrado em Geografia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Urbanização. 2. Impactos ambientais. 3. Canal fluvial. 4. Morfologia fluvial. 5. Recursos hídricos. I. Soares Filho, Adelsom . II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE Mestrado APRESENTADA POR GUILHERME AURÉLIO CRESTANI MAGALHÃES, ALUNO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO "PRODUÇÃO DO ESPAÇO REGIONAL E FRONTEIRA".

Aos vinte e sete dias do mês de setembro do ano de dois mil e vinte e três, às quatorze horas, em sessão pública, realizou-se na Universidade Federal da Grande Dourados, a Defesa de Dissertação de Mestrado intitulada "**IMPACTOS AMBIENTAIS DA URBANIZAÇÃO NA DINÂMICA DOS SISTEMAS FLUVIAIS NO PERÍMETRO URBANO DE JANDAIA DO SUL/PR**", apresentada pelo mestrando Guilherme Aurélio Crestani Magalhães, do Programa de Pós-graduação em Geografia, à Banca Examinadora constituída pelos membros: Prof. Dr. Adelson Soares Filho/UFGD (presidente/orientador), Prof. Dr. Charlei Aparecido da Silva/UFGD (membro titular interno), Prof. Dr. Rafael Brugnolli Medeiros/UFGD (membro titular interno), Prof.^a Dr.^a Camila Riboli Rampazzo/UFGD (membro titular externo). Iniciados os trabalhos, a presidência deu a conhecer ao candidato e aos integrantes da banca as normas a serem observadas na apresentação da Dissertação. Após o candidato ter apresentado a sua Dissertação, os componentes da Banca Examinadora fizeram suas arguições. Terminada a Defesa, a Banca Examinadora, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo sido o candidato considerado APROVADO. Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Dourados/MS, 27 de setembro de 2023.

Prof. Dr. Adelson Soares Filho
Presidente/orientador

Prof. Dr. Charlei Aparecido da Silva
Membro Titular Interno

Prof. Dr. Rafael Brugnolli Medeiros
Membro Titular Interno

Prof.ª Dr.ª Camila Riboli Rampazzo
Membro Titular Externo

(PARA USO EXCLUSIVO DA PROPP)

ATA HOMOLOGADA EM: ___/___/____, PELA PROPP/ UFGD.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus orientadores, Prof. Adelsom Soares Filho e Prof. André Geraldo Berezuk, por toda contribuição e confiança depositada em meu trabalho. Agradeço a ajuda do amigo Ederson Dias de Oliveira, pelo incentivo em adentrar um programa de mestrado em Geografia e pelos diálogos exaustivos acerca do tema. Estendo os agradecimentos à Profa. Juliana Tomiko Ribeiro Aizawa, pelas dicas e conversas e pela caminhada ao longo desse percurso.

Agradeço, também, a parceria e a amizade de Cássio Cardoso Carvalho, Rutierre Ferreira Coutinho, Ramon Barbosa Costa, Hermes Silva Leão, Janaina Meazza, Marcio Roberto Nogueira Diniz e Wesley da Silva Medeiros (*in memoriam*), pelos momentos compartilhados e auxílio nesse período.

Agradeço à Universidade Federal da Grande Dourados, aos professores, pelos ensinamentos durante o percurso da pesquisa.

Agradeço as enormes contribuições da banca de qualificação, dadas pelos professores Charlei Aparecido da Silva, Rafael Brugnolli Medeiros, pelas significativas contribuições e pela leitura para composição da dissertação final, cuja contribuição e análise deste trabalho foram fundamentais.

Agradeço aos meus pais, Laura Crestani Magalhães e José Magalhães, e a minha irmã, Ana Paula Crestani Magalhães, pelo incentivo e confiança de sempre.

Estendo os agradecimentos a todos os meus alunos, professores e amigos, que partilharam de momentos importantes da minha vida durante a realização do trabalho, em momentos de isolamento social, desafios pessoais e angústias, puderam contribuir de alguma forma para o meu enriquecimento pessoal e/ou profissional.

RESUMO

A dissertação tem por objetivo identificar os desajustes e o grau de alteração na morfologia dos canais fluviais localizados na área urbana de Jandaia do Sul, norte do Estado do Paraná, tendo como método a geometria hidráulica em nível de margens plenas, aplicada em cinco canais fluviais situados na área urbana do município de Jandaia do Sul: Córrego Marumbi, Cambará, Rochedo, Lapuna e Siriema. Foram percorridos e mapeados os pontos de mensuração, totalizando setenta e cinco seções transversais distribuídas nos canais fluviais da área de estudo. A teoria da geometria hidráulica propõe a análise do comportamento das seguintes variáveis: largura (W_{mp}), profundidade (D_{mp}) e área da seção transversal (A_{mp}). Os procedimentos metodológicos são quali-quantitativos baseados na análise de referenciais teóricos, combinados com trabalhos de campo. A partir dos resultados obtidos com a análise das seções transversais, identificou-se que os canais fluviais estudados apresentam alterações em suas propriedades geométricas. Os dados obtidos para cada variável (W_{mp} : 0,345, D_{mp} : 0,129 e A_{mp} : 0,384) apresentam baixo coeficiente de correlação, o que está associado ao processo de urbanização e ao aumento da impermeabilização do solo. Isso reduz a infiltração e aumenta o escoamento superficial, implicando, assim, a alteração da morfologia dos cursos fluviais. Esses resultados são importantes para a compreensão dos impactos da urbanização nos cursos fluviais e podem contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo e conservação desses recursos hídricos em áreas urbanas.

Palavras-chave: Urbanização; Impactos ambientais; Canal fluvial; Morfologia fluvial, Recursos hídricos.

ABSTRACT

The aim of this dissertation is to identify the mismatches and degree of alteration in the morphology of the river courses located in the urban area of Jandaia do Sul, in the north of the state of Paraná, using the method of hydraulic geometry at full bank level, applied to five river courses located in the urban area of the municipality of Jandaia do Sul: Córrego Marumbi, Cambará, Rochedo, Lapuna and Siriema. The measurement points were traversed and mapped, totaling seventy-five cross-sections distributed in the river courses of the study area. The theory of hydraulic geometry proposes the analysis of the behavior of the following variables: width (W_{mp}), depth (D_{mp}) and cross-sectional area (A_{mp}). The methodological procedures are qualitative and quantitative, based on the analysis of theoretical references, combined with fieldwork. Based on the results obtained from the analysis of the cross-sections, it was identified that the river stretches studied show changes in their geometric properties. The data obtained for each variable (W_{mp} : 0.345, D_{mp} : 0.129 and A_{mp} : 0.384) show a low correlation coefficient, which is associated with the process of urbanization and the increase in soil sealing. This reduces infiltration and increases surface runoff, thus altering the morphology of river courses. These results are important for understanding the impacts of urbanization on river courses and can contribute to the development of management and conservation strategies for these water resources in urban areas.

Keywords: Urbanization; environmental impacts; River channel; River morphology, Water resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo / Perímetro urbano de Jandaia do Sul-PR	19
Figura 2 – Traçado urbano de Jandaia do Sul – CMNP	20
Figura 3 – Evolução demográfica de Jandaia do Sul/PR 1960-2010	22
Figura 4 – Climograma de Jandaia do Sul (1976-2022).....	24
Figura 5 – Trecho urbano dos canais fluviais.....	26
Figura 6 – O Ciclo Hidrológico.....	29
Figura 7 – Bacia Hidrográfica	30
Figura 8 – Representação esquemática de uma Bacia Hidrográfica.....	31
Figura 9 – Vazões nos perfis de montante e jusante e leitos de vazante e cheia	34
Figura 10 – Comparação entre a morfologia de curso natural e de um canal fluvial modificado	38
Figura 11 – Sequência de ajustes geomorfológicos de canais fluviais em áreas urbanas	39
Figura 12 – Perfis de terrenos e o canal fluvial	41
Figura 13 – Características das alterações do escoamento de uma área rural para urbana	42
Figura 14 – Morfometria do canal de escoamento	44
Figura 15 – Imagem ilustrativa representando um perfil longitudinal e perfil transversal	45
Figura 16 – Tipos de leitos fluviais	47
Figura 17 – Forma dos vales.....	48
Figura 18 – Variáveis morfológicas da seção transversal	49
Figura 19 – Resiliência de ajustamento do canal fluvial.....	51
Figura 20 – Mensuração de seções transversais	55
Figura 21 – Posição das superfícies erosivas e deposicionais do canal fluvial.....	59
Figura 22 – Mapa de uso do solo / tipos de solo / hipsometria / declividade no Córrego Marumbi	64
Figura 23 – Intervenções no canal fluvial do Córrego Marumbi	65
Figura 24 – Capacidade do canal (Amp) Córrego Marumbi	66
Figura 25 – Largura do canal (Wmp) Córrego Marumbi.....	67
Figura 26 – Profundidade do canal (Dmp) Córrego Marumbi.....	68

Figura 27 – Forma geométrica do canal fluvial do Córrego Marumbi.....	70
Figura 28 – Mapa de uso do solo / tipos de solo / hipsometria / declividade no Ribeirão Cambará.....	74
Figura 29 – Intervenções no Canal Fluvial do Ribeirão Cambará	75
Figura 30 – Capacidade do canal (Amp) Ribeirão Cambará.....	77
Figura 31 – Largura do canal (Wmp) Ribeirão Cambará.....	77
Figura 32 – Profundidade do canal (Dmp) Ribeirão Cambará.....	78
Figura 33 – Forma geométrica do canal fluvial do Ribeirão Cambará.....	81
Figura 34 – Mapa de uso do solo / tipos de solo / hipsometria / declividade no Ribeirão Rochedo.....	85
Figura 35 – Intervenções no canal fluvial do Ribeirão Rochedo	86
Figura 36– Capacidade do canal (Amp) Ribeirão Rochedo	87
Figura 37– Largura do canal (Wmp) Ribeirão Rochedo	88
Figura 38– Profundidade do canal (Dmp) Ribeirão Rochedo.....	89
Figura 39 – Forma geométrica do canal fluvial do Ribeirão Rochedo.....	92
Figura 40 – Mapa de uso do solo / tipos de solo / hipsometria / declividade no Córrego Lapuna	96
Figura 41 – Intervenções no canal fluvial do Córrego Lapuna	97
Figura 42– Capacidade do canal (Amp) Córrego Lapuna	98
Figura 43– Largura do canal (Wmp) Córrego Lapuna.....	99
Figura 44– Profundidade do Canal (Dmp) Córrego Lapuna.....	100
Figura 45 – Forma geométrica do canal fluvial do Córrego Lapuna.....	103
Figura 46 – Mapa de uso do solo / tipos de solo / hipsometria / declividade no Córrego Siriema	106
Figura 47 – Intervenções no canal fluvial do Córrego Siriema	107
Figura 48– Capacidade do canal (Amp) Córrego Siriema.....	108
Figura 49– Largura do canal (Wmp) Córrego Siriema.....	109
Figura 50– Profundidade do canal (Dmp) Córrego Lapuna.....	110
Figura 51 – Forma geométrica do canal fluvial do Córrego Siriema.....	113
Figura 52 – Comparação do r^2 das relações geométricas de seção transversal dos canais fluviais.....	114
Figura 53 - Seções mensuradas nos canais fluviais urbanos	117
Figura 54– Seções Fechadas nos Canais Fluviais do Perímetro Urbano de Jandaia do Sul/PR.....	120

Figura 55– Impactos ambientais negativos identificados nos canais fluviais do perímetro urbano de Jandaia do Sul/PR	124
Figura 56 – Medidas que visam contribuir para minimizar os impactos ambientais	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução Demográfica do Município de Jandaia do Sul/PR 1960-2010..	22
Tabela 2 – Porcentagem de drenagem das bacias hidrográficas (Perímetro Urbano)	26
Tabela 3 – Variáveis geométricas da seção transversal empregadas no estudo.....	50
Tabela 4 – Fórmulas aplicadas em cada parâmetro analisado	56
Tabela 5 – Grau de ajuste (r^2) em canais fluviais	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDGEx	Banco de Dados Geográficos do Exército
BH	Bacia Hidrográfica
BHCL	Bacia Hidrográfica do Córrego Lapuna
BHCM	Bacia Hidrográfica do Córrego Marumbi
BHCS	Bacia Hidrográfica do Córrego Siriema
BHRC	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cambará
BHRR	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Rochedo
BHs	Bacias Hidrográficas
CMNP	Companhia de Melhoramentos Norte do Paraná
CTNP	Companhia de Terras Norte do Paraná
DSG	Diretoria de Serviços Geográficos do Exército
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GERCA	Grupo de Erradicação e Racionalização da Cafeicultura
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
MINEROPAR	Minerais do Paraná S.A.
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UTM	Projeção Transversal de Mercator

LISTA DE SÍMBOLOS

Amp	Área da seção transversal
D	Profundidade média
Dmp	Profundidade média em nível de margens plenas
P	Perímetro úmido
R ²	Coefficiente de correlação
W	Largura do canal
Wmp	Largura do canal em nível de margens plenas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
2.1 Localização e aspectos históricos da ocupação de Jandaia do Sul	18
2.2 Geologia	22
2.3 Contexto climático	23
2.4 Vegetação	24
2.5 Caracterização do recorte das bacias urbanas	25
3 DINÂMICA DA GEOMORFOLOGIA FLUVIAL: CONSIDERAÇÕES SOBRE A GEOMETRIA HIDRÁULICA	27
3.1 Ciclo hidrológico	27
3.2 Bacias hidrográficas urbanas	30
3.3 Dinâmica do canal fluvial	33
3.4 Canalização e artificialização de cursos d'água urbanos	35
3.4.1 Enchentes e inundações	40
3.5 Geometria hidráulica	42
3.5.1 Perfis longitudinais e perfis transversais	45
3.5.2 Propriedades geométricas da seção transversal	49
3.5.3 Definição de impacto ambiental	52
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	54
4.1 Identificação, espacialização e escolha dos perfis transversais mensurados	59
5 RESULTADOS	61
5.1 Análise da geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal dos cursos d'água	61
5.2 Córrego Marumbi	61
5.3 Ribeirão Cambará	71
5.4 Ribeirão Rochedo	82
5.5 Córrego Lapuna	93
5.6 Córrego Siriema	104
5.2 Discussão dos dados das seções transversais abertas	114
5.2.1 Seções transversais fechadas	118

5.2.2 Discussão dos dados das seções transversais fechadas.....	121
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	125
REFERÊNCIAS.....	128
APÊNDICE A - Propriedades geométricas Córrego Marumbi.....	137
APÊNDICE B - Propriedades geométricas Ribeirão Cambará.....	138
APÊNDICE C - Propriedades geométricas Ribeirão Rochedo.....	139
APÊNDICE D – Propriedades geométricas Córrego Lapuna.....	140
APÊNDICE E – Propriedades geométricas Córrego Siriema.....	141
APÊNDICE F – Parâmetros geométricos das seções fechadas.....	142
APÊNDICE G – Gráficos de dispersão das 75 seções abertas mensuradas.....	143

1 INTRODUÇÃO

A urbanização tem sido elencada entre os principais geradores de problemas ambientais em bacias hidrográficas, em especial relacionadas às alterações geomorfológicas. A expansão de áreas urbanizadas ocasiona drásticas transformações no sistema fluvial e produz diversos impactos ambientais negativos ao meio ambiente (Ferreira *et al.*, 2016).

Esses impactos estão diretamente relacionados às ações humanas que afetam o uso e ocupação do solo. Isso inclui a retirada de vegetação, que resulta na impermeabilização do solo devido à implantação de obras de engenharia. Essas atividades impostas pelas ações humanas têm o efeito de provocar novas configurações nas dinâmicas naturais, causando modificações significativas nos processos preexistentes na bacia hidrográfica (Chin; Gregory, 2001; Rodrigues; Gouveia, 2013; Braga, 2022).

Desse modo, as bacias hidrográficas inseridas no perímetro urbano de Jandaia do Sul foram escolhidas como área de estudo, pois, em linhas gerais, apresentam vários impactos ambientais negativos decorrentes do processo de urbanização: impermeabilização/compactação de encostas; assoreamento dos canais fluviais; vegetação ciliar incipiente; despejo de efluentes diversos e resíduos sólidos urbanos¹ ao longo de canais fluviais.

Nesse contexto, aplicou-se o método da geometria hidráulica em nível de margens plenas nos cursos fluviais que percorrem a área urbana, com ênfase no recorte das bacias hidrográficas situadas dentro do perímetro urbano. A escolha dos canais fluviais localizados no setor urbano e o recorte específico da bacia hidrográfica urbana foram feitos devido à maior suscetibilidade dessa área às interferências antrópicas.

Entende-se por bacia hidrográfica ou bacia de drenagem, uma área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, sendo limitada pelos divisores de água, funcionando como um sistema aberto que interage com os

¹ Resíduos originários de atividades comerciais, industriais, serviços, construção civil, hospitalares, domiciliares (oriundos de atividades domésticas em residências urbanas), e os de limpeza urbana, (originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas), classificados conforme a Lei nº 14.026/2020 em seu art. 3º-C como resíduos sólidos urbanos (RSU).

ecossistemas terrestres ao seu redor (trocas de energia e matéria) (Guerra; Cunha, 2004; Christofolletti, 1980; 1981; Botelho, 2012).

Já o impacto ambiental pode ser definido como qualquer alteração positiva ou negativa sobre o meio ambiente, provocada por ações humanas num determinado local, que resulte na modificação de processos naturais e suas funções originais (Sánchez, 2008).

A justificativa da escolha do tema desenvolvido nesta dissertação, se deve às lacunas de estudos regionais que investigam os impactos urbanos na morfologia dos canais fluviais, em especial em cidades pequenas e médias. A decisão de pesquisar o município de Jandaia do Sul (PR) decorre do lugar, gentílico e de identidade pessoal/familiar. Por meio de um olhar científico e empírico, propõe-se ampliar as discussões sobre os problemas ambientais dos canais fluviais urbanos existentes na referida localidade.

No Paraná (PR), onde se concentra o estudo, destacam-se os trabalhos já realizados por: Fernandez (2003; 2004; 2009), com enfoque nos canais fluviais das regiões oeste e sudoeste do estado; Grison (2010), com pesquisas acerca dos canais fluviais de um conjunto de bacias hidrográficas distribuídas no território paranaense; e Dias-Oliveira *et al.* (2010; 2016) com trabalhos em canais fluviais da região norte do Paraná.

Uma maneira de aferir os impactos da urbanização em canais fluviais está no estudo das características geométricas e da forma do canal, tendo como referência metodológica a geometria hidráulica em nível de margens plenas, visto que as relações de geometria hidráulica podem ser aplicadas para descrever variações nas propriedades hidráulicas de um rio, a fim de identificar alterações na morfologia do canal.

Os parâmetros da geometria hidráulica são estimados através da mensuração e da descrição física da seção transversal, por meio da obtenção da área da seção-Amp, largura-Wmp e profundidade-Dmp. Os dados dessas variáveis possibilitam estimar as características físicas do canal em nível de margens plenas e ajudam a determinar a forma de um curso d'água natural.

O entendimento da variação e configuração da forma do canal fluvial pode ser útil em diversos contextos, e relevante para o manejo dos recursos hídricos, a exemplo cita-se a captação de água para abastecimento público. A escolha dos locais de captação de água leva em consideração margens e leito do canal fluvial estáveis, em

contrapartida, em canais associados à instabilidade das margens e do leito apresentam um aumento significativo na quantidade de sedimentos em suspensão na água, prejudicando a qualidade da água bruta e acarreta em custos adicionais no processo de tratamento.

Entre os estudos que investigam os impactos da urbanização em canais fluviais, destaca-se a geometria hidráulica em nível de margens plenas, teoria que tem como expoentes Leopold e Maddock (1953). Christofolletti (1981) também estimula estudos sobre geometria hidráulica como um mecanismo importante para subsidiar a compreensão do fluxo d'água, como agente modificador do canal.

Nesse contexto, utilizou-se da geometria hidráulica em nível de margens plenas para diagnosticar impactos ambientais nos sistemas fluviais que drenam o perímetro urbano de Jandaia do Sul/PR. A mensuração e aferição das seções transversais estudadas, foram realizadas nos meses de janeiro e fevereiro do ano de 2022.

Observa-se que o objetivo geral é identificar os impactos ambientais na morfologia dos cursos fluviais (ajuste/desajuste) localizados na área urbana de Jandaia do Sul. E, caso exista interesse e políticas públicas engajadas com o meio ambiente ecologicamente equilibrado, o presente estudo poderá servir de subsídio na prevenção e mitigação de problemas ambientais e no planejamento do espaço urbano, contribuindo para a existência de cidades mais sustentáveis.

E os objetivos específicos consistem em apresentar a dinâmica da geomorfologia fluvial, por meio da comparação da geometria hidráulica ao longo do perfil longitudinal em nível de margens plenas nos canais fluviais urbanos (seções transversais abertas e fechadas); caracterizar os aspectos ambientais e urbanos da área de estudo (Jandaia do Sul), que correspondem a Ribeirão Marumbi, Ribeirão Cambará, Ribeirão Rochedo, Córrego Lapuna e Córrego Siriema; mapear as intervenções de obras setoriais de engenharia nos canais fluviais urbanos de Jandaia do Sul; identificar a relação de impactos dos resíduos sólidos urbanos nos canais fluviais urbanos.

Apresentaremos, portanto, os resultados da pesquisa, que contou com o fomento financeiro da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul - FUNDECT; e, com os métodos quali-quantitativos utilizados, pudemos espacializar e identificar os impactos ambientais negativos, oriundos do processo de urbanização.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo, apresenta-se um panorama de caracterização da área de estudo, possibilitando a compreensão das características que remontam à formação histórica do município social e econômica, bem como o entendimento dos aspectos físicos da área de estudo.

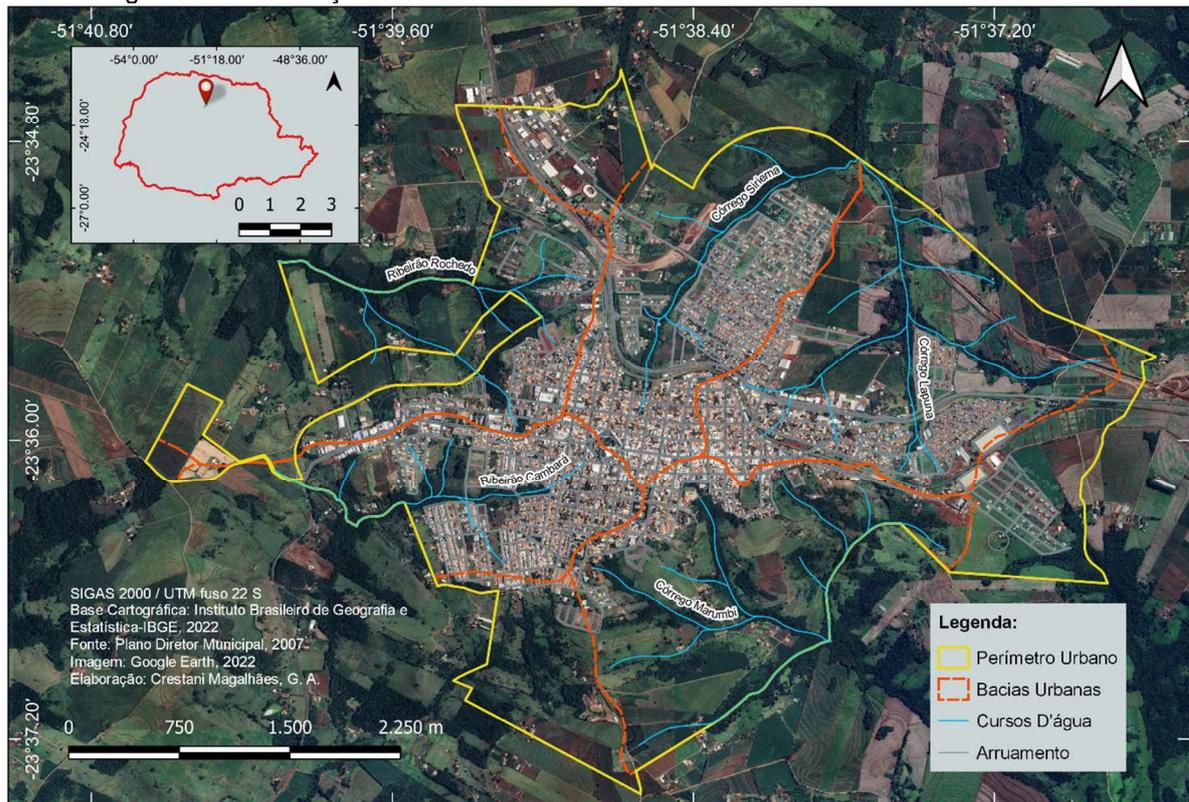
2.1 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS HISTÓRICOS DA OCUPAÇÃO DE JANDAIA DO SUL

O município de Jandaia do Sul faz parte da Mesorregião Norte Central Paranaense, limita-se ao Norte com Mandaguari, a Leste com Cambira, ao Sul com Marumbi e a Oeste com Bom Sucesso, possuindo uma área territorial equivalente a 189,023 km² (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, 2022) e uma população estimada de 21.281 habitantes, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE (Brasil, 2021).

A área de estudo compreende o perímetro urbano de Jandaia do Sul, com aproximadamente 17,028 km². A cidade está assentada no divisor de águas entre as bacias hidrográficas dos rios Pirapó (Norte) e Ivaí (Sul). No perímetro urbano, encontram-se inúmeras nascentes, tais como: córregos Lapuna e Siriema, afluentes da Bacia do Rio Pirapó, e as nascentes dos ribeirões Rochedo, Cambará e Marumbi, afluentes da Bacia do Rio Ivaí.

Nesse contexto, as bacias hidrográficas inseridas no perímetro urbano de Jandaia do Sul (Figura 1) foram escolhidas como área de estudo, pois, em linhas gerais, apresentam vários impactos ambientais negativos decorrentes do processo de urbanização: impermeabilização/compactação de encostas; assoreamento dos canais fluviais; vegetação ciliar insipiente; despejo de efluentes diversos e resíduos sólidos urbanos ao longo dos canais fluviais.

Figura 1 – Localização da área de estudo / Perímetro urbano de Jandaia do Sul-PR



Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Quanto ao processo histórico de formação da cidade, o projeto original escolhido para a implantação do sítio urbano é praticamente plano, mas cercado por áreas de alta declividade. Trata-se de um limitador da sua expansão urbana. Essas características do relevo, associadas a expansão da malha urbana, trouxeram inúmeros problemas socioambientais à cidade. De modo a entender o contexto da área de estudo, é necessário contextualizar o processo de ocupação e de urbanização de Jandaia do Sul.

A ocupação da região iniciou-se em 1925, com a aquisição de terras no Norte do Paraná por um grupo de investidores ingleses que fundaram a Paraná Plantations Ltda, empresa que visa desenvolver a cultura do algodão. Com o declínio dessa atividade econômica, a empresa transformou a região em um grande projeto de colonização por meio de sua subsidiária brasileira Companhia de Terras Norte do Paraná – CTNP (Tomazi, 2000).

Com o advento da Segunda Guerra Mundial e a crise produzida em função dela, a companhia inglesa foi vendida em 1944 a um grupo de investidores paulistas, passando a ser denominada Companhia de Melhoramentos Norte do Paraná (CMNP), dando prosseguimento ao projeto colonizador da região.

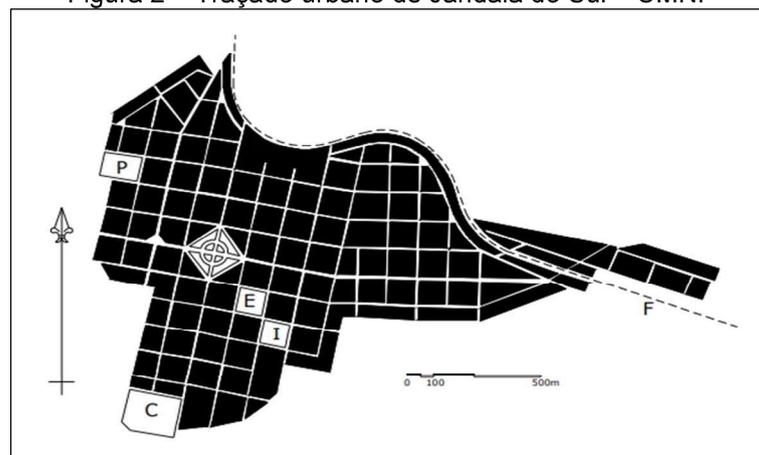
No projeto de colonização da Companhia, estava a construção da estrada de ferro e a fundação de cidades no eixo que se estendia entre Londrina e Umuarama. A fundação desses núcleos urbanos fazia parte do plano da Companhia de lotear e vender glebas destinadas ao cultivo de café.

A topografia influenciou diretamente a disposição dos núcleos urbanos, que se localizam ao longo do traçado da ferrovia estendidos sobre os espigões e divisores de águas. Fato também observado na organização espacial das cidades, havendo, a cada 100 km, grandes centros urbanos (Londrina, Maringá, Cianorte e Umuarama) destinados a serem centros econômicos regionais de maior importância (CMNP, 1975, p. 76). Ademais, há alguns núcleos urbanos menores a cada 15 km focados no abastecimento das populações rurais (Rego *et al.*, 2004; Carvalho, 2000).

Além da localização espacial dos assentamentos urbanos, a Companhia também exercia a tarefa de planejar o espaço urbano. As plantas dos ordenamentos urbanos apresentam forma geométrica do traçado que acompanha a topografia do relevo da área.

Segundo Müller (2001, p. 108), “todos os centros urbanos criados pela CMNP contam com plantas que denunciam terem sido planejadas com antecedência”. A Figura 2 mostra a planta do projeto do núcleo urbano de Jandaia do Sul, demonstrando que foi uma área urbana projetada pela CMNP.

Figura 2 – Traçado urbano de Jandaia do Sul – CMNP



Fonte: Rego (2006, p. 99)

Embora as cidades apresentassem um desenho urbanístico no traçado de ruas, quadras e praças, seu planejamento não considerou os elementos naturais da

área (nascentes, rios, vegetação), o que desencadeou consequências ambientais à medida em que os núcleos urbanos foram se expandindo.

Conforme afirma Pelegrini (2005, p. 15), “faz-se necessário lembrar que a ocupação promovida pela citada Companhia, embora empreendedora, não vislumbrava na época cuidados expressivos com o ecossistema existente na região”.

Nesse contexto, o município de Jandaia do Sul teve sua criação e seu desenvolvimento atrelados à expansão da economia cafeeira, associados a um planejamento de ocupação territorial que oferecia infraestrutura viária e facilidade do acesso à terra em uma região com solos férteis. Esses fatores impulsionaram levas de imigrantes a se fixarem na região, produzindo um crescimento substancial da população rural o qual perdurou até os anos 60.

No início da década de 1960, contudo, os crescentes problemas de comercialização do café levaram o Governo Federal a adotar uma política de incentivo à erradicação dos cafezais. O Grupo de Erradicação e Racionalização da Cafeicultura (GERCA) foi criado em 1962 e é um órgão atrelado ao Instituto Brasileiro do Café (IBC). Os agricultores, que já enfrentavam dificuldades na cultura, decorrentes da redução da fertilidade dos solos, da ocorrência de geadas e do aumento dos custos de produção, aderiram, então, ao plano de erradicação dos cafezais.

Esse cenário trouxe significativas mudanças na estrutura produtiva do Norte do Paraná, com a substituição das lavouras de café, que absorviam grande parte da mão de obra, por lavouras mecanizadas (soja, milho), provocando transformações profundas na dinâmica populacional de toda a região.

Conforme evidenciado na Tabela 1 e no gráfico da Figura 3, é possível notar uma tendência de redução no número de habitantes na área rural do município ao longo das décadas, ao passo que a área urbana apresenta um crescimento populacional contínuo. Além disso, Tabela 1 e no gráfico da Figura 3 representam a dinâmica populacional do município de Jandaia do Sul nas últimas cinco décadas, destacando uma drástica diminuição da população rural no final dos anos 60 e início dos anos 70.

A combinação desses fenômenos políticos e econômicos afetou a dinâmica estrutural da população de Jandaia do Sul, que viu sua área rural ser reduzida drasticamente com o processo do êxodo rural. Embora a população urbana tenha demonstrado um crescimento desde a década de 1960, a sede municipal não foi o destino daquela, que se deslocava da zona rural para o meio urbano em busca de

novas oportunidades de trabalho, porque a economia do município não dispunha de indústrias que pudessem absorver a mão de obra excedente.

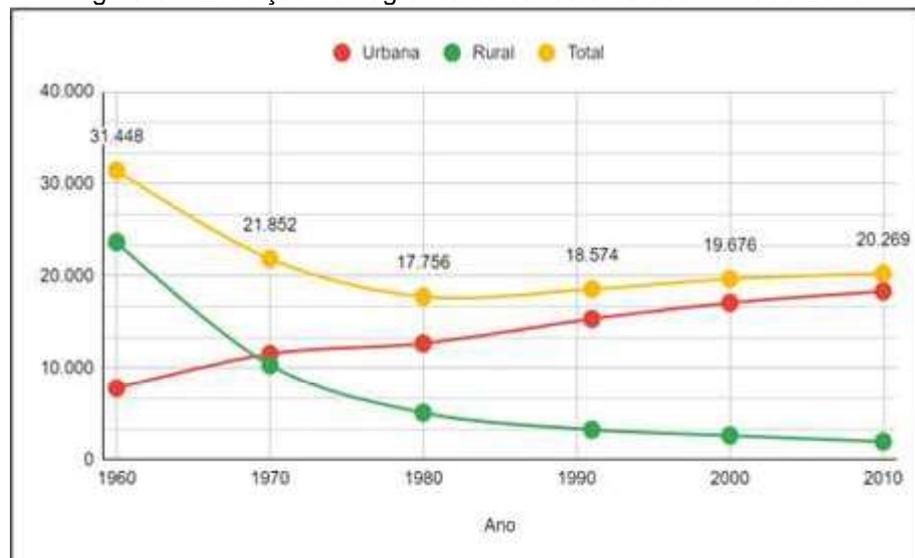
Tabela 1 – Evolução Demográfica do Município de Jandaia do Sul/PR 1960-2010

População	1960	1970	1980	1991	2000	2010
Urbana	7.767	11.543	12.685	15.340	17.079	18.331
Rural	23.681	10.309	5.071	3.234	2.597	1.938
Total	31.448	21.852	17.756	18.574	19.676	20.269

Fonte: IBGE, Censos Demográficos de 1960, 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010

Nota: Organizado pelo autor

Figura 3 – Evolução demográfica de Jandaia do Sul/PR 1960-2010



Fonte: IBGE, Censos Demográficos de 1960, 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010

Nota: Organizado pelo autor (2022)

Destarte, o processo que sucedeu posteriormente e a demanda populacional que deixava o campo em direção a área urbana, fez com que a cidade se expandisse sem levar em consideração as características naturais e ambientais da área, temática que será abordada no tópico seguinte.

2.2 GEOLOGIA

A constituição geológica da região Norte Central Paranaense insere-se no contexto da Formação Serra Geral. Ela é constituída por extensos derrames de rochas vulcânicas básicas que ocupam cerca de 53% do território paranaense e cobrem

grande parte da Bacia Sedimentar do Paraná, resultantes do intenso vulcanismo continental ocorrido no período Jurássico/Triássico (Minerais do Paraná S.A., 2006).

A Formação Serra Geral possui espessuras que variam de 30,0m a 40,0m formadas por camadas de derrames sucessivos. As regiões com grande número de pequenos derrames se ressaltam pelas formas tabulares do relevo, apresentam zonas de alta declividade nas escarpas, enquanto as zonas com derrames espessos e extensos apresentam relevos mais suaves (Minerais do Paraná S.A., 2006).

A constituição geológica da área de estudo está assentada sobre o manto de rochas basálticas da Formação Serra Geral, Grupo São Bento, fruto do intenso vulcanismo continental ocorrido no período Jurássico/Triássico. Caracteriza-se por rochas efusivas básicas toleíticas, com basaltos maciços e amigdaloides, típicos de zonas de contato entre derrames, e de textura de afaníticos, cinzentos a pretos, raramente andesíticos, advindos de derrames de vulcanismo de fissura continental (Minerais do Paraná S.A., 2006).

As rochas da Formação Serra Geral possuem baixa vulnerabilidade ao intemperismo e à erosão, com a presença de solos litólicos e de afloramentos de rochas, principalmente em zonas de relevo ondulado e montanhoso, com declividades acima de 20,0%.

É importante destacar que a geologia de Jandaia do Sul também está associada à presença de aquíferos, que são importantes fontes de água para abastecimento público e atividades agrícolas na região.

Em suma, a compreensão da formação geológica da área de estudo contribui para a compreensão da história geológica da região e têm implicações importantes em termos de recursos hídricos estudados neste trabalho.

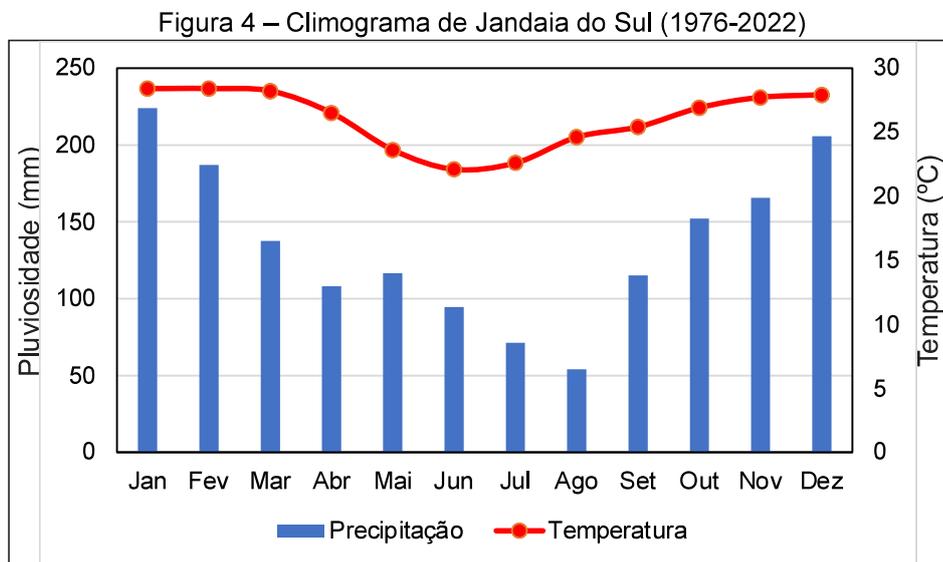
2.3 CONTEXTO CLIMÁTICO

Em relação aos aspectos climáticos de Jandaia do Sul, vê-se que estão condicionados significativamente pela sua posição geográfica. O município situa-se no Norte do Estado do Paraná, região que é área de atuação dos sistemas extratropicais e condiciona a clima subtropical (Monteiro, 1963).

De acordo com o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), segundo a classificação de Köppen, o clima regional predominante é do tipo Cfa, subtropical mesotérmico, com média mais quente do mês superior a 22°C e mais fria do mês

inferior a 18°C. Há também geadas pouco frequentes e verões quentes com tendência de concentração das chuvas e sem estação seca definida. As precipitações médias anuais variam de 1.400 mm a 1.800 mm, com evapotranspiração média de 1.100 mm a 1.300 mm e umidade relativa do ar entre 70% e 80% (Caviglione *et al.*, 2000; Maack, 2002; Aparecido *et al.*, 2016).

A Figura 4 apresenta os dados de temperatura e pluviosidade média mensal para Jandaia do Sul, período compreendido entre 1976 e 2022, tendo como base dados do IAPAR. No período, a temperatura média anual foi de 26°C e pluviosidade média anual de 1631 mm.



Fonte: IAPAR (2022)

Nota: Organizado pelo autor (2022)

O entendimento do contexto climático da área de estudo contribui para a compreensão do regime hidrológico da região e implicações importantes que estão relacionadas aos canais fluviais estudados neste trabalho.

2.4 VEGETAÇÃO

O Centro Norte Paranaense encontra-se sob domínio da Floresta Tropical Atlântica, recobrando grande parte da Bacia Sedimentar do Paraná. O Norte Paranaense apresenta dois conjuntos vegetacionais pertencentes ao Bioma Mata Atlântica, sendo:

- Floresta Estacional Semidecidual Submontana: caracterizada pela dupla estacionalidade climática, com invernos secos e verões chuvosos. Sua presença

estende-se nas regiões norte e oeste do estado do Paraná e nos vales dos rios pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Paraná, em altitudes abaixo de 800 m, sendo comum a ocorrência eventual de geadas. A vegetação está condicionada a um período de baixa precipitação pluviométrica, cerca de 20% a 50% das árvores dossel da floresta perdem suas folhas, modificando a fisionomia da vegetação. Podem ser encontrados diferentes tipos de formação vegetal de acordo com sua altitude, podendo ser aluvial, de terras baixas, montana e submontana – esta última abrange as regiões norte e oeste, onde as altitudes variam entre 800 m e 200 m (Roderjan *et al.*, 2002).

- Floresta Ombrófila Mista: vegetação tropical e subtropical com a presença da espécie arbórea Araucária. Está associada a climas mais frios e topografias mais elevadas, estende-se pelos três planaltos paranaenses (Maack, 2002). A Floresta Ombrófila Mista está circunscrita a uma região de clima pluvial subtropical, ocorrendo abaixo do Trópico de Capricórnio, em altitudes que variam de 500 m a 1200 m, havendo relictos dessa floresta em regiões adjacentes (Hueck, 1953).

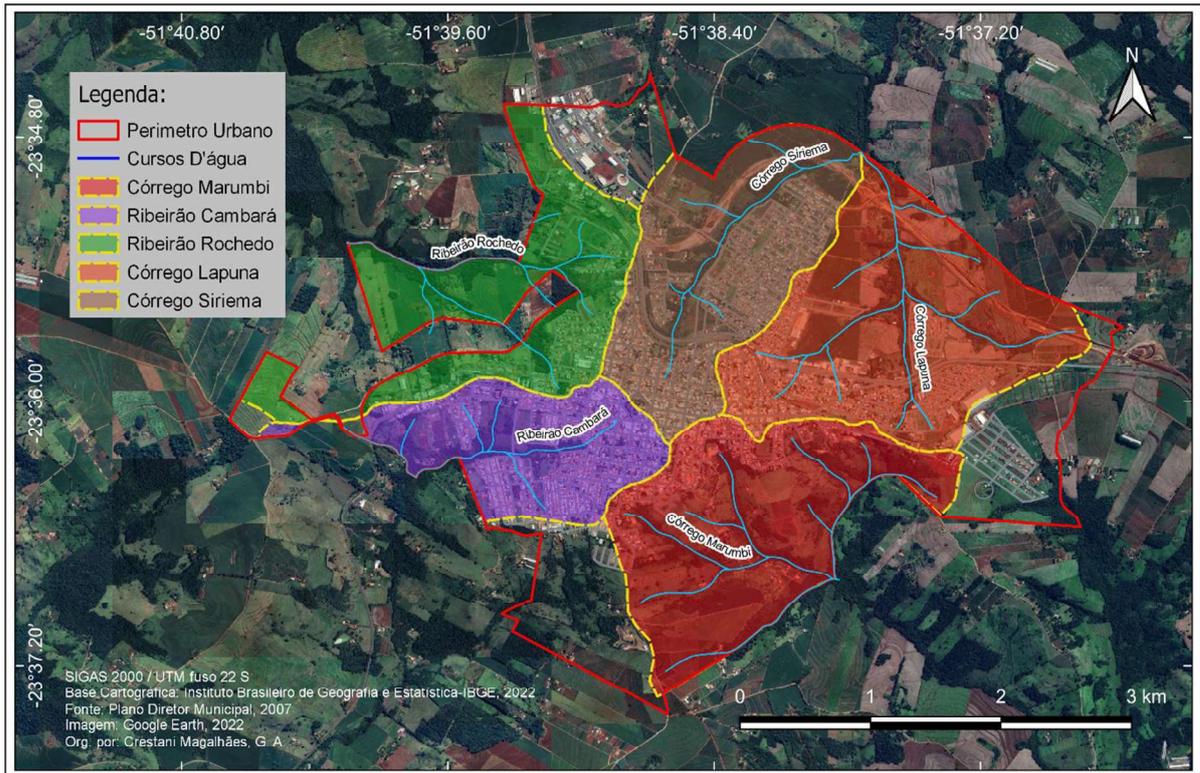
A vegetação desempenha um papel fundamental no que tange a proteção dos canais fluviais, sendo assim, o entendimento da cobertura vegetal da área de estudo é determinante para compreender a relação que as áreas naturais exercem na dinâmica dos canais fluviais.

2.5 CARACTERIZAÇÃO DO RECORTE DAS BACIAS URBANAS

A área urbana do município de Jandaia do Sul está dividida em nove bacias, que drenam em direção ao Norte – Rio Pirapó (6,94 km² com 42,42%) – e Sul/Sudeste – Rio Ivaí (9,42 km² com 57,58%). Os cursos fluviais que drenam a área urbana possuem 30,20 km e uma densidade de drenagem de 1,84 km/km². O padrão de drenagem predominante é a do tipo dendrítico, relacionada às características do substrato rochoso basáltico de resistência homogênea.

O sítio urbano assenta-se sobre um platô que se encontra em grande parte urbanizado, tornando os setores localizados a jusante receptores das águas pluviais oriundas da área urbana impermeabilizada, que adentra aos canais por meio de galerias pluviais (Figura 5). Tal funcionamento potencializa processos erosivos das encostas e dos trechos fluviais.

Figura 5 – Trecho urbano dos canais fluviais



Fonte: Organizado pelo autor (2023)

A Tabela 2 apresenta a porcentagem de drenagem das bacias hidrográficas presentes no perímetro urbano.

Tabela 2 – Porcentagem de drenagem das bacias hidrográficas (Perímetro Urbano)

Bacia	(%)	Bacias Hidrográficas	(%)
Ivaí	57,58	Marumbi*	16,56
		Cambará*	12,65
		Rochedo*	17,54
		Barroco	5,93
		Mitronia	4,89
Pirapó	42,42	Lapuna*	20,17
		Siriema*	16,32
		Iracema	2,02
		Orquídea	3,91

Fonte: Organizado pelo autor (2022)

Desse modo, o recorte urbano das bacias, constituem nas áreas onde existem maior vulnerabilidade socioambiental, estando sujeito a uma série de impactos ambientais em especial relacionadas às alterações geomorfológicas.

3 DINÂMICA DA GEOMORFOLOGIA FLUVIAL: CONSIDERAÇÕES SOBRE A GEOMETRIA HIDRÁULICA

Este capítulo busca caracterizar as forças naturais e as ações humanas presentes na dinâmica da paisagem nos ambientes fluviais, bem como sua relação com a geomorfologia fluvial na esculturação do canal. Aplicam-se, para isso, métodos da geometria hidráulica e sua contribuição para o entendimento de como as forças internas e externas, que atuam no canal, têm relação na esculturação e nas características geométricas do canal fluvial.

3.1 CICLO HIDROLÓGICO

A água é um elemento indispensável para as atividades humanas, sendo fator preponderante para o surgimento e o desenvolvimento de várias civilizações ao longo da história. Esse cenário possibilitou que estas produzissem condições para garantir sua permanência e sua sobrevivência no território ocupado – civilizações hidráulicas (Torres; Machado, 2001).

Notadamente, esse recurso tem potencial estratégico nas mais diversas sociedades modernas, seja na indústria, na geração de energia, na agricultura, entre outras atividades essenciais para o desenvolvimento econômico e social. Sua disponibilidade, entretanto, está condicionada a fatores naturais presentes no Ciclo Hidrológico: “O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e a rotação da Terra” (Silveira, 1993, p. 35).

O Ciclo Hidrológico tem origem na evaporação das águas, com posterior formação de nuvens (condensação) e, finalmente, a precipitação, quando novamente o ciclo tem início (Torres; Machado, 2001). Esse processo é responsável pela renovação da água no planeta, encontrada na natureza em seu estado sólido, líquido e gasoso, elemento presente na atmosfera, na superfície terrestre e no subsolo, além dos oceanos, mares e rios.

Esse fenômeno global é constituído de processos que ocorrem na natureza atrelado ao movimento e às trocas de água em seus diferentes estados naturais,

sofrendo interação dos componentes do meio físico, biótico e antrópico. Segundo Kobiyama *et al.* (2008, p. 47):

Os componentes desse ciclo denominam-se os processos hidrológicos. Entre eles, a condensação, precipitação, interceptação, infiltração, detenção, percolação, escoamentos superficiais e subsuperficiais, escoamento subterrâneo, escoamento fluvial e evapotranspiração (evaporação + transpiração).

Assim, a água atua na dinâmica da natureza, movimentando, circulando e se transformando, sempre presente nas três unidades que compõem o planeta Terra: a atmosfera, que corresponde a camada gasosa circundante ao planeta; a hidrosfera, composta pelas águas oceânicas e continentais; e a litosfera, composta pela crosta terrestre da qual se origina o ciclo contínuo das águas. Resumidamente, o ciclo hidrológico possui fundamentalmente os seguintes elementos: radiação solar, evapotranspiração, condensação, precipitação, interceptação, infiltração e escoamento.

A radiação solar é o aspecto fundamental do ciclo hidrológico, sendo a principal força que compõe esse processo. Abrange a absorção da energia solar que produz o aquecimento da água provocando sua evaporação (Lohmann; Feichter, 2005; Oki; Kanae, 2006). Esta é liberada na atmosfera em enormes quantidades de vapor d'água, depois, esse vapor se condensa e, posteriormente, dá origem às nuvens e às precipitações.

Evapotranspiração é o termo usado para denotar a evaporação associada à transpiração da vegetação. E consiste no conjunto de processos físicos que transformam a água em estado líquido ou sólido em vapor, processo impulsionado pela radiação solar. Já a transpiração remete às ações físicas e aos processos fisiológicos em que a vegetação retira a água existente no solo e a libera em forma de vapor d'água para a atmosfera através dos estômatos presentes nas folhas das plantas. Esses processos são responsáveis pela transformação em vapor atmosférico da água precipitada na superfície terrestre (Tucci; Beltrame, 2000).

A condensação é o processo em que a água em estado gasoso, ou vapor d'água, presente na atmosfera, condensa-se e se transforma em estado líquido, atingindo a superfície em forma de chuva (Tubelis, 1984).

Designa-se “precipitação” o processo de queda de gotas de água na superfície mediante a ação gravitacional e o tamanho do diâmetro dessas gotas. A precipitação

também pode ocorrer através da precipitação nival: “Quando as partículas d'água, de que são compostas as nuvens, se condensam mais vigorosamente, avolumam-se e, perdendo o apoio da atmosfera, caem sobre a terra” (Ministério da Agricultura, 1969, p. 73).

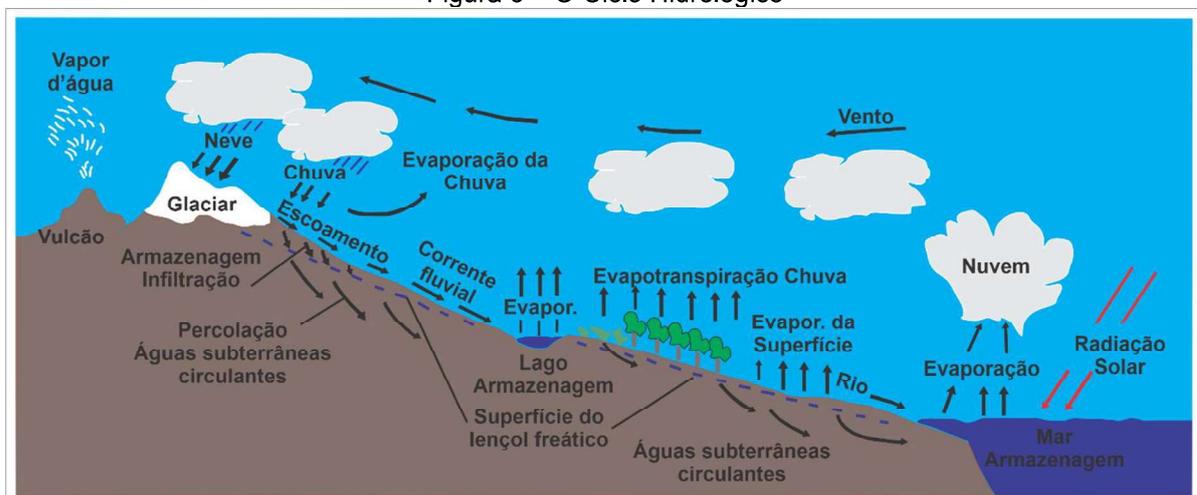
A interceptação é a capacidade de retenção das chuvas na vegetação, sendo que esta serve como um obstáculo antes de as gotículas atingirem o solo, retendo parte da precipitação nas copas das árvores. Esse processo está condicionado às características da precipitação, das condições climáticas e a quão densa é a vegetação atrelada ao seu comportamento com relação às estações do ano (Tucci, 2000).

Entende-se por infiltração o processo no qual uma parcela de água penetra nas camadas de solo através de fissuras presentes (ação da gravidade), sendo responsável pelo abastecimento do lençol freático e pela recarga de aquíferos. Tem influência direta no escoamento superficial e na erosão do relevo pelas águas (Tucci; Beltrame, 2000).

E o escoamento condiz ao deslocamento da água sobre a superfície terrestre, decorrente do aumento do volume de água precipitada no solo. Quando excede sua capacidade de absorção, dá origem ao escoamento superficial, que segue em direção às áreas de maior declividade até desembocar em rios (Tucci, 2000).

Uma vez elencados os elementos que compõem o ciclo hidrológico, de forma esquematizada propomos a análise da Figura 6, que exemplifica o processo mencionado.

Figura 6 – O Ciclo Hidrológico



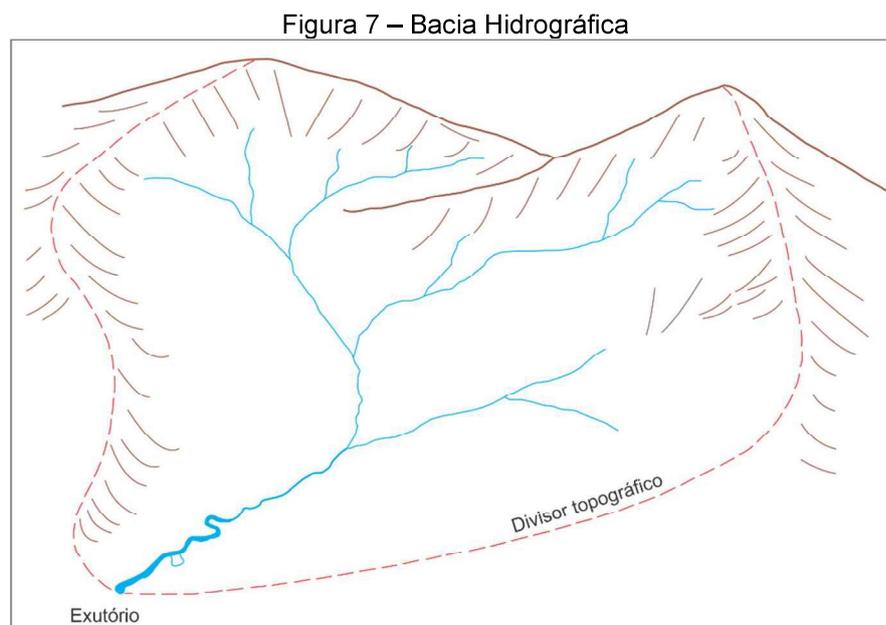
Fonte: Adaptado de Torres e Machado (2001)

Os estudos referentes ao ciclo hidrológico têm mais ênfase na fase terrestre, o que envolve o intercâmbio entre os aspectos hidrogeomorfológicos, tendo como elemento de análise a bacia hidrográfica, que será elemento analisado na seção seguinte.

3.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS

A bacia hidrográfica foi definida como Unidade de Planejamento e Implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, pela Lei Federal n. 9.433 de 1997. A partir dessa lei, os recursos hídricos passam a ser um bem de domínio público, em que sua exploração está condicionada à adoção de um planejamento do uso da água (Brasil, 1997).

A bacia hidrográfica também pode ser nominada como bacia de drenagem, compreendida como uma unidade fisiográfica complexa, topograficamente definida, abrigoando a existência de cabeceiras ou nascentes, divisores de água, cursos d'água principal, afluente e subafluente que formam uma rede de drenagem que confluem até resultar um leito único no exutório (Silveira, 1993; Botelho; Silva, 2012) – como no exemplo a seguir:



Fonte: Adaptado de Charlton (2008)

Na geografia física, o conceito de bacia hidrográfica é aliado à definição de “unidade físico-territorial”, com enfoque no planejamento e em estudos de impactos

ambientais, em que é possível abordar uma série de intervenções, em especial, no que tange ao gerenciamento dos recursos hídricos e sua relação com o espaço urbano.

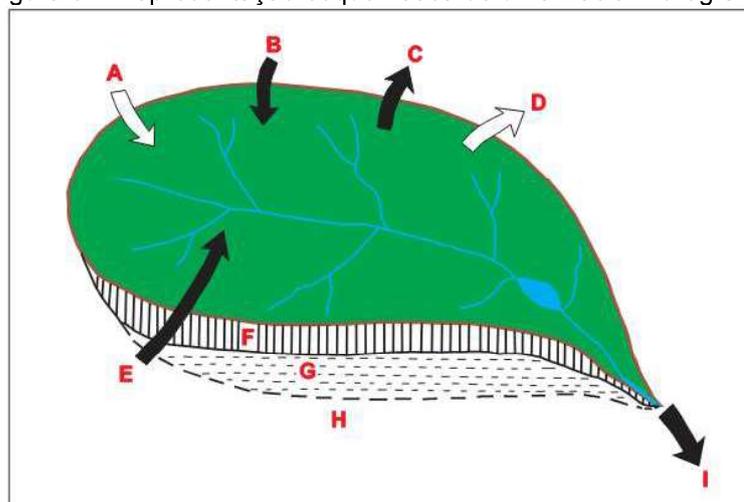
Segundo Espíndola *et al.* (2000), os sistemas fluviais caracterizam-se por serem abertos, ocorrendo troca de energia e matéria no próprio sistema. Além disso, nos ecossistemas terrestres adjacentes, ocorrem alterações de diversos tipos em virtude dos usos do solo e das atividades antropogênicas neles desenvolvidos.

Segundo Christofolletti (1979; 1980; 1999) e Guerra e Cunha (2004), a bacia hidrográfica é considerada um sistema não-isolado, pois estabelece relações com outros sistemas, em função das trocas de energia e matéria (*inputs* e *outputs*). Está, ainda, suscetível à entrada e à saída de energia advinda do clima e das tectônicas locais, desencadeando ajustes/desajustes no seu interior.

A bacia hidrográfica pode ser entendida, portanto, como elemento natural que integra relevos, solos, vegetação etc. Mas, também, emergem dos processos geomorfológicos, hidrológicos e socioambientais, oriundos das intervenções humanas como edificações e arruamentos, por exemplo (Menezes; Salgado, 2018).

Para melhor compreender os agentes da dinâmica no sistema da bacia hidrográfica, a Figura 8, de forma esquemática, apresenta: (A) energia radiante, (B) precipitação, (C) evapotranspiração, (D) energia latente, (E) material intemperizado, (F) armazenamento de umidade de solo, (G) armazenamento de água subterrânea, (H) material fonte, (I) descarga, transporte de sedimentos em suspensão, dissolvido e de fundo (Guerra; Cunha, 2004).

Figura 8 – Representação esquemática de uma Bacia Hidrográfica



Fonte: Adaptado de Guerra e Cunha (2004)

Guerra e Cunha (2004) ressaltam que, embora as mudanças ocorridas no interior das bacias hidrográficas tenham causas naturais, a ação antrópica nas últimas décadas acelerou os processos modificadores e de desequilíbrio da paisagem, afetando suas estabilidades.

Essas alterações tendem a produzir um rompimento do estado de equilíbrio dinâmico, obrigando o rio a buscar um novo ajuste e estabilidade a partir do grau de energia recebida. O que significa dizer que qualquer alteração significativa em uma bacia hidrográfica, seja na estrutura de relevo, ou no uso e na ocupação do solo, pode desencadear impactos diretos sobre os recursos hídricos a jusante e aos fluxos energéticos de saída (Botelho, 2011; Silva, 2016).

Isso porque, nas áreas urbanas, as bacias hidrográficas são marcadas por grandes alterações naturais, associadas ao intenso processo de ocupação, como aterramento, cimentação do solo, diminuindo a impermeabilidade e aumentando o escoamento superficial, a canalização e a retificação da rede de drenagem, que modificam o funcionamento da bacia (Botelho; Silva, 2012).

Observa-se que a influência urbana no uso do solo gera primeiramente uma grande quantidade de sedimentos, causando o assoreamento e a modificação da morfologia dos canais fluviais.

Diante desse fenômeno, Paul e Meyer (2001) desenvolveram um estudo sobre a tendência de alargamento e aprofundamento do canal fluvial das bacias urbanas, identificando menor vazão de pico e de intensidade. Observando, ainda, que as bacias hidrográficas em ambientes urbanos se apresentam bastante modificadas e impactadas pelo processo de urbanização.

Para Pessoa e Façanha (2015), a bacia hidrográfica urbana refere-se às bacias que se encontram restritas à área de abrangência do município, cujos recursos hídricos estão suscetíveis aos impactos do processo de urbanização.

Essas características diferenciadas das bacias urbanas decorrem das modificações nos sistemas naturais, até certo ponto, feitas pelos sistemas antropogênicos (Peixoto; Silveira, 2017). Isso não significa dizer que a urbanização interrompe os processos naturais, mas interfere na disposição das coisas, alterando paisagens, solo, geomorfologia, vegetação, fauna, hidrografia, ar e clima (Tucci, 2007).

A complexidade dessas alterações antropogênicas reflete diretamente na hidrologia urbana, com o aumento de enchentes e inundações, como consequência

de uma natureza que foi modificada, com a conseqüente instabilidade e desequilíbrio dos recursos hídricos.

A bacia hidrográfica tem relação direta com o canal fluvial, que envolve a relação entre estrutura, largura, profundidade e forma do canal, estando estes relacionados à dinâmica hidrogeomorfológica, tema discutido na seção seguinte.

3.3 DINÂMICA DO CANAL FLUVIAL

A ação humana exerce profundos impactos nas características dos rios à medida que eles atravessam as áreas urbanas. Essas mudanças afetam tanto a qualidade da água quanto a morfologia dos cursos d'água.

A dinâmica fluvial é um processo complexo, influenciado por uma série de fatores interconectados. Um dos principais determinantes da dinâmica fluvial é o clima, que engloba variáveis como precipitação, evapotranspiração e radiação solar. A geomorfologia da região desempenha um papel importante, bem como a geologia e a litologia do solo. Assim como a cobertura vegetal, o uso do solo e as atividades humanas também têm um impacto significativo.

A vazão, ou débito, de um canal é uma das propriedades mais cruciais que influenciam a dinâmica fluvial. Ela se refere à quantidade de água que passa por uma seção transversal do rio em um determinado período. A vazão varia ao longo do ano, dando origem a diferentes regimes fluviais, conhecidos como regime cheia e vazante.

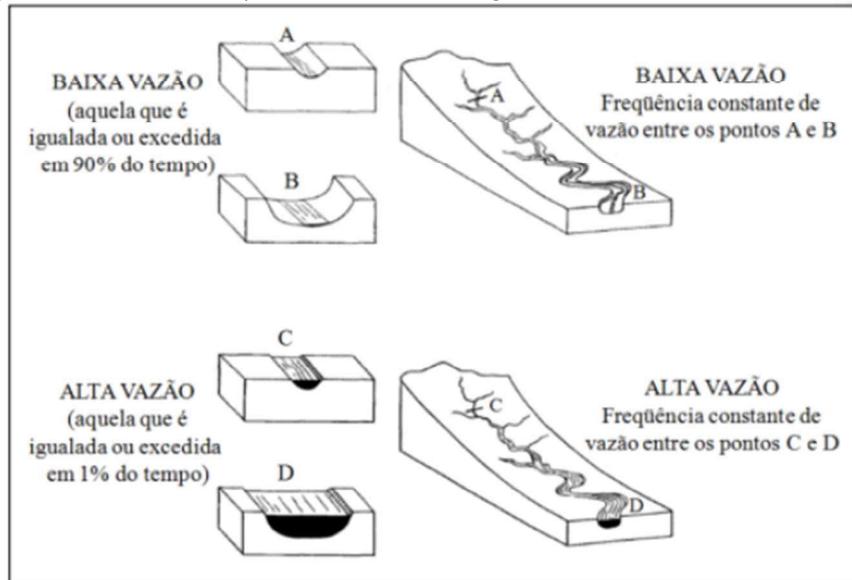
Essas variações sazonais no nível da água desempenham um papel fundamental na manutenção do equilíbrio do sistema fluvial. No entanto, quando as atividades humanas interferem na vazão natural dos rios, por exemplo, por meio da construção de obras de engenharia, como barragens, isso pode desencadear sérias conseqüências para a morfologia do canal.

O acompanhamento das vazões médias, mínimas e máximas ao longo do ano desempenha um papel vital na identificação dos diferentes estágios que um rio atravessa (períodos de seca, estiagem e cheias) e suas implicações específicas. O estudo e compreensão dessa dinâmica fluvial têm relevância significativa para diversos setores da sociedade, tais como a produção de energia elétrica, a construção de obras de engenharia, a irrigação, a navegação, o abastecimento de água, e o planejamento dos recursos hídricos (Tucci, 2003).

O regime fluvial é caracterizado por diferentes classes de vazão ao longo do ano. Ao analisar a frequência dessas classes, é possível construir uma curva de permanência, que relaciona a vazão com sua probabilidade de ocorrência ao longo do tempo. Essa curva é essencial em estudos hidrológicos e é definida com base nas vazões médias diárias durante o período da série histórica.

No estudo dos canais fluviais, além das variações dos débitos na seção transversal individualizada, também é importante considerar as mudanças nas seções transversais ao longo do perfil longitudinal (conforme ilustrado na Figura 9). Nesse contexto, torna-se evidente a diferença de comportamento entre as seções de montante e jusante. Nota-se um aumento nas médias de largura e profundidade, resultando em um aumento correspondente no débito fluvial ao longo do perfil longitudinal (Leopold; Maddock, 1953).

Figura 9 – Vazões nos perfis de montante e jusante e leitos de vazante e cheia



Fonte: Leopold e Maddock (1953)

O débito fluvial em uma seção transversal do canal está intrinsecamente relacionado com o regime fluvial predominante, que pode variar entre vazante ou cheia, e com a posição da seção no perfil longitudinal do rio, que pode ser a montante, intermediária ou a jusante da bacia hidrográfica. Essa relação, conforme destacado por Christofolletti (1981), é de extrema importância para o planejamento de recursos hídricos e a construção de obras de engenharia.

É importante ressaltar que as diferentes características de vazão têm implicações significativas na erosão e no transporte de carga sedimentar em toda a

bacia de drenagem, conforme observado por Grison (2010). Portanto, compreender e analisar a variabilidade das vazões, tanto na seção transversal quanto ao longo do curso do rio, é essencial para uma gestão eficaz dos recursos hídricos e para a preservação do ambiente fluvial.

Na análise dos rios, diferentes características geomorfológicas podem se manifestar ao longo do seu perfil longitudinal. Um desses aspectos cruciais é o padrão do canal fluvial, que se refere à organização espacial da calha de um rio. Entre a variedade de padrões de canal fluvial, aqueles que representam formas limiaries incluem os padrões retilíneos, meandros, entrelaçados e anastomosados. Cada um desses padrões resulta de uma interação específica dos processos fluviais.

É importante observar que a transição entre esses padrões é um reflexo direto da dinâmica fluvial. À medida que diferentes segmentos do rio experimentam processos distintos, ocorre uma sucessão de padrões de canal. Isso significa que um único rio pode exibir uma variedade de padrões ao longo do seu perfil longitudinal, cada um revelando aspectos únicos da sua evolução e comportamento fluvial.

Portanto, a compreensão da dinâmica fluvial é essencial para o planejamento e a gestão sustentável das áreas urbanas que interagem com rios e cursos d'água. A busca por um equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e a preservação dos ecossistemas aquáticos é um desafio importante para as comunidades que dependem desses recursos hídricos.

A gestão de políticas públicas as quais consigam tratar (e não remediar) os problemas – constantes – nos canais fluviais urbanos, constitui-se um dos grandes desafios para o poder público. Nesse sentido, analisar a dinâmica de canalização e artificialização dos cursos d'água urbanos, se demonstra elemento necessário de estudo, conforme disposto na seção seguinte.

3.4 CANALIZAÇÃO E ARTIFICIALIZAÇÃO DE CURSOS D'ÁGUA URBANOS

O processo acelerado e desordenado da urbanização tem acarretado diversas modificações nas condições ambientais dos sistemas físicos, como a interferência no ciclo hidrológico e a poluição das águas. Segundo Baptista *et al.* (2005, p. 17), “A urbanização implica em alterações significativas no meio ambiente, em particular nos processos hidrológicos, com ação direta nos cursos d'água e nas bacias hidrográficas”.

Esse problema é ainda mais grave em áreas urbanas onde não existem políticas de planejamento de uso e ocupação do solo.

Para Tucci (2002; 2003), a urbanização das cidades brasileiras é marcada pela expansão irregular, com deficitária regulamentação urbana aliada aos projetos de drenagem inadequados, como a canalização e a retificação dos cursos d'água urbanos, que promovem significativos impactos ambientais e sociais.

A produção do espaço urbano sem o ordenamento que considere o ambiente natural traz a estas medidas drásticas, com destaque à impermeabilização de grandes áreas, à canalização e à retificação de cursos fluviais, porque suprimem os ambientes aquáticos da paisagem urbana. Cunha (2008, p. 236) destaca que:

As condições naturais dos rios têm se modificado pela participação antrópica diretamente nos canais, por meio de obras de engenharia, como construções de barragens, pontes e diques, retificações dos leitos, alargamento e aprofundamento da calha.

O conceito de canalização, segundo Walesh (1989) *apud* Canholi (2005), consiste em obras de engenharia praticadas no canal fluvial voltadas à implantação de galerias e de canais de concreto, à retificação de traçado e ao aumento da declividade de fundo dos canais. Tais práticas visam promover o controle de cheias com melhorias na drenagem para o rápido escoamento das águas em direção aos fundos de vale.

As canalizações podem ser caracterizadas como fechadas, abertas ou mistas, podendo ser implementadas em cursos de água de diferentes tamanhos, de pequenos riachos até rios maiores. O tipo de canalização e o formato geométrico interferem diretamente no nível de alteração no curso de água (De Rezende Alvez; Orlando, 2021).

As obras de canalização e de retificação dos cursos d'água alteram significativamente a dinâmica natural dos rios, ocasionando instabilidade em sua dinâmica do fluxo, potencializando o aumento na velocidade do escoamento superficial em picos de cheia, crescendo seu potencial erosivo e o transporte de sedimentos, e, conseqüentemente, temos os fenômenos de enchentes, de inundações e de assoreamento a jusante.

Além do aumento da velocidade e do poder erosivo, as obras de engenharia reduzem e até suprimem a sinuosidade e rugosidade dos canais. De acordo com Petts

e Amoros (1996), trechos fluviais naturais apresentam configuração de sinuosidade com maiores extensões se comparados a canais retificados artificialmente.

No ambiente fluvial equilibrado, os processos de erosão, transporte e deposição, que ocorrem ao longo do perfil longitudinal, atuam para estabelecer o equilíbrio dinâmico do sistema fluvial (Ollero *et al.*, 2009). Com as intervenções antrópicas, os sistemas fluviais reduzem, substancialmente, o tempo de concentração das bacias hidrográficas, produzindo desequilíbrios em sua dinâmica de escoamento – o que obriga o canal fluvial a retornar a um novo equilíbrio adequado às alterações no ambiente.

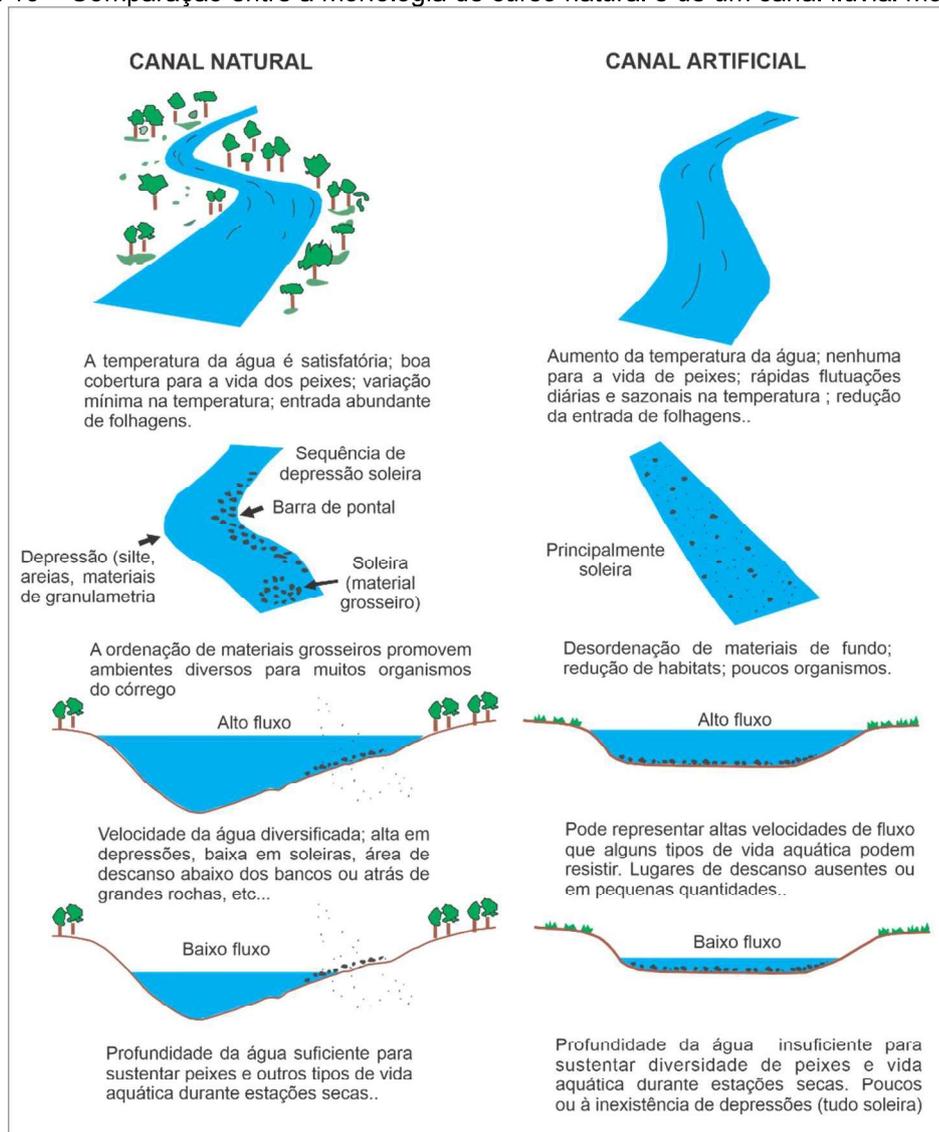
A canalização modifica a morfologia natural do canal fluvial através de obras de engenharia que provocam alterações nas propriedades morfológicas dos cursos fluviais. A seguir, estão listadas as alterações mais comuns realizadas segundo os estudos de Brookes (1985) e Wesche (1985):

- Retificação: remoção de meandros dos rios (diminuição do comprimento do canal), que inclui a construção de um novo canal onde o alinhamento coincida com o do canal natural, alterando o padrão de drenagem.
- Alargamento e aprofundamento: aumento das dimensões do canal, alterando as propriedades geométricas da seção transversal.
- Limpeza do canal: retirada das obstruções do canal e das margens (vegetação e acúmulo de materiais), acarretando o amortecimento da rugosidade do leito com aumento na declividade longitudinal.
- Construção de diques e margens artificiais: recobrimento de margens artificiais com seu recobrimento usando materiais impermeáveis e semipermeáveis (concreto, rochas, madeira).

Esses fatores acentuam o processo de erosão das margens e do leito, aumentando a capacidade de transporte de sedimentos no canal e resultando em maiores taxas de deposição a jusante da área que sofreu modificação (SANDER *et al.*, 2012).

Em projetos de retificação, reveste-se o leito com materiais de baixa rugosidade para reduzir o tempo de permanência da água. Isso visa ao controle de inundações, mas pode aumentar rapidamente o volume de água a jusante, elevando o risco de enchentes. A retificação também altera o padrão do canal, eliminando meandros, encurtando o curso e substituindo o padrão sinuoso por um retilíneo, resultando na redução de depressões e no aumento de soleiras. (conforme ilustrado na Figura 10).

Figura 10 – Comparação entre a morfologia de curso natural e de um canal fluvial modificado



Fonte: Adaptado de Sander *et al.* (2012)

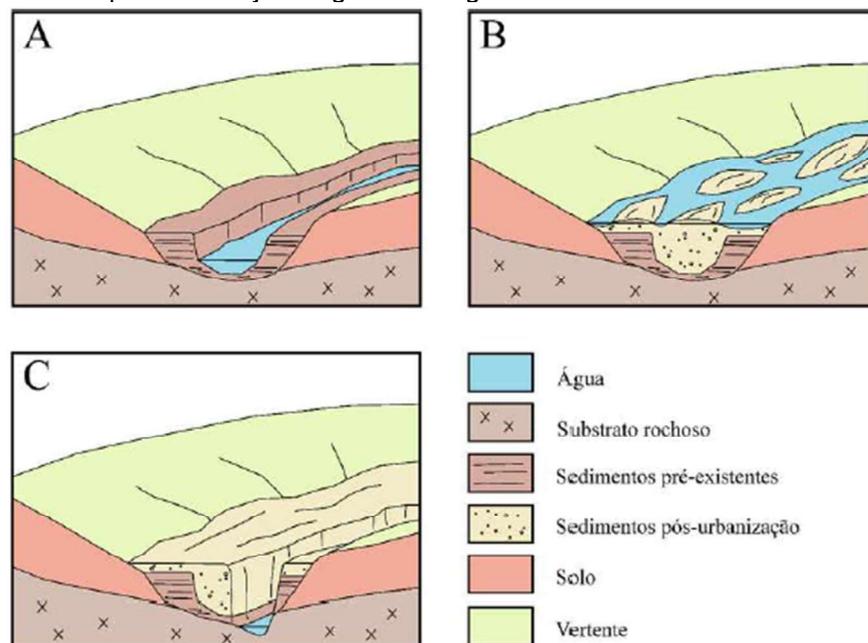
Embora tais medidas estruturais sejam eficientes no controle das águas no meio urbano, são nocivas aos ecossistemas por produzirem alterações drásticas aos sistemas naturais. Essas práticas continuam sendo privilegiadas pelo poder público, mesmo sendo questionadas pela comunidade acadêmica e pela sociedade civil; além de nocivas ao meio ambiente, afetam diretamente a qualidade de vida das populações urbanas de forma cumulativa, uma vez que os impactos são sentidos em áreas rurais e em municípios a jusante.

Desse modo, as áreas urbanas apresentam interferências diretas sobre os canais fluviais, como a canalização, soterramento e construções sobre os canais. Entre consequências mais diretas da urbanização sobre os sistemas fluviais, estão as

mudanças na cobertura do solo desencadeando consequências na hidrologia da bacia (De Moraes; Montanher, 2022).

Entre as consequências da urbanização sobre os sistemas fluviais está o ajuste dos canais fluviais. A Figura 11 representa uma síntese esquemática do modelo de Wolman (1967). O modelo proposto por Wolman sugere que um canal fluvial está em condição estável no período que antecede a pré-urbanização, em que a bacia é ocupada por vegetação natural ou por atividades agropecuárias.

Figura 11 – Sequência de ajustes geomorfológicos de canais fluviais em áreas urbanas



Fonte: Wolman (1967), adaptado de De Moraes e Montanher (2022)

Na Figura 11, é possível observar a sequência de ajustes geomorfológicos do canal fluvial em resposta à urbanização. E, conforme idealização do modelo de Wolman (1967), a sequência de ajustes geomorfológicos do canal fluvial ocorre com a estabilidade do canal em momento pré-urbanização (A); fase I, com expressivos processos de agradação (B); fase II, com incisão do canal e consequente formação de terraço com o abandono do antigo leito fluvial (C). Desse processo de urbanização, resultam efeitos profundos e irreversíveis nos sistemas fluviais (Chin *et al.*, 2020).

Nesse sentido, a análise das canalizações e artificialização dos cursos d'água urbanos presentes nessa seção, produz consequências como a alteração dos canais naturais, resultando no aumento de enchentes e inundações, discutido na seção seguinte.

3.4.1 Enchentes e inundações

A dinâmica de vazão do canal fluvial está condicionada aos processos hidrometeorológicos, que agem ao longo de um determinado período hidrológico, e aos processos hidromorfológicos com influência em escala natural e antrópica, como a erosão, que pode ser acelerada pelas ações humanas. Esses processos são condicionantes à ação da água em relação às características do relevo e à sua estruturação.

No que tange ao conceito hidrológico, inundações e enchentes são definidas como fenômenos naturais que ocorrem com frequência no canal fluvial, podendo ser deflagrados por precipitações fortes e rápidas chuvas ou precipitações de longa duração.

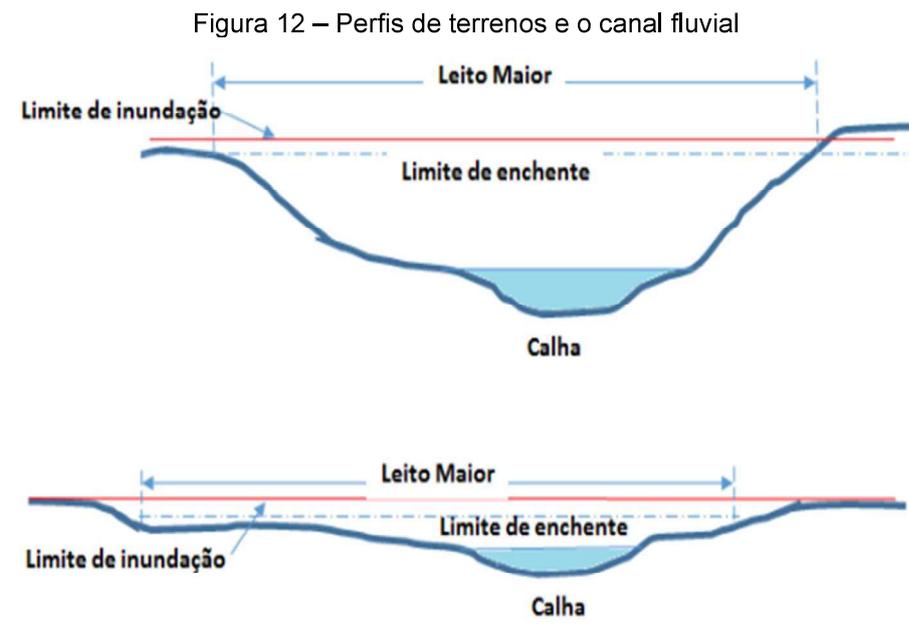
Segundo Oliveira (1998), inundações atuam periodicamente atingindo as várzeas (planícies de inundação) dos cursos fluviais, quando a vazão do canal é superior à capacidade de descarga. O que, por consequência, a faz extravasar para as áreas marginais.

Já as enchentes são definidas como a elevação temporária do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal sem ocorrer o extravasamento das águas (Santos, 2007).

Nas regiões planas, o leito maior é menos definido, predominando as várzeas, que também são áreas naturais de expansão e que, no Brasil, são muito usadas para cultivo do arroz. Quando os aumentos de vazões ficam restritos à calha, temos as cheias. Quando extravasam a calha, ocupando, em parte ou no todo, o leito maior ou a várzea, temos as enchentes. Até aí estamos diante de fenômenos completamente naturais. Mas o que faz o homem? Ocupa os leitos maiores e as várzeas com construções e plantações. As enchentes vêm e cobrem tudo com água, são as inundações (Valente, 2009, p. 2).

Segundo Tucci (1999), as inundações podem ser classificadas em ribeirinhas, urbanas e localizadas. Estas também estão associadas às características da BH em seu estado natural, como: geometria do canal, relevo/declividade, tipo de solo, cobertura vegetal, tipo de precipitação, capacidade e densidade de drenagem. Outros fatores que também podem estar relacionados à incidência de inundações é o formato geométrico da BH, que potencializa, em maior ou menor medida, a tendência da ocorrência de enchentes (Jorge; Uehara, 1998).

Segundo Oliveira (1998), todo rio possui uma área natural de inundação, onde a planície inundada regula a entrada de água no sistema, assim, o excesso de água é absorvido pela planície de inundação em períodos de chuvas intensas e consequentes cheias. Na Figura 12, exemplifica-se o perfil das planícies de inundação de regiões com relevo íngreme (primeiro plano) e de regiões mais planas (segundo plano), mostrando que todo e qualquer rio tem sua área natural de inundação.



Os fatores relacionados ao uso e à ocupação do solo têm influência direta na dinâmica da água dentro de uma bacia hidrográfica. Tucci (1995) descreve que, em áreas rurais, o fluxo da água sofre retenção por parte da vegetação, facilitando a infiltração da água no subsolo. O excedente escoar sobre a superfície, gradualmente, com variação lenta de vazão e com picos de enchentes moderados.

Em relação às áreas urbanas, as enchentes produzem consequências mais drásticas, em virtude da alta impermeabilização do solo, que dificulta a infiltração da água no subsolo, fazendo aumentar o escoamento superficial com alta variação e frequência de enchentes.

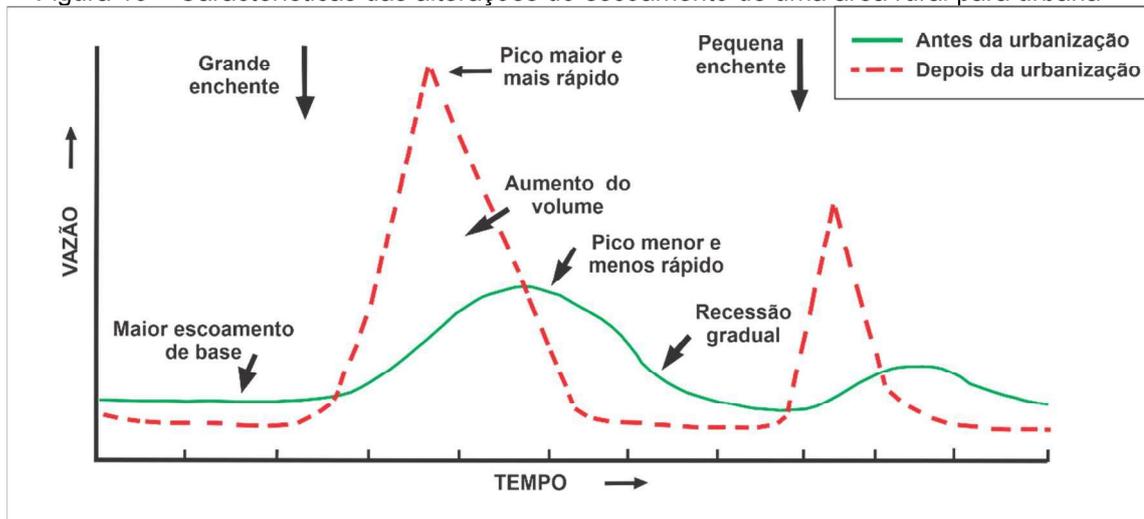
As inundações em áreas urbanas são fenômenos condicionados por elementos naturais, mas que podem ser agravados devido a fatores antrópicos.

Com o desenvolvimento urbano, ocorre a impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas e pátios, entre outros. Dessa forma, a parcela da água que infiltra passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento

superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções (Tucci, 1995, p. 16).

O hidrograma da Figura 13 exemplifica a variação (relação da vazão *versus* tempo) referente à incidência e à probabilidade da ocorrência de enchentes/inundações na comparação de áreas urbanas e rurais.

Figura 13 – Características das alterações do escoamento de uma área rural para urbana



Fonte: Adaptado de Schueler (1987) *apud* Tucci (2005)

Dessa forma, tanto as enchentes quanto as inundações não se enquadram propriamente como desastres, mas se referem a processos hidrológicos dos canais fluviais. Estes são fenômenos naturais em períodos específicos, em áreas ao longo dos rios, potencializados em virtude da ocupação antrópica nas margens fluviais, que desencadeiam desastres às populações residentes nas áreas suscetíveis às inundações e às cheias.

Além das consequências trazidas pelas enchentes, como riscos de vida para a população (perdas humanas, perdas materiais e doenças por contaminação), ocorre também a alteração da morfologia dos canais, que será descrita na seção seguinte.

3.5 GEOMETRIA HIDRÁULICA

A geomorfologia fluvial é a ciência que subsidia os estudos na análise dos sistemas fluviais e sua dinâmica resultante na esculturação do relevo. Guerra e Cunha (2009) definem a geomorfologia fluvial como o estudo dos cursos de água, das formas

resultantes do escoamento, das características geológicas, hidrológicas, climáticas e de ocupação do solo que condicionam o regime hidrológico.

A dinâmica do sistema fluvial está suscetível a sofrer alterações que refletem nos aspectos climáticos, nos eventos geológicos e nas características presentes na geomorfologia do relevo, com destaque para as transformações da paisagem advindas do processo de antropização no ambiente da bacia hidrográfica.

A escala cronológica da evolução das transformações nos ambientes fluviais pode variar entre milhões de anos, no tempo geológico, e intervalos menores e mais perceptíveis, na escala humana. Destarte, o estudo da fisiografia fluvial, no que tange ao tipo de leito, de canal e dos elementos das seções transversais e do débito fluvial na rede de drenagem são de grande importância para a compreensão da morfologia fluvial – geometria fluvial.

No sistema da bacia hidrográfica, os canais ajustam-se ao débito que flui na seção transversal, tendo suas formas dimensionadas pelo equilíbrio existente entre as forças erosivas de entalhamento e a deposição ao longo das margens e dos leitos dos canais através dos processos agradacionais².

Tal dinâmica está imbricada ao ciclo hidrológico, aos escoamentos superficiais e subterrâneos que suprem o fluxo dos débitos fluviais (Christofolletti, 1981). Os estudos relacionados aos aspectos fisiográficos, no âmbito da Geografia, têm ganhado espaço em pesquisas que trabalham com a geometria hidráulica.

Essa teoria busca entender as mudanças nas características geométricas dos canais fluviais. O estudo da geometria hidráulica contribui para compreender o equilíbrio dinâmico do sistema fluvial de uma bacia hidrográfica, visto que possibilita a análise das alterações e dos ajustes nos canais fluviais, seja em ambientes naturais ou naqueles onde a ação humana modifica as características do sistema fluvial – produzindo desajustes na morfologia dos canais.

Dois dos precursores da geometria hidráulica são Leopold e Maddock (1953), os quais definiram a geometria hidráulica como uma medida quantitativa das propriedades da seção transversal; largura, profundidade média, velocidade, carga sedimentar e rugosidade. Todos esses fatores ajudam a determinar a forma de um curso d'água natural (Grison, 2010).

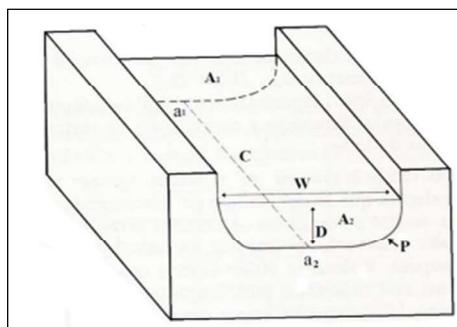
² Comportamentos morfodinâmicos que atuam na elaboração de formas de relevo por deposição/acumulação de sedimentos.

Outro autor que aborda a temática é Christofolletti, referindo-se à geometria hidráulica como “o estudo das características geométricas e de composição dos canais fluviais, consideradas através das relações que se estabelecem no perfil transversal” (Christofolletti, 1981, p. 53).

Christofolletti (1981) também destaca que a importância do estudo da geometria hidráulica está no fato de que o fluxo d’água é o principal agente modificador do canal, onde a vazão é uma variável independente e dominante, que age como modificadora dos possíveis ajustamentos sofridos pelo canal fluvial.

A dinâmica do fluxo de água desempenha um papel fundamental no transporte e na movimentação de sedimentos (levando em conta a granulometria dos materiais), em contraposição às características físicas do próprio canal, como a rugosidade de seu leito. Esse processo contribui para formação da topografia e para a estrutura do canal. O estudo da geometria hidráulica aborda variáveis relacionadas à seção transversal do canal, tais como largura, profundidade, velocidade, vazão, inclinação da superfície da água e do leito, área, perímetro molhado e raio hidráulico, conforme exemplificado na Figura 14:

Figura 14 – Morfometria do canal de escoamento



A largura (W) e a profundidade (D) do canal referem-se às grandezas ocupadas pelas águas. O perímetro úmido (P) é a linha que assinala o encontro do nível d’água e do leito. A seção transversal (A) é a área do perfil transversal de um rio. Dividindo-se a área pelo perímetro úmido, obtém-se o raio hidráulico ($R=A/P$). A declividade é a diferença altimétrica entre dois pontos (a_1 e a_2), dividida pela diferença horizontal entre elas. A velocidade é a descarga por unidade de área.

Fonte: Adaptado de Christofolletti (1981)

Observa-se que o sistema fluvial é formado à medida em que seus rios tributários encontram o canal principal, aumentando sua área de drenagem e, conseqüentemente, sua vazão. Simultaneamente, ocorrem mudanças na declividade, no transporte de sedimentos, no tipo de material do leito, dentre outras, na geometria hidráulica do rio (Leopold *et al.*, 1992 *apud* Grison, 2010).

Desse modo, a análise da geometria hidráulica tem como estudo o perfil longitudinal e transversal de canais fluviais, nesse sentido, a caracterização dos perfis longitudinais e transversais é trabalhada na seção seguinte.

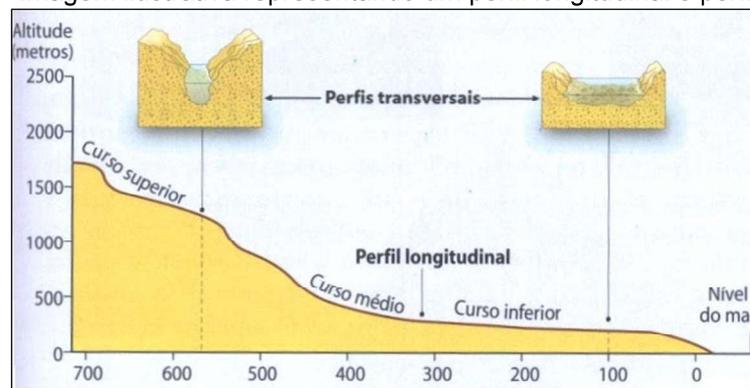
3.5.1 Perfis longitudinais e perfis transversais

Os rios apresentam processos hidrológicos e geomorfológicos que produzem alterações em sua dinâmica. Na morfologia do canal, essas alterações podem se dar naturalmente em determinada escala de tempo e por intervenções antrópicas. Qualquer alteração na dinâmica do canal fluvial produz modificações nos perfis dos cursos d'água, fazendo com que o canal se adapte às novas condições colocadas, adquirindo certas anomalias em seu padrão de drenagem por conta de sua busca por novo equilíbrio (Barbosa *et al.*, 2013).

Segundo Petts (2000), os rios podem ser analisados sob três dimensões espaciais (longitudinal, lateral e vertical) e, dentre elas, os perfis longitudinal e transversal contribuem no estudo da geomorfologia do canal se considerarmos o método da geometria hidráulica proposto por Leopold e Maddok (1953).

Assim, há condição para se compreender a dinâmica do sistema fluvial (Figura 15).

Figura 15 – Imagem ilustrativa representando um perfil longitudinal e perfil transversal



Fonte: <http://baciashidrogrficasgrupoa2.blogspot.com/2008/02/uma-bacia-hidrografica-envelhecida.html>. Acesso em: 1 fev. 2022.

Os perfis transversais e longitudinais têm correlação com os processos que moldam o relevo, influenciados por fatores exógenos e endógenos que atuam na esculturação do relevo e em seu dinamismo.

Os exógenos, ligados aos processos climáticos (temperatura e precipitação), atuam como agentes do intemperismo que interagem com a vegetação reguladora, em maior ou menor grau, do escoamento superficial e da infiltração das águas no solo. Já os processos endógenos estão relacionados à estrutura geológica e tectônica, à composição química das rochas/solo e a seu grau de intemperização e permeabilidade (Casseti, 2001).

O perfil longitudinal³ de um rio pode ser entendido como a relação existente entre as altitudes máxima e mínima, que vai do comprimento a montante até a jusante, revelando sua declividade ao longo do canal fluvial. Segundo Christofolletti:

O perfil longitudinal de um rio mostra a sua declividade, ou gradiente, sendo a representação visual da relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso de água, para as diversas localidades situadas entre a nascente e a foz. Para muitos rios, a curva representativa dessa relação tem a forma parabólica e o perfil típico é côncavo para o céu, com declividades maiores em direção da nascente e com valores cada vez mais suaves em direção de jusante (Christofolletti, 1981, p. 93).

O perfil longitudinal dos rios pode ser diferenciado em pelo menos três segmentos do canal, com diferentes características e gradientes⁴, sendo: 1) Alto curso: onde predominam maiores declividades (maior gradiente); 2) Médio curso: menor declividade, implicando uma diminuição da velocidade das águas e do transporte de sedimentos; 3) Baixo curso: onde se processa a sedimentação ou o abandono da carga sedimentar erodida no alto curso (Torres; Machado, 2012).

No que tange aos estudos dos canais fluviais, o perfil longitudinal é elemento essencial para compreensão da geomorfologia fluvial e hidrologia, visto que reflete o declive e gradientes de energia e mudanças ao longo do curso fluvial (Fujita, 2009).

Para Knighton (1998), o perfil longitudinal de um canal representa um elemento muito importante para o estudo da geomorfologia, pois consiste em um instrumento de análise que utiliza dados de altitude e extensão do canal. Seu estudo auxilia no entendimento da configuração do sistema fluvial, resultado da interação entre a incisão fluvial, a litologia e as trocas no nível de base. Isso reflete as influências geológicas, tectônicas e de mudanças de nível de base, além de influenciar nos processos fluviais de erosão e deposição (Fujita, 2009).

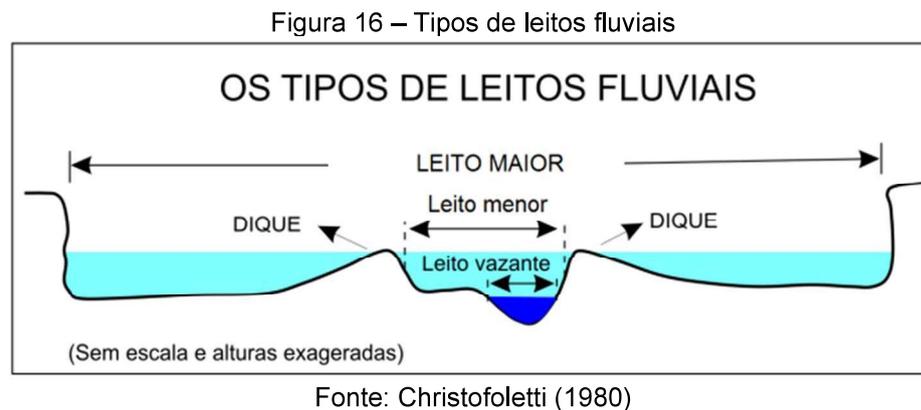
Bem como o perfil longitudinal de um rio pode ser afetado por diversos fatores que influenciam no equilíbrio do canal, pois está associado à confluência de tributários, à alteração de nível de base a jusante ou a heterogeneidades no substrato rochoso. Podendo, também, sofrer influência por processos deformacionais neotectônicos, incluindo falhas, soerguimentos ou subsidências locais e na bacia de drenagem (Acklas Jr. *et al.*, 2003).

³ Linha que une os pontos do fundo do leito do rio, desde a foz.

⁴ “Relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término com o comprimento do respectivo segmento fluvial” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 112).

Já o perfil transversal⁵ de um rio pode ser entendido como o perfil topográfico que se estabelece perpendicularmente ao talvegue, sendo possível identificar as características do leito menor/maior, bem como as áreas de inundação e de cheias da bacia de drenagem.

Segundo Cunha (1996, p. 160), “a velocidade das águas é variável ao longo do perfil transversal, decrescendo com a profundidade e na direção das margens, devido às forças de fricção entre a água do fluxo e as paredes do canal” (Figura 16).



Observa-se que o perfil transversal tem relação direta com a esculturação do canal, estando suscetível à descrição de variações hidrológicas sazonais, tendendo a produzir efeitos no nível de flutuação do canal, desencadeando alterações e ajustes nas sessões do leito, evoluindo em processos de erosão ou assoreamento (Cunha, 1996).

A característica e o tipo de canal vão retratar, por sua vez, o estágio da sedimentação, tendo como referência o material em suspensão na água. Assim, o canal vai ser o “resultado do ajuste do canal à sua seção transversal e reflete o inter-relacionamento entre: descarga líquida; carga sedimentar; declive; largura e declividade do canal; velocidade do fluxo; e rugosidade do leito” (Lima, 2006, p. 23).

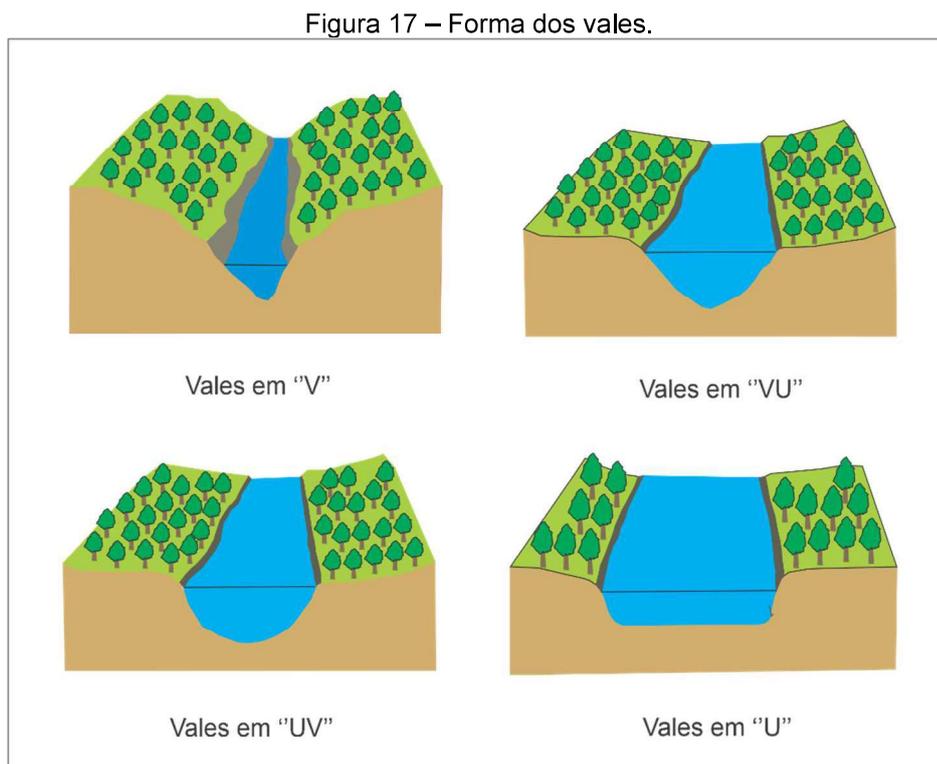
Desse modo, ao relacionar o débito fluvial com a geometria na seção transversal, obtêm-se informações que subsidiam a interpretação dos processos erosivos, de transporte e de sedimentação presente no sistema fluvial (Leopold *et al.*, 1964).

⁵ Linha que resulta a partir da intersecção de um plano vertical com o vale, perpendicularmente à direção deste num determinado ponto, também designado como vale.

Além disso, é no perfil transversal que se identificam os tipos de vales; os quais podem ser caracterizados como depressões com largura e extensão variável ao longo do canal fluvial, resultantes da força erosiva de um rio. Através da análise das características do vale, como sua simetria e a forma do fundo, pode-se compreender melhor a história geológica e o comportamento do curso d'água.

Os vales possuem vertentes simétricas ou assimétricas, e também podem ser de fundo em V, UV, VU ou em U. O vale em V denota um rio em fase essencialmente erosiva (juventude). U ou de fundo chato indica uma fase de senilidade. VU ou UV indica uma fase intermediária, sendo que VU se aproxima mais do vale em V, enquanto o UV, do vale em U. Um vale pode ter alargamento transversal ou longitudinal (Lima, 2006, p. 28).

A Figura 17 representa as características dos vales e das vertentes simétricas ou assimétricas:



Fonte: Adaptado de Lima (2006)

Para que o processo de esculturação do canal pela força erosiva ocorra, é essencial que haja um potencial de energia cinética em ação no curso fluvial. Nesse sentido, diversos fatores desempenham um papel direto nesse processo. O perfil transversal do canal fluvial, a largura do canal, a profundidade, o volume do fluxo, a

declividade, o coeficiente de rugosidade e a concentração de sedimentos são alguns dos principais fatores que influenciam essa dinâmica erosiva (Cunha, 2008).

Destarte, quando as características das águas e detritos do canal são alteradas, seja pela ação antrópica, por alterações da cobertura vegetal no solo da bacia ou por mudanças climáticas, ocorrem anomalias nos fluxos de matéria e de energia; por sua vez, o sistema do canal tende a se ajustar para o novo conjunto de condições (Grison, 2010).

Para Charlton (2008), qualquer alteração em alguma dessas variáveis, num ciclo e numa escala de tempo, conduzirá a uma sucessão complexa de mudanças e de ajustes no sistema fluvial, alterando o aspecto geomorfológico do canal.

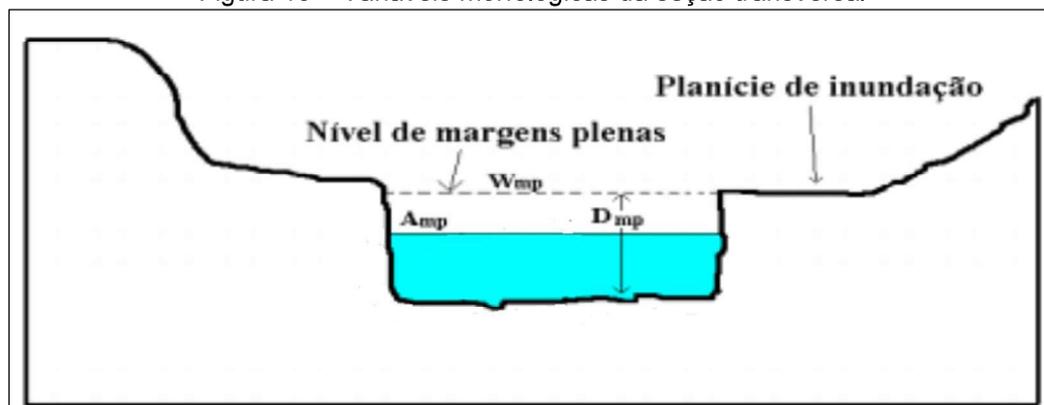
Compreendendo que os rios, ao longo de seus cursos, possuem segmentos em equilíbrio e em desequilíbrio, podendo ser identificados a partir dos dados de variáveis dos perfis longitudinais e transversais, descreve-se, de forma dinâmica, a seção seguinte.

3.5.2 Propriedades geométricas da seção transversal

Na seção transversal do canal, é possível coletar dados geométricos cuja função possibilita compreender a dinâmica do sistema fluvial. Os precursores desse estudo são Leopold e Maddok (1953), que destacam como o método empregado é de fundamental importância nos estudos da geometria hidráulica.

A seguir, na Figura 18, com a Tabela 3, são demonstrados os principais aspectos geométricos presentes em uma seção transversal empregados neste estudo.

Figura 18 – Variáveis morfológicas da seção transversal



Fonte: Adaptado de Fernandez (2004)

Tabela 3 – Variáveis geométricas da seção transversal empregadas no estudo

Variável	Símbolo	Definição	Observações	Unidade
Referência: cota do nível de margens plenas				
Largura do Canal	Wmp		Wmp é medida em nível de margens plenas.	Metros
Profundidade média do canal	Dmp	$(\sum Di)/n$	“Di” são valores de profundidade do canal medidos com referência ao nível de margens plenas e “n” o número de medições.	Metros
Área da seção Transversal	Amp	Wmp.Dmp	Amp indica a área da seção transversal em nível de margens plenas.	Metros ²

Fonte: Adaptado de Fernandez (2004)

No que tange às variáveis geométricas da seção transversal, elas resultam da interação de fatores existentes no sistema da bacia hidrográfica, estando relacionada à carga de detritos, às suas dimensões médias, à quantidade, à litologia, às formas deposicionais e ao fluxo d’água.

Havendo alterações nas características do sistema da bacia hidrográfica, o fluxo d’água se ajusta para um novo conjunto de condições, sendo a origem dessas alterações, as condições naturais (ação climática) ou ações antrópicas. A mudança na dinâmica do sistema favorece o avanço do débito fluvial na direção das planícies adjacentes ao longo do leito principal durante os eventos de inundações (Dunne; Leopold, 1978).

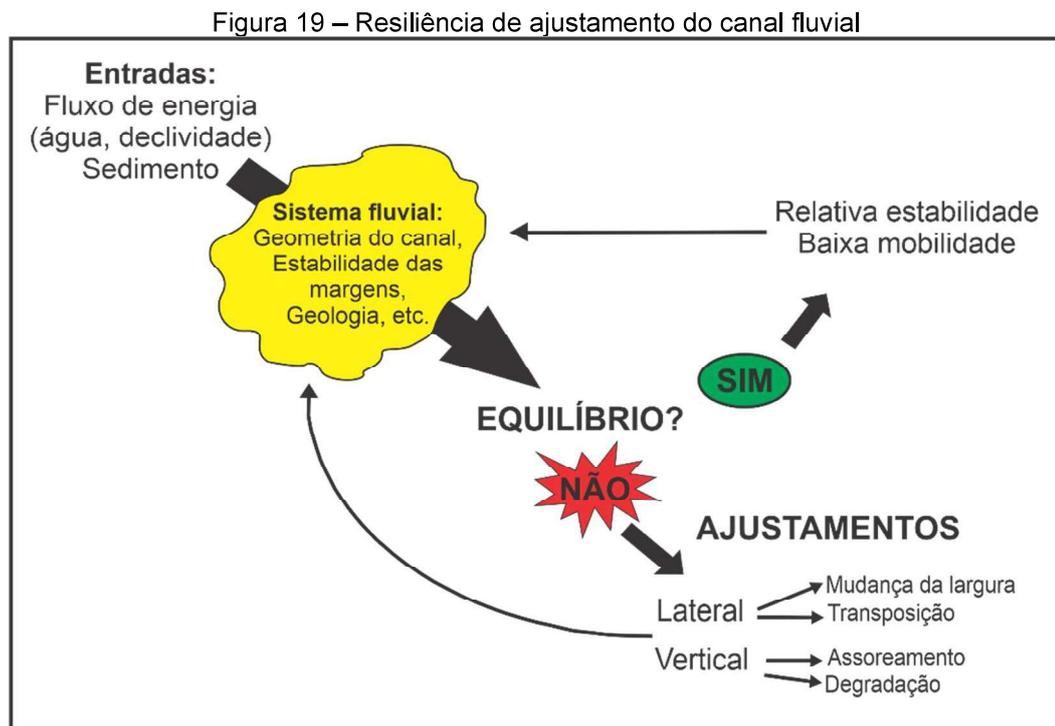
À medida que se eleva o nível das águas, há aumento da velocidade e da força de cisalhamento que criam possibilidades para as forças erosivas remanejar o material sedimentar do leito, promovendo o entalhamento do canal. Inversamente, como a carga detrítica que passa pela seção transversal é fornecida pela área montante, a diminuição gradativa no volume do fluxo vai permitindo a deposição da carga sedimentar transportada pelo rio, favorecendo a elevação do nível do leito (Christofolletti, 1981, p. 85).

Desse modo, a dinâmica do escoamento é composta por uma fase líquida (vazão) e por uma sólida (carga de sedimentos), na qual a interação entre essas duas fases, num balanço dinâmico (erosão – transporte – sedimentação), constitui-se como determinante na estruturação morfológica dos canais fluviais (Silva *et al.*, 2007).

Já o ajustamento da calha fluvial é definido pela resistência do leito, a estabilidade das margens e a geometria do canal, nesse sentido, o equilíbrio do

sistema está atrelado aos ajustes das entradas de energia que se acomodam por meio dos movimentos laterais e verticais da geometria do canal.

A Figura 19 exemplifica um sistema aberto, suscetível a receber energia externa, capaz de nos fazer observar o comportamento de um sistema fluvial em equilíbrio e em desequilíbrio, sendo que, independentemente da dinâmica que atua no canal, este buscará um novo equilíbrio, por meio de ajustes nas suas margens e no leito (Richard, 2001).



Fonte: Adaptado de Richard (2001)

Destarte, a geometria hidráulica possibilita estudar os potenciais impactos presentes no canal fluvial, bem como sua estabilidade e instabilidade, advindos a partir do grau de energia recebido pelo sistema e da maneira como ele reage diante do rompimento do estado de equilíbrio com sua capacidade de suportar as mudanças, buscando um novo equilíbrio, de modo a conservar suas características.

Portanto, a aplicabilidade do método da geometria hidráulica em nível de margens plenas, nos canais fluviais do perímetro urbano de Jandaia do Sul, permitirá identificar os desajustes e o grau de alteração na morfologia dos cursos fluviais, bem como o grau de impacto ambiental, assunto que será tratado no próximo tópico.

3.5.3 Definição de impacto ambiental

Ao longo da história, a humanidade sempre dependeu dos recursos naturais para atender às suas demandas. Contudo, a partir da metade do século XVIII, com o surgimento do capitalismo, a crescente emissão de poluentes, o aumento da população e o aumento dos preços dos alimentos, surgiram inquietações acerca da sustentabilidade dos recursos disponíveis.

Nesse contexto, a conscientização da sociedade em relação aos desafios ambientais avança, gerando uma série de reflexões que oferecem questionamentos sobre modos mais sustentáveis de interagir com o meio ambiente, minimizando impactos prejudiciais à natureza.

Segundo Quaresma e Santos (2023), a compreensão do impacto ambiental suscita diversas divergências. O conceito de impacto ambiental está ligado às transformações no ambiente natural resultantes da ação humana e frequentemente é identificado como prejudicial devido às perturbações que provoca no equilíbrio ambiental (QUARESMA e SANTOS, 2023).

A legislação brasileira define impacto ambiental na Resolução CONAMA 001/86 no artigo 1º, caracterizada como:

Toda alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas, que, afetam direta ou indiretamente a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (Conama, 1986).

Ainda conforme estabelecido na lei, no inciso II do artigo 6º da mesma Resolução, o impacto ambiental pode ser avaliado como positivo ou negativo, e tem a capacidade de gerar implicações socioambientais favoráveis ou desfavoráveis. Podendo ser classificado a partir de sua dinâmica e magnitude no espaço e no tempo, podendo assumir características primárias, quando for resultado da ação direta do ser humano; secundárias, oriundas de efeitos indiretos ocasionados por determinada ação; curto e longo prazo; intensivos, referentes a grandes alterações; extensivos, associados a extensões geográficas, e por fim negativos e positivos (QUARESMA e SANTOS, 2023).

Destarte, diversos autores debatem o conceito de impacto ambiental. Singer (1985) descreve o impacto ambiental como a modificação ou conjunto delas ocorridas

no ambiente natural ou em qualquer de seus elementos, podendo ser desencadeadas por ações específicas ou por diversas atividades de um projeto particular.

Outra interpretação do conceito de impacto ambiental é apresentada por Sanches (2020), que descreve o impacto ambiental como um desequilíbrio gerado pelo choque entre a interação humana com o meio ambiente. Isso ocorre quando, para atender às suas necessidades básicas e manter suas atividades econômicas, o ser humano enxerga na natureza uma fonte de recursos, mesmo que essas relações afetem a capacidade do ambiente em absorver tais impactos.

Ressalta-se que o atual contexto, cresce a preocupação com relação ao meio ambiente, e com estudos relacionados aos impactos ambientais, que ganham relevância em diversas esferas. Nota-se ainda que à medida que a sociedade se atualiza sobre dados e a situação atual do meio ambiente, a consciência ambiental cresce, e a importância de incorporar estudos relacionados a essa temática nas tomadas de decisão se torna cada vez mais evidente

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos operacionais utilizados para a pesquisa constituíram-se, num primeiro momento, na compilação do material cartográfico e no levantamento de dados por meio do trabalho de campo na área de estudo.

O método da geometria hidráulica em nível de margens plenas foi aplicado nos cursos fluviais que drenam a área urbana, desse modo, adotou-se o recorte das bacias hidrográficas que se situam dentro do perímetro urbano, delimitado no plano diretor do município do ano de 2007.

A definição dos canais fluviais inseridos no setor urbano, bem como o recorte urbano da bacia hidrográfica, se deve por estes possuírem maior vulnerabilidade socioambiental e estarem suscetíveis às interferências antrópicas em maior proporção.

A mensuração das propriedades geométricas dos canais fluviais foi realizada mediante trabalho de campo nos meses de janeiro e fevereiro de 2022 ao longo dos perfis fluviais longitudinais e transversais, sendo definidos cinco trechos inseridos no perímetro urbano: Córrego Marumbi, Ribeirão Cambará, Ribeirão Rochedo, Córrego Lapuna e Córrego Siriema.

Nesse levantamento, foram utilizados os seguintes materiais: GPS (Sistemas de posicionamento Global, trena de 20 m, régua graduada de 2 m, duas estacas em madeira amarradas por uma corda de *nylon* com marcas a cada 20 cm – a equidistância de 20 cm seguiu a metodologia aplicada em estudos realizados por Dias-Oliveira *et al.* (2010; 2016), feitos em canais fluviais urbanos da região norte do Paraná.

A aplicabilidade do método da geometria hidráulica em nível de margens plenas, consiste em uma técnica convencional capaz de realizar o levantamento morfológico da seção transversal, esse método permite a extração de dados detalhados da mensuração do canal.

Os levantamentos das seções transversais se deram por meio da fixação das estacas no solo (uma em cada margem), interligadas por uma corda de *nylon* esticada e graduada a cada 20 cm estendida entre as duas margens na horizontal e perpendicular ao leito, de modo a aferir a mensuração do canal por meio da distância da corda até seu leito (Figura 20).

Figura 20 – Mensuração de seções transversais



Fonte: Arquivo do autor (janeiro de 2022)

Os meses escolhidos para mensuração das seções transversais apresentam um volume alto de precipitação (média histórica de 200 milímetros, dados do IAPAR, 2022). Devido ao alto volume de chuvas do período, foi inviável a escolha do patamar inferior para a mensuração das margens plenas. A força erosiva do fluxo de água provocado pelas chuvas dos meses em questão, dificulta o crescimento de gramíneas, tornando o patamar inferior pouco desenvolvido, portanto, foi adotado o patamar intermediário como referência na mensuração das seções transversais.

Vale ressaltar que os dias escolhidos para o trabalho de mensuração das seções transversais não tiveram a ocorrência de precipitação, o que facilitou a identificação das margens plenas, evitando riscos de enchentes, frequentes em canais de ambientes urbanos.

Na mensuração da seção transversal, foram coletadas as seguintes variáveis geométricas: largura do canal (W_{mp} em metros); profundidade média do canal (D_{mp} em metros); área da seção transversal (A_{mp} em metros quadrados). A largura e a profundidade do canal referem-se às grandezas ocupadas pelas águas, enquanto a área da seção representa o perfil transversal do rio, as variáveis levantadas em campo subsidiaram a aferição das alterações morfológicas nas seções transversais através da correlação (r^2).

Os dados geométricos das seções transversais coletados nos córregos nos recortes das cinco bacias urbanas (Marumbi, Ribeirão Cambará, Ribeirão Rochedo, Córrego Lapuna e Córrego Siriema), objetivo de análise desta pesquisa, foram tabulados e analisados utilizando a planilha eletrônica (Calc.), do software *BrOffice*, a fim de obter os parâmetros referentes a W_{mp} , D_{mp} e A_{mp} dos trechos dos canais estudados.

A partir da mensuração das propriedades da seção transversal (W_{mp} largura do canal, D_{mp} profundidade média do canal e A_{mp} área da seção transversal), foram produzidos gráficos de dispersão relacionando a área de drenagem correspondente a cada seção transversal. Nas análises dos gráficos, foram utilizadas técnicas estatísticas de estudos de regressão e de correlação linear.

Para determinar os valores dos gráficos de dispersão, a referência para obtenção dos valores foi a corda de *nylon* esticada estendida sobre o canal entre as duas margens na horizontal e perpendicular ao leito, onde cada 20 cm na corda corresponde a um ponto de aferição da seção transversal. Assim, por meio da planilha eletrônica (Calc.), do *software BrOffice*, empregaram-se as seguintes fórmulas apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Fórmulas aplicadas em cada parâmetro analisado

Parâmetro	Fórmula	Observações
Wmp: Largura do Canal	$(=X*0,2)$	“X” corresponde ao número de pontos aferidos na seção transversal, vezes “0,2”, que corresponde a distância entre cada ponto da graduação da corda de <i>nylon</i> .
Dmp: Profundidade média do canal	$=MED(A2:A11)$	Equivale a média de profundidade dos pontos aferidos por meio da corda de <i>nylon</i> graduada esticada sobre transversal do canal.
Amp: Área da seção transversal (Área do canal)	$=SOMA(E2:E10)$	Corresponde à soma dos valores dos pontos aferidos por meio da corda de <i>nylon</i> graduada esticada sobre transversal do canal.

Fonte: Dados compilados e adaptados pelo autor (2022)

As distintas fórmulas aplicadas para obtenção dos valores nos parâmetros analisados, resultam em diferenças na escala da coluna vertical dos gráficos de dispersão, exemplificado pela operação utilizada em cada parâmetro (W_{mp} : multiplicação, D_{mp} : média, A_{mp} : soma).

A análise dos gráficos teve como base o coeficiente de correlação (r^2) que indica a força de associação entre quaisquer das variáveis métricas, podendo variar entre 0 e 1. Um coeficiente próximo a 1 significa um considerável ajuste nas propriedades avaliadas, ao passo que quanto maior o afastamento da unidade maior é o desajuste. Assim, o coeficiente de correlação vai medir o grau de associação entre as propriedades geométricas e identificar as alterações morfológicas nas seções transversais dos canais fluviais.

Com base nos autores Leopold e Maddok (1953), Fernandes (2004) e Grison (2010), Dias-Oliveira *et al.* (2010, 2011, 2016), definiu-se a Tabela 5, a fim de identificar o grau de ajustes nos canais fluviais estudados.

Tabela 5 – Grau de ajuste (r^2) em canais fluviais

Grau de ajuste (r^2)	Valor (r^2)
Baixo ajuste	> 0,00 / < 0,25
Moderado Baixo ajuste	> 0,26 / < 0,50
Moderado Alto ajuste	> 0,51 / < 0,75
Alto ajuste	> 0,76 / 1,00

Fonte: Dados compilados e adaptados pelo autor (2022)

Além dessas características, foram identificados e feitos registros fotográficos da presença de resíduos sólidos urbanos ao longo do perfil longitudinal nos trechos fluviais.

A elaboração e a edição do material cartográfico se deram no *software* SIG QGIS 3.16.8; inicialmente, foi criado um Banco de Dados, utilizando como Datum de referência o sistema SIRGAS 2000 e coordenadas de referência UTM Fuso 22 Sul.

Na compilação da rede hidrográfica, foi utilizada a carta topográfica de Mandaguari (Folha SF.22-Y-D-V-3 MI2793/2) escala de 1:50.000 do ano de 1980, em formato vetorial disponibilizado pelo BDGEx (Banco de Dados Geográficos do Exército).

Os dados cartográficos foram integrados e, utilizando os algoritmos das bibliotecas GRAAS, foram extraídas as curvas de nível, delimitação das bacias hidrográficas, delimitação de canais fluviais.

Ainda na etapa de processamento, o arquivo SRTM (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) foi utilizado para geração dos atributos topográficos, como hipsometria, declividade e gerando o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo a partir os algoritmos do GRASS do *software* QGIS.

O mapa hipsométrico foi elaborado com base no Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizando, para a elaboração, as operações efetuadas em ambiente QGIS. A definição das classes de hipsometria foi realizada por meio da observação e análise da distribuição de curvas de nível e de perfis topográficos em alguns pontos da área de estudo e optou-se por oito classes: até 500 metros; 500-540 metros; 540-580

metros; 580-600 metros; 600-650 metros; 650-700 metros; 740-800 metros; acima de 800 metros.

O mapa de declividade foi confeccionado a partir da geração de um MDE; com intervalos entre as classes de declividade e de hipsometria, definidos conforme a Embrapa (2013), sendo adaptadas 5 classes: a) valores inferiores a 3% – relevo plano; b) entre 3% a 8% – relevo suave ondulado; c) 8% a 20% – relevo ondulado; d) 20% a 45% – relevo forte ondulado; e) > 45% – relevo montanhoso.

Para a elaboração do mapa dos tipos de solos, foi utilizada a classificação e a base de dados do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013 – escala 1/250.000).

Para o mapa de cobertura e uso da terra, utilizou-se a base de dados do MapBiomass, do ano de 2022. Para as cores de classificação, foram adotados os códigos das classes de legenda da coleção oito, do ano de 2022. Sendo empregada a seguinte classificação: Floresta, Floresta Plantada, Pastagens, Agricultura, Área Urbana e Corpos D'água.

O MapBiomass é uma iniciativa brasileira, lançada em 2015, com o propósito de disponibilizar gratuitamente mapas anuais de uso e de cobertura da terra de todo o Brasil, em escalas de até 1:100.000 (pixel de 30x30m), com finalidade de contribuir para o entendimento das transformações espaciais em escala nacional (Projeto MapBiomass, 2019).

Os mapas hipsométricos, de declividade e de cobertura e uso da terra foram sobrepostos à imagem de relevo sombreado, com exagero vertical 3, de maneira a destacar as características do relevo e melhorar a análise das características da área de estudo. Para as imagens de localização, foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 8 (USGS/NASA) disponibilizadas pelo *Google Earth*, do ano de 2022, através do *plugin* disponibilizado no *software* do QGIS.

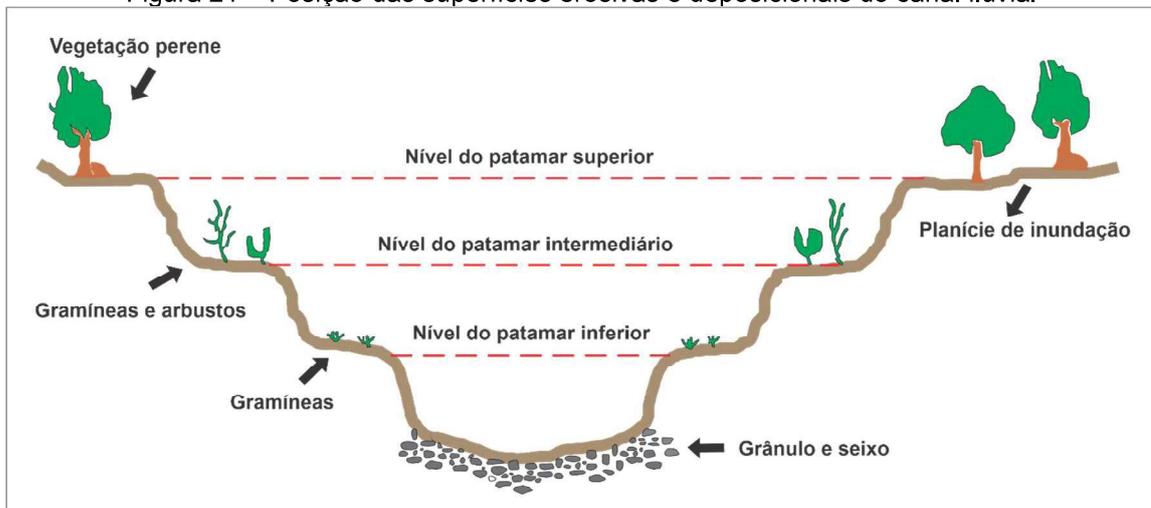
Esta pesquisa ocorreu também por um estudo empírico (aliada a trabalhos de campo, com observações e anotações de características da morfologia fluvial). Para melhor conhecer o funcionamento da dinâmica do canal fluvial, foi empregada a técnica da análise integrada do ambiente fluvial, por meio do método da abordagem sistêmica. Trata-se da mais adequada em pesquisas na área ambiental por permitir uma compreensão da interação entre sociedade e natureza, o que possibilita uma análise integrada da paisagem (Christofolletti, 1980; 1999).

4.1 IDENTIFICAÇÃO, ESPACIALIZAÇÃO E ESCOLHA DOS PERFIS TRANSVERSAIS MENSURADOS

O critério de identificação/definição do nível de margens plenas/perfis transversais mensurados, foi definido considerando: locais onde a planície de inundação estivesse evidente, a acessibilidade do ponto a ser mensurado, o reconhecimento de superfícies deposicionais, as características botânicas e sedimentológicas e as características morfológicas da seção transversal do canal (Fernandez, 2004).

Para este estudo, o patamar intermediário (Figura 21) foi adotado como referência para estimar o nível de margens plenas por apresentar um melhor desenvolvimento em relação ao patamar inferior, este último, em virtude da força erosiva do fluxo durante as chuvas, dificulta o crescimento de gramíneas, tornando o patamar inferior pouco desenvolvido.

Figura 21 – Posição das superfícies erosivas e deposicionais do canal fluvial



Fonte: Adaptado de Fernandez (2004)

Em relação à espacialização dos perfis transversais mensurados, realizou-se a coleta de, no mínimo, dez medições nas bacias estudadas, seguindo a metodologia aplicada nos trabalhos de Fernandez (2003; 2004; 2009) e Dias-Oliveira *et al.* (2010; 2016).

Os pontos de coleta foram distribuídos ao longo do canal fluvial, em virtude de a área de estudo estar inserida no perímetro urbano e, dado o seu grau de impacto, em determinados pontos do canal não foi possível identificar a planície de inundação, o

que justifica as seções transversais mensuradas não possuírem um padrão de equidistância entre si.

A partir das discussões dos caminhos metodológicos empregados na pesquisa, a próxima etapa é a discussão dos resultados.

5 RESULTADOS

Este capítulo enfatiza a discussão dos resultados, permitindo a interpretação e a análise dos dados coletados durante a pesquisa. Os resultados obtidos foram analisados a partir do método da geometria hidráulica em nível de margens plenas, buscando contribuir com a compreensão da dinâmica ambiental da área de estudo e abrindo caminho para futuras pesquisas.

5.1 ANÁLISE DA GEOMETRIA HIDRÁULICA AO LONGO DO PERFIL LONGITUDINAL DOS CURSOS D'ÁGUA

A partir dos levantamentos de campo realizados nos canais fluviais urbanos dos rios Marumbi, Cambará, Lapuna, Rochedo e Siriema, seguem os resultados e as discussões da geometria hidráulica dos perfis transversais ao longo do perfil longitudinal nas seções transversais canalizadas e não canalizadas do perímetro urbano de Jandaia do Sul/PR.

5.2 CÓRREGO MARUMBI

No canal fluvial do Córrego Marumbi, foram levantadas e mensuradas vinte e três seções, sendo sete no canal principal (seções: 7, 8, 9, 10, 11, 12), seis no tributário esquerdo (seções: 1, 2, 3, 4, 5, 6) e dez no tributário direito (seções: 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23).

No Córrego Marumbi, a área de drenagem do trecho urbano tem aproximadamente 3,287 km². O trecho urbano do Córrego Marumbi apresenta a porção montante da bacia ocupada pela área urbana, com a presença de ocupações irregulares e tubulações com despejo de efluentes, além de elevada quantidade de resíduos sólidos urbanos nas margens e no leito ao longo do canal principal.

Nas áreas periurbanas a jusante do canal, concentram-se atividades de agropecuária com a presença de pequenas propriedades oriundas da agricultura familiar. A vegetação ripária apresenta-se preservada ao longo de quase todo o trecho do canal.

As unidades de solos identificadas no recorte urbano da bacia do Córrego Marumbi, estão relacionados ao tipo de rocha, à geomorfologia e à condição climática (mesotérmico úmido subtropical). Os solos predominantes são Nitossolos, Latossolos e Neossolos (SPVS, 1996; ITCG, 2018; Jandaia do Sul, 2006; EMBRAPA, 2006).

A classe dos Nitossolos, corresponde a montante do recorte urbano da bacia, onde ocorre o afloramento das principais nascentes que dão origem ao canal. Os nitossolos encontrados são solos de textura argilosa, do tipo vermelhos eutroféricos, que ocorrem em locais de relevo suave-ondulado a ondulado (EMBRAPA, 2006).

Devido à porosidade e à permeabilidade, apresentam fácil desagregação mecânica, estando sujeitos à erosão nas superfícies com declividades superiores a 10,0% desprovidas de cobertura vegetal. Em áreas com declividades acima de 20,0%, podem sofrer rastejo e escorregamento (EMBRAPA, 2006).

Os Latossolos apresentam coloração diferenciada, com maior tendência ao vermelho escuro; possuem textura argilosa e aparecem em pequenas porções nos extremos oeste, sudeste e leste do recorte urbano da bacia, identificado em dois tipos: I) Eutroféricos, com presença em locais de relevo suave-ondulado a plano; II) Distroféricos, em áreas de relevo suave-ondulado. Os latossolos podem originar processos erosivos em regiões de maior declividade e desprovidas de cobertura vegetal (EMBRAPA, 2006).

Sobre os Neossolos, são encontrados a jusante do recorte urbano da bacia. Caracterizados como do tipo litólicos eutróficos, associados a chernossolos argilúvicos e nitossolos vermelhos eutroféricos, com ocorrência em locais de relevo fortemente ondulado a montanhoso. São constituídos por material mineral pouco espesso, não apresentando alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos ou pela característica do mineral (EMBRAPA, 2006).

O canal fluvial que corta a bacia hidrográfica apresenta variações de relevo, indo de suavemente ondulado a ondulado, com cotas altimétricas, oscilam entre 650 m e 800 m. Essas elevações influenciam diretamente o fluxo de água no canal fluvial.

O relevo variado do recorte urbano da bacia influencia significativamente o comportamento do canal fluvial. Nas áreas mais elevadas e íngremes, a água tende a fluir mais rapidamente, aumentando o risco de erosão no leito do rio, enquanto em áreas de menor elevação e terreno mais suavemente ondulado, o fluxo é mais lento, o que pode afetar a sedimentação e deposição de materiais no fundo do canal.

As encostas apresentam relevo íngreme, caracterizados como fortemente montanhosos, o recorte urbano da bacia do córrego Marumbi apresenta-se mais dissecada, com áreas de declividade superiores a 45%, de acordo com Ross (1994) a área caracteriza um grau de fragilidade ambiental muito forte, e com maior vulnerabilidade, estando sujeitos a sofrer rastejo e escorregamento em declividades acima de 20,0% (EMBRAPA, 2006).

No que tange à porosidade e à permeabilidade, o recorte urbano da bacia apresenta fácil desagregação mecânica; a baixa permeabilidade na montante do canal pode contribuir para enchentes urbanas, uma vez que a água não é absorvida adequadamente, aumentando o escoamento superficial.

Nos trabalhos de campo, foram identificadas e mapeadas doze intervenções no canal principal e nos canais tributários, caracterizadas como manilhas que drenam a água da chuva das áreas urbanas até os canais, potencializando enchentes e inundações em períodos de intensa precipitação (dezembro e janeiro).

Além do manilhamento, foram mapeadas obstruções no canal nas áreas periurbanas, como o represamento do canal, interrompendo o fluxo natural do rio. Outro fator constatado na área de estudo, foi a presença de esgoto cloacal na rede de drenagem, indicando ligação clandestina de esgoto residencial. Este último fator destaca-se pelo fato de a captação de água que abastece o município ocorrer a poucos quilômetros abaixo no leito principal.

Essas intervenções advindas da atividade antrópica potencializam os impactos e as alterações nas feições morfológicas do canal, sobretudo por modificarem a dinâmica natural do canal. O conjunto das obras setoriais identificadas ao longo do canal, tende a maximizar os problemas, favorecendo alterações nas feições morfológicas e na geometria do canal fluvial.

A Figura 22 faz a espacialização das seções mensuradas no canal fluvial do Córrego Marumbi, sobrepondo com os mapas de uso do solo, tipos de solo, hipsometria e declividade da área de estudo, possibilitando identificar pontos vulneráveis ao longo do canal e oferecendo subsídio para discussão e compreensão das interações complexas entre a topografia e a dinâmica da água. Logo em seguida é apresentada a Figura 23, que espacializa as intervenções mapeadas no canal fluvial do Córrego Marumbi.

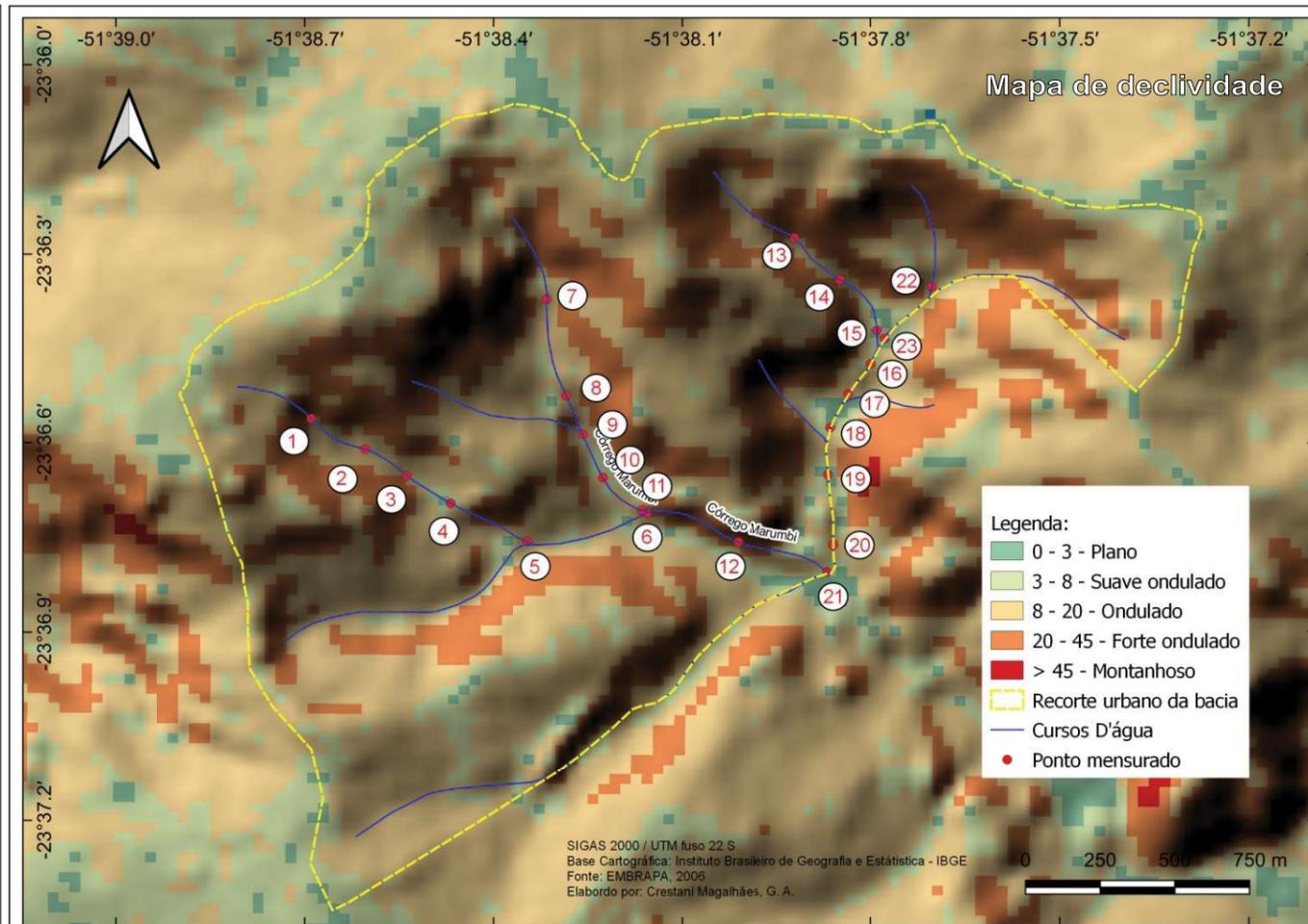
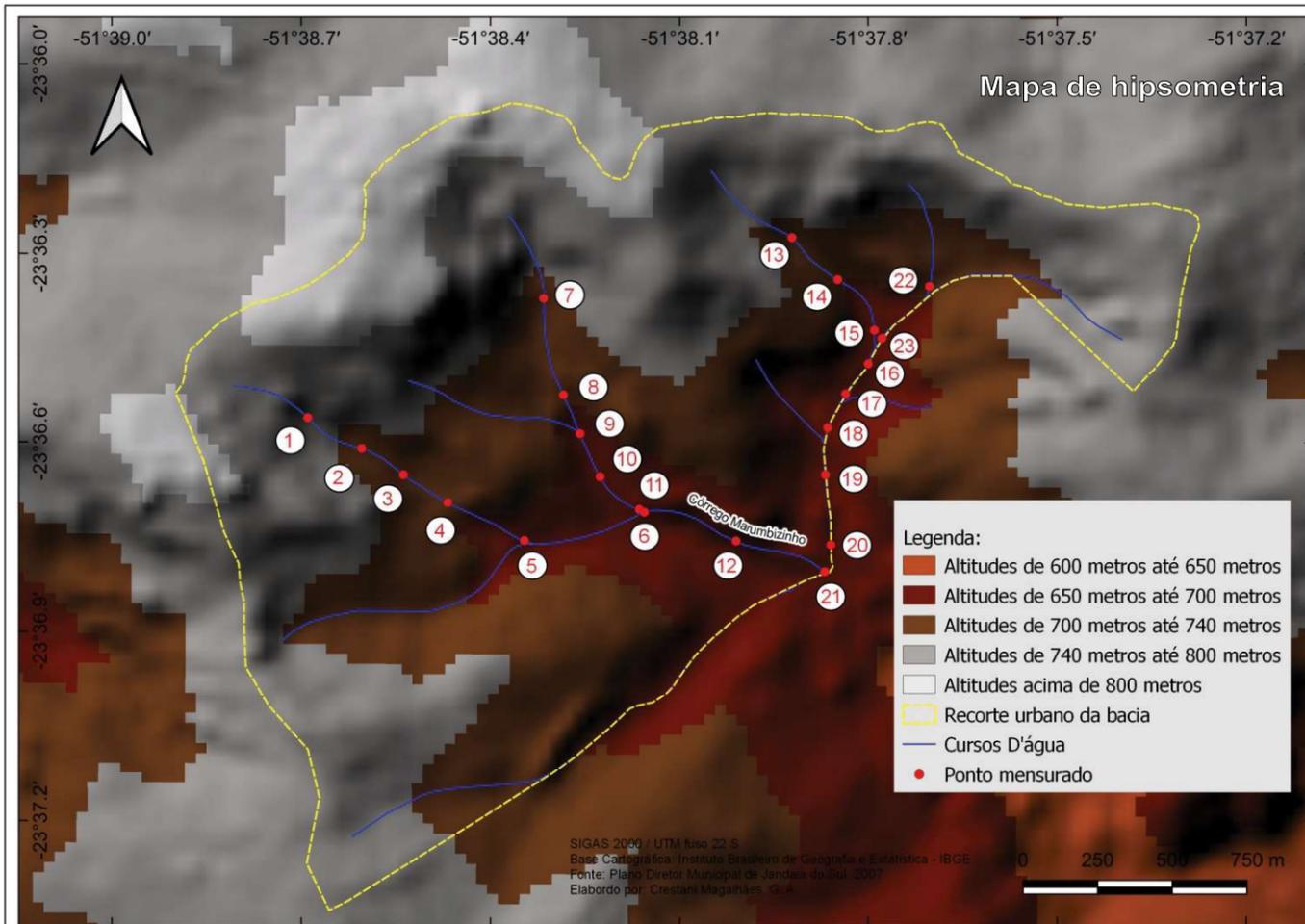
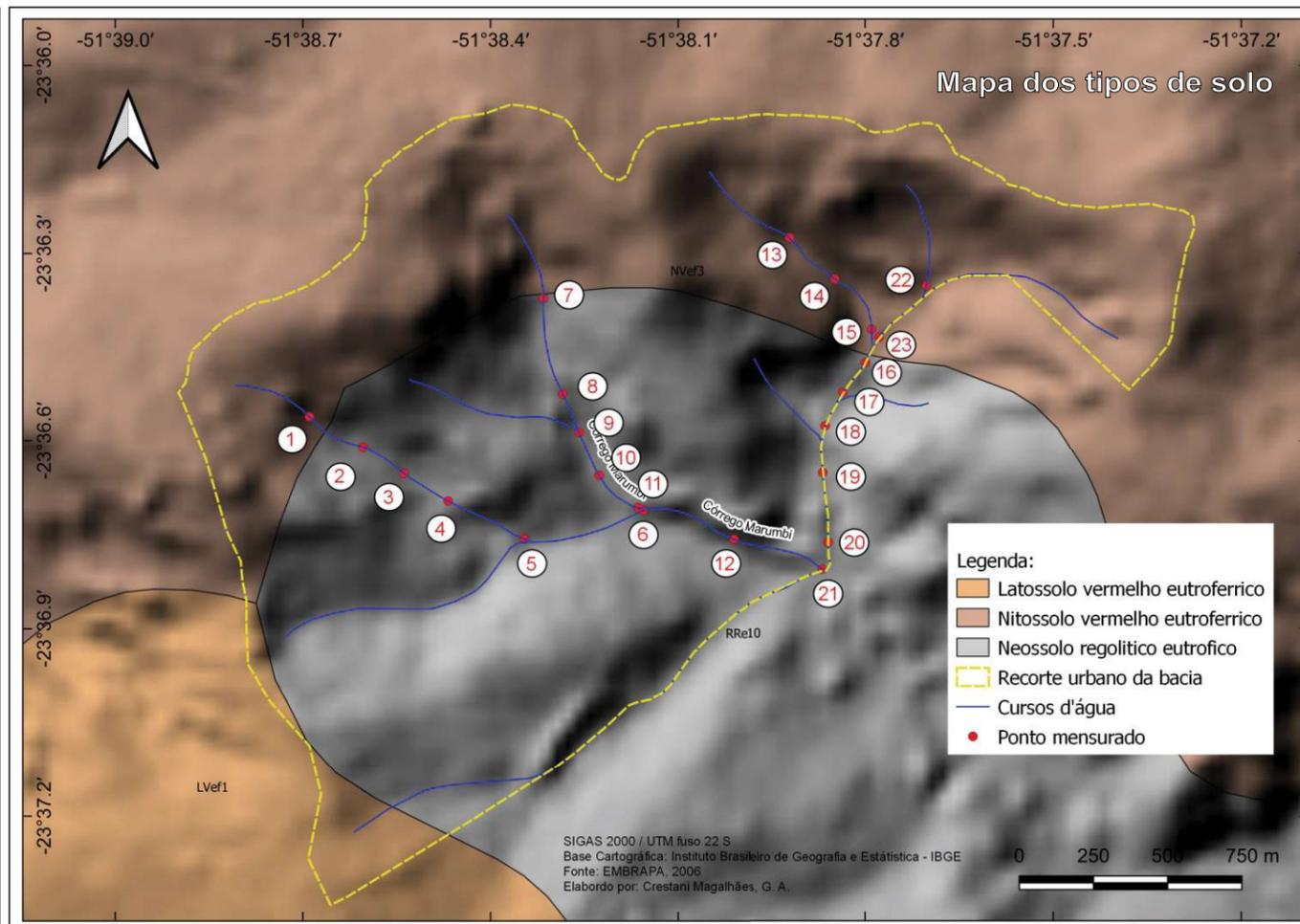
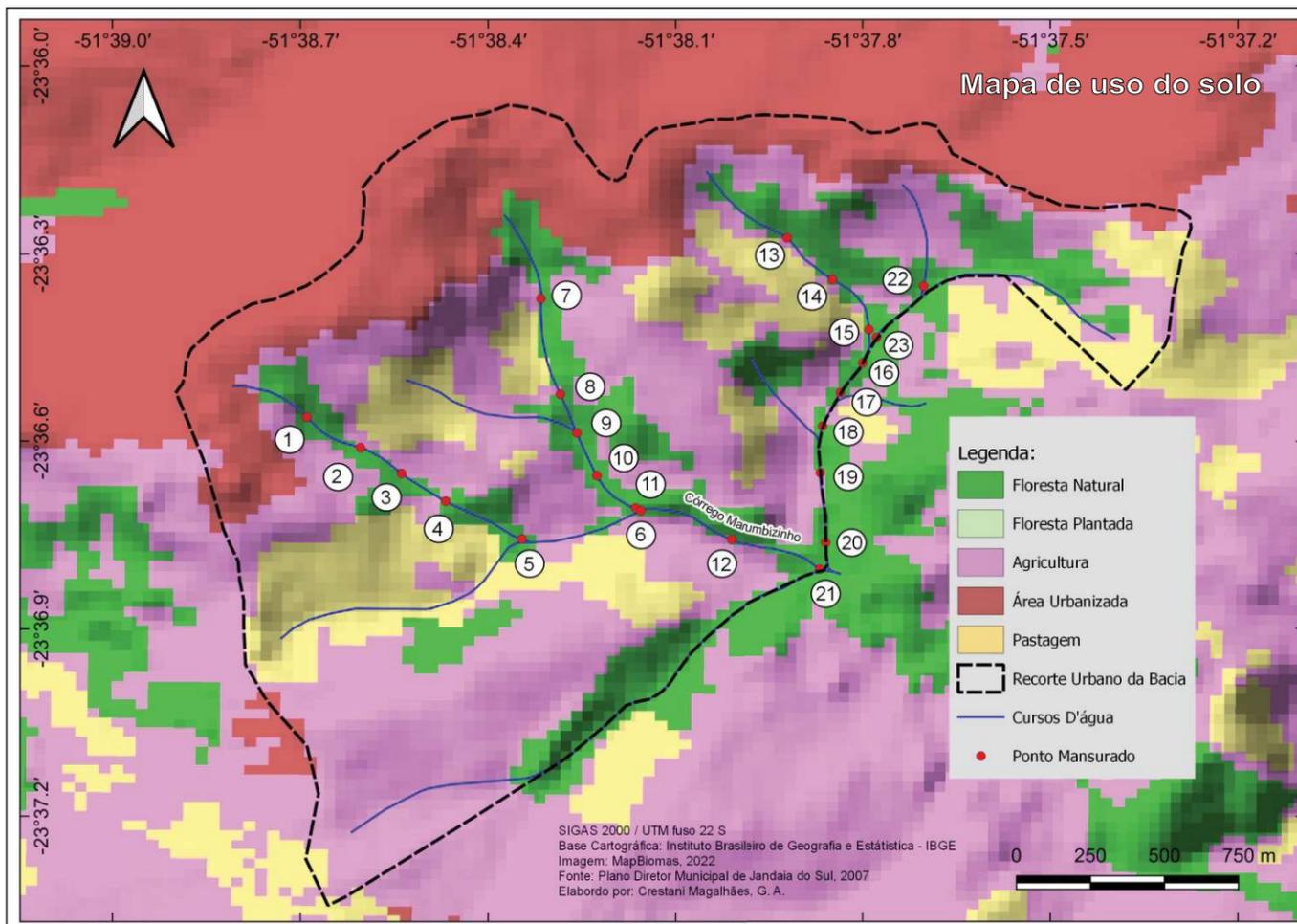


Figura 23: Intervenções no Canal Fluvial do Córrego Marumbi



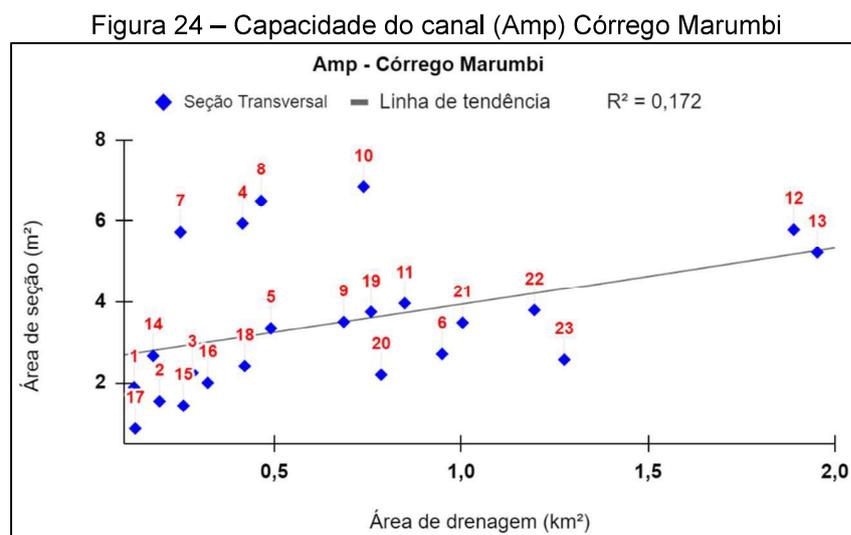
A partir da discussão do mapa das intervenções no canal fluvial, faz-se o debate acerca das variáveis dos parâmetros capacidade do canal (Amp), largura (Wmp) e profundidade média (Dmp), a partir da análise dos gráficos de dispersão das seções transversais mensuradas.

Os valores de Amp apresentam um coeficiente de baixa correlação ($r^2 = 0,172$), em que determinadas seções destoam da linha de tendência e evidenciam o desajuste das propriedades geométricas no canal.

As seções 15, 17, 20 e 23 apresentam diminuição em relação à capacidade do canal; essas seções localizam-se no canal esquerdo, onde os impactos da urbanização são menos perceptíveis. O acréscimo considerável foi identificado nas seções 04, 07, 08 e 10, as quais se situam nos canais mais impactados pela urbanização.

A evolução do relevo no Córrego Marumbi pode ter influência na baixa correlação, o canal possui grande declividade, prevalecendo um maior potencial erosivo do leito e no fluxo das seções. Esse fator, associado à presença de áreas impermeabilizadas a montante, produz deformações no canal, tornando-os incompatíveis com o tamanho da área de drenagem.

O gráfico da Figura 24 apresenta as seções que destoam em relação à linha de tendência, evidenciando o desequilíbrio do canal fluvial em relação a sua capacidade.

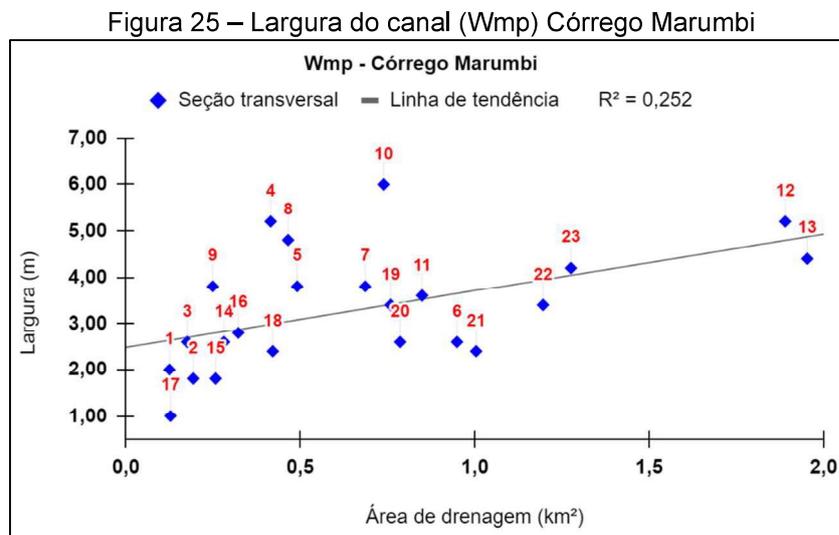


A largura média dos canais (Wmp) foi de 1,00 m e 5,20 m, apresentando alargamentos desproporcionais nas seções 4, 5, 8, 9 e 10. As seções que

apresentaram maiores desajustes em relação à linha de tendência localizam-se no canal principal e no tributário esquerdo: ambos apresentam impactos das áreas impermeabilizadas a montante. Nesses canais, foram encontradas sete manilhas da rede de drenagem urbana, que aumentam o fluxo de energia no sistema em períodos de intensa precipitação.

A relação entre a área de drenagem e W_{mp} apresentou desajuste e dispersão em relação à linha de tendência, obtendo o valor coeficiente de correlação moderado baixo ($r^2 = 0,252$).

O baixo coeficiente de correlação se deve às interferências antrópicas, como a urbanização/impermeabilização na área do Córrego Marumbi e refletem em mudanças na dinâmica fluvial, como o aumento do poder erosivo em períodos de eventos pluviométricos que ocorrem nos meses de janeiro e dezembro. Isso produz intensas perturbações no sistema e alterações na dinâmica da variável de largura do canal (Figura 25).

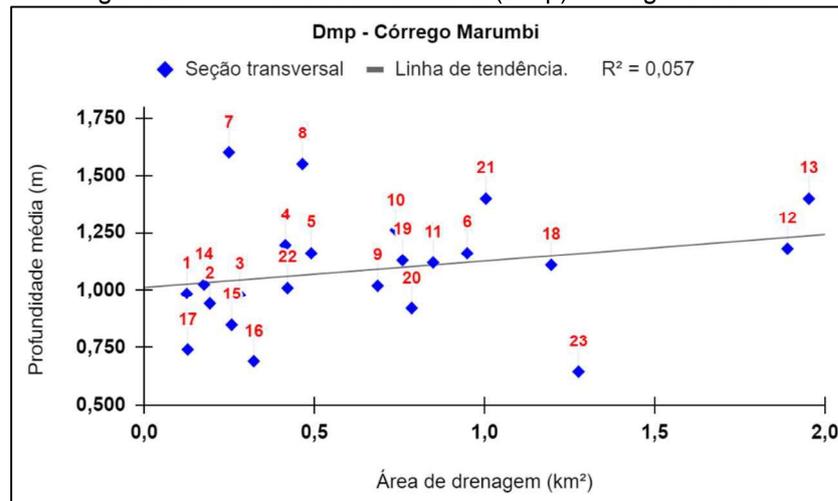


Fonte: Arquivo do autor (2022)

Em relação à profundidade média (D_{mp}) do curso fluvial, a variação foi de 0,645 m e 1,60 m, algumas seções transversais apresentaram desproporcionalidade na linha de tendência, com acréscimo nas seções 7, 8, 10, 13 e 21 e decréscimo nas seções 16, 17 e 23.

Quanto ao coeficiente de correlação de D_{mp} e à área de drenagem, o valor obtido foi o mais baixo nos parâmetros analisados no canal, representando baixa correlação ($r^2 = 0,057$), o que evidencia os desajustes nas seções (Figura 26).

Figura 26 – Profundidade do canal (Dmp) Córrego Marumbi



Fonte: Arquivo do autor (2022)

Os desajustes encontrados nos parâmetros analisados podem ser comprovados pelos impactos que se evidenciam ao longo do canal. A presença de resíduos sólidos urbanos, somados à presença de material lenhoso, que se acumulam por diversos trechos, comprometem o ajuste e estabilidade do canal. A isso soma-se a ocorrência de enchente e inundações ocorridas em picos de intensa precipitação, que provocam a erodibilidade das margens o assoreamento do talvegue, ocasionando alterações na forma do canal.

As formas do canal fluvial indicam que o sistema possui alta energia, apresentando diferenças significativas entre o trecho fluvial superior e o inferior, predominando o alargamento das margens e o assoreamento do talvegue, impactando diretamente na capacidade do canal fluvial.

Fatores que contribuem para esse processo estão ligados ao tipo de solo presente nesta área de estudo, os principais impactos na morfologia dos canais foram identificados na área onde o solo predominante é o Neossolos Regolíticos, os quais possuem baixa profundidade. A combinação de terrenos dissecados e perfis de solo de pequena espessura resulta em uma capacidade de armazenamento de água reduzida e torna esses solos altamente suscetíveis a processos erosivos, potencializados pela inclinação do terreno (Olmos, 1981; EMBRAPA, 1984; Merten, 1994).

Em contraposição, as áreas com menor erodibilidade encontram-se na montante do recorte urbano da bacia, os Nitossolos vermelhos eutroférricos e os latossolos, ambos de textura argilosa, desenvolvendo-se em setores de declividades

fracas a moderadas. Esses solos, originados a partir de alteração do basalto, em geral, são profundos e bem drenados em relação aos encontrados na média e baixa vertente.

A ocorrência dos processos erosivos que alteram as características do canal, tem relação com o crescimento da população urbana de Jandaia do Sul, com a rápida urbanização, em associação a projetos inadequados e deficientes de uso do solo, como a instalação de redes de drenagem e canalizações dos rios urbanos. Essas medidas alteram a dinâmica de escoamento superficial das águas, agravadas pelas enchentes e seu poder erosivo sobre os taludes, produzindo maior volume de sedimentos que são depositados nos rios urbanos, desencadeando mudanças na estrutura e na forma dos canais.

A relação entre uso do solo, declividade, características físicas da área de estudo e intervenções antrópicas, potencializa a instabilidade dos parâmetros largura/profundidade/capacidade no canal, e corrobora com os desajustes da geometria do canal fluvial.

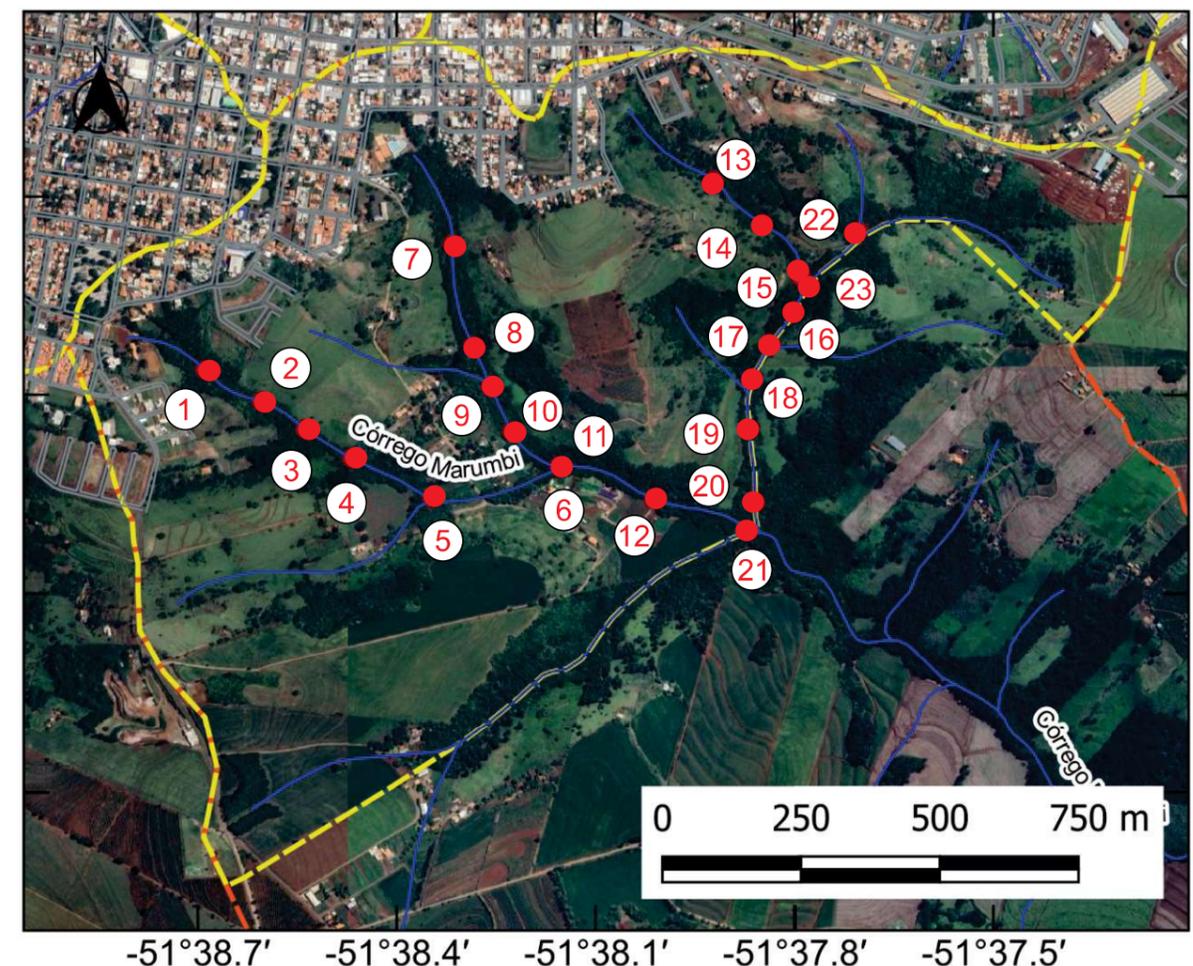
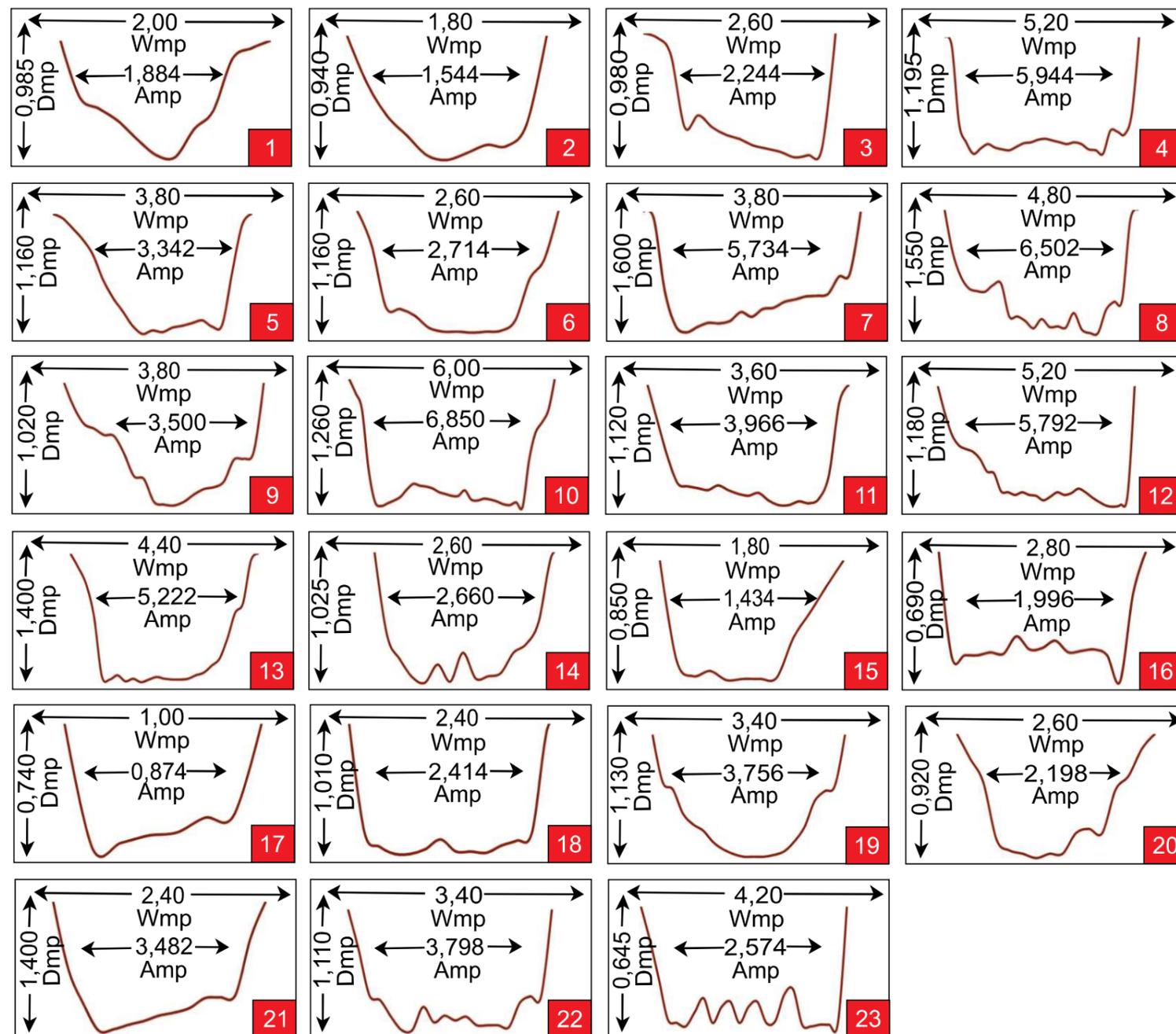
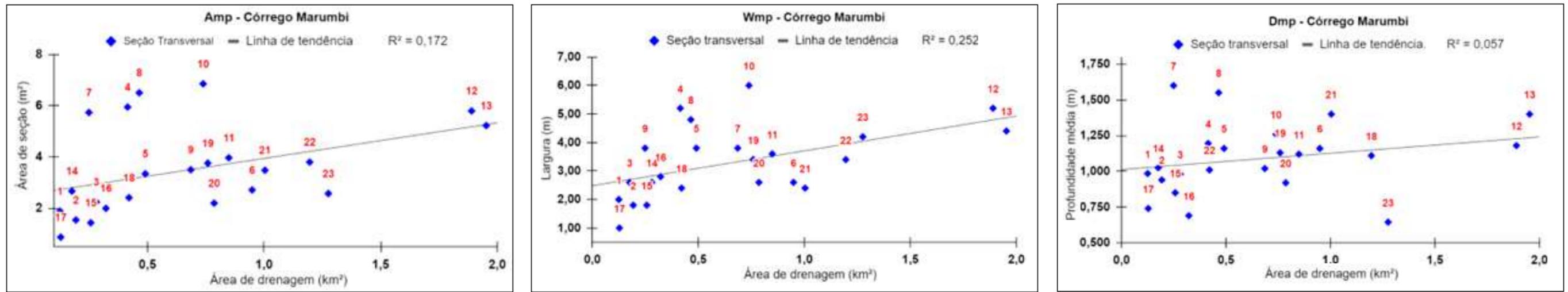
A análise dos aspectos naturais dessa área é de grande significância, sendo ela a principal fonte de captação de água para o abastecimento urbano do município, exigindo maior atenção quanto aos problemas decorrentes do processo de urbanização.

Em estudos realizados nesta bacia, Dias-Oliveira e Borsato (2011) concluíram que a morfometria da bacia restringe áreas de atividades de uso do solo e a expansão urbana devido ao relevo dissecado e às declividades acentuadas.

O relevo íngreme – associado à presença de áreas urbanas e aos altos índices pluviométricos – favorece os processos de movimento de massa e o incremento de resíduos sólidos urbanos nos fundos de vales, que tendem a potencializar os impactos na dinâmica hidrogeomorfológica do canal fluvial.

Essas alterações ocorrem em decorrência do processo de urbanização que implica a impermeabilização do solo e a implantação de obras estruturais na rede de drenagem, aumentando o fluxo durante os episódios de chuvas intensas, que ocorrem na área de estudo com maior incidência nos meses de dezembro e janeiro.

A Figura 27 apresenta a forma das seções mensuradas ao longo do canal fluvial do Córrego Marumbi.



Legenda:

- Cursos D'água
- Recorte Urbano da Bacia
- Arrumanetos
- Ponto Mensurado

SIGAS 2000 / UTM fuso 22 S
 Base Cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
 Imagem: Google Eart, 2022
 Fonte: Plano Diretor Municipal de Jandaia do Sul, 2007
 Organizado por: Crestani Magalhães, G. A.

5.3 RIBEIRÃO CAMBARÁ

Nos trabalhos de campo, foram mensuradas dez seções, sendo distribuídas ao longo do trecho urbano do canal principal. O canal principal que flui em meio à malha urbana encontra-se totalmente canalizado e sobreposto por arruamentos e construções.

A montante da bacia urbana, predomina a área impermeabilizada por arruamentos e obras setoriais, prevalecendo a ampliação da malha urbana, com o surgimento de novos loteamentos residenciais, propiciados pela infraestrutura de saneamento existente nesse setor da cidade. Sendo o canal em questão, o destino de cerca de 62,53% do esgoto sanitário de todo o município (Instituto Água e Saneamento, 2020).

A vegetação ripária é presente abaixo dos trechos canalizados, no setor periurbano do canal, onde predomina a atividade da agricultura e, em menor parte, a atividade agropecuária.

As unidades de solos identificadas no recorte urbano da bacia do Ribeirão Cambará, estão relacionadas ao tipo de rocha, à geomorfologia e à condição climática (mesotérmico úmido subtropical). Os solos predominantes são Nitossolos (SPVS, 1996; ITCG, 2018; Jandaia do Sul, 2006; EMBRAPA, 2006).

A classe dos Nitossolos corresponde a toda porção do recorte urbano da bacia. Os nitossolos encontrados são solos de textura argilosa, do tipo vermelhos eutroféricos, que ocorrem em locais de relevo suave-ondulado a ondulado (EMBRAPA, 2006).

Devido à porosidade e à permeabilidade, apresentam fácil desagregação mecânica, estando sujeitos à erosão nas superfícies com declividades superiores a 10,0% desprovidas de cobertura vegetal. Em áreas com declividades acima de 20,0%, podem sofrer rastejo e escorregamento (EMBRAPA, 2006).

O canal fluvial exibe uma diversidade de altitudes, variando de suaves ondulações a relevos mais acentuados, com cotas altimétricas oscilando na faixa entre 650 metros e 800 metros. Estas variações altimétricas interferem no direcionamento e comportamento do fluxo de água dentro do canal fluvial.

O relevo que caracteriza o recorte urbano da bacia exerce uma influência significativa no dinamismo do canal fluvial. Nas áreas de maiores elevações e

inclinações acentuadas, a água flui com maior velocidade, aumentando consideravelmente o risco de erosão no leito do rio.

Em contrapartida, nas zonas de menor altitude e terreno mais suavemente ondulado, o fluxo da água é mais lento, o que pode afetar o processo de sedimentação e a deposição de materiais no fundo do canal.

A Figura 34 ilustra as variações altimétricas ao longo do curso do canal fluvial. Além disso, ela espacializa as seções mensuradas no canal fluvial do Ribeirão Cambará, integrando a hipsometria à análise topográfica, fornecendo subsídio para a discussão da interação entre a topografia da região e a dinâmica das águas do canal.

O mapa de declividade revela que as áreas com declividades entre 3% e 20% são predominantes no recorte urbano da bacia, especialmente nas regiões de vertentes mais elevadas a médias. Essa faixa de declividade é indicativa de um grau de fragilidade ambiental médio, conforme destacado por Ross (1994).

Essas áreas, devido à sua porosidade e permeabilidade, tendem a sofrer desagregação mecânica com relativa facilidade, tornando-se suscetíveis à erosão, especialmente quando desprovidas de cobertura vegetal em declividades superiores a 10,0% (EMBRAPA, 2006).

Em alguns pontos da alta vertente, a Figura 35 revela declividades que ultrapassam os 20,0%. Essas áreas estão em maior risco de sofrer processos de rastejo e escorregamento, de acordo com as informações da EMBRAPA (2006).

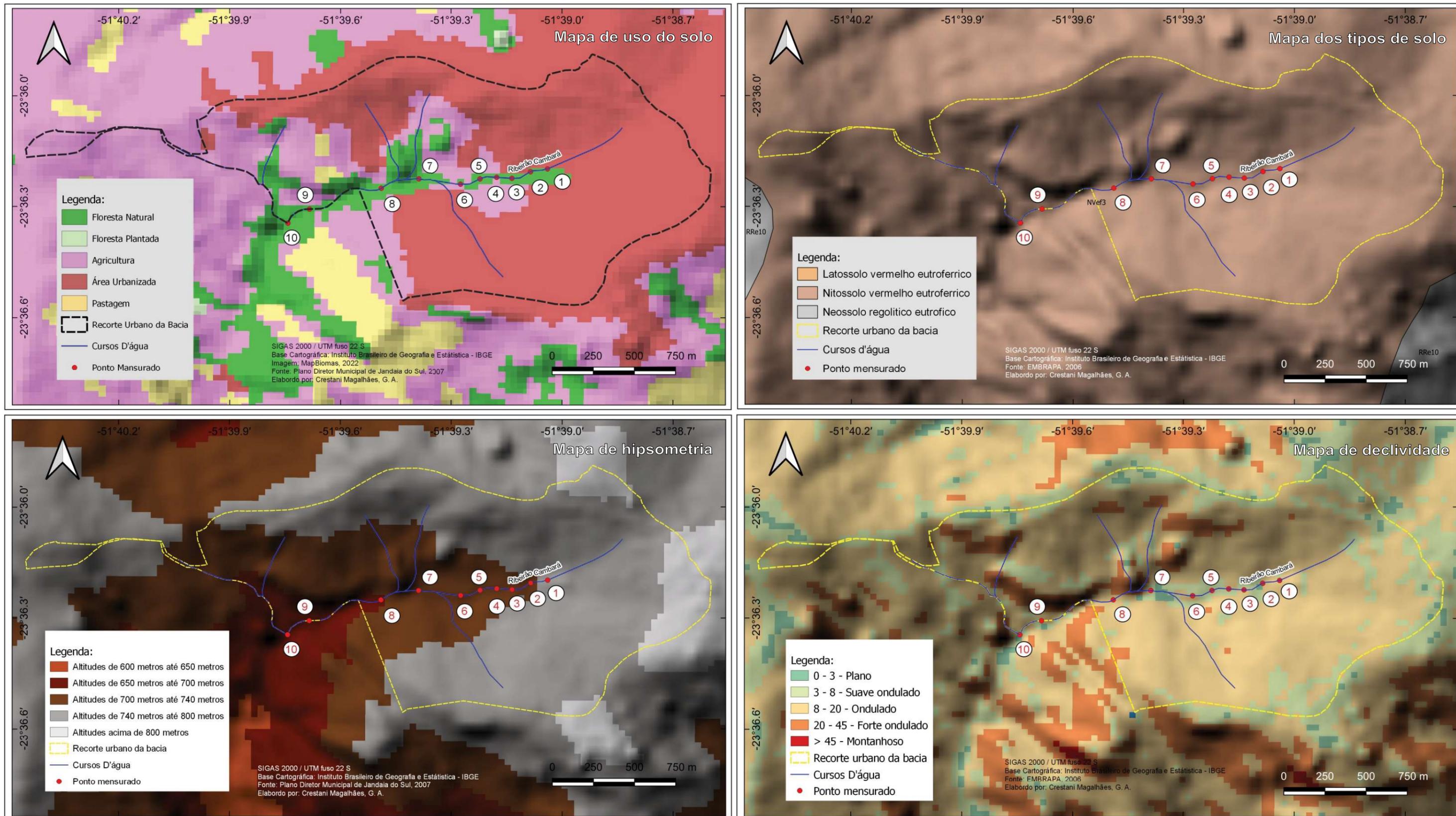
A sobreposição das seções mensuradas no mapa de declividade fornece uma visão mais detalhada da distribuição dessas inclinações acentuadas, permitindo uma análise mais precisa das áreas que oferecem maior vulnerabilidade ambiental.

Estão distribuídas ao longo das laterais do canal, dezesseis manilhas de galerias pluviais que drenam áreas impermeabilizadas do perímetro urbano, adicionando uma quantidade significativa de energia no canal, com picos de enchente e inundações em períodos de intensa precipitação. Além do manilhamento, foram mapeadas duas pontes que interligam os bairros, sendo intervenções significativas na estrutura do canal fluvial identificadas na área de estudo.

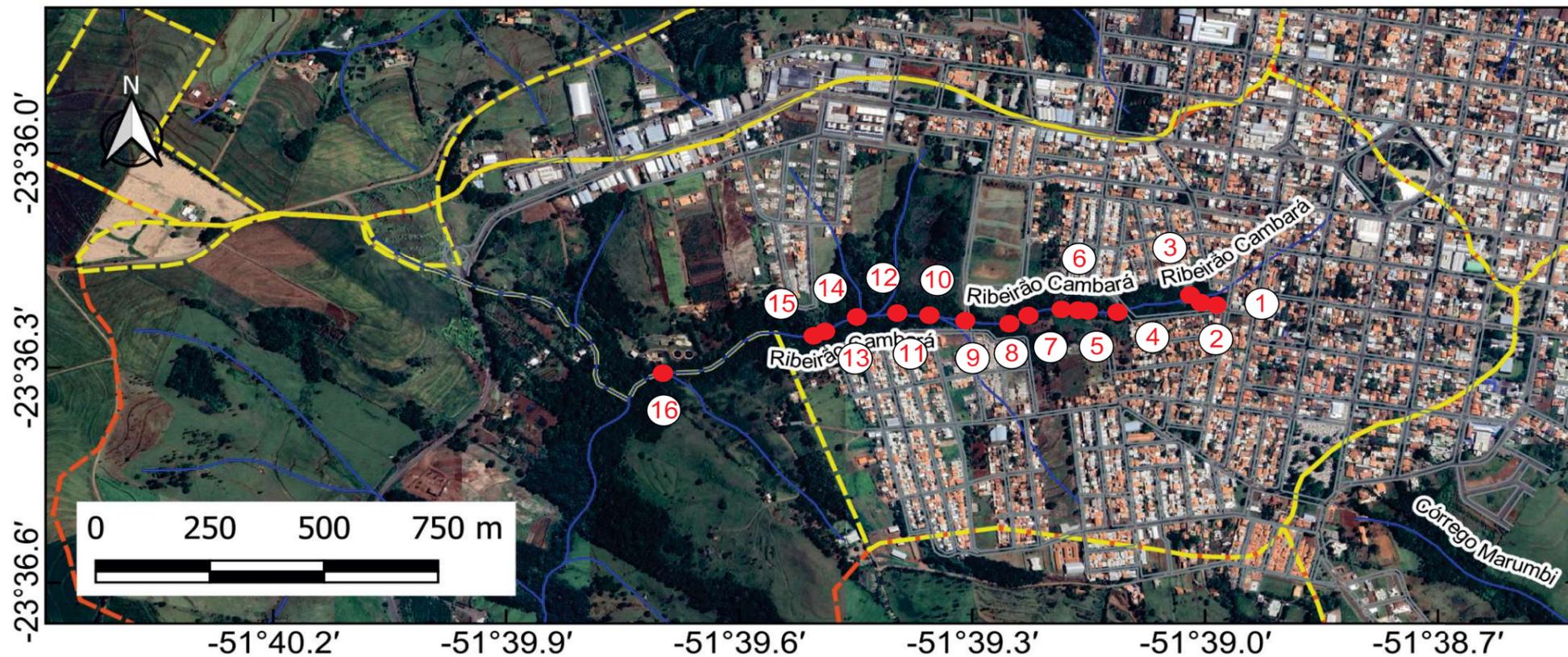
O conjunto das obras setoriais identificadas ao longo do canal tendem a maximizar os problemas, favorecendo alterações nas feições morfológicas e na geometria do canal fluvial.

A Figura 28 faz a espacialização das seções mensuradas no canal fluvial do Ribeirão Cambará, sobreposta com os mapas de uso do solo, tipos de solo, hipsometria e declividade da área de estudo, possibilitando identificar pontos vulneráveis ao longo do canal e oferecendo subsídio para discussão e compreensão das interações complexas entre a topografia e a dinâmica da água. Em seguida a Figura 29 espacializa as intervenções mapeadas no canal fluvial do Ribeirão Cambará.

Figura 28:



Organizado por: Crestani Magalhães, G. A.



Legenda:

-  Cursos D'água
-  Recorte Urbano da Bacia
-  Arrumanetos
-  Ponto Visitado

SIGAS 2000 / UTM fuso 22 S
 Base Cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
 Imagem: Google Eart, 2022
 Fonte: Plano Diretor Municipal de Jandaia do Sul, 2007
 Organizado por: Crestani Magalhães. G. A.

A partir da figura das intervenções no canal fluvial, será feita a discussão das variáveis dos parâmetros a seguir, capacidade do canal (Amp), largura (Wmp) e profundidade média (Dmp), comparando o nível de correlação dos gráficos de dispersão nas seções transversais mensuradas.

Na seção transversal que corresponde à capacidade do canal (Amp), foram obtidos valores que se encontram entre 1,99 m² e 10,09 m², com decréscimo nas seções 2 e 3 (a montante) e acréscimo nas seções 5 e 6 (a jusante). As seções transversais demonstraram não manter o aumento proporcional nas variáveis mensuradas em direção a jusante.

As seções transversais 2 e 3 estão localizadas logo acima de uma seção fechada, com uma estreita passagem canalizada de 0,785 m², incompatível em tamanho e capacidade das áreas dessas seções acima, que medem 10,09 m² e 8,220 m². Isso torna o local crítico para o acúmulo de detritos lenhosos e resíduos sólidos urbanos que obstruem a estreita passagem, reduzem a capacidade do canal e, conseqüentemente, afetam as seções que se situam logo acima.

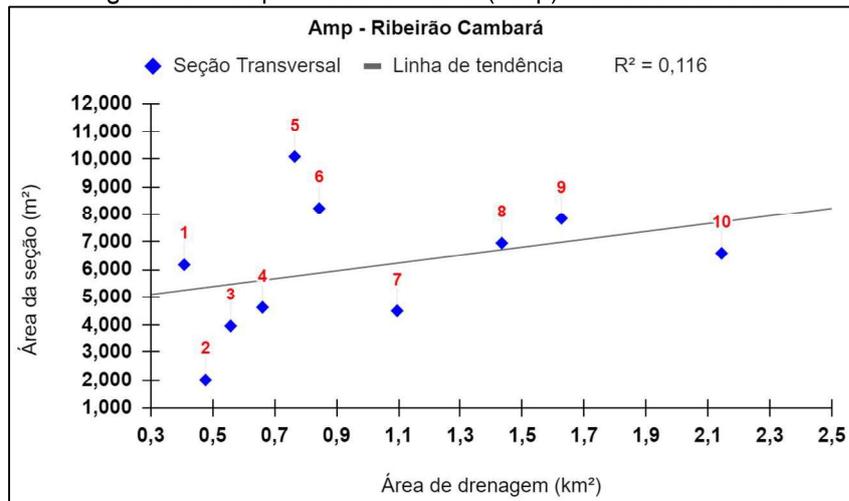
A área também é um potencial ponto de transbordamento das águas durante os eventos de chuvas, quando observado o aumento da capacidade do canal em relação à área canalizada obstruída por sedimentos.

Já as seções transversais 5 e 6 encontram-se no setor do canal com a presença de cinco manilhas que drenam o perímetro urbano, adicionando maior quantidade de água e de energia nesse setor, modificando o canal que se ajusta com maior capacidade nessas seções.

O coeficiente de correlação Amp apresentou o valor de (**$r^2 = 0,116$**). O baixo valor obtido representa considerável desajuste. As seções que destoam em relação à linha de tendência evidenciam alterações na capacidade do canal e demonstram o desajuste no canal em suas propriedades geométricas.

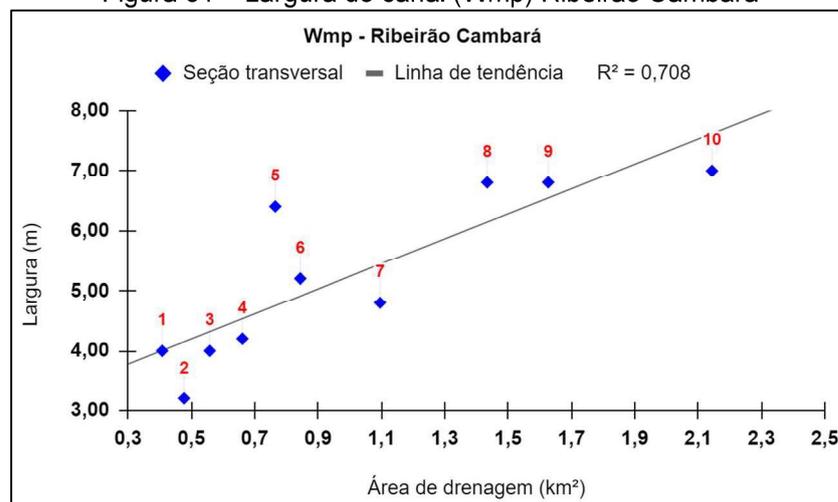
O desajuste do canal é resultado de alterações da largura e da profundidade média e reflete na dinâmica dos processos de assoreamento e sedimentação, resultando na redução da capacidade do canal. Os impactos estão associados à urbanização, com implantação de áreas impermeabilizadas a montante, a qual produz desequilíbrio no ajuste do canal e alterações na morfologia. Em canais ajustados, a área da seção transversal aumenta gradativamente da montante a jusante (Figura 30).

Figura 30 – Capacidade do canal (Amp) Ribeirão Cambará



Fonte: Arquivo do autor (2022)

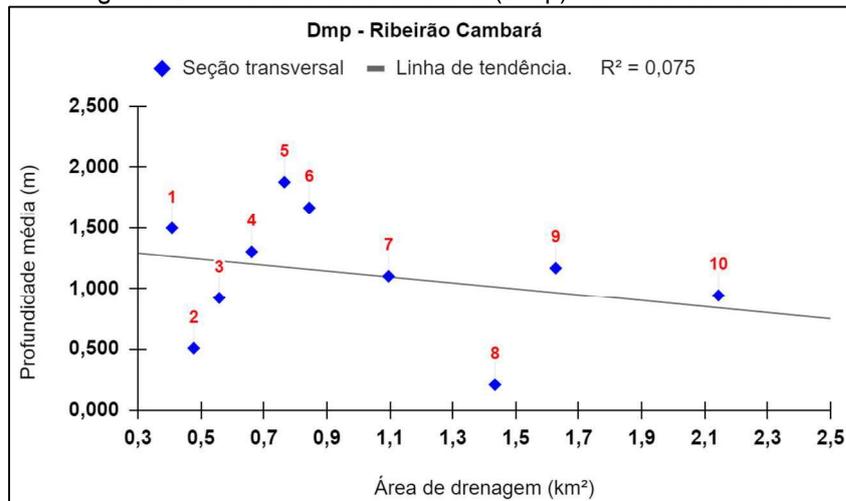
Com relação à largura média (W_{mp}) do canal, obtiveram-se valores entre 3,20 m e 7,0 m, tendo a seção 5 demonstrado um alargamento desproporcional, e a seção 2, com maior estreitamento, o coeficiente foi de ($r^2 = 0,708$). Dentre os parâmetros encontrados, foi o que demonstrou maior ajuste em suas proporcionalidades nas configurações alométricas, obtendo um coeficiente de correlação com moderado alto ajuste (Figura 31).

Figura 31 – Largura do canal (W_{mp}) Ribeirão Cambará

Fonte: Arquivo do autor (2022)

A profundidade média (D_{mp}) variou entre 0,28 m e 1,87, sendo que as seções transversais que mais apresentaram desproporcionalidade em relação à linha de tendência foram as 2, 5, 7, 8 e 10, em que se obteve o resultado de ($r^2 = 0,075$), coeficiente de correlação com baixo ajuste (Figura 32).

Figura 32 – Profundidade do canal (Dmp) Ribeirão Cambará



Fonte: Arquivo do autor (2022)

O baixo valor encontrado no parâmetro (Dmp) pode estar relacionado ao assoreamento dos leitos fluviais e aos processos erosivos no canal pela grande energia do fluxo durante as chuvas e as obras ao longo das margens, o que altera a geometria da seção soerguendo/rebaixando a planície adjacente ao leito fluvial.

Outro fator que pode estar associado à redução da profundidade do canal (Dmp) é a deposição de materiais lenhosos e resíduos sólidos urbanos, associado ao processo erosivo das margens, impactos agravados pelo aumento do nível do fluxo a montante das áreas urbanizadas e obras de engenharia como manilhas encontradas ao longo do canal.

Os parâmetros geométricos analisados responderam de maneira diferenciada aos impactos da urbanização. No que tange à largura média dos canais, o parâmetro Dmp apresentou-se o mais ajustado dentre os parâmetros avaliados com ($r^2 = 0,708$). Já a profundidade média ($r^2 = 0,075$) e área da seção ($r^2 = 0,116$), apresentaram significativos desvios dos seus valores em relação à linha de tendência com inconformidades nos valores no sentido de montante para jusante nas seções mensuradas.

A partir da análise das inconformidades dos gráficos de dispersão do canal fluvial do Ribeirão Cambará, os dados obtidos evidenciam impactos da urbanização na dinâmica do sistema fluvial. Em campo, foram mapeados e espacializados os principais impactos identificados ao longo do canal principal do canal fluvial do Ribeirão Cambará.

Entre os impactos, destacam-se o extravasamento na rede de esgoto cloacal da rede de saneamento em um dos trechos do canal e quantidades significativas de resíduos sólidos urbanos nas margens e no leito do canal, esses se prendem em meio ao material lenhoso que se acumulam ao longo de todo o trecho urbano, em determinados setores, criam uma barreira que obstrui a passagem da água, causando o transbordamento do canal.

Nos trabalhos de campo, constatou-se que o manilhamento que drena o perímetro urbano é o principal responsável pelo transporte dos resíduos sólidos urbanos até o canal. A quantidade significativa de obras setoriais adiciona um gradiente de força acentuado em períodos de intensa precipitação (meses de dezembro e janeiro). Essa energia, associada à presença de resíduos sólidos urbanos e lenhosos, produz alterações significativas na morfologia do canal fluvial.

As intervenções antrópicas identificadas no canal fluvial, como resíduos sólidos urbanos e lenhoso, e as obras setoriais que drenam a montante urbanizada, produzem o aumento gradativo do nível d'água no canal e o crescimento da velocidade e das forças de cisalhamento, atuando na modificação da forma do canal.

O volume de energia que adentra ao sistema fluvial em períodos de intensa precipitação, possibilita que as forças erosivas remanejem o material sedimentar do leito, por meio dos movimentos laterais e verticais do canal, acentuando os processos erosivos.

O perfil dos canais fluviais do Ribeirão Cambará demonstra um desequilíbrio no sistema fluvial, que busca um novo equilíbrio por meio de ajustes nas suas margens e leito, influenciando diretamente na forma do canal e, conseqüentemente, na mudança da vazão.

O solo encontrado no recorte urbano da bacia possui menor erodibilidade, sendo caracterizado como os Nitossolos vermelhos eutroféricos, possui textura argilosa e desenvolve-se em setores de declividades fracas a moderadas, sendo caracterizados como solos profundos. Embora esse tipo de solo possua uma maior resistência, um dos fatores associado aos impactos nos canais fluviais é o processo de urbanização ocorrido a montante da bacia.

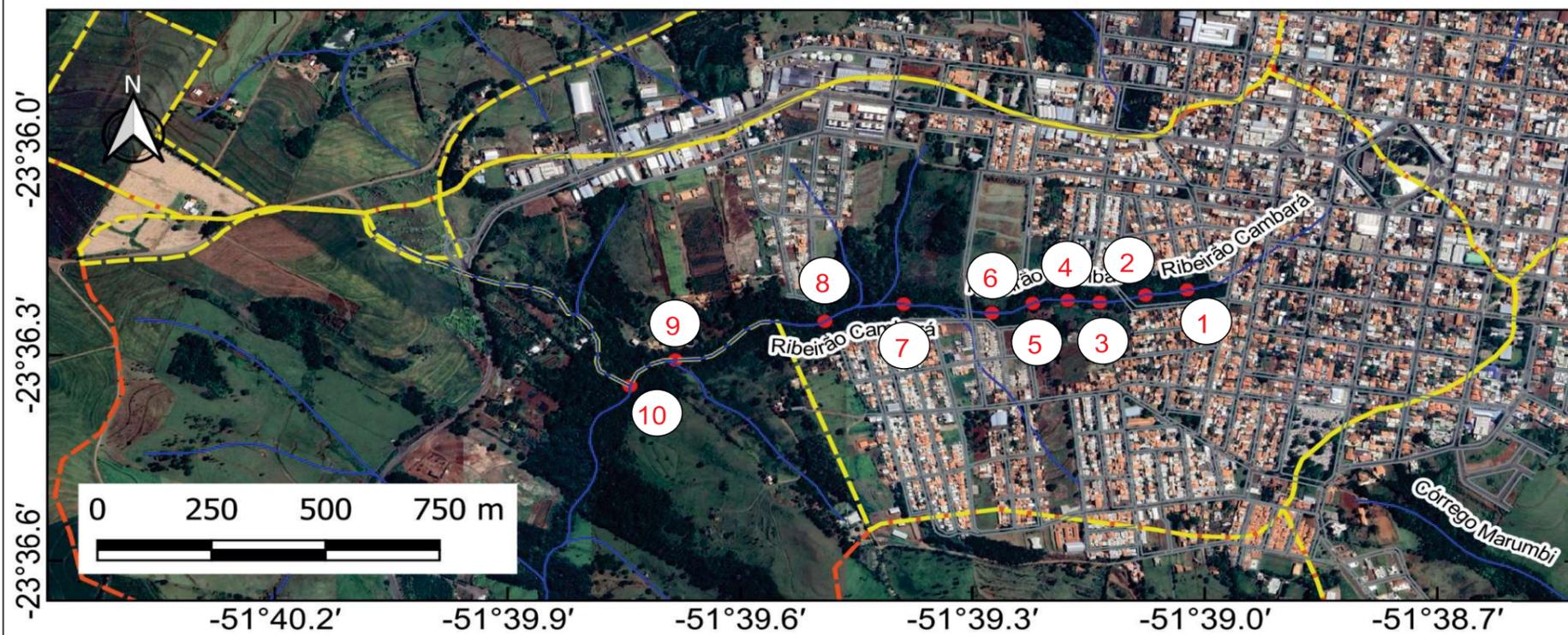
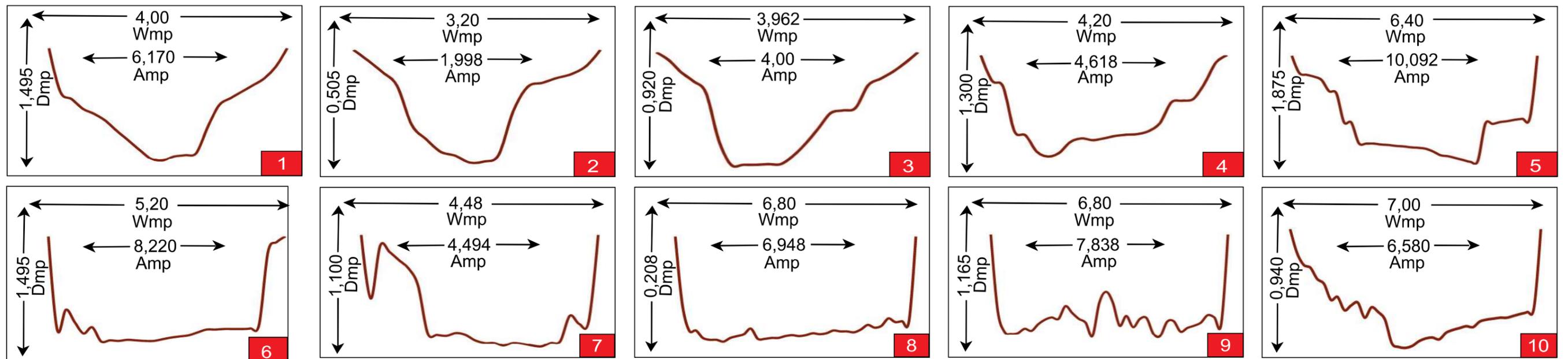
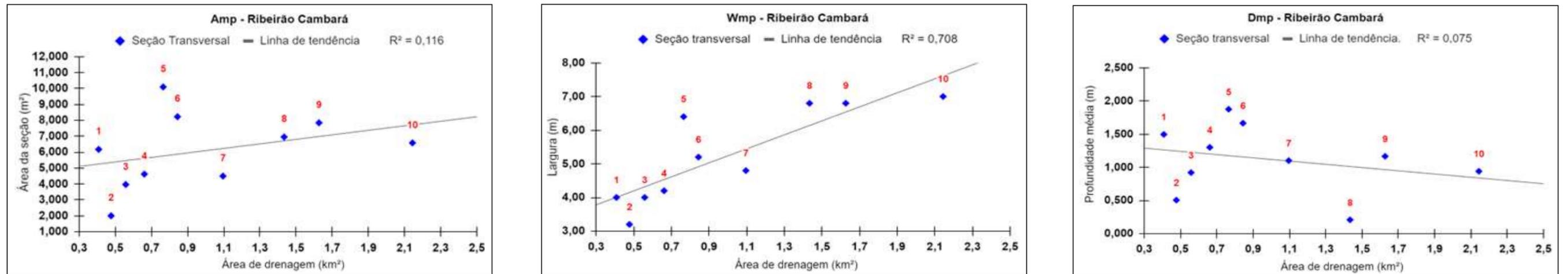
A ocorrência dos processos erosivos que alteram as características do canal, tem relação com o crescimento da população urbana de Jandaia do Sul e sua expansão urbana, em associação a instalação de redes de drenagem e canalizações dos rios urbanos. Essas medidas alteram a dinâmica de escoamento superficial das

águas, e agravadas pelas enchentes e seu poder erosivo sobre os taludes, tendem a transportar um maior volume de sedimentos que são depositados nos rios urbanos, desencadeando mudanças na estrutura e na forma dos canais.

Na Figura 33, é possível identificar os perfis transversais do canal fluvial do Ribeirão Cambará, evidenciando o aprofundamento do leito nas seções a montante e o alargamento das margens no setor da jusante do canal fluvial, evidenciando não manter proporcionalmente um aumento gradual das seções mensuradas.

Em estudo realizado nesta bacia, por Dias-Oliveira *et al.* (2016), constatou-se uma série de problemas ambientais e alterações nos trechos do canal fluvial da área urbana. Os autores encontraram evidências de esgotos cloacais despejados no canal fluvial, presença de resíduos sólidos urbanos que podem potencializar poluição, erosões e ravinamento das margens fluviais. As maiores evidências de impactos foram mais presentes nos trechos onde há desembocadura de galerias fluviais/pluviais.

No estudo, os autores concluíram que os impactos são associados ao tipo de uso do solo urbano, potencializando alterações nos processos hidrogeomorfológicos e, conseqüentemente, na morfologia do canal fluvial.



Legenda:

- Cursos D'água
- Recorte Urbano da Bacia
- Arrumanetos
- Ponto Visitado

SIGAS 2000 / UTM fuso 22 S
 Base Cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
 Imagem: Google Eart, 2022
 Fonte: Plano Diretor Municipal de Jandaia do Sul, 2007
 Organizado por: Crestani Magalhães. G. A.

5.4 RIBEIRÃO ROCHEDO

O trecho urbano do Ribeirão Rochedo tem uma área aproximada de 2,480 km². As medições das seções no canal fluvial do Ribeirão Rochedo se deram a jusante dos trechos canalizados, sendo dezessete seções mensuradas, destas, onze seções no canal principal (seções 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11) e seis no afluente da margem esquerda do canal principal (seções 12, 13, 14, 15, 16, 17).

Na área urbana da bacia do Ribeirão Rochedo, evidencia-se a ampliação da malha urbana e de trechos fluviais canalizados, no setor periurbano a jusante predomina a atividade agrícola, e, em menor proporção, ocorre a prática da pecuária, principalmente, nas áreas de relevo íngreme.

Predominam, na área periurbana, lotes rurais compostos, sobretudo, por pequenas propriedades da agricultura familiar, que têm o rio como recurso hídrico para o abastecimento dos animais de criação, apresentando trechos onde a vegetação ciliar encontra-se degradada pelo acesso do gado até o leito fluvial.

A vegetação ciliar é presente ao longo do canal fluvial. Em pontos específicos, após o perímetro urbano, evidencia-se a presença de floresta plantada (eucalipto) com origem comercial que ocupa a margem direita do canal; esta, por sua vez, suprime a existência da vegetação nativa.

As unidades de solos identificadas no recorte urbano da bacia do Ribeirão Rochedo, estão relacionadas ao tipo de rocha, à geomorfologia e à condição climática (mesotérmico úmido subtropical). Os solos predominantes são os Nitossolos e Neossolos (SPVS, 1996; ITCG, 2018; Jandaia do Sul, 2006; EMBRAPA, 2006).

A classe dos Nitossolos corresponde ao montante do recorte urbano da bacia. Os nitossolos encontrados na área de estudo são solos de textura argilosa, do tipo vermelhos eutroféricos, que ocorrem em locais de relevo suave-ondulado a ondulado (EMBRAPA, 2006).

Devido à porosidade e à permeabilidade, apresentam fácil desagregação mecânica, estando sujeitos à erosão nas superfícies com declividades superiores a 10,0% desprovidas de cobertura vegetal. Em áreas com declividades acima de 20,0%, podem sofrer rastejo e escorregamento (EMBRAPA, 2006).

Sobre os Neossolo, são do tipo litólicos eutróficos, associados a chernossolos argilúvicos e nitossolos vermelhos eutroféricos, com ocorrência em locais de relevo fortemente ondulado a montanhoso. São constituídos por material mineral pouco

espesso, não apresentando alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos ou pela característica do mineral (EMBRAPA, 2006).

As cotas altimétricas oscilam entre 650 m e 800 m, distribuídas em relevo, variando entre suavemente ondulado e ondulado. O relevo que caracteriza o recorte urbano da bacia exerce uma influência significativa no dinamismo do canal fluvial; nas áreas de maiores elevações e inclinações acentuadas, a água flui com maior velocidade, aumentando consideravelmente o risco de erosão no leito do rio. Já nas áreas de menor altitude, o fluxo da água é mais lento, o que pode afetar o processo de sedimentação e a deposição de materiais no fundo do canal.

A maior parte do recorte urbano da bacia possui declividades na classe de 3% a 20%, predominando nas áreas de média vertente. Segundo Ross (1994), essa classe de declividade caracteriza um grau de fragilidade ambiental médio.

A área de estudo apresenta em pontos da alta vertente encostas com relevo íngreme, caracterizados como fortemente montanhosos, com declividades superiores a 45%; de acordo com Ross (1994), essas áreas caracterizam um grau de fragilidade ambiental muito forte.

Devido à porosidade e à permeabilidade, apresentam fácil desagregação mecânica, a maior parte do recorte urbano da bacia é suscetível à erosão, nas superfícies com declividades superiores a 10,0%, em especial, quando desprovidas de cobertura vegetal. Os trechos da alta vertente apresentam áreas com declividades acima de 20,0%, estando sujeitos a sofrer rastejo e escorregamento (EMBRAPA, 2006).

Durante os trabalhos de mensuração das seções transversais, foram mapeadas dez intervenções no canal advindas de obras setoriais (tubulações/galerias pluviais) que drenam áreas impermeabilizadas do perímetro urbano e seções fechadas (pontes/passarelas) que obstruem o fluxo natural do rio, as intervenções modificam a dinâmica natural do canal, potencializando os impactos e as alterações nas feições morfológicas do canal.

Além dos impactos relacionados às intervenções setoriais no canal, é importante salientar que a urbanização desordenada e a expansão urbana na montante da bacia urbana têm contribuído para o aumento das áreas impermeabilizadas, como implantação de obras setoriais, que aumentam o escoamento superficial das águas pluviais. Isso resulta em um maior volume de água

que flui para o canal em períodos de intensa precipitação, potencializando os processos erosivos e o assoreamento de leito do canal fluvial.

A Figura 34 faz a espacialização das seções mensuradas no canal fluvial do Ribeirão Rochedi, sobrepondo com os mapas de uso do solo, tipos de solo, hipsometria e declividade da área de estudo, possibilitando identificar pontos vulneráveis ao longo do canal e oferecendo subsídio para discussão e compreensão das interações complexas entre a topografia e a dinâmica da água. Logo após segue a Figura 35 que espacializa as intervenções no canal fluvial do Ribeirão Rochedo.

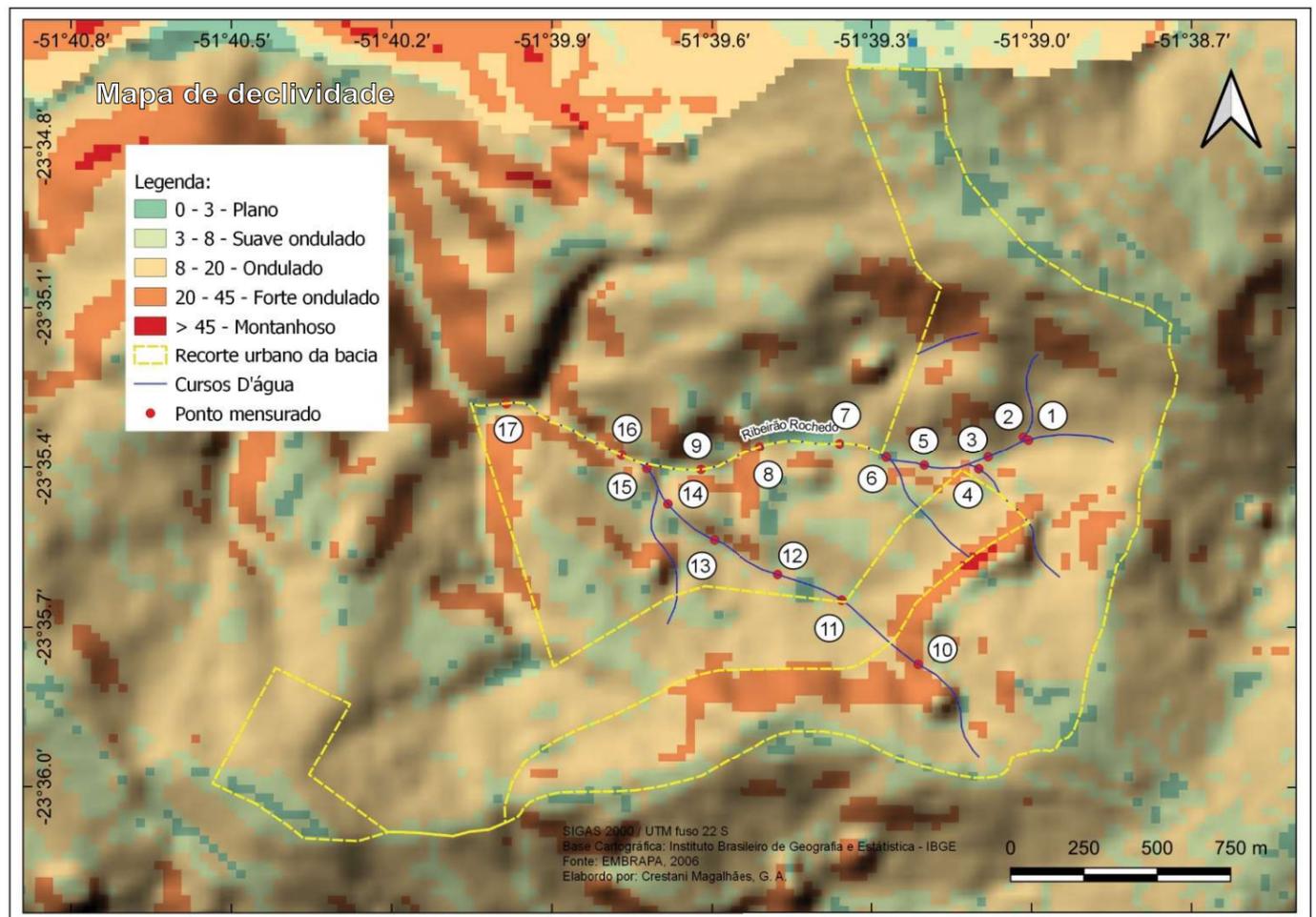
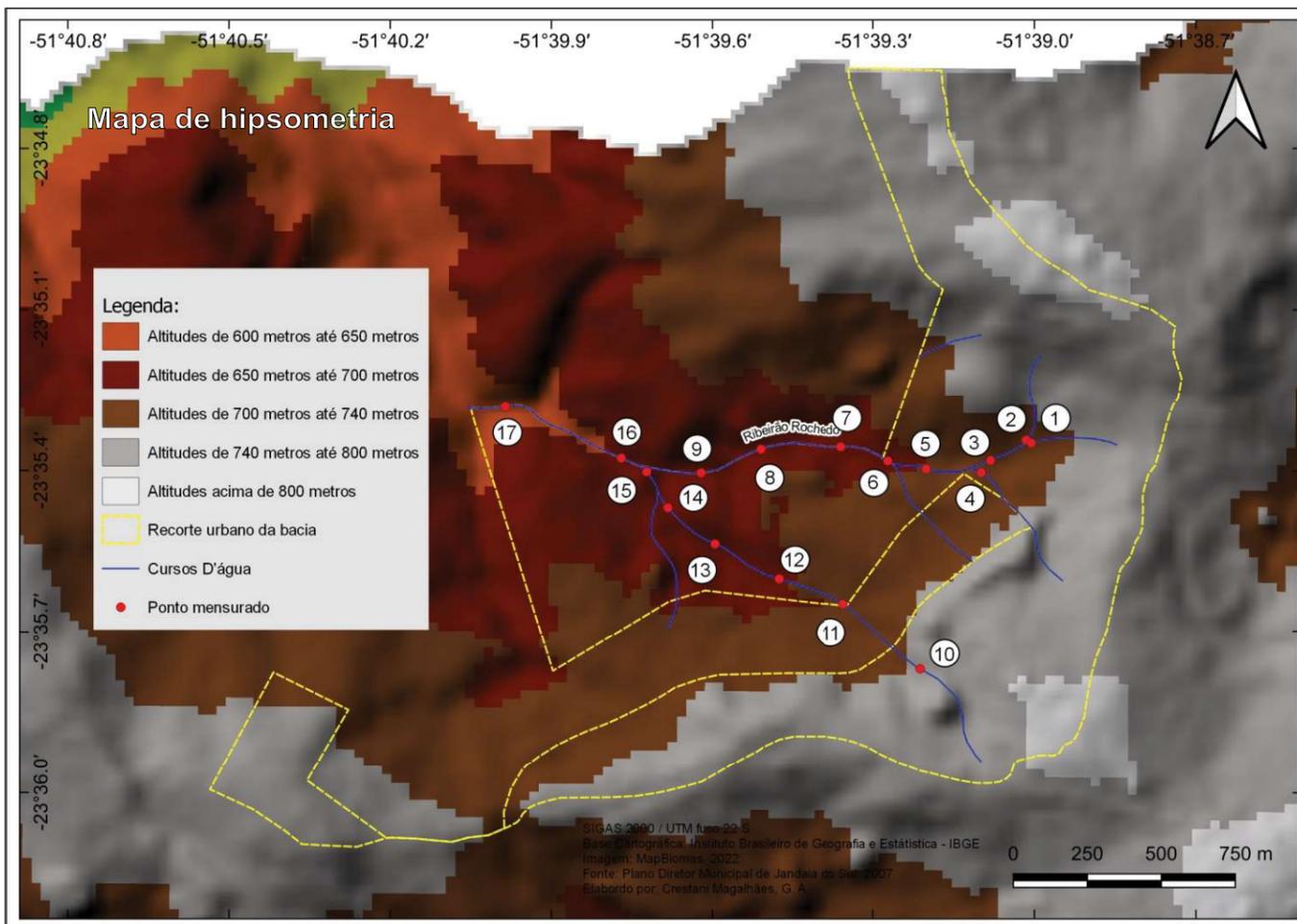
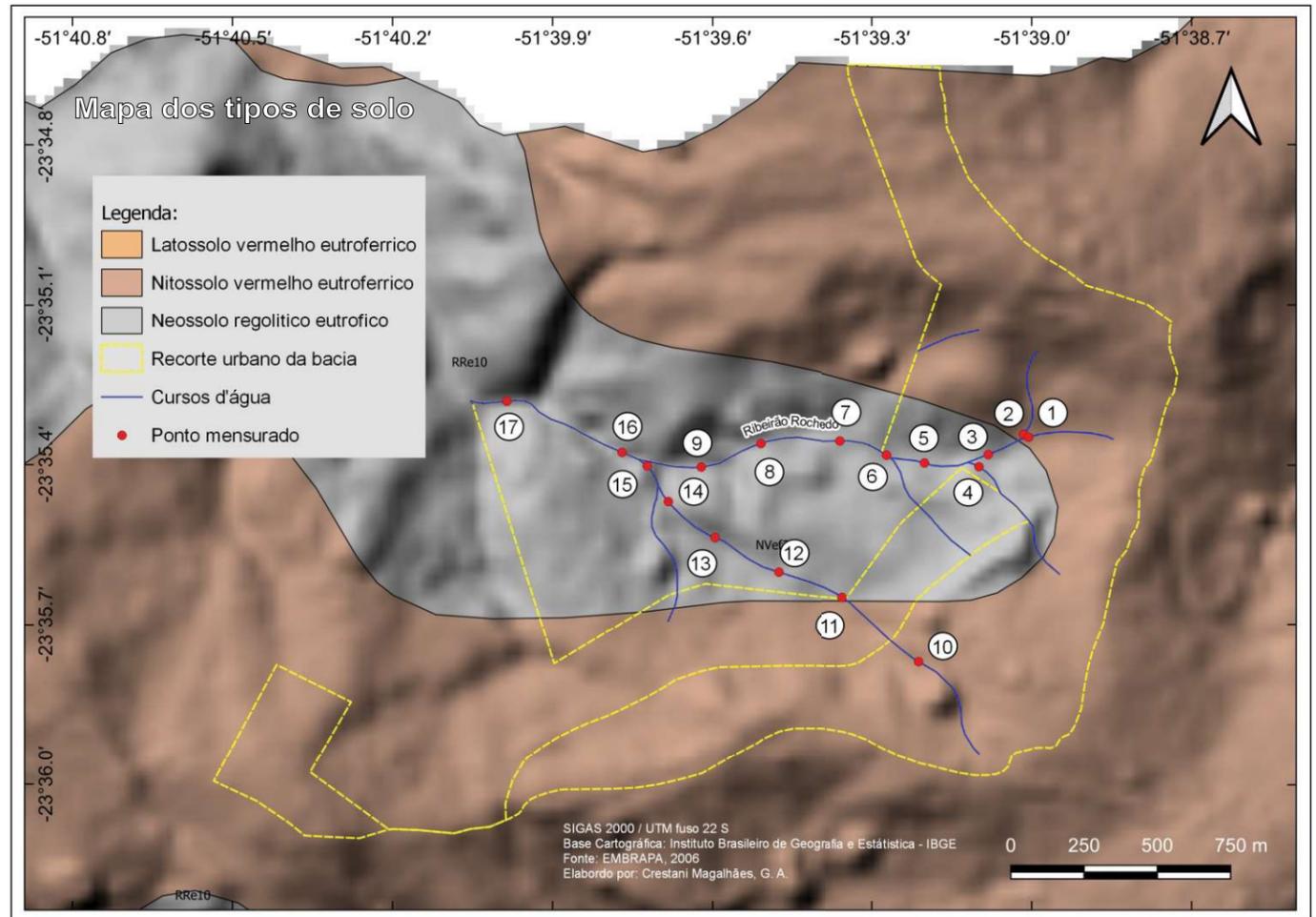
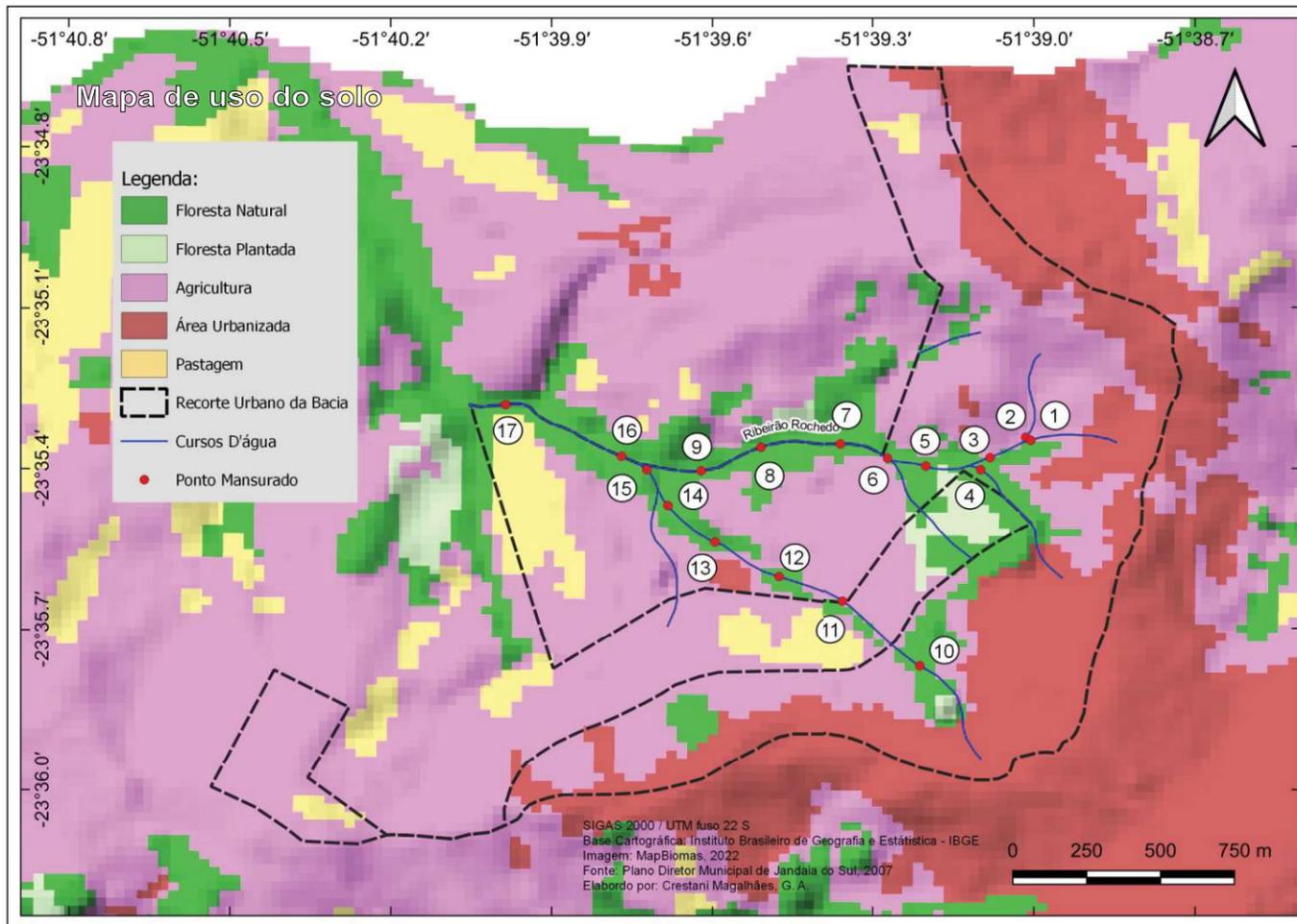
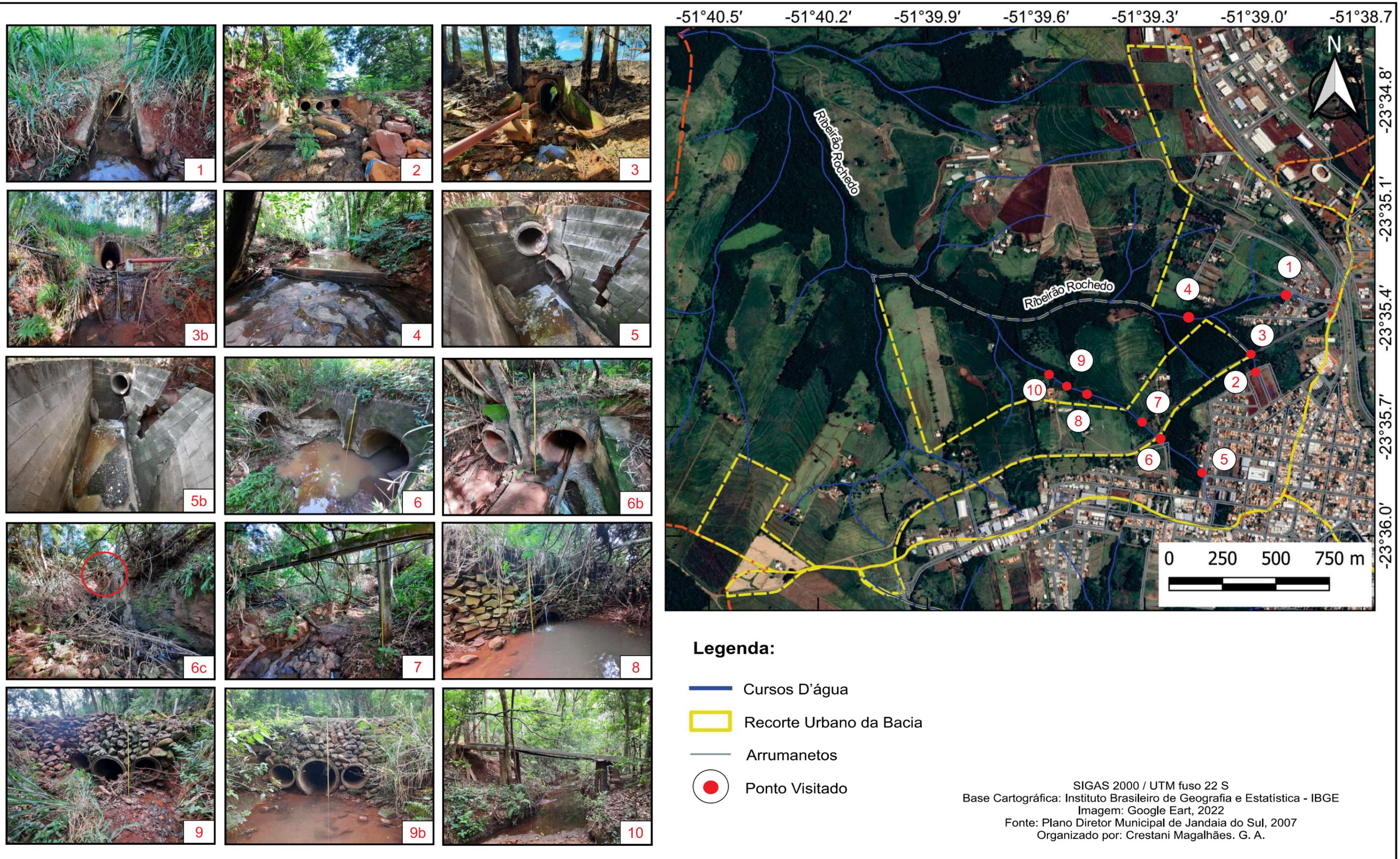


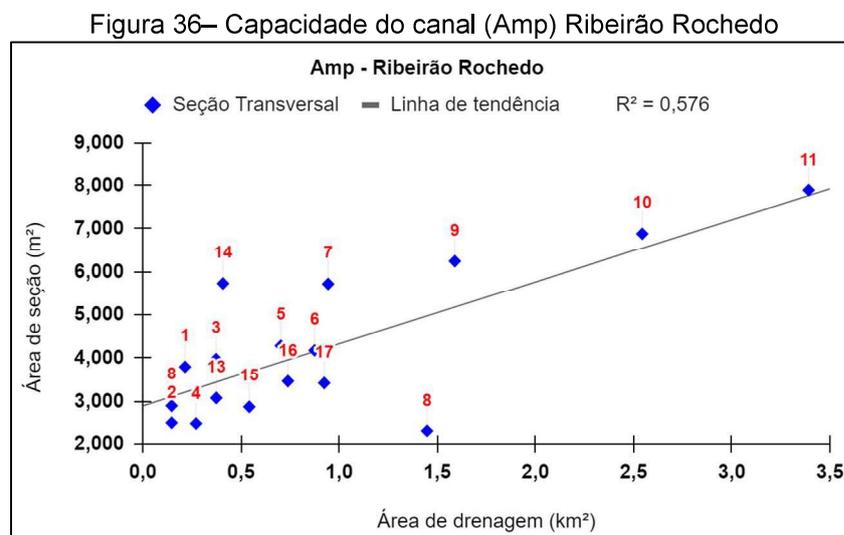
Figura 35: Intervenções no Canal Fluvial do Ribeirão Rochedo



Nesse excerto, faz-se a discussão acerca das variáveis dos parâmetros a seguir – capacidade do canal (Amp), largura (Wmp) e profundidade média (Dmp) – comparando o nível de correlação dos gráficos de dispersão nas seções transversais mensuradas, visto que as intervenções no canal fluvial propiciam desajuste na dinâmica natural do sistema.

A área da seção transversal que representa a capacidade do canal (Amp) apresentou valores entre 2,29 m² e 7,88 m², mostrando um acréscimo significativo nas seções 7, 9 e 14, enquanto na seção 8 houve decréscimo. A relação da Amp com a área de drenagem apresentou um coeficiente de correlação de (**r² 0,576**), representando moderado alto ajuste.

O coeficiente de correlação mais equilibrado encontrado pode ter relação ao fato de o canal fluvial apresentar baixo índice de urbanização, estando a malha urbana restrita a montante, sendo predominante, ao longo do canal, nas áreas periurbanas, a atividade agropecuária, cuja presença da vegetação ciliar preserva as características naturais do ambiente. Conforme Leopold e Maddock (1953), as maiores correlações são identificadas em ambientes naturais, a intervenção antrópica no ambiente pode ser determinante nos baixos ajustes da morfologia do canal (Figura 36).



Fonte: Arquivo do autor (2022)

As correlações positivas bem ajustadas entre os parâmetros geométricos do canal fluvial estão relacionadas ao aumento da descarga no sistema fluvial, que deve ter um ajuste proporcional ao aumento da área de drenagem.

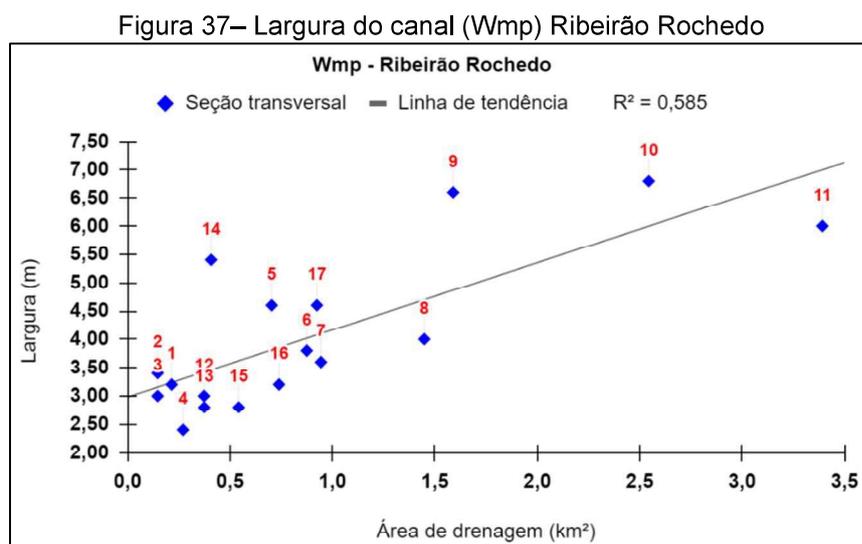
As mudanças registradas na capacidade do canal resultam de alterações da largura, da profundidade média e refletem mudanças na dinâmica dos processos de assoreamento e de sedimentação do canal, que predominam sobre os processos erosivos.

Com relação à largura média dos canais, obtiveram-se valores entre 2,40 metros e 6,80 metros, com alargamento desproporcional nas seções 9, 10 e 14, localizadas a jusante do canal. Alterações nessas seções podem estar relacionadas à acumulação de detritos lenhosos, associados ao aumento do fluxo do canal das áreas impermeabilizadas a montante.

A acumulação de detritos lenhosos pode causar estreitamento ou alargamento do canal, escavação ou sedimentação, estabilidade ou instabilidade em diferentes pontos ao longo do leito e das margens do canal fluvial (Swanson *et al.*, 1976).

Entre os parâmetros analisados no canal, Wmp foi o que apresentou o resultado mais expressivo, com o coeficiente de correlação em ($r^2 = 0,585$), esse valor representa moderado alto ajuste na correlação na largura do canal.

O fraco ajuste de correlação na largura do canal (Wmp), também pode ser explicado por interferências antrópicas e alterações na dinâmica fluvial causadas pela urbanização/impermeabilização a montante do canal, que em eventos pluviométricos extremos, tem-se o aumento da vazão e substancialmente o aumento do poder erosivo do fluxo de água no canal (Figura 37).

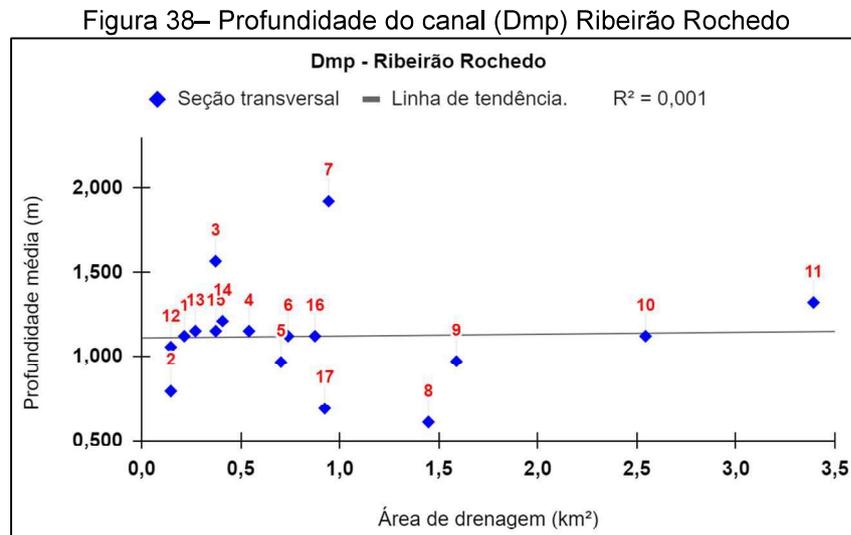


Fonte: Arquivo do autor (2022)

Em trechos a jusante do canal, identificou-se a presença de obras de engenharia, o que tende a alterar as características naturais do canal. As intensas perturbações no canal acabam por modificar o comportamento hidrológico e o volume de água que adentra ao sistema. Essas alterações obrigam o canal a produzir um novo ajuste, a fim de aumentar a capacidade de vazão, além de afetarem outras variáveis morfométricas, como o agravamento do assoreamento do canal.

A profundidade média dos cursos fluviais variou entre 0,690 m e 1,920 m. Entre as variáveis amostradas, somente o parâmetro (Dmp) das seções apresentou valores menos expressivos, com um coeficiente de correlação ($r^2 = 0,001$) com baixo ajuste.

Esse parâmetro foi o que demonstrou considerável desajuste proporcionalmente em suas configurações alométricas dentre os cinco canais fluviais analisados. A redução da profundidade do canal (Dmp) e o baixo ajuste de correlação são explicados por alterações na dinâmica de erosão e de deposição; no caso do Ribeirão Rochedo, identificou-se, ao longo do canal, grande presença de detritos lenhosos, os quais influenciam diretamente os processos erosivo-depositivos determinantes para a geometria do leito e do perfil transversal (Figura 38).



Fonte: Arquivo do autor (2022)

A alta taxa de deposição é reflexo da erosão das margens, que contribui para o assoreamento do leito do canal, que é agravada pela elevação do nível do fluxo a montante urbanizada e a presença de obras de engenharia, produzindo alterações na morfologia do canal.

Somada aos fatores anteriores, a característica do substrato rochoso do leito (predomínio de basalto maciço) mais resistente à erosão fluvial pode ter relação a menores profundidades encontradas na área de estudo.

Os desajustes em relação à linha de tendência registrados nos valores de largura e de profundidade média são o resultado de alterações na capacidade do canal. Nos levantamentos feitos no canal fluvial, os valores de A_{mp} e W_{mp} demonstraram moderado alto ajuste morfológico no canal. Apesar de algumas seções destoarem da linha de tendência, no que tange ao valor de D_{mp} o coeficiente obteve baixo ajuste, essa variável foi a que apresentou considerável desajuste entre os dados analisados no canal fluvial.

A partir da análise dos parâmetros no canal fluvial do Ribeirão Rochedo, evidenciam-se os impactos causados pelo processo de urbanização. Entre os principais impactos identificados, destaca-se a presença de resíduos sólidos urbanos que adentram os canais oriundos das galerias pluviais que drenam o perímetro urbano, somada à presença de material lenhoso, os quais se acumulam obstruindo o fluxo do canal, potencializando o acúmulo de sedimentos no leito.

Além dos impactos causados pela urbanização, os canais situados na área periurbana (jusante) apresentaram seções alteradas relacionadas à interferência nos canais para possibilitar a chegada do gado até o leito fluvial.

As intervenções antrópicas no canal estão intrinsicamente relacionadas à forma dos canais mensurados. As galerias pluviais que drenam as áreas urbanas adicionam um volume considerável de energia no canal fluvial, somados à presença de resíduos sólidos urbanos e lenhosos, alteram a estabilidade das margens e o formato do canal.

Fatores que contribuem para esse processo estão ligados ao tipo de solo presente nesta área de estudo. Os principais impactos na morfologia dos canais foram identificados na área onde o solo predominante é o Neossolos Regolíticos, de baixa profundidade. A combinação de terrenos dissecados e perfis de solo de pequena espessura resulta em uma capacidade de armazenamento de água reduzida e torna esses solos altamente suscetíveis a processos erosivos, potencializados pela inclinação do terreno (Olmos, 1981; EMBRAPA, 1984; Merten, 1994).

Em contraposição, as áreas com menor erodibilidade encontram-se na montante do recorte urbano da bacia; o Nitossolos vermelhos eutroférricos de textura argilosa desenvolvem-se em setores de declividades fracas a moderadas. Esse solo

origina-se a partir de alteração do basalto, em geral, é profundo e bem drenado em relação aos encontrados na média e baixa vertente.

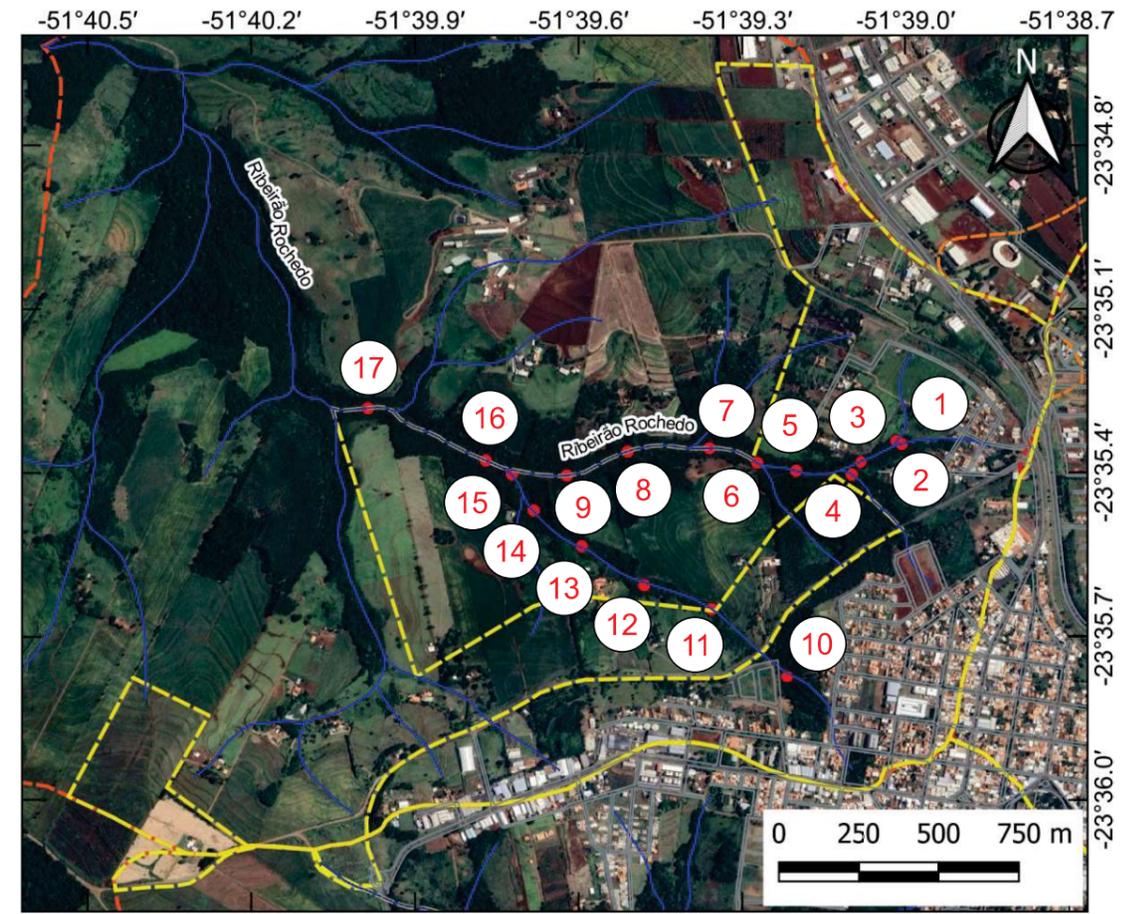
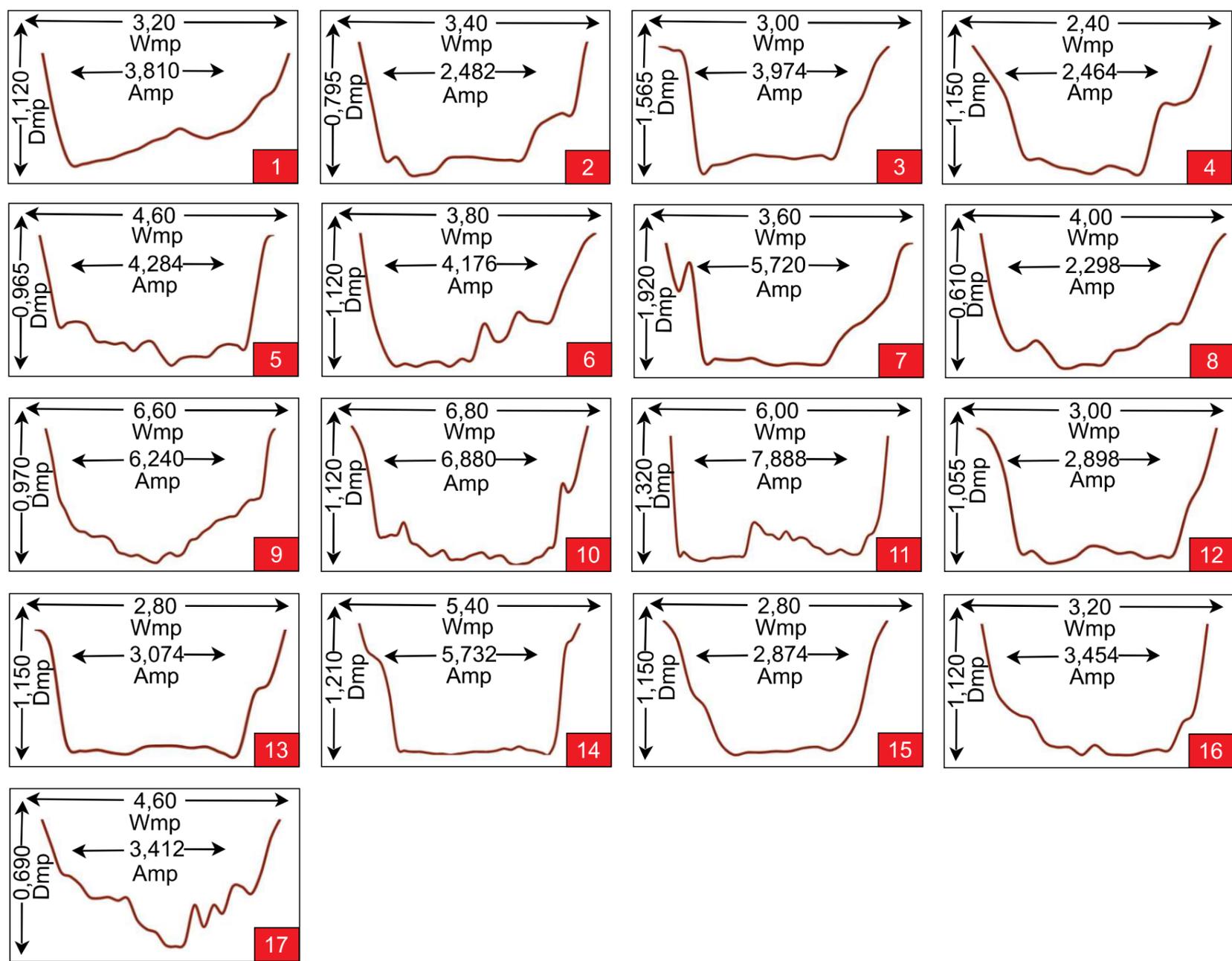
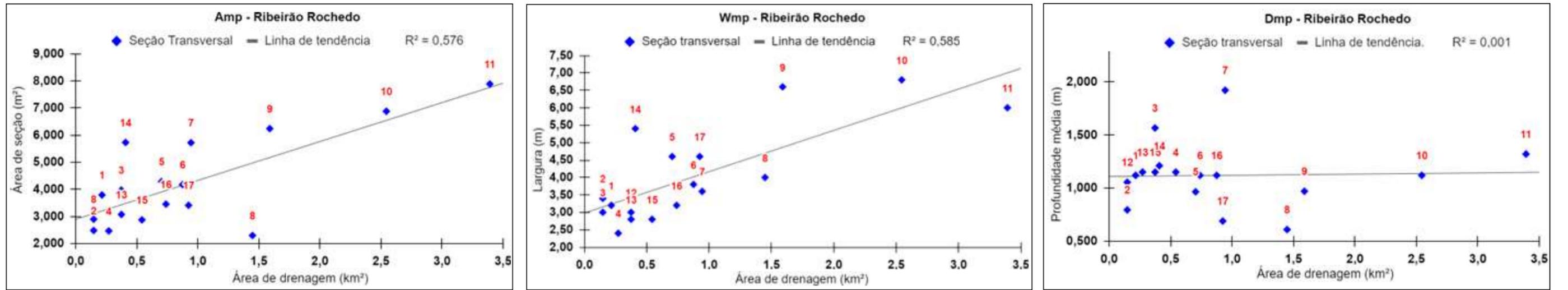
A ocorrência de processos erosivos que modificam as características do leito fluvial está diretamente ligada ao crescimento da população urbana em Jandaia do Sul. Esse crescimento rápido, combinado com práticas inadequadas e ineficientes no uso do solo, como a implementação de sistemas de drenagem e canalização dos cursos d'água urbanos, desencadeia uma série de efeitos adversos.

Essas ações alteram significativamente a dinâmica do escoamento superficial das águas pluviais. Esse problema é agravado durante períodos de enchentes, quando o poder erosivo das águas sobre as encostas se intensifica, resultando em um aumento substancial na quantidade de sedimentos transportados. Esses sedimentos são, então, depositados nos rios urbanos, provocando transformações na estrutura e no formato de seus leitos.

A relação entre uso do solo, declividade, características físicas da área de estudo e intervenções antrópicas potencializa a instabilidade dos parâmetros largura/profundidade/capacidade no canal, e corrobora nos desajustes da geometria do canal fluvial.

Nos canais fluviais mensurados no Ribeirão Rochedo, constatou-se o predomínio dos processos de deposição de sedimentos no talvegue; tal fato pode ser explicado pela possível diminuição gradativa do volume do fluxo na seção, provocada pelo acúmulo da carga detrítica vindo da área de montante e materiais lenhosos que promovem a elevação do nível do leito.

A Figura 39 espacializa a forma dos canais mensurados no canal fluvial do Ribeirão Rochedo.



- Legenda:**
- Cursos D'água
 - Recorte Urbano da Bacia
 - Arrumamentos
 - Ponto Mensurado

SIGAS 2000 / UTM fuso 22 S
 Base Cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
 Imagem: Google Earth, 2022
 Fonte: Plano Diretor Municipal de Jandaia do Sul, 2007
 Organizado por: Crestani Magalhães. G. A.

5.5 CÓRREGO LAPUNA

O trecho urbano do Córrego Lapuna possui forma alongada, tem uma área aproximada de 3,684 km², correspondendo a 21,63% do perímetro urbano. Em campo, foram mensuradas doze seções no canal fluvial do Córrego Lapuna. As mensurações das seções transversais foram distribuídas ao longo do canal, sendo nove seções no canal principal (seções 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12), duas no canal tributário esquerdo (seções 5 e 6) e uma no canal tributário direito (seção 7).

A porção montante do Córrego Lapuna é ocupada pela área urbana; a malha urbana avança em direção a jusante do canal principal e canais intermediários. Os canais a montante inseridos no meio urbano encontram-se canalizados e retificados, sobrepostos por arruamentos.

Nas áreas periurbanas a jusante do canal, predomina a agricultura, e há menor presença da atividade de pastagens. A vegetação ripária apresenta-se insipiente em vários trechos do canal.

As unidades de solos identificadas no recorte urbano da bacia do Córrego Lapuna, estão relacionadas ao tipo de rocha, à geomorfologia e à condição climática (mesotérmico úmido subtropical).

O solo predominante é o Nitossolos no recorte urbano da bacia (SPVS, 1996; ITCG, 2018; Jandaia do Sul, 2006; EMBRAPA, 2006). A classe dos Nitossolos corresponde à totalidade da área de estudo, com textura argilosa, do tipo vermelhos eutroféricos, ocorrem em locais de relevo suave-ondulado a ondulado (EMBRAPA, 2006).

Devido à porosidade e à permeabilidade, os solos apresentam fácil desagregação mecânica, estando sujeitos à erosão nas superfícies com declividades superiores a 10,0% desprovidas de cobertura vegetal. Em áreas com declividades acima de 20,0% podem sofrer rastejo e escorregamento (EMBRAPA, 2006).

O canal fluvial que corta a bacia hidrográfica apresenta variações de relevo, indo de suavemente ondulado a ondulado, com cotas altimétricas, que oscilam entre 650 m e 800 m. Essas elevações influenciam diretamente o fluxo de água no canal fluvial.

O relevo variado do recorte urbano da bacia influencia significativamente o comportamento do canal fluvial. Nas áreas mais elevadas e íngremes, a água tende a fluir mais rapidamente, aumentando o risco de erosão no leito do rio, enquanto em

áreas de menor elevação e terreno mais suavemente ondulado, o fluxo é mais lento, o que pode afetar a sedimentação e a deposição de materiais no fundo do canal.

A Figura 54 representa visualmente as diferentes altitudes e mostra como as elevações variam ao longo do canal, além de espacializar as seções mensuradas no canal fluvial do Córrego Lapuna, sobrepondo a hipsometria, oferecendo subsídio para a discussão e a compreensão das interações complexas entre a topografia e a dinâmica da água.

O recorte urbano da bacia do Córrego Lapuna apresenta nas encostas um relevo íngreme, caracterizado como fortemente montanhoso e dissecado, com áreas de declividade superiores a 45%, o que, de acordo com Ross (1994), caracteriza um grau de fragilidade ambiental muito forte. É a área de estudo com maior vulnerabilidade, estando sujeita a sofrer rastejo e escorregamento em declividades acima de 20,0%. (EMBRAPA, 2006).

No que tange à porosidade e à permeabilidade, o recorte urbano da bacia apresenta fácil desagregação mecânica. A baixa permeabilidade na montante do canal pode contribuir para enchentes urbanas, uma vez que a água não é absorvida adequadamente, aumentando o escoamento superficial.

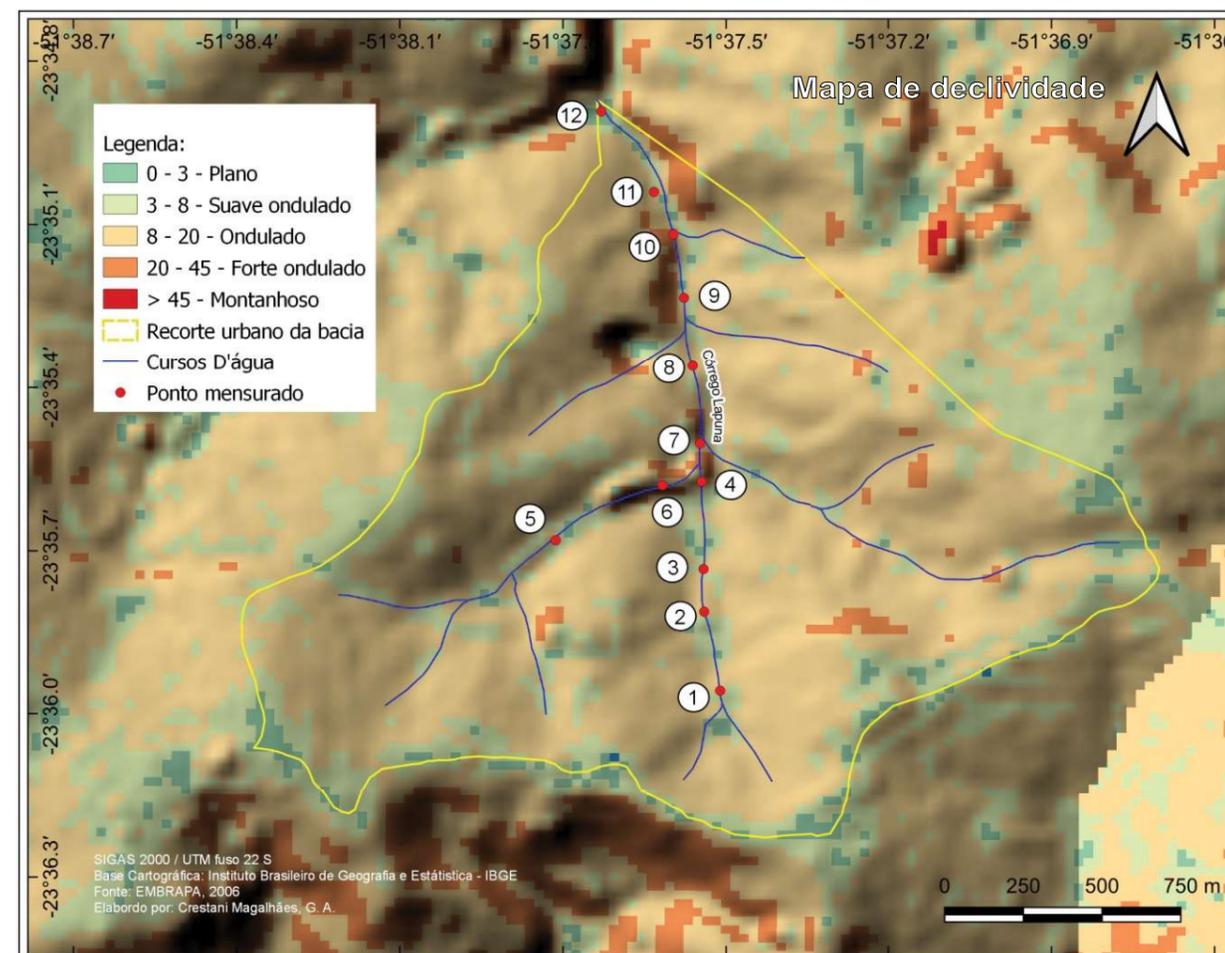
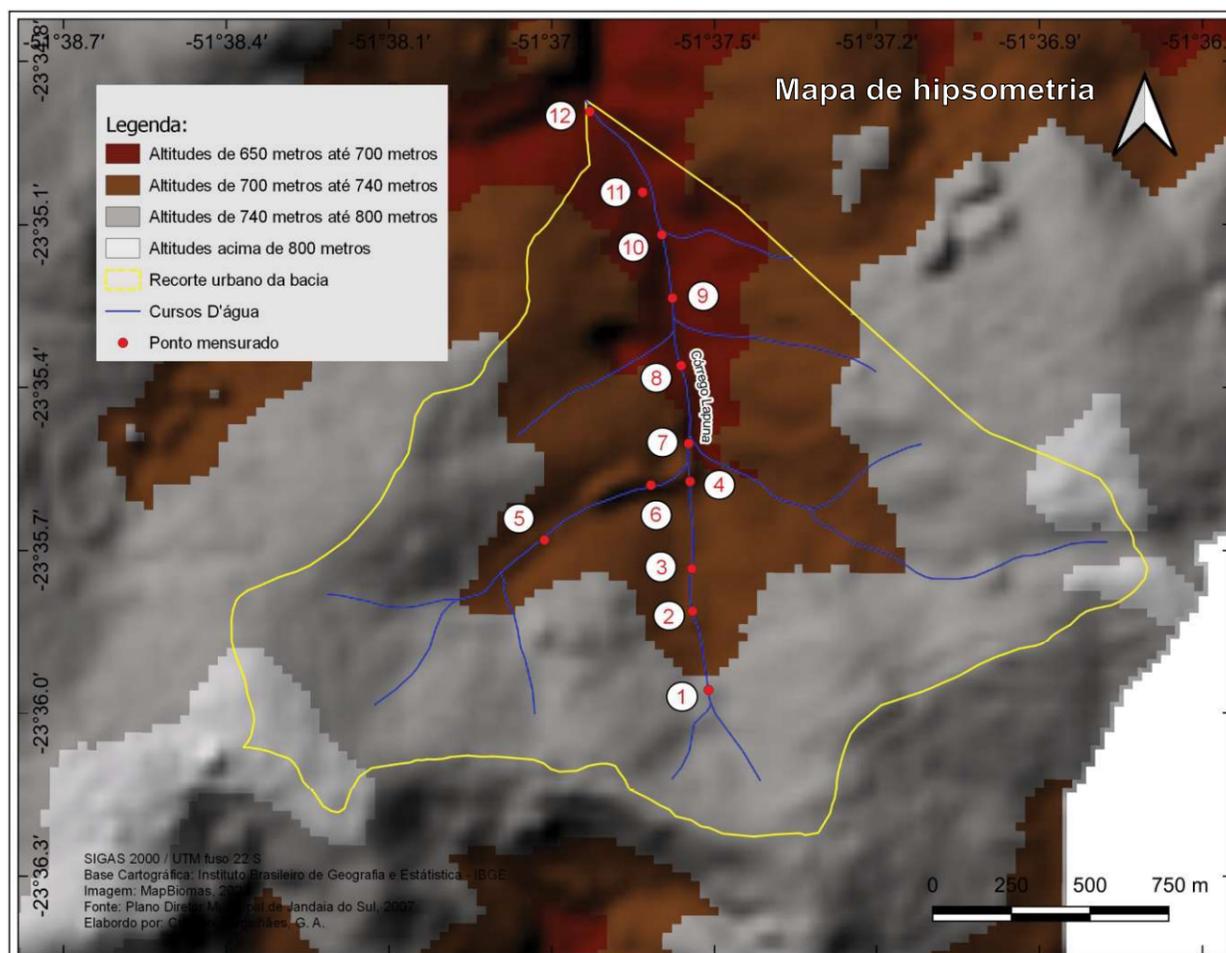
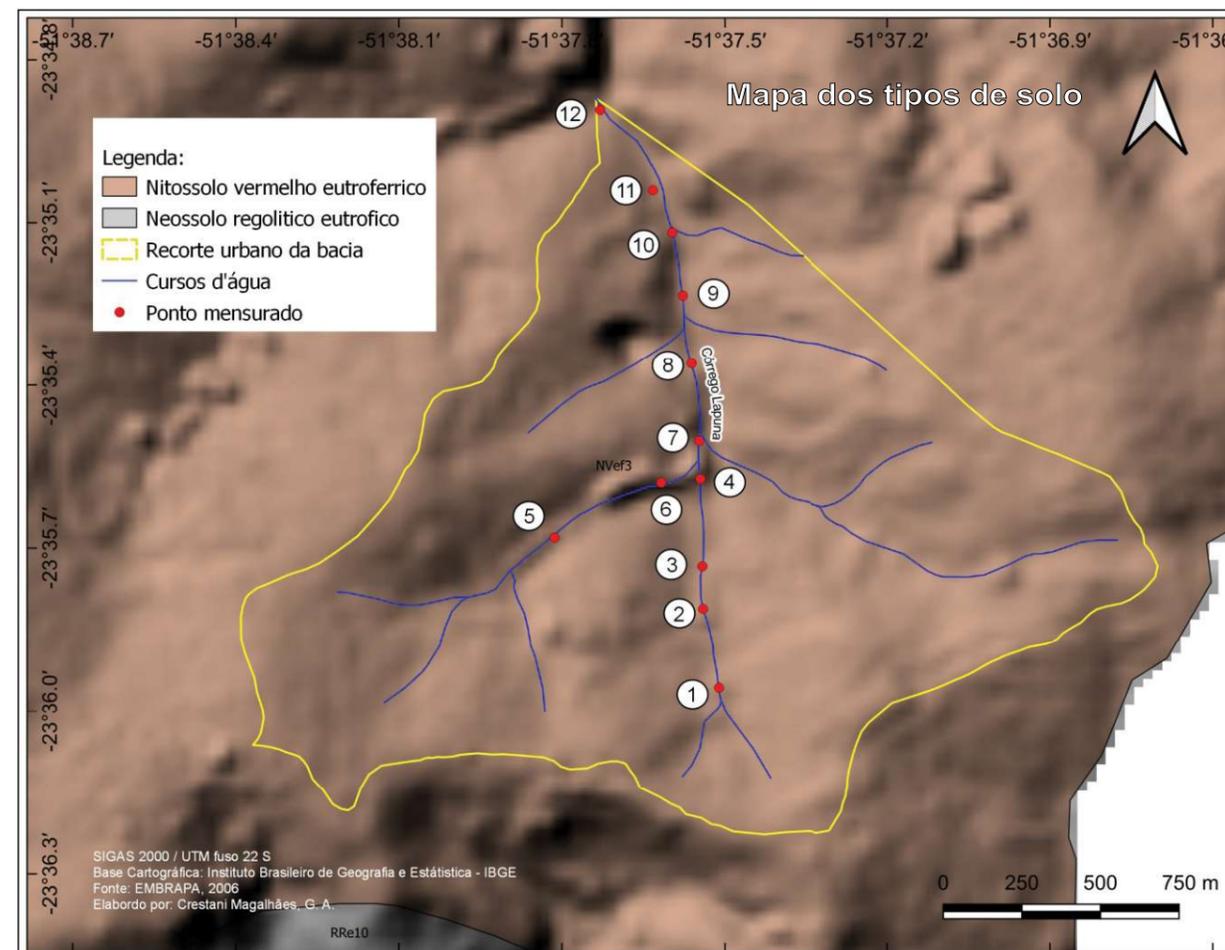
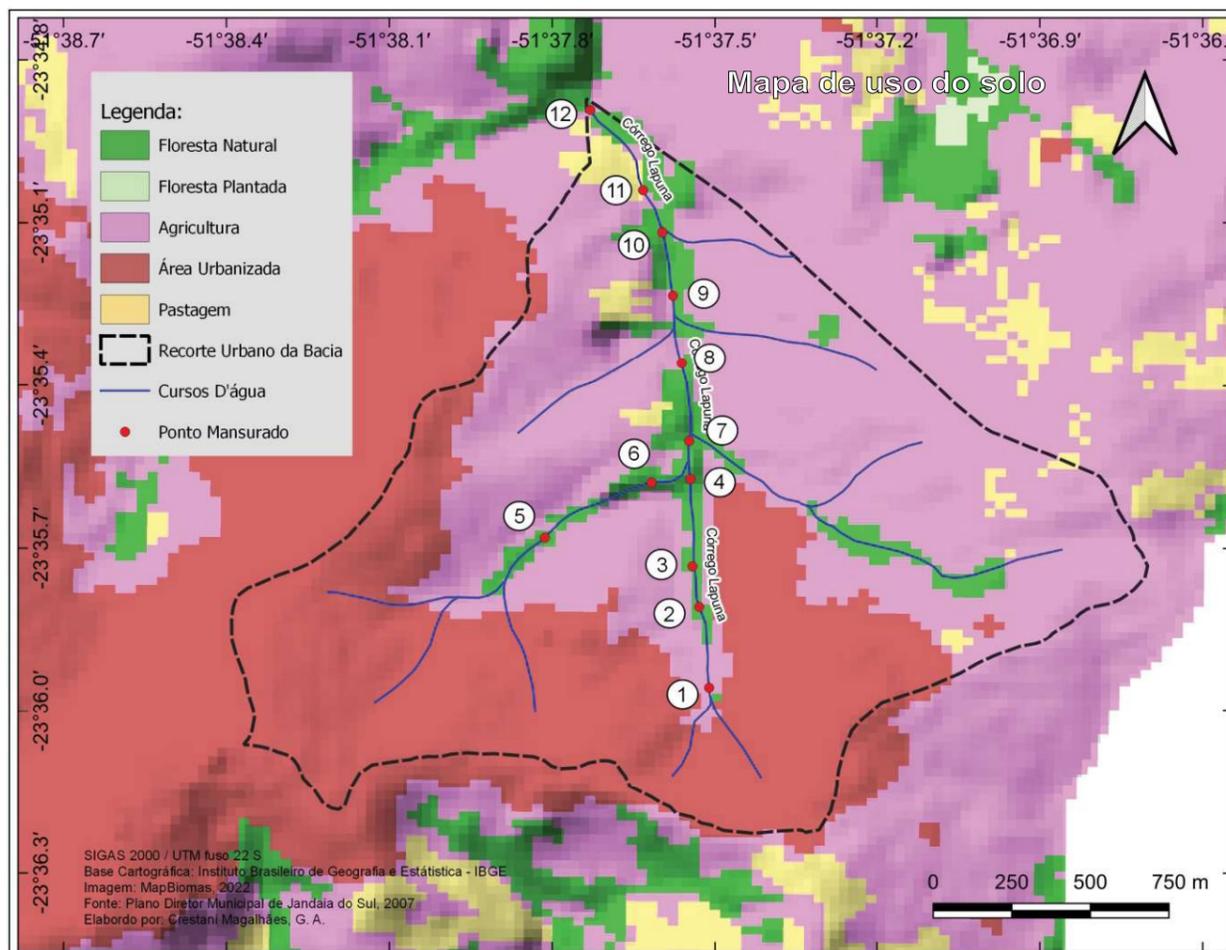
Nos trabalhos de campo, foram identificadas e mapeadas dezesseis intervenções tanto no canal principal quanto nos canais tributários. Essas intervenções são representadas por manilhas destinadas a drenar as águas pluviais das áreas urbanas para os canais, o que, por sua vez, intensifica o risco de enchentes e inundações durante períodos de precipitação intensa, especificamente nos meses de dezembro e janeiro.

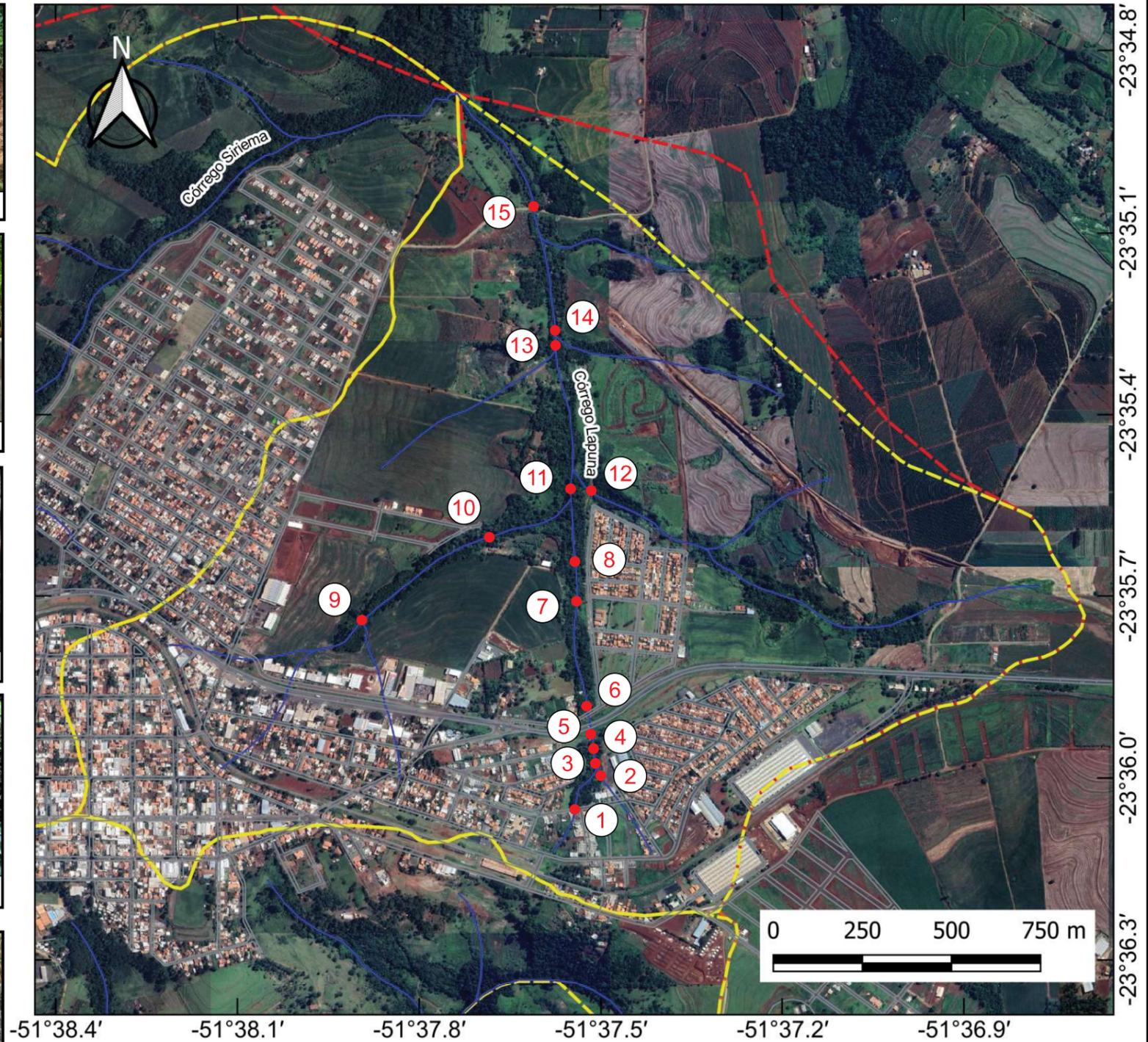
Juntamente com o manilhamento, também foram registradas obstruções nas áreas periurbanas, como represamentos que bloqueiam o fluxo natural do rio no canal. Além disso, foram observadas estruturas de saneamento básico danificadas que despejam de esgoto cloacal no canal.

Essas intervenções, resultado da atividade humana, agravam impactos e alterações nas características morfológicas do canal, sobretudo ao modificarem sua dinâmica natural. O conjunto de obras setoriais identificadas ao longo do canal tende a agravar os problemas, promovendo mudanças significativas nas características morfológicas e na geometria do canal fluvial.

A Figura 40 faz a espacialização das seções mensuradas no canal fluvial do Córrego Lapuna, sobrepondo com os mapas de uso do solo, tipos de solo, hipsometria

e declividade da área de estudo, possibilitando identificar pontos vulneráveis ao longo do canal e oferecendo subsídio para discussão e compreensão das interações complexas entre a topografia e a dinâmica da água. Na Figura 41 é possível observar a representação espacial das intervenções identificadas no canal fluvial do Córrego Lapuna.





Legenda:

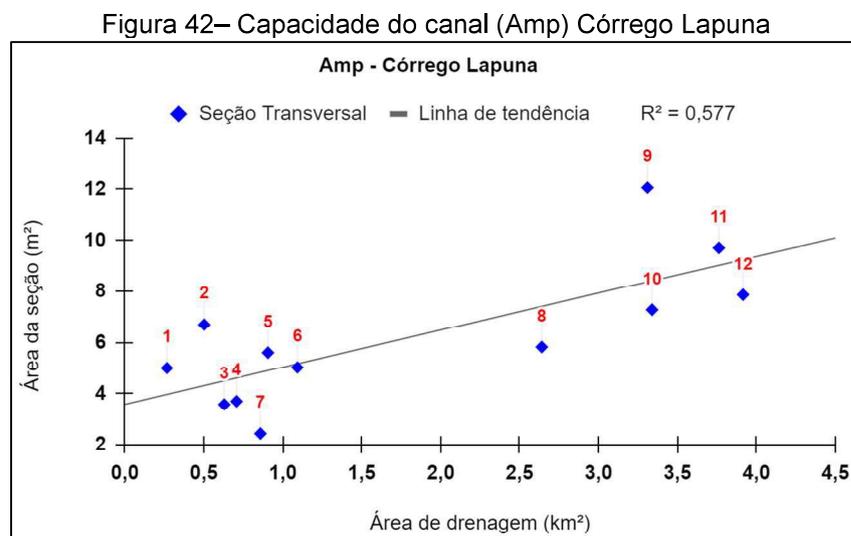
- Cursos D'água
- Recorte Urbano da Bacia
- Arrumanetos
- Ponto Visitado

SIGAS 2000 / UTM fuso 22 S
 Base Cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
 Imagem: Google Eart, 2022
 Fonte: Plano Diretor Municipal de Jandaia do Sul, 2007
 Organizado por: Crestani Magalhães. G. A.

As intervenções no canal fluvial impactam diretamente a dinâmica natural do sistema; desse modo, o próximo parágrafo discute variáveis dos parâmetros, capacidade do canal (Amp), largura (Wmp) e profundidade média (Dmp), mensuradas na área de estudo. É realizado um comparativo do nível de ajuste/desajuste nas seções transversais, a partir da análise dos gráficos de dispersão linear.

Os valores obtidos da área da seção transversal Amp estão entre 2,43 m² e 12,07 m², mostrando decréscimo significativo na seção 7 e acréscimo nas seções 2 e 9. Ao cruzar os dados da seção transversal com a área de drenagem, foi aferido um coeficiente de correlação moderado alto ajuste ($r^2 = 0,577$).

A seção 2 está inserida logo abaixo da área impermeabilizada, onde desembocam seis manilhas que drenam as águas pluviais do perímetro urbano e causam um aumento significativo do fluxo nessa seção, sendo uma das justificativas para seu acréscimo. Na seção 9, identificou-se que o acréscimo pode estar associado à vegetação ciliar incipiente no trecho analisado, tornando-a vulnerável em eventos de aumento do fluxo de vazão do canal (Figura 42).

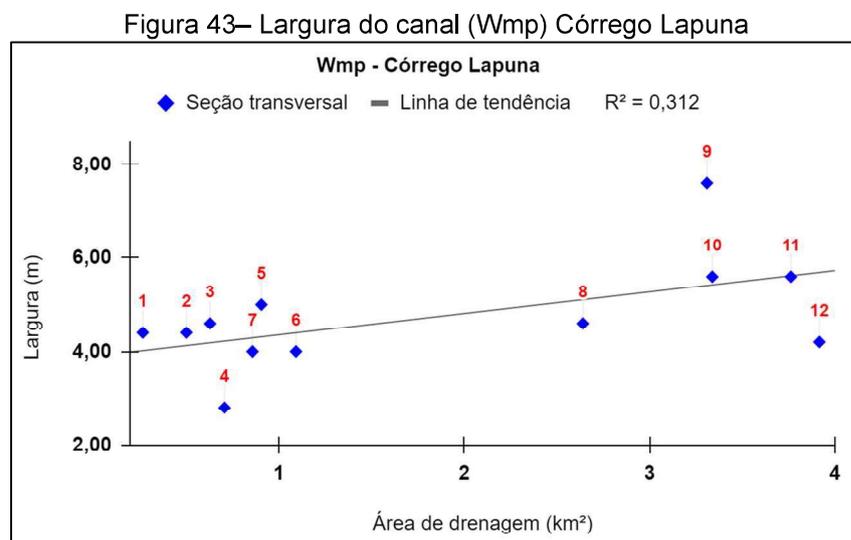


Fonte: Arquivo do autor (2022)

Quanto à largura média dos canais (Wmp), apresentou valores entre 2,80 m e 7,60 m, com alargamentos desproporcionais na seção 9. Essa seção, conforme mencionado acima, possui vegetação ciliar incipiente em sua margem, o que a torna mais suscetível ao processo erosivo e a seu alargamento, com o advento do aumento do fluxo de vazão do canal.

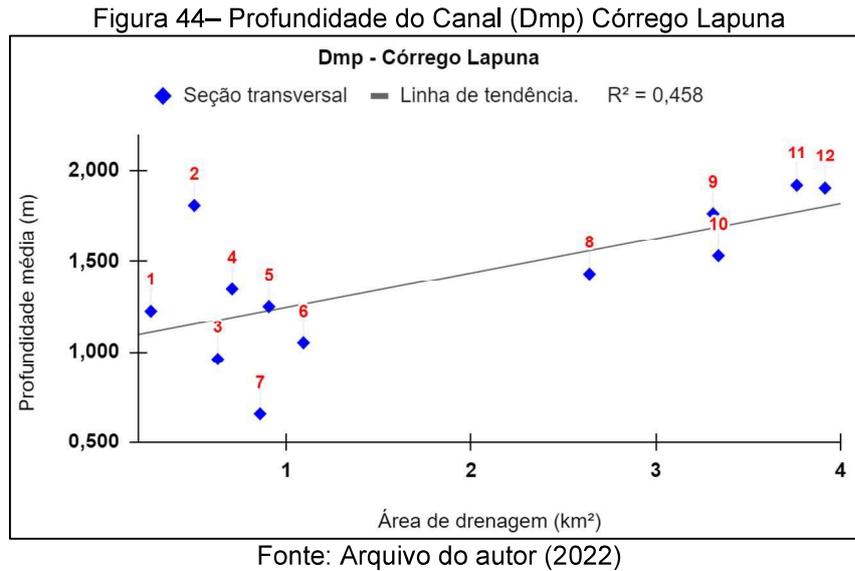
Outro fator associado ao alargamento das seções é o assoreamento do fundo do canal. Os sedimentos são depositados pelo movimento das águas fluviais, ocupando o espaço dentro da seção transversal do canal. A esse tipo de erosão do leito dá-se o nome de degradação, processo que leva ao alargamento das margens por meio do cisalhamento, que ocorre devido ao aumento na altura e no ângulo do talude, ultrapassando a resistência do material das margens, resultando em sua erosão e desmoronamento.

O valor obtido do coeficiente de correlação foi de ($r^2 = 0,312$), apresentando moderado baixo ajuste em sua correlação, sendo este o parâmetro com valor menos expressivo encontrado no Córrego Lapuna (Figura 43).



Fonte: Arquivo do autor (2022)

Em relação à profundidade média (Dmp) dos cursos fluviais, variou entre 0,65 m e 1,92 m, tendo as seções 2 e 7 maiores desajustes em relação à linha de tendência, reforçando que as maiores distorções estão associadas às áreas impermeabilizadas e às obstruções no canal, que tendem a causar alterações em sua morfologia. O valor do coeficiente de correlação obtido em Dmp representou um canal com moderado baixo ajuste, sendo ($r^2 = 0,458$), conforme o gráfico da figura 44.



As propriedades geométricas Dmp e Amp demonstraram maior ajuste em suas proporcionalidades em suas configurações alométricas em relação aos canais analisados no perímetro urbano de Jandaia do Sul. Apesar de os valores dos coeficientes de correlação (r^2) figurarem entre os mais ajustados entre os resultados dos canais analisados, algumas seções apresentaram significativos desajustes e expressivos desvios dos seus valores em relação à linha de tendência.

Os valores demonstram que os impactos urbanos têm potencializado alterações nas propriedades morfológicas dos canais, revelando problemas na dinâmica hidrológica, que podem estar relacionados a seções subestimadas ou superestimadas. Observa-se que as seções mensuradas em trechos dos canais na malha urbana apresentam os menores ajustes.

A análise dos gráficos de dispersão linear dos parâmetros Amp, Wmp e Dmp, evidenciaram mudanças nas propriedades morfológicas do canal. No parágrafo seguinte, são discutidos os impactos identificados no canal fluvial do Córrego Lapuna.

Entre os principais impactos identificados, destaca-se a presença de resíduos sólidos urbanos diversos que adentram os canais oriundos das galerias pluviais que drenam o perímetro urbano, encontrados ao longo de todo o canal principal.

A presença de material lenhoso acumulado em meio a resíduos sólidos urbanos é significativa ao longo do canal, o que obstrui o fluxo natural do canal, tendo como consequência a erodibilidade das margens, produzindo a sedimentação do leito fluvial.

As intervenções antrópicas identificadas no canal fluvial, como resíduos sólidos urbanos e lenhoso, e as obras setoriais que drenam a montante urbanizada, produzem o crescimento gradativo do nível d'água no canal e o aumento da velocidade e das forças de cisalhamento, atuando na modificação da forma do canal.

O solo encontrado nessa área de estudo possui menor suscetibilidade à erosão, sendo que os Nitossolos vermelhos eutroféricos possuem uma textura predominantemente argilosa e se estendem por áreas com declives suaves a moderados, caracterizando-se por sua profundidade. Apesar de sua resistência natural, um dos principais contribuintes para os impactos nos cursos d'água é o rápido processo de urbanização que ocorreu a montante da bacia.

A potencialização dos processos erosivos acaba por alterar as características dos canais fluviais; o rápido processo de urbanização – aliado a práticas inadequadas no uso do solo, como a instalação de sistemas de drenagem e canalização dos rios urbanos – altera significativamente a dinâmica do escoamento das águas superficiais.

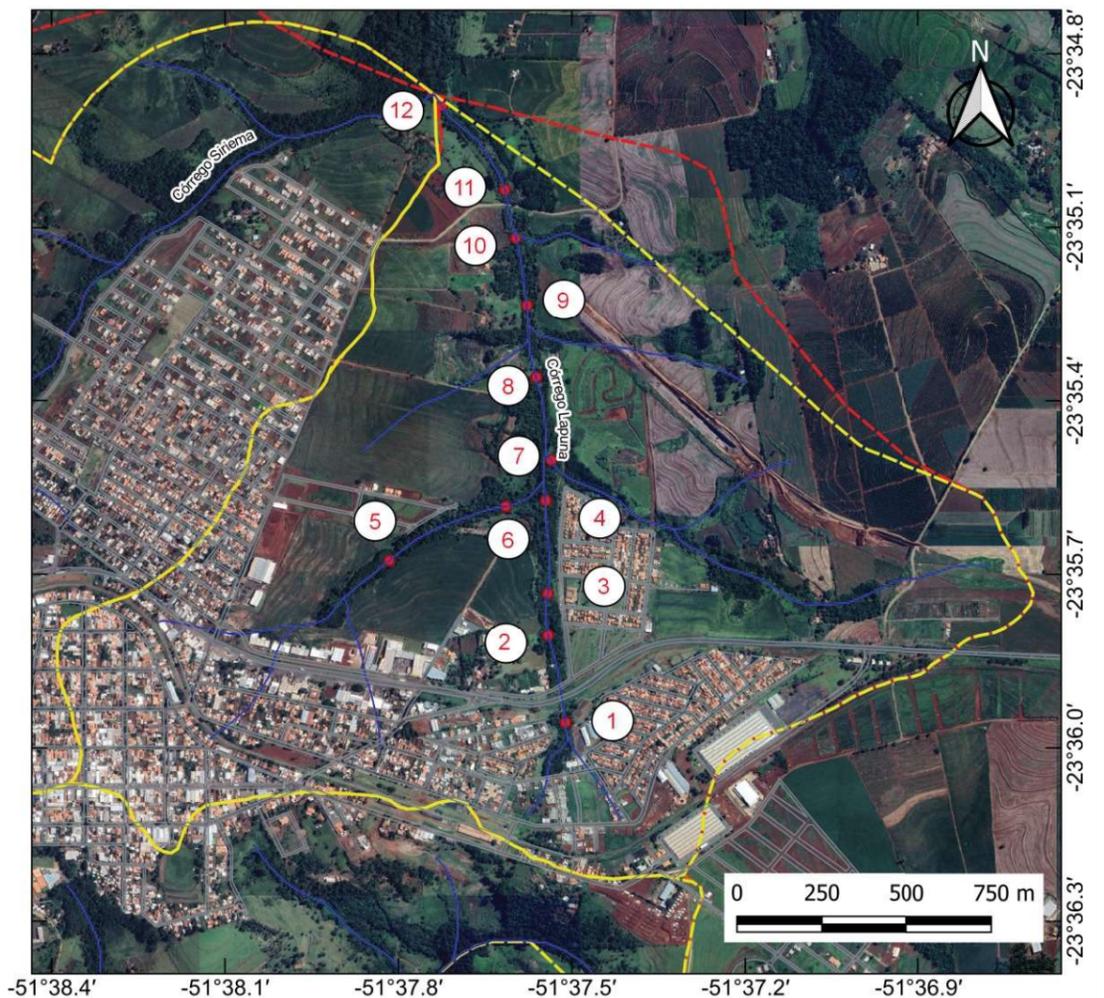
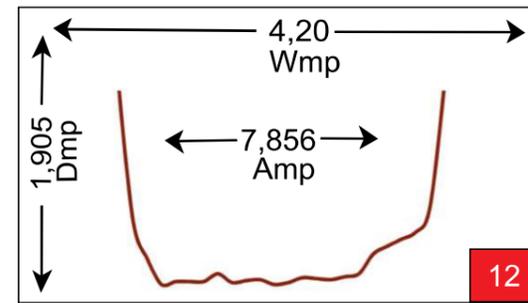
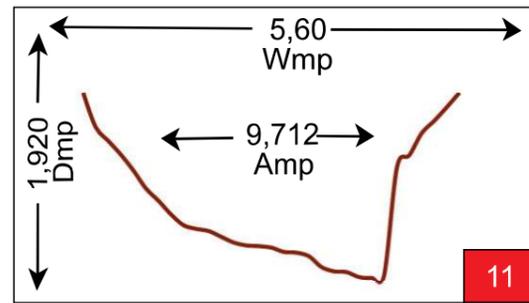
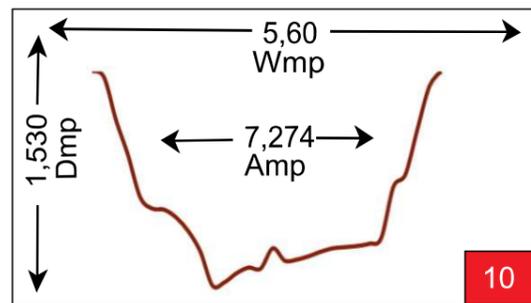
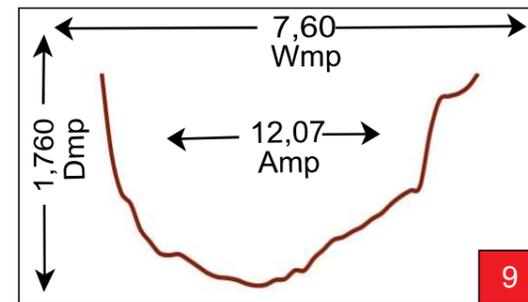
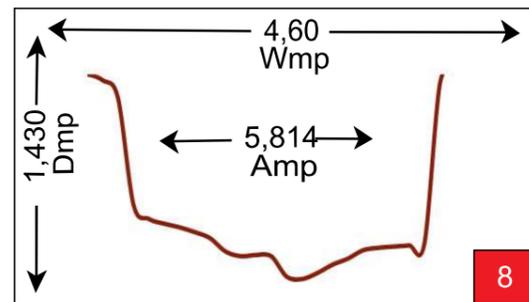
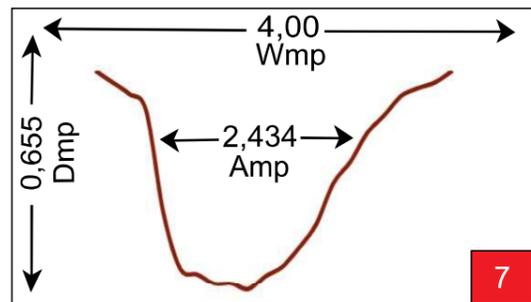
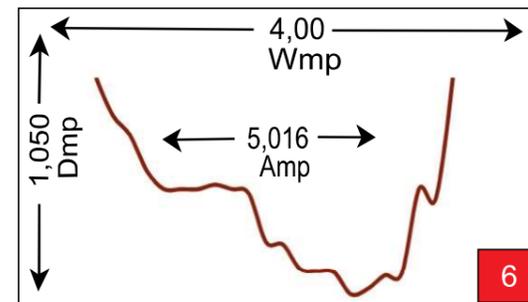
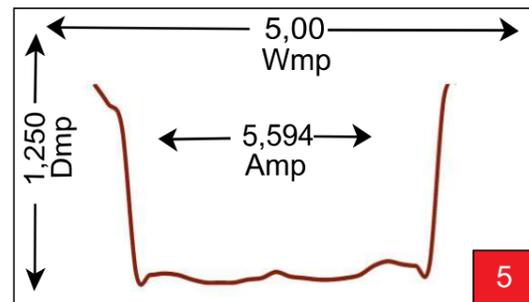
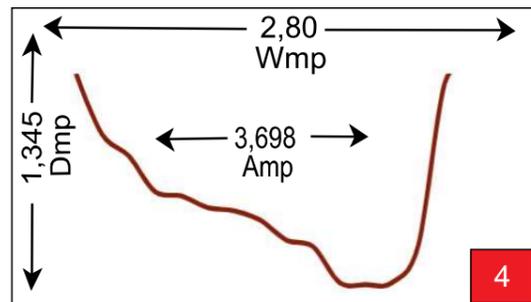
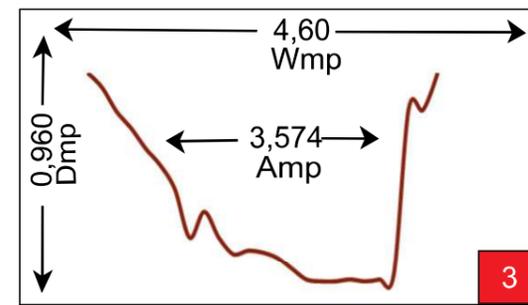
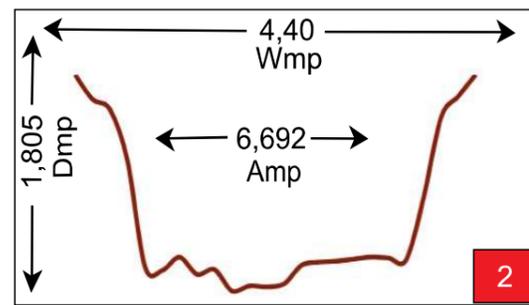
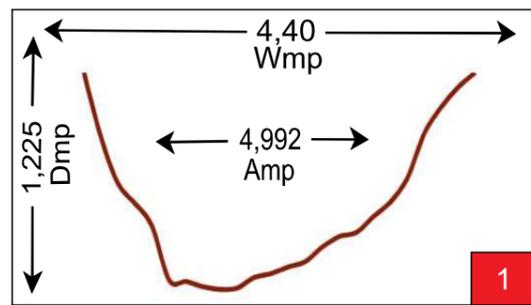
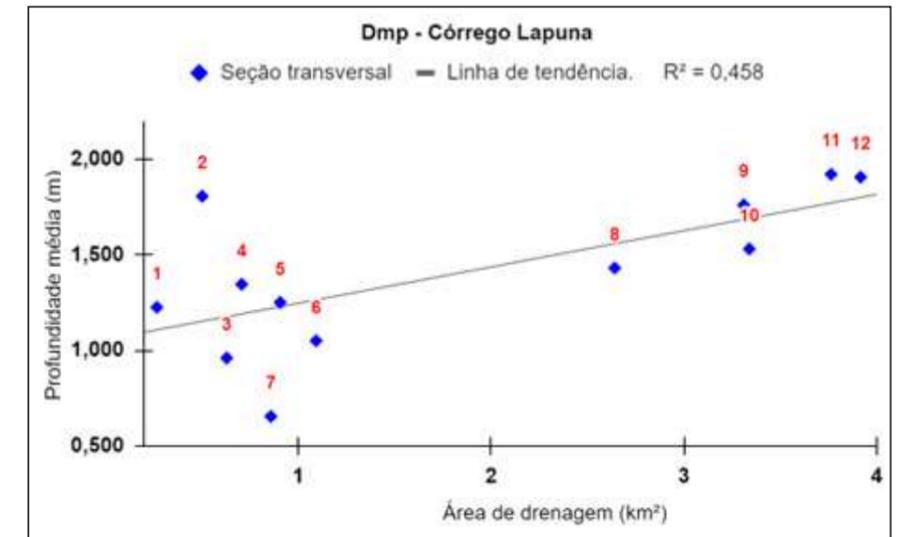
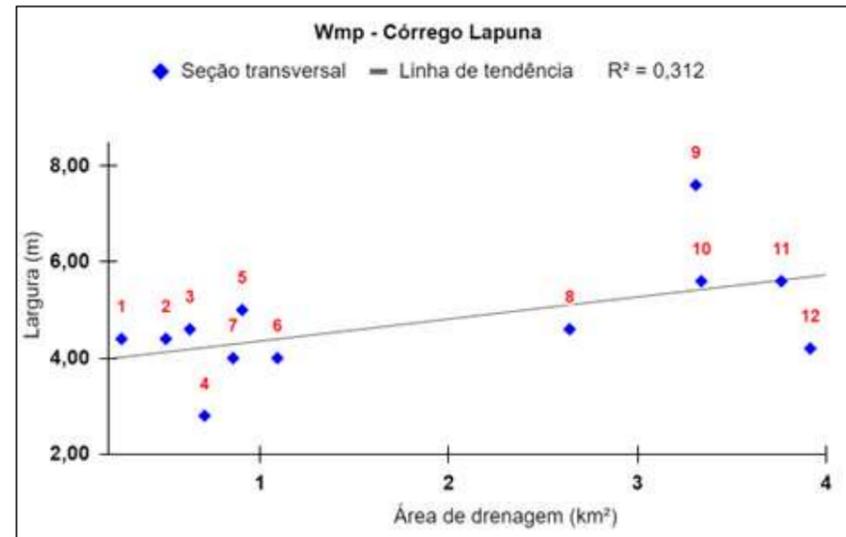
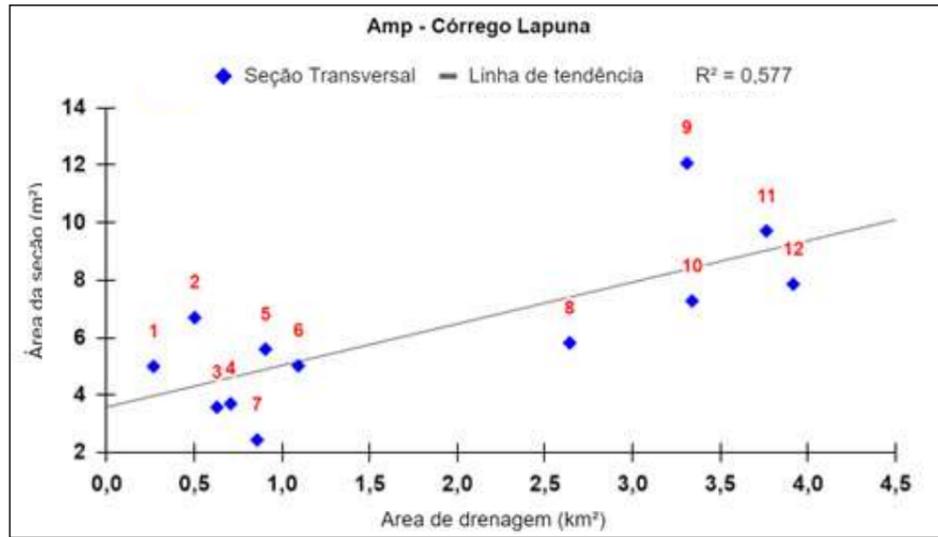
Durante eventos de enchentes, o maior poder erosivo das águas sobre as encostas se intensifica, gerando um maior volume de sedimentos que são transportados e depositados nos rios urbanos. Isso, por sua vez, desencadeia transformações na estrutura e no formato dos canais.

O volume de energia que adentra ao sistema fluvial em períodos de intensa precipitação, possibilita que as forças erosivas remanejem o material sedimentar do leito, por meio dos movimentos laterais e verticais do canal, acentuando os processos erosivos.

O perfil dos canais fluviais do Córrego Lapuna, demonstram desequilíbrio na forma do canal e, conseqüentemente, na mudança da vazão. Na Figura 45, é possível identificar os perfis transversais do canal, apontando o alargamento das margens no setor do canal fluvial, evidenciando não manter proporcionalmente um aumento gradual das seções mensuradas.

Estudos realizados na bacia do Córrego Lapuna, por Dias-Oliveira *et al.* (2011), identificaram o trecho do setor de montante com forte presença de ocupação urbana, com as vertentes a jusante com atividades ligadas a agricultura e pecuária. Fatores que desencadeiam alterações nos processos naturais de precipitação – infiltração – percolação, potencializando impactos na dinâmica hidrogeomorfológica da bacia hidrográfica.

No estudo, o autor associa as fragilidades da área de estudo, ao relevo íngreme e à presença das áreas urbanas e aos altos índices pluviométricos, que favorecem os processos de movimento de massa e o incremento de resíduos sólidos urbanos nos fundos de vales.



Legenda:

- Cursos D'água
- Recorte Urbano da Bacia
- Arrumanetos
- Ponto Mensurado

SIGAS 2000 / UTM fuso 22 S
 Base Cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
 Imagem: Google Eart, 2022
 Fonte: Plano Diretor Municipal de Jandaia do Sul, 2007
 Organizado por: Crestani Magalhães, G. A.

5.6 CÓRREGO SIRIEMA

O Córrego Siriema possui forma alongada. A área de drenagem do trecho urbano tem aproximadamente 3,006 km². Nos trabalhos de campo, foram mensuradas treze seções transversais ao longo do canal principal.

O canal fluvial principal, situado em meio à malha urbana, encontra-se canalizado e sobreposto por construções e arruamentos. No que tange ao uso do solo, no recorte urbano da bacia, predomina na montante a ocupada urbana, avançando em direção a jusante, acompanhando a margem esquerda e ao longo do canal principal. A perspectiva de expansão da malha urbana ao longo do canal tende a provocar impactos ligados diretamente ao processo de urbanização.

As áreas periurbanas a jusante, têm o predomínio de atividade agrícola, a vegetação ciliar é perene durante todo o percurso do canal.

As unidades de solos identificadas no recorte urbano da bacia do Córrego Siriema, estão relacionadas ao tipo de rocha, à geomorfologia e à condição climática (mesotérmico úmido subtropical). O solo predominante é o Nitossolos, correspondendo à totalidade da área de estudo. Os nitossolos encontrados na área de estudo são solos de textura argilosa, do tipo vermelhos eutroféricos, que ocorrem em locais de relevo suave-ondulado a ondulado (EMBRAPA, 2006).

Devido à porosidade e à permeabilidade, apresentam fácil desagregação mecânica, estando sujeitos à erosão nas superfícies com declividades superiores a 10,0% desprovidas de cobertura vegetal. Em áreas com declividades acima de 20,0%, podem sofrer rastejo e escorregamento (EMBRAPA, 2006).

O canal fluvial que corta a bacia hidrográfica apresenta variações de relevo, indo de suavemente ondulado a ondulado, com cotas altimétricas, oscilam entre 650 m e 800 m. Essas elevações influenciam diretamente o fluxo de água no canal fluvial.

O relevo variado do recorte urbano da bacia influencia significativamente o comportamento do canal fluvial. Nas áreas mais elevadas e íngremes, a água tende a fluir mais rapidamente, aumentando o risco de erosão no leito do rio, enquanto em áreas de menor elevação e terreno mais suavemente ondulado, o fluxo é mais lento, o que pode afetar a sedimentação e a deposição de materiais no fundo do canal.

A maior parte do recorte urbano da bacia possui declividades na classe de 3% a 20%, predominando nas áreas de média vertente. Segundo Ross (1994), essa classe de declividade caracteriza um grau de fragilidade ambiental médio.

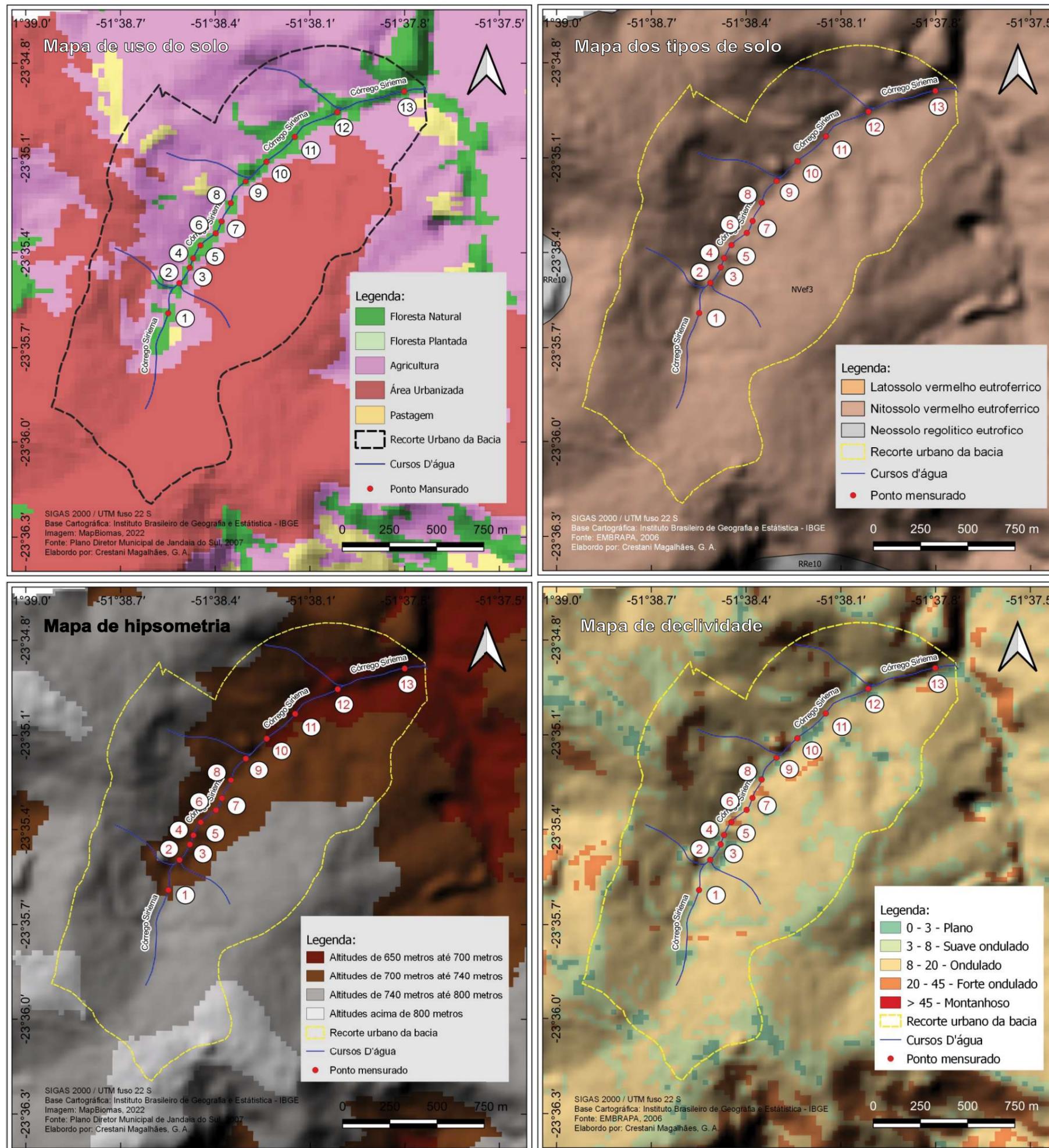
A área de estudo apresenta em pontos da alta vertente encostas com relevo íngreme, caracterizado como fortemente montanhosos, com declividades superiores a 45%; de acordo com Ross (1994), essas áreas caracterizam um grau de fragilidade ambiental muito forte.

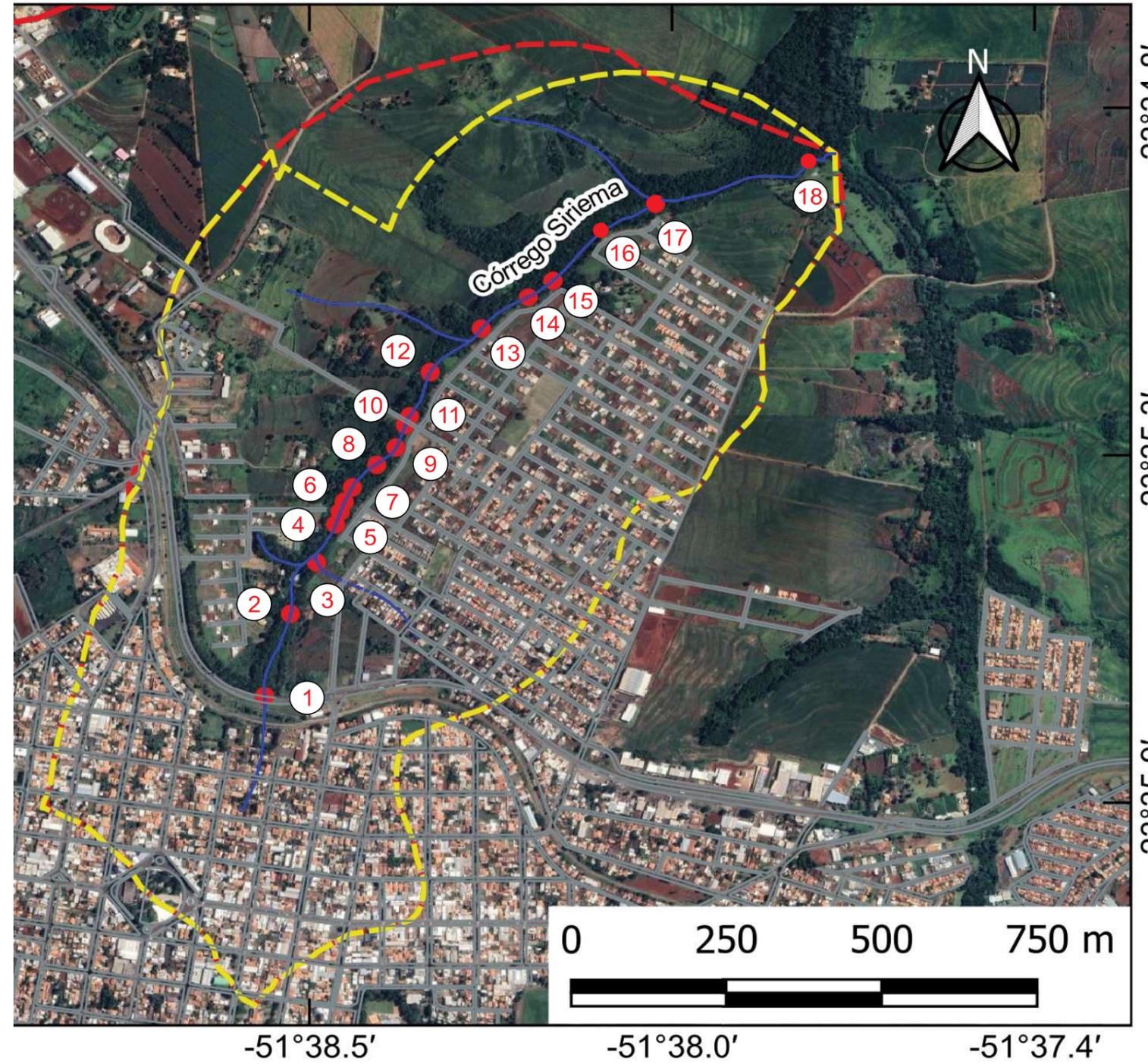
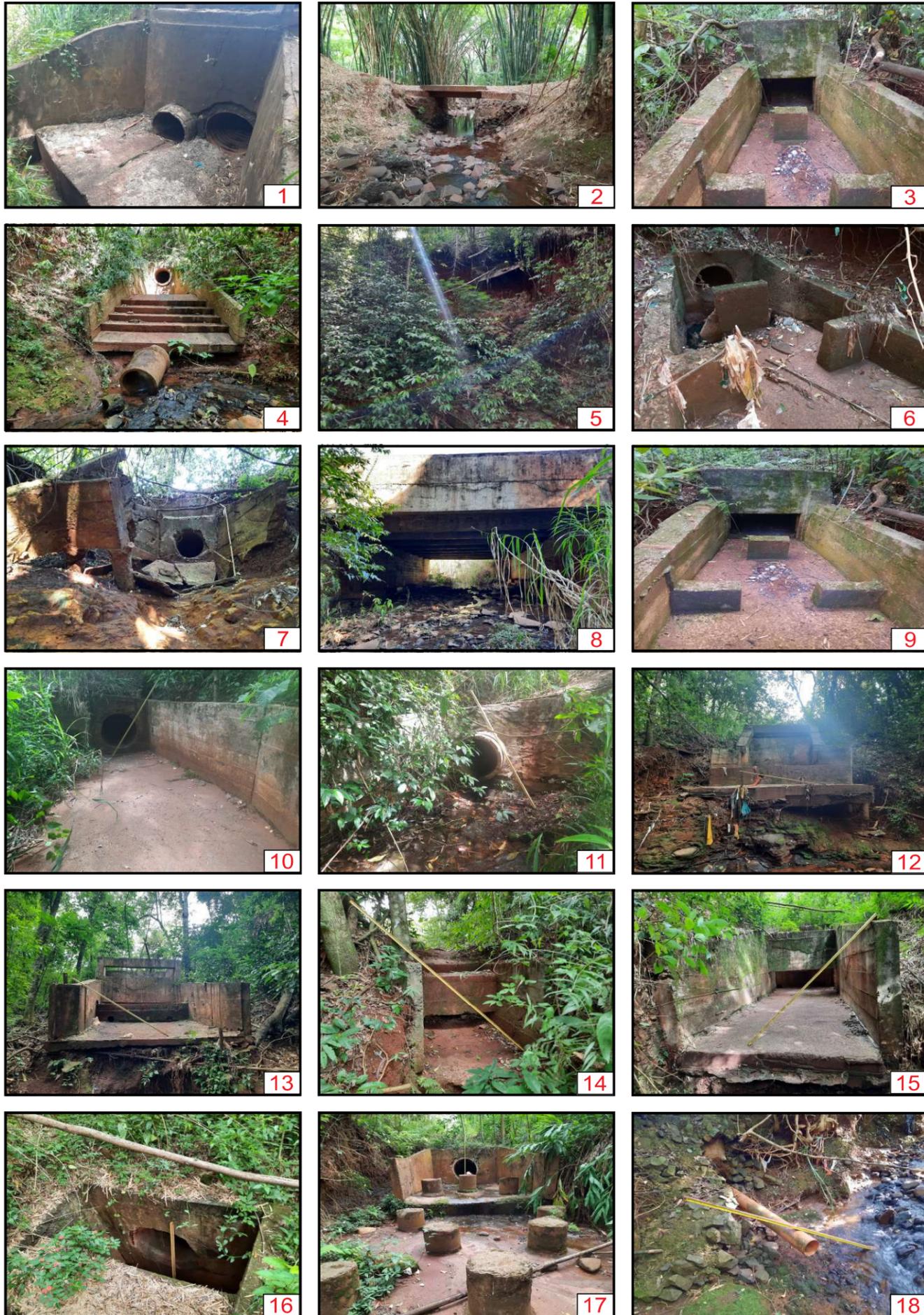
Devido à porosidade e à permeabilidade, apresentam fácil desagregação mecânica. A maior parte do recorte urbano da bacia é suscetível à erosão, nas superfícies com declividades superiores a 10,0%, em especial, quando desprovidas de cobertura vegetal. Os trechos da alta vertente apresentam áreas com declividades acima de 20,0%, estando sujeitos a sofrer rastejo e escorregamento (EMBRAPA, 2006).

Em campo, foram identificadas e mapeadas dezoito intervenções ao longo do canal principal, as quais se caracterizam pela desembocadura da rede de drenagem das áreas urbanizadas. As intervenções encontradas intensificam o risco de enchentes e inundações durante o período chuvoso, que compreende os meses de dezembro e janeiro. Constatou-se que as manilhas despejam esgoto cloacal no canal, caracterizando ligações residenciais clandestinas na rede pluvial.

Essas intervenções, como as galerias de drenagem encontradas ao longo do canal, agravam os impactos e desencadeiam alterações nas características morfológicas do canal e em sua geometria, sobretudo ao modificarem a dinâmica natural daquele.

A Figura 46 faz a espacialização das seções mensuradas no canal fluvial do Córrego Siriema, sobrepondo com os mapas de uso do solo, tipos de solo, hipsometria e declividade da área de estudo, possibilitando identificar pontos vulneráveis ao longo do canal e oferecendo subsídio para discussão e compreensão das interações complexas entre a topografia e a dinâmica da água. Em seguida a Figura 47 faz a representação espacial das intervenções identificadas no canal fluvial do Córrego Siriema.





Legenda:

-  Cursos D'água
-  Recorte Urbano da Bacia
-  Arrumanetos
-  Ponto Visitado

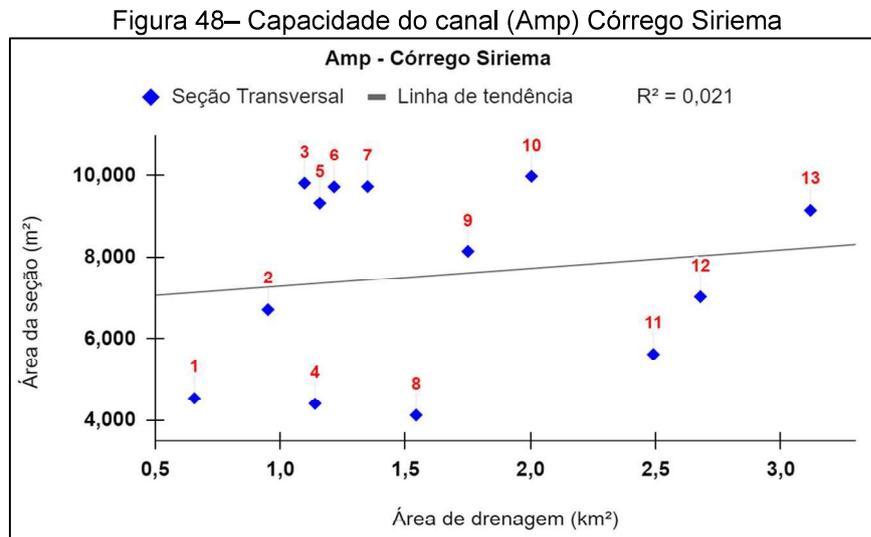
SIGAS 2000 / UTM fuso 22 S
 Base Cartográfica: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
 Imagem: Google Eart, 2022
 Fonte: Plano Diretor Municipal de Jandaia do Sul, 2007
 Organizado por: Crestani Magalhães. G. A.

A partir da análise do mapeamento das intervenções do canal, faz-se a discussão acerca das variáveis dos parâmetros capacidade do canal (Amp), largura (Wmp) e profundidade média (Dmp), nas seções transversais mensuradas. Para essa análise, faz-se um comparativo do nível de ajuste/desajuste nas seções transversais, a partir da análise dos gráficos de dispersão linear.

Com relação à área da seção transversal (Amp), os valores aferidos foram de 4,11 m² e 9,97 m², mostrando um decréscimo nas seções 1, 4, 8 e 11 e um acréscimo nas seções 3, 5, 6, 7 e 10. O coeficiente de correlação Amp apresentou baixo ajuste (**$r^2 = 0,021$**).

Esse desequilíbrio, quando associado a eventos pluviométricos intensos (dezembro e janeiro), tende a potencializar a ocorrência de enchentes em determinados pontos do canal e contribuir para o aumento do potencial erosivo das águas.

Na Figura 48, é possível notar a existência de seções que destoam da linha de tendência, evidenciando desajustes nas propriedades geométricas e redução da capacidade do canal.

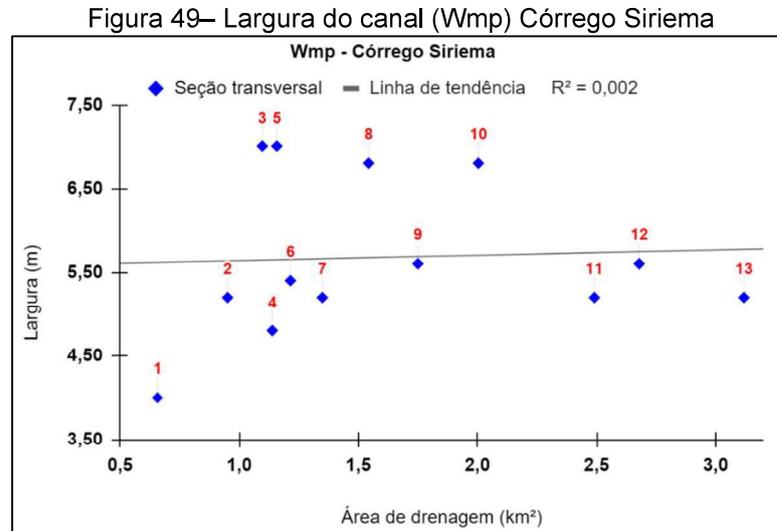


Fonte: Arquivo do autor (2022)

Os valores da largura média (Wmp) dos canais apresentam 4,00 m e 7,00 m, com alargamentos desproporcionais nas seções 1, 3, 4, 5, 8 e 10.

A relação entre a área de drenagem e a largura média dos canais apresentou um coeficiente de correlação de (**$r^2 = 0,002$**), com baixo ajuste, sendo o menor de

todos os parâmetros avaliados com desajuste e dispersão em relação à linha de tendência (Figura 49).



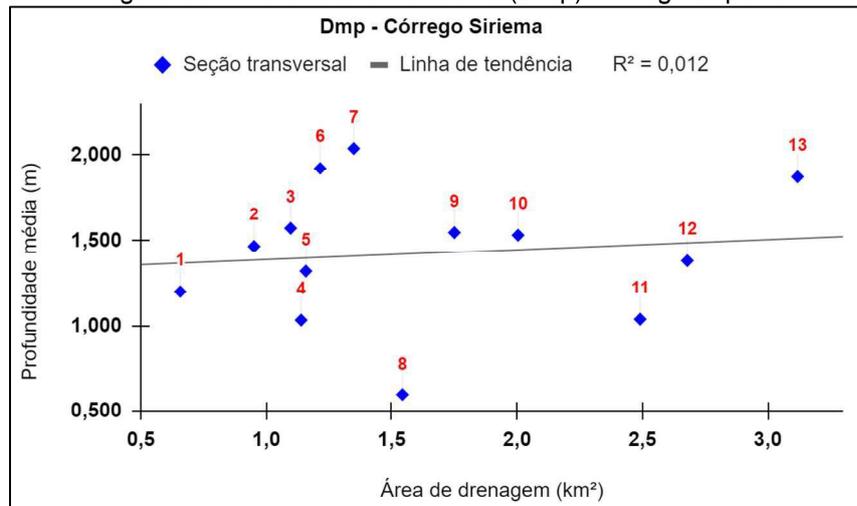
Fonte: Arquivo do autor (2022)

O baixo ajuste encontrado nesse parâmetro tem relação com o assoreamento do fundo do canal; os sedimentos são depositados pelo movimento das águas fluviais, ocupando o espaço dentro da seção transversal do canal. Essa erosão do leito é denominada de degradação, processo que leva ao alargamento das margens do canal, pois o aumento na altura e no ângulo do talude ultrapassa a resistência, ocorrendo o cisalhamento do material das margens, resultando em sua erosão e desmoronamento.

A variação da profundidade média (Dmp) do curso fluvial foi de 0,59 m e 2,035 m, apresentando desproporcionalidade acima da linha de tendência as seções transversais 6, 7 e 13 e, em decréscimo, as seções 4, 8 e 11. O acréscimo desproporcional é justificado pela impermeabilização do solo associada ao relevo íngreme, que aumenta a velocidade do fluxo de água e sua capacidade erosiva, causando alterações na morfologia e das propriedades geométricas das seções transversais.

Em relação à área de drenagem e à profundidade média dos canais, obtiveram-se valores que representam relações fracas, com o coeficiente de correlação em ($r^2 = 0,012$), que demonstra baixo ajuste nas seções (Figura 50).

Figura 50– Profundidade do canal (Dmp) Córrego Lapuna



Fonte: Arquivo do autor (2022)

Esse desajuste pode ser relacionado ao assoreamento do leito fluvial e aos processos erosivos no canal ocasionados pelo aumento de energia do fluxo durante as chuvas, consequências da urbanização e impermeabilização do solo. Em campo, nas atividades de mensuração das margens plenas, nas áreas de planícies, foi constatada a presença de uma grande quantidade de tubulações que drenam as águas pluviais do perímetro urbano.

O canal fluvial do Córrego Siriema foi o que apresentou os maiores desajustes entre os parâmetros avaliados; foram identificados consideráveis desajustes e dispersão das seções em relação à linha de tendência. O forte desajuste pode ser explicado pela presença de áreas densamente urbanizadas e pelo consequente aumento da drenagem urbana, potencializando alterações morfológicas no canal.

A intensa presença da urbanização a montante e à margem direita do canal pode ter influência direta nas inconformidades dos valores encontrados, que demonstram desajustes dos canais fluviais no sentido de montante para jusante.

A partir da análise dos parâmetros no canal fluvial do Córrego Siriema, evidenciam-se os impactos causados pelo processo de urbanização. Entre os principais impactos identificados, destacam-se o trecho do canal fluvial em meio à malha urbana totalmente canalizado, a presença de resíduos sólidos urbanos que adentram os canais, oriundos de tubulações e a presença de despejo de efluentes cloacais, vindos das áreas a montante.

As tubulações que drenam o perímetro urbano desembocam no canal sem redutores de velocidade, soma-se a isso a presença de material lenhoso, e

quantidades significativas de resíduos sólidos urbanos, criam barreiras que obstruem o fluxo do canal, potencializando a erodibilidade das margens e o acúmulo de sedimentos no leito.

As intervenções antrópicas identificadas no canal fluvial, como resíduos sólidos urbanos e lenhosos, e as obras setoriais que drenam a montante urbanizada, produzem o aumento gradativo do nível d'água no canal e o aumento da velocidade e das forças de cisalhamento, atuando na modificação da forma do canal.

O volume de energia que adentra o sistema fluvial em períodos de intensa precipitação, possibilita que as forças erosivas remanejem o material sedimentar do leito, por meio dos movimentos laterais e verticais do canal, acentuando os processos erosivos.

O solo encontrado nessa área de estudo possui menor suscetibilidade à erosão, sendo os Nitossolos vermelhos eutroféricos, esse solo possui textura predominantemente argilosa e se estende por áreas com declives suaves a moderados, caracterizando-se por sua profundidade. Apesar de sua resistência natural, um dos principais contribuintes para os impactos nos cursos d'água é o rápido processo de urbanização que ocorreu a montante da bacia.

A potencialização dos processos erosivos acaba por alterar as características dos canais fluviais. O rápido processo de urbanização – aliado a práticas inadequadas no uso do solo, como a instalação de sistemas de drenagem e canalização dos rios urbanos – altera significativamente a dinâmica do escoamento das águas superficiais.

Durante eventos de enchentes, o maior poder erosivo das águas sobre as encostas se intensifica, gerando um maior volume de sedimentos que são transportados e depositados nos rios urbanos. Isso, por sua vez, desencadeia transformações na estrutura e no formato dos canais.

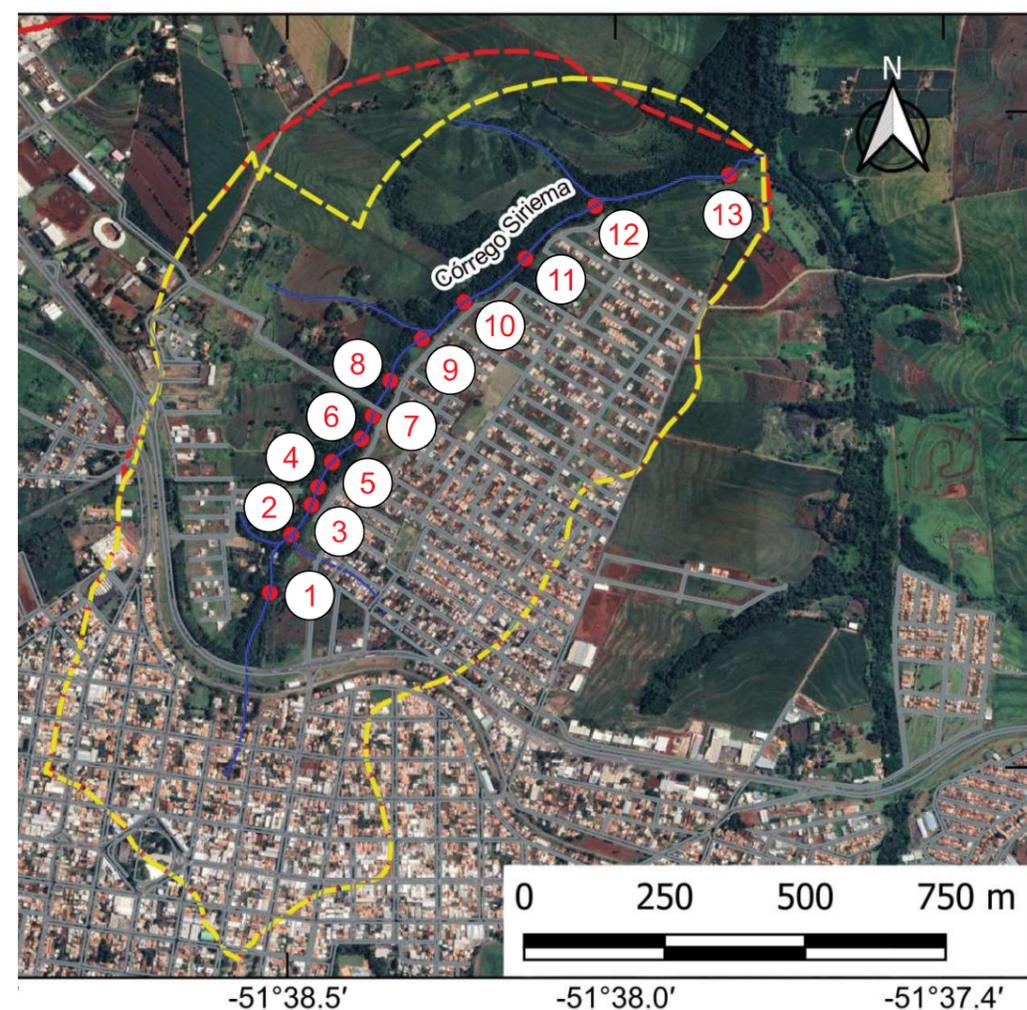
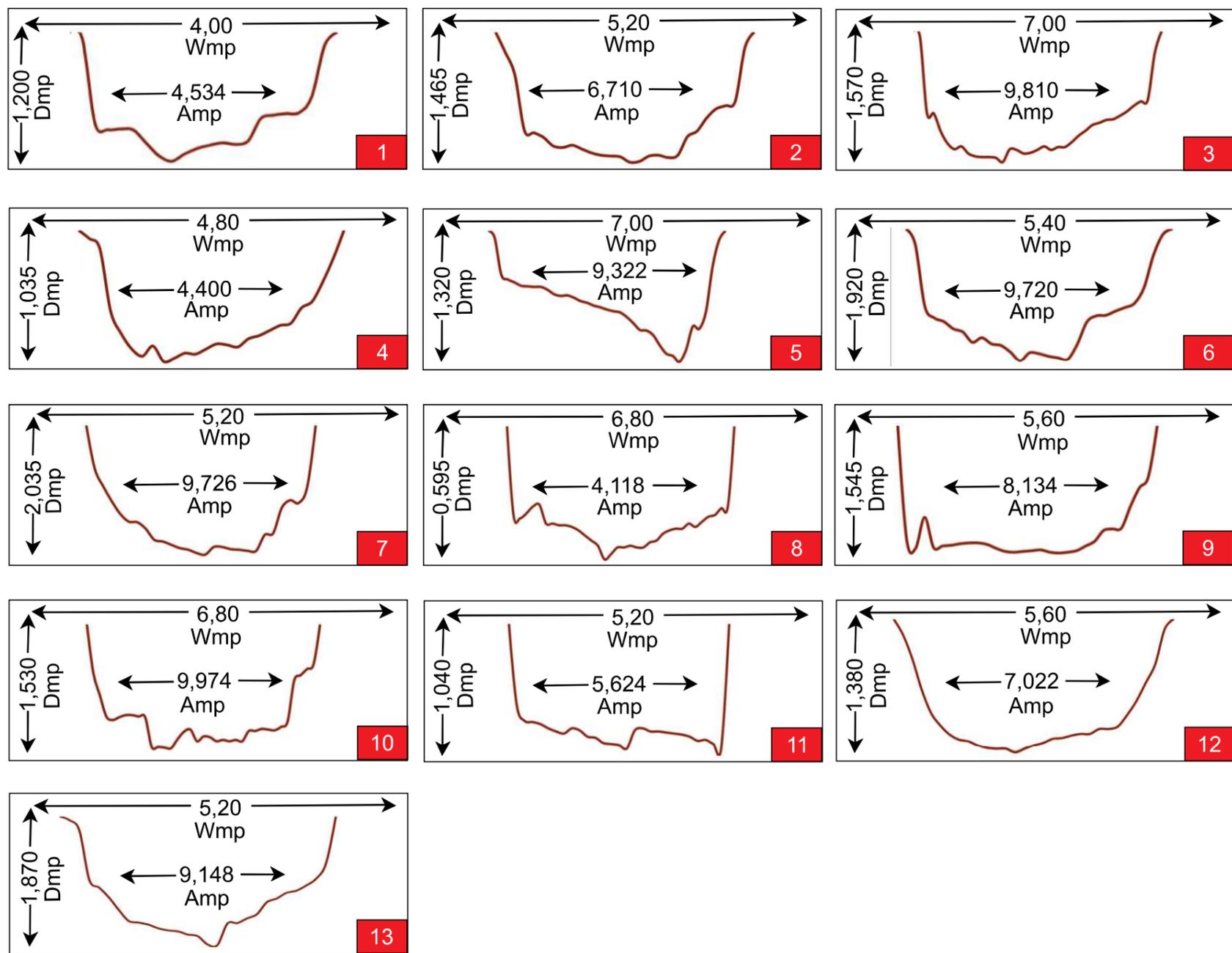
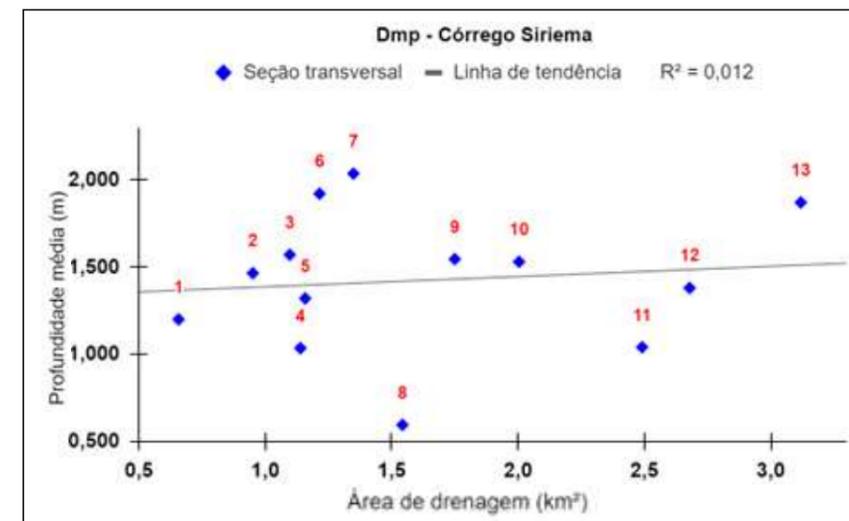
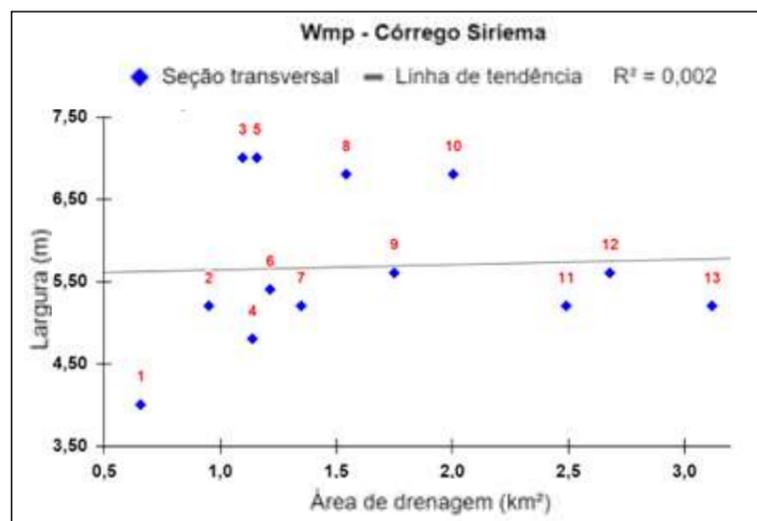
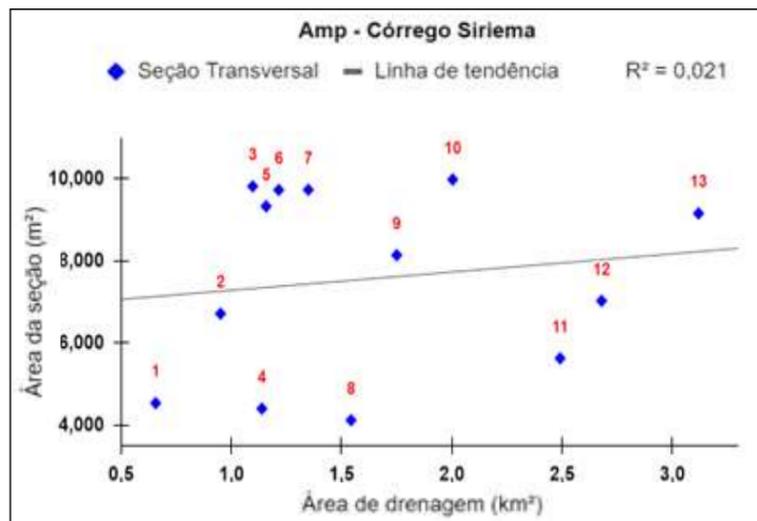
O volume de energia que adentra o sistema fluvial em períodos de intensa precipitação, possibilita que as forças erosivas remanejem o material sedimentar do leito, por meio dos movimentos laterais e verticais do canal, acentuando os processos erosivos.

O perfil dos canais fluviais do Córrego Siriema demonstra um desequilíbrio. O sistema fluvial busca um novo equilíbrio por meio de ajustes em suas margens e leito, influenciando diretamente na forma do canal e conseqüentemente na mudança da vazão.

Estudos de impactos urbanos na bacia do Córrego Siriema foram realizados por Dias-Oliveira *et al.* (2010), sendo encontrados vários trechos com as propriedades geométricas da seção transversal desajustadas. Alterações que têm potencializado o extravasamento/alagamento do débito do canal em períodos de precipitações concentradas.

No estudo, os autores concluíram que as redes artificiais têm densidade de drenagem quatro vezes maior do que a das áreas rurais, implicando o acréscimo da velocidade da água e a consequente redução da sinuosidade/rugosidade dos canais. O incremento na densidade de drenagem artificial está associado a obras de infraestrutura oriundas do processo de urbanização.

Na Figura 51, é possível identificar os perfis transversais do canal fluvial do Córrego Siriema, evidenciando o alargamento das margens e o aprofundamento do leito nas seções na montante em direção ao setor, evidencia não manter um aumento gradual e proporcional nas seções mensuradas.



5.2 DISCUSSÃO DOS DADOS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS ABERTAS

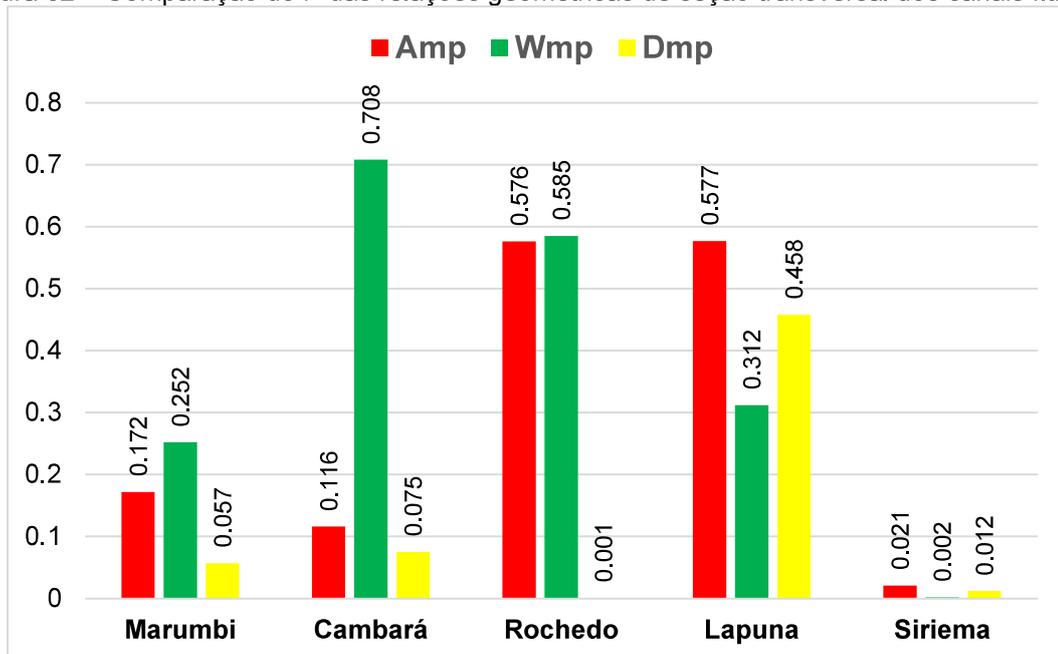
Após analisar de forma individualizada a geometria hidráulica ligada aos canais fluviais do recorte urbano das bacias estudadas, apresentamos a seguir um panorama comparativo dos resultados encontrados nos canais fluviais estudados.

Os resultados constituem a avaliação dos valores dos coeficientes de correlação nas relações de geometria hidráulica de margens plenas mensurados nos sistemas fluviais situados no perímetro urbano de Jandaia do Sul (PR).

Foram encontrados desajustes e baixas correlações nas relações da geometria hidráulica em nível de margens plenas em todos os canais que drenam o perímetro de Jandaia do Sul (PR). Ao considerar a média de todos os canais, identificamos que apresentam baixos coeficientes de correlação, alterações que têm como causa principal o uso do solo na bacia, em especial, a urbanização que afeta todos os canais estudados.

Na Figura 52, é possível observar o gráfico comparativo do coeficiente de correlação r^2 das relações geométricas de seção transversal dos sistemas fluviais analisados. Nota-se que a capacidade de resiliência dos canais responde de maneira diferenciada aos impactos identificados.

Figura 52 – Comparação do r^2 das relações geométricas de seção transversal dos canais fluviais



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Com relação aos valores encontrados, o canal fluvial do Córrego Siriema possui o menor valor para Amp ($r^2 = 0,021$), em Dmp o menor valor foi encontrado no canal fluvial do Ribeirão Rochedo ($r^2 = 0,001$) e o canal fluvial do Córrego Siriema possui o menor valor para Wmp ($r^2 = 0,002$). Os maiores ajustes em Amp e Dmp foram encontrados no canal fluvial do Córrego Lapuna: ($r^2 = 0,577$) para Amp e ($r^2 = 0,458$) para Dmp. O canal fluvial do Ribeirão Cambará apresenta maior ajuste em Wmp ($r^2 = 0,708$).

Os baixos índices de ajustes dos canais resultam de alterações da largura e da profundidade média e influenciam diretamente na capacidade dos canais. As alterações na dinâmica natural dos rios refletem as mudanças nos processos de assoreamento e de sedimentação do canal; essa dinâmica pode ser alterada por causa do uso do solo na bacia, assim como pelas intervenções diretas realizadas pelo homem dentro do canal, por exemplo, as canalizações.

Os baixos coeficientes encontrados têm forte relação com as dinâmicas espaciais identificadas na área de estudo, como a impermeabilização do solo e das obras setoriais, que contribuem para o desajuste morfológico dos trechos fluviais, produzindo desequilíbrio nas relações entre a área da bacia e as variáveis dependentes em nível de margens plenas. Ebisemiju (1989) afirma que a resposta do canal à urbanização depende de fatores como o relevo e a localização da área urbana na bacia, assim cada canal fluvial responde de maneira diferenciada aos impactos da urbanização.

Outro fator associado aos desajustes encontrados nos canais estudados deve-se à presença considerável de resíduos sólidos urbanos ao longo dos canais, estes servem como obstáculos ao fluxo no canal, levando-o à busca de um novo ajuste.

Segundo Dias (2012), a presença de escombros no canal pode influenciar nos processos de erosão das margens dos rios; o choque desses materiais sobre as margens leva ao colapso de porções de materiais da encosta, levando à desestabilização dos barrancos/talude.

A entrada de escombros no leito do canal tende a produzir a formação de depósitos de sedimentos, diminuindo o volume da área de escoamento das águas no canal e desencadeando uma maior pressão do fluxo sobre as margens, aumentando o potencial erosivo (Dias, 2012).

Além dos fatores citados acima, outro elemento associado aos impactos nos canais fluviais é a presença de gado às margens dos cursos d'água. Para Dias e

Thomaz (2011), há efeitos do gado às margens do canal fluvial na geomorfologia de encostas, bem como na geomorfologia fluvial e, conseqüentemente, na dinâmica dos rios. Para os autores, as áreas ripárias utilizadas para pastoreio apresentam maior sensibilidade diante dos processos erosivos, pois o gado remove a vegetação das margens, eliminando a função de filtro exercida pela vegetação, tornando mais frequente a deposição de sedimentos oriundos da encosta no interior dos canais.

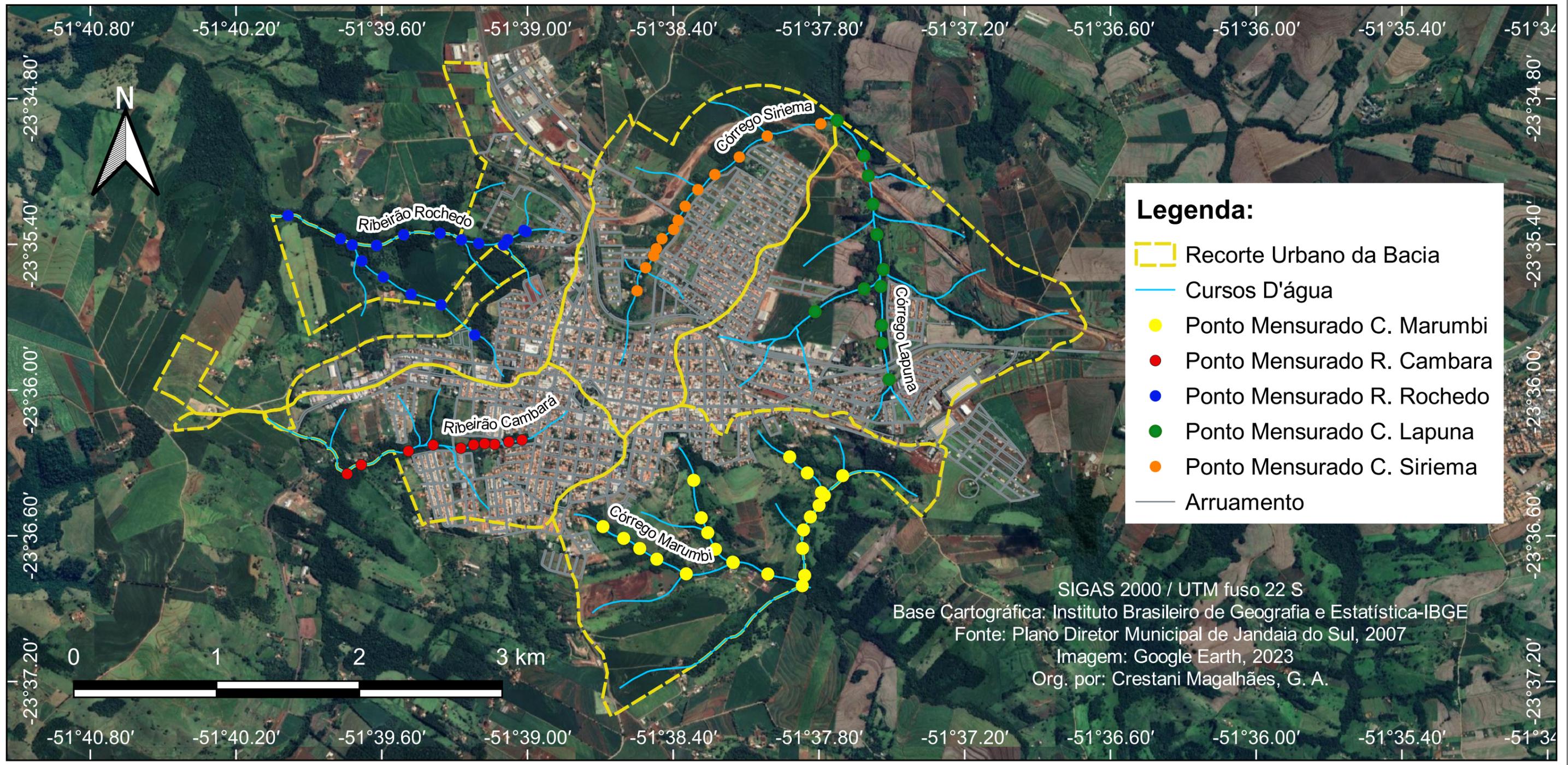
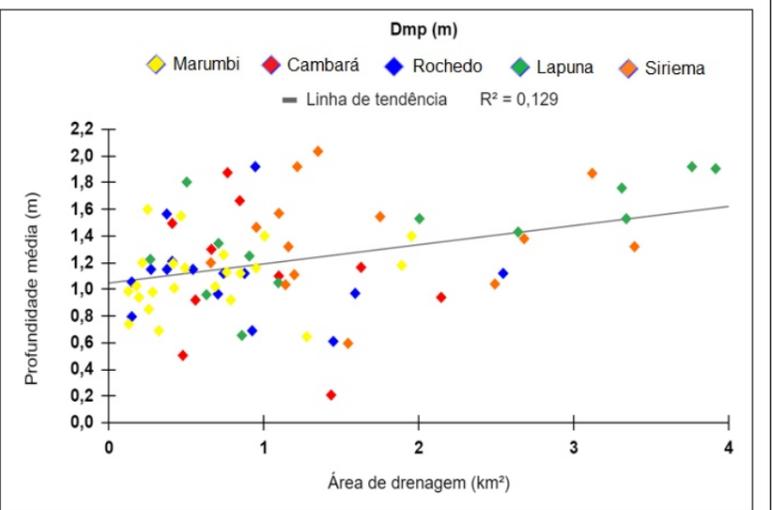
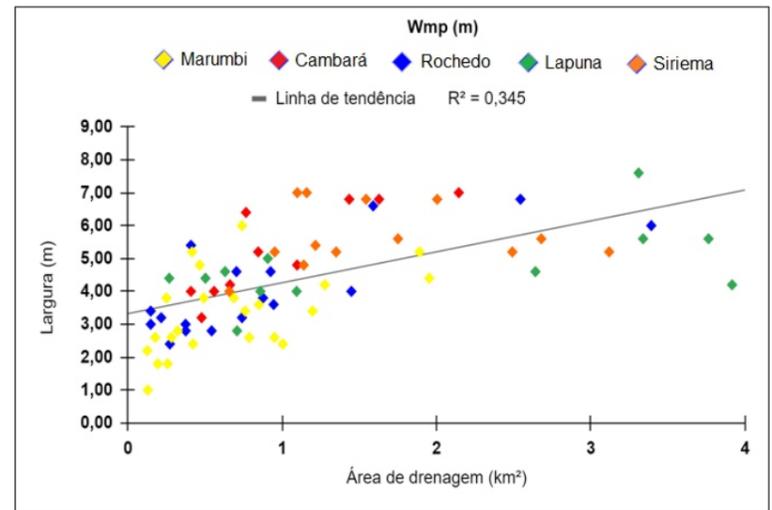
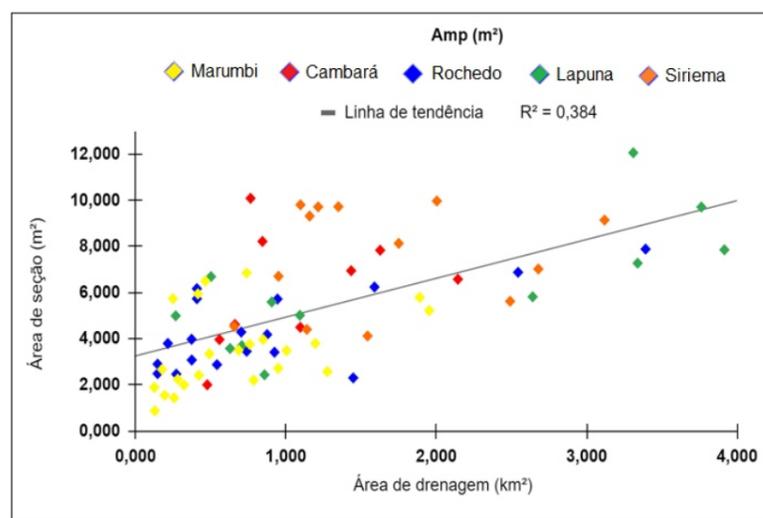
Estudos da mesma natureza foram aplicados por Fernandez (2004) em canais urbanos na cidade de Marechal Cândido Rondon-PR, obtendo baixas correlações (r^2) que variaram de 0,11 a 0,7, resultados que comprovam modificações na geometria decorrentes do processo de urbanização que refletem na dinâmica do canal fluvial. Destarte, os variados ajustes geomorfológicos encontrados nos sistemas fluviais estudados têm relação direta com as características da área, podendo sofrer intensidades dos ajustes distintos e variar conforme várias características da área, destacando: manejo das águas pluviais, declividade das vertentes, substrato rochoso, características pedológicas e dinâmica pluvial (De Moraes; Montanher, 2022).

De modo a realizar uma análise geral das condições morfológicas na geometria dos canais situados no perímetro urbano, foi feita a relação de todas as 75 seções abertas mensuradas ao longo dos sistemas fluviais situados no perímetro urbano de Jandaia do Sul (Figura 47). Nos valores obtidos, identificaram-se correlações das propriedades geométricas entre a seção transversal, área, profundidade média e largura, e a área de drenagem, coeficientes de correlação abaixo de 0,4, obtendo os respectivos valores de **Amp: (r^2 0,384); Dmp: (r^2 0,129) e Wmp: (r^2 0,345)**. Nos gráficos abaixo (Figura 73), evidenciam-se as seções que apresentam desajustes em comparação à linha de tendência.

Os dados obtidos de Amp, Dmp e Wmp nas seções mensuradas mostram que as relações geométricas nos canais fluviais do perímetro urbano de Jandaia do Sul (PR) apresentam fracos ajustes, com significativas alterações morfológicas e impactos na geometria hidráulica advindos do processo de urbanização que afeta os canais fluviais estudados.

Este estudo teve a prerrogativa de contribuir como subsídio à mitigação de impactos urbanos em canais fluviais por meio da aplicação da metodologia de geometria hidráulica em nível de margens plenas.

A Figura 53 faz a espacialização das 75 seções mensuradas acompanhadas dos gráficos de dispersão.



5.2.1 Seções transversais fechadas

A área urbana de Jandaia do Sul assenta-se sobre os espigões e os divisores de águas das bacias hidrográficas Pirapó-Ivaí. Em virtude das características topográficas, o núcleo urbano expandiu a montante de rios e de córregos, tendo em seu perímetro urbano trechos fluviais canalizados com as galerias pluviais da rede de drenagem.

A artificialização do meio urbano (impermeabilização, aterramento e canalização) suprimiram parte dos canais fluviais das áreas centrais da cidade tornando-os pouco visíveis na paisagem urbana, com exceção dos fundos de vale, quando o rio retoma seu percurso natural.

Desse modo, as seções transversais fechadas encontradas e mensuradas no perímetro urbano de Jandaia do Sul se referem a trechos fluviais ocupados por manilhas ou seções retangulares sobrepostas pelo arruamento, além de aberturas de trechos fluviais canalizados.

Foram levantadas em campo e mensuradas 23 seções fechadas ao longo dos sistemas fluviais do perímetro urbano, em sua maioria, identificadas e medidas, com exceção das que se apresentavam imperceptíveis ou de quando a dificuldade de acesso mostrou inviável sua aferição.

Ao correlacionar os parâmetros da área de drenagem com a área das seções transversais fechadas, obteve-se como resultado um indicador de baixo ajuste, apresentando um coeficiente de correlação de $r^2 = 0,239$. Ao observar o gráfico A da Figura 74, notam-se os pontos dispersos na linha de tendência, que representam seções subestimadas ou superestimadas.

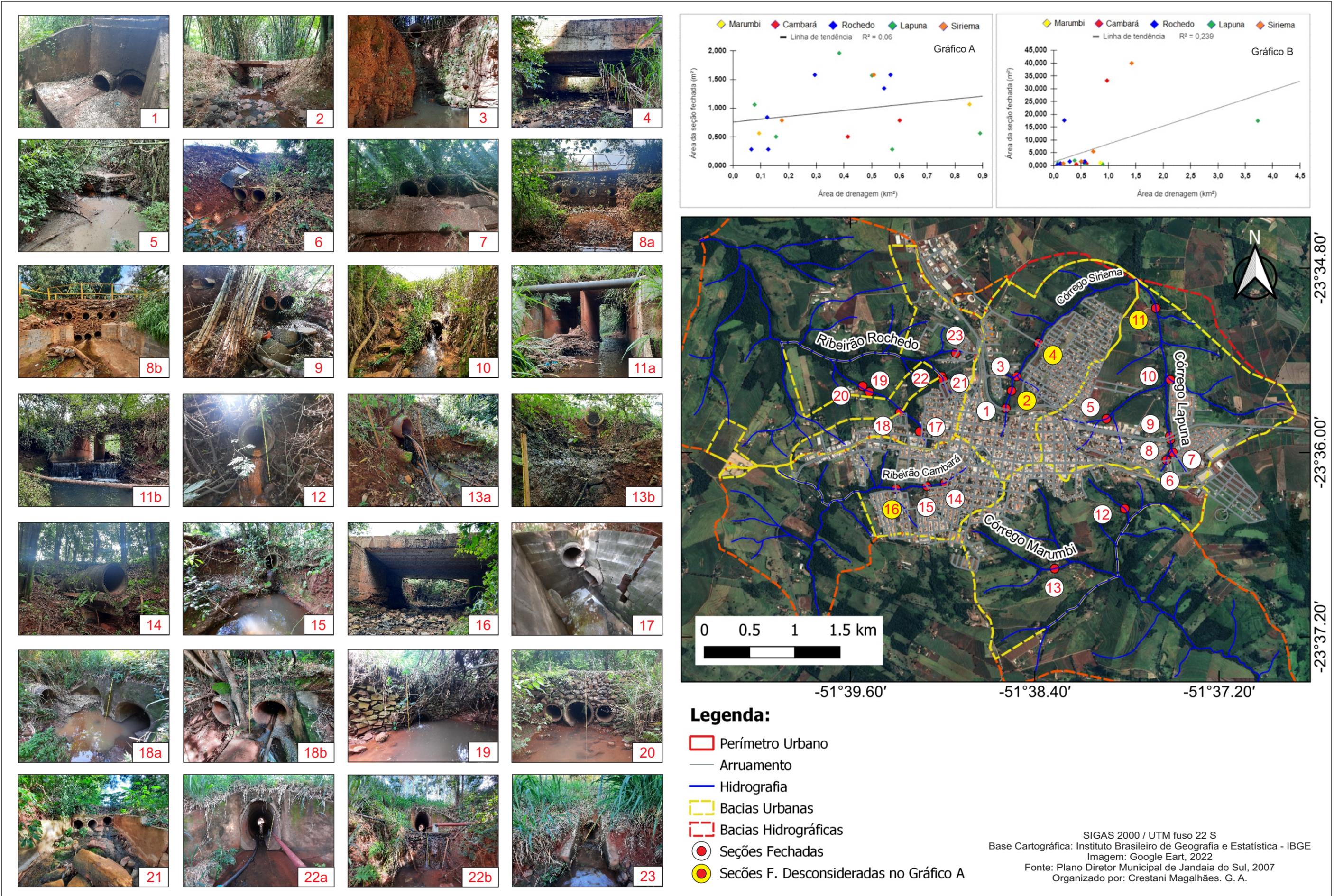
Em três seções (4, 16 e 22), destacam-se as superestimadas, apresentando um aumento considerável acima das demais. A seção 11 tem seu tamanho subestimado, encontrando-se a jusante dos canais fluviais. As seções subestimadas se encontram a montante dos canais fluviais e apresentam áreas desproporcionais às necessidades de vazão em eventos de intensa precipitação (janeiro e dezembro), e/ou transbordamento das águas.

A fim de melhor analisar o coeficiente de correlação das seções fechadas, produziu-se um gráfico de correlação somente com as seções fechadas abaixo de 2.000 m², retirando da análise pontes representadas nas seções 4, 11, 16 e 22.

O coeficiente de correlação obtido foi de $r^2 = 0,06$, apresentando várias seções com desajustes em relação à linha de tendência, as seções analisadas se distribuem no alto curso dos canais dos trechos intermediários e demonstram significativas alterações morfológicas dos canais.

Pelos valores das correlações obtidas, notamos que as seções fechadas do perímetro urbano se apresentam bem desajustadas em relação a sua capacidade.

As baixas correlações que se apresentam a montante dos canais fluviais se devem à falta de um planejamento adequado na instalação de obras de engenharia. Por não apresentarem um ajuste alométrico significativo, geram o acúmulo de resíduos sólidos urbanos /lenhosos que obstruem a passagem das águas e a diminuição na capacidade do canal, potencializando a ocorrência de enchentes e de alagamentos do canal fluvial (Figura 54).



5.2.2 Discussão dos dados das seções transversais fechadas

Observaram-se, em campo, vários trechos fluviais canalizados e várias áreas impermeabilizadas a montante dos canais fluviais, onde se localiza a maioria das seções transversais fechadas, sendo identificadas 23 seções fechadas.

Com os dados encontrados em Jandaia do Sul com r^2 de **0,06 a 0,239**, podem-se observar seções transversais subestimadas e superestimadas ao longo dos trechos fluviais que nem sempre acompanham em proporção a capacidade dos canais.

O coeficiente de correlação $r^2 = 0,06$ pode ser adotado como indicativo da geometria hidráulica de seções fechadas ao longo do perfil longitudinal para a área urbana de Jandaia do Sul.

O baixo valor encontrado evidencia várias seções transversais com áreas desajustadas, sempre associado à falta de planejamento estrutural das obras de obstrução e de canalização que considerem a capacidade do canal e da sua área impermeabilizada. Essa é uma realidade perceptível em todo país com o agravamento das inundações e dos alagamentos com sua ocorrência em tempo menor.

Estudos relacionados a seções transversais fechadas contribuem para o entendimento e a mitigação de impactos envolvendo inundações e alagamentos, visto que a artificialização das seções impõe limites da migração das margens e do leito, estando, sujeitas às dinâmicas de ajuste natural do canal na sua morfologia. Desse modo, é crucial o dimensionamento alométrico das seções transversais ao longo do perfil longitudinal para prevenir e minimizar os impactos provenientes da impermeabilização e da drenagem urbana.

5.2.3 Análise dos impactos

Este capítulo se destina à análise dos impactos ambientais negativos da urbanização e de seu reflexo nos impactos sociais, identificados a partir da aplicação do método da geometria hidráulica em nível de margens plenas, nos canais fluviais do perímetro urbano de Jandaia do Sul/PR.

A maior parte do perímetro urbano de Jandaia do Sul possui declividades na classe de 3% a 20% e predominam nas áreas de alta a média vertente dos rios Lapuna, Siriema, Rochedo e Cambará. Segundo Ross (1994), essa classe de

declividade caracteriza um grau de fragilidade ambiental médio; já a bacia urbana do córrego Marumbi apresenta-se mais dissecada, com áreas de declividade superiores a 45%, o que, de acordo com Ross (1994), caracteriza um grau de fragilidade ambiental muito forte. O relevo íngreme torna a área menos propensa à ocupação urbana.

A diferença altimétrica entre a área urbana e os fundos de vale – associada à impermeabilização do solo – potencializa o aumento do fluxo superficial, drenando as águas da área urbana em direção aos trechos periféricos e rurais nos setores de jusante das bacias. Essas características de ocupação tornam os canais fluviais o destino de resíduos sólidos urbanos, potencializando alterações na dinâmica geomorfológica dos canais fluviais.

No estudo, constatou-se que a urbanização tem relação direta com as modificações dos canais fluviais resultando no desequilíbrio e em alterações na geometria hidráulica natural, havendo a consequente produção de impactos os quais incluem: aumento da velocidade da água, erosão das margens, alterações nos padrões de transporte de sedimentos e sedimentação em áreas mais baixas do curso d'água e acúmulos de resíduos sólidos urbanos.

No que tange aos impactos ambientais negativos, esses são potencializados primeiramente, a impermeabilização a montante das bacias hidrográficas, e a consequente redução da infiltração da água do solo, tendo como causa o aumento de enchentes em períodos de intensa precipitação. Esta, por sua vez, arrasta consigo uma quantidade significativa de resíduos sólidos urbanos dos mais diversos que se depositam ao longo dos canais fluviais.

Destacam-se, ainda, nos canais localizados no perímetro urbano, trechos do canal retificados e canalizados de modo a melhor acomodar a expansão urbana. Essas infraestruturas alteram as características naturais dos canais, levando a mudanças na morfologia fluvial. Os impactos na morfologia dos canais fluviais resultaram em modificações significativas em sua forma e estrutura.

Tais medidas estruturais causam estreitamento e encurtamento do canal, resultando no aumento da velocidade da água, este último, por sua vez, associado às áreas impermeabilizadas, e, uma vez somado a presenças de resíduos sólidos urbanos, produz um aumento do poder erosivo nas margens dos canais, fato que foi perceptível a jusante dos cursos fluviais.

Nos trechos a jusante dos canais onde a declividade do relevo é reduzida, identificou-se um acúmulo de sedimentos e canais severamente assoreados, além de considerável quantidade de resíduos sólidos urbanos que se acumulam nas margens e leito dos rios.

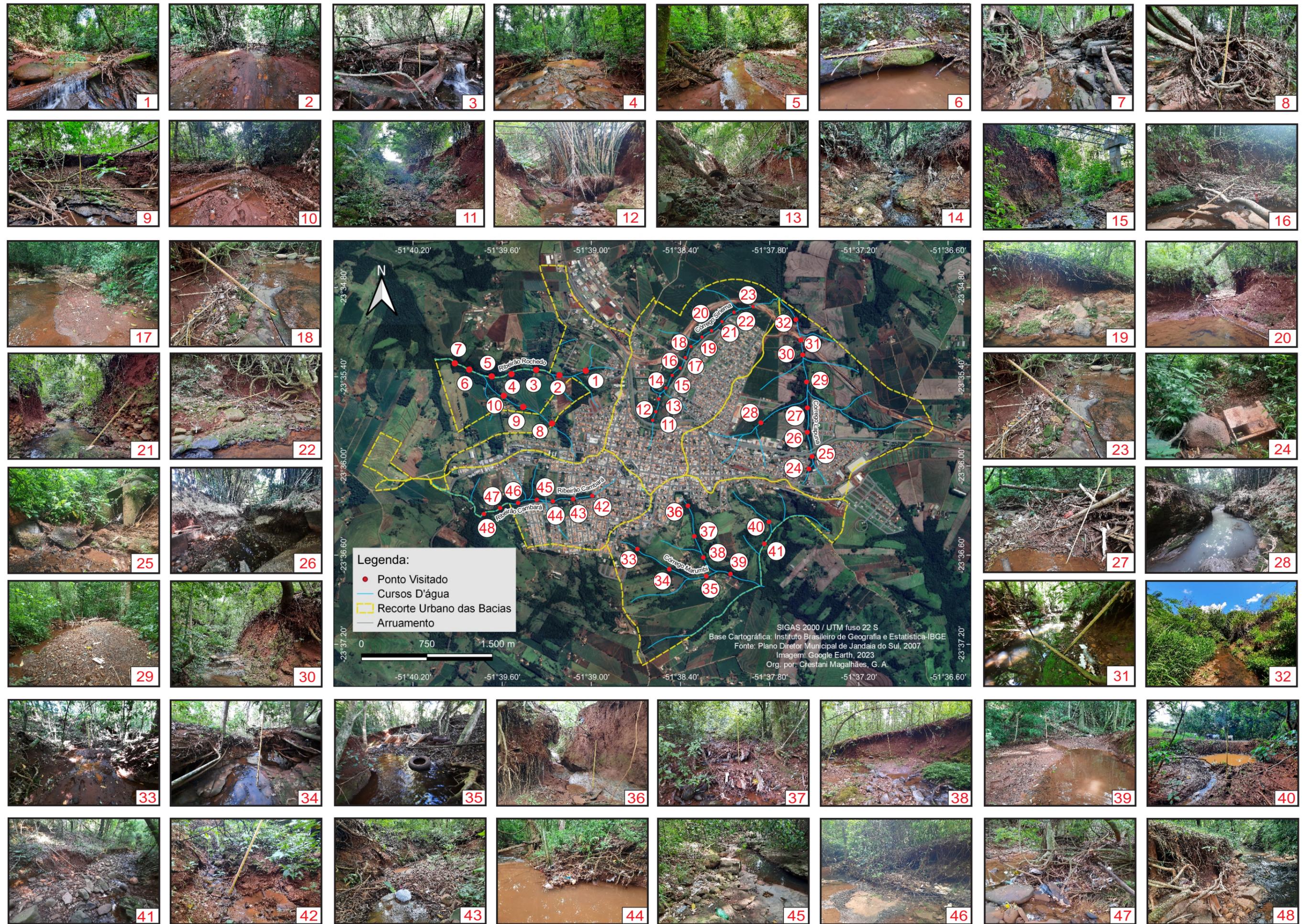
Outro fator de impacto perceptível é a supressão de vegetação ripária, fundamental para estabilizar as margens dos cursos d'água; em determinados trechos do canal, foi identificada a inexistência da vegetação, resultando em margens menos protegidas, aumentando a erosão e o assoreamento do canal fluvial.

No que tange aos impactos sociais, os canais com margens e leito instáveis podem prejudicar a qualidade da água, por aumento da taxa de sedimentos em suspensão. Como consequência, ocorre o aumento nos custos de tratamento das águas destinadas ao abastecimento da cidade, como o Córrego Marumbi. Além dos municípios limítrofes localizados a jusante, visto que as nascentes dos rios com origem em Jandaia do Sul, faz parte da rede hidrográfica responsável pelo abastecimento de água na região.

Tratando-se dos impactos sociais que envolvem enchentes e inundações, não foi constatada a existência desse fenômeno afetando a população, não sendo identificadas ocupações urbanas localizadas nos fundos de vales, visto que o relevo íngreme presente nessas áreas dificulta a sua ocupação. O fator relevo dificulta a ocupação dessas áreas.

Logo, a compreensão dos problemas ambientais e sociais enfrentados contribui na busca de soluções sustentáveis. Podendo ser evitadas e mitigadas por meio da integração de práticas de planejamento urbano, gestão de recursos hídricos, essenciais para mitigar os impactos negativos do processo de urbanização.

A figura 55 faz a espacialização dos principais impactos ambientais negativos identificados nos canais fluviais estudados.



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo, discute-se a aplicabilidade da geometria hidráulica em nível de margens plenas de canais fluviais urbanos, como ferramenta de diagnóstico e identificação de impactos ambientais no canal fluvial.

A geometria hidráulica em nível de margens plenas por meio da correlação da forma do canal, em conjunto com comportamento das variáveis A_{mp} , D_{mp} e W_{mp} , apresentou-se como método capaz de determinar o ajuste e o desajuste do canal fluvial, possibilitando identificar se a forma da seção transversal de um determinado local é resultado das interações dos mecanismos hidrológicos, geológicos, geomorfológicos e/ou da ação humana ocorrente na bacia hidrográfica.

O método aplicado neste trabalho mostrou-se eficiente em quantificar, qualificar e especializar os impactos ambientais existentes no canal fluvial, de modo que os resultados da avaliação e distribuição dos impactos ambientais mostraram-se factíveis e confiáveis.

Quanto ao método de identificação do nível de margens plenas, nas áreas a montante do canal com declividade acentuada (onde o impacto nas margens era mais evidente), encontrou-se dificuldade em determinar o patamar de vegetação para aferição, exigindo maior conhecimento empírico da área de estudo e domínio aprimorado do método empregado.

Em relação a outros estudos realizados em canais fluviais urbanos, quando comparados os valores obtidos com os encontrados neste trabalho, vê-se que o estudo de geometria hidráulica em nível de margens plenas nos canais fluviais urbanos de Jandaia do Sul-PR mostrou-se coerente, demonstrando que o estudo de geometria hidráulica foi aplicado seguindo os mesmos critérios metodológicos em todos os canais. A variação dos valores dos expoentes A_{mp} , D_{mp} e W_{mp} encontrados, se explica pelo diferenciado grau de resiliência dos canais, e por sua resposta em relação aos impactos.

Vale frisar que a análise dos valores médios de A_{mp} , D_{mp} e W_{mp} obtidos correspondem a determinados pontos no trecho do canal escolhidos para mensuração – representativos apenas para os canais inseridos no perímetro urbano, não sendo representativos para todo o canal da bacia hidrográfica.

No decorrer do trabalho, algumas observações em campo permitiram concluir que a análise do comportamento das formas das seções transversais nos canais, uma

tendência de a profundidade média sofrer menor variação do que a largura, podendo estar relacionado a isso, a resistência do material rochoso (basalto) presente no leito do canal.

Para próximos estudos, recomenda-se a mensuração da vazão média, o que complementaria esta pesquisa, como subsídio de verificar qual a relação da vazão média tem em relação as modificações das seções transversais do canal.

Quanto à mensuração das propriedades geométricas do canal, recomenda-se que seja feita em períodos de estiagem. No caso desta área de estudo, entre os meses de junho e agosto. Devido à baixa precipitação nesse período do ano, o volume de água do canal reduz a incidência de enchentes e inundações, facilitando a caracterização e identificação do patamar inferior/intermediário da vegetação utilizados na identificação do nível de margens plenas.

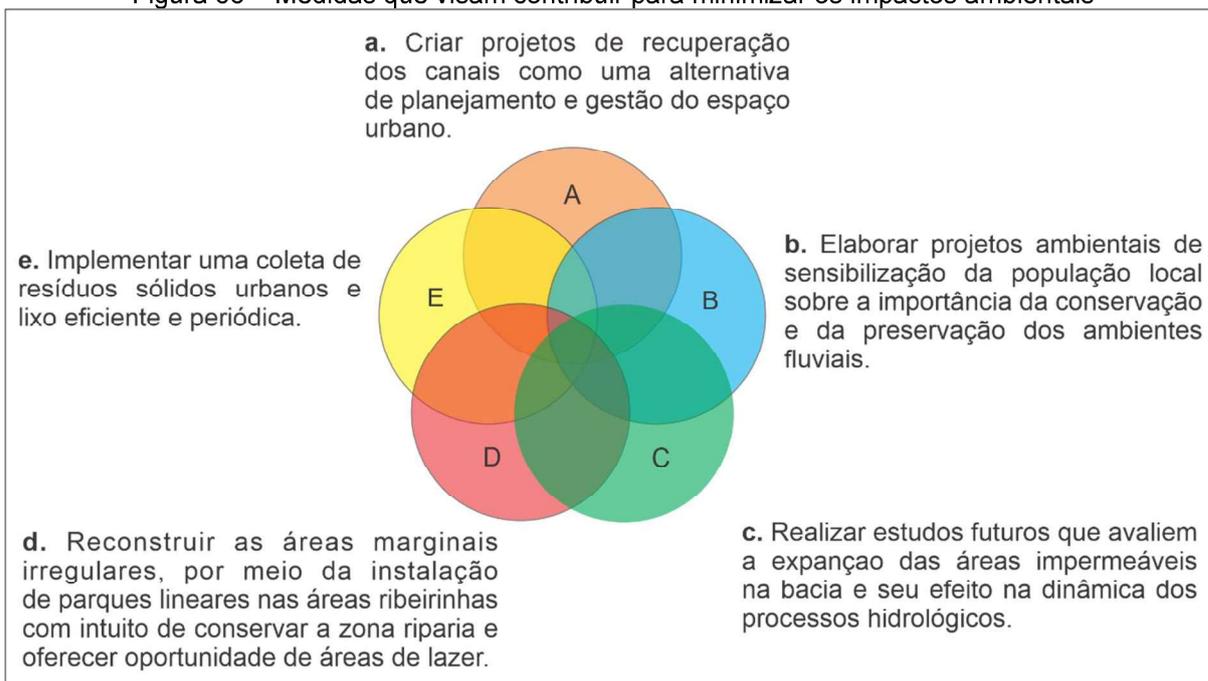
Outra informação relevante a ser destacada, uma vez feita a escolha do patamar da vegetação para a mensuração das propriedades geométricas do canal, aquele deve ser seguido como parâmetro para todo canal fluvial. A escolha errada do patamar de vegetação (e/ou a escolha de mais de um destes de maneira distinta no mesmo canal) irá acarretar um desajuste proposital, não representando a real situação da área, tendo como resultados dados equivocados quando ao ajuste/desajuste do canal.

Entre as variáveis apresentadas no trabalho de campo e sua adversidade de deslocamentos e circulação em locais de risco em virtude das especificidades da área de estudo, situados em diferentes espaços-tempos. Inclui-se, indispensavelmente, a instabilidade imposta pela Pandemia da Sars COVID-19, em que as relações humanas foram estarrecidas, e coisas e lugares, limitados. Além disso, a relação homem e natureza, para muitos, foi ressignificada.

Por fim, os resultados alcançados neste estudo demonstram que a metodologia utilizada é uma ferramenta capaz de quantificar, qualificar e especializar os impactos ambientais, bem como subsidiar novas pesquisas envolvendo o estudo em canais fluviais em áreas urbanas.

A partir dos resultados da pesquisa, a Figura 56 apresenta as sugestões e medidas a serem adotadas que visem contribuir para minimizar os impactos ambientais identificados, como:

Figura 56 – Medidas que visam contribuir para minimizar os impactos ambientais



Fonte: Organizado pelo autor (2022)

REFERÊNCIAS

ACKLAS, J. R.; ETCHEBEHERE, M. L. C.; CASADO, F. C. Análise de perfis longitudinais de drenagens do município de Guarulhos para a detecção de deformações neotectônicas. **Revista UnG**, v. 8, n. 6, p. 64-78, 2003.

APARECIDO, L. E. O. *et al.* Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, p. 405-417, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/nfcXCJMXKD35kv6DppjpPMY/?lang=en>. Acesso em: 20 jul. 2023.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto-Alegre: ABRH, 2005.

BARBOSA, T. S.; LIMA, V. F.; FURRIER, M. Anomalias em padrões de rede de drenagem como fator de verificação neotectônica - um estudo de caso nas sub-bacias do rio Mamuaba-PB. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 26, p. 195-213, 2013.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. *In*: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. *In*: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2012.

BOTELHO, R. G. M. Bacias Hidrográficas Urbanas. *In*: GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BRAGA, F. F. A Complexidade das bacias hidrográficas urbanas e os divisores antrópicos de drenagem: conceitos e reflexões. *In*: COSTA, A.; SCHNEIDER, L., (orgs.). **Rios Urbanos: Diferentes abordagens sobre as águas nas cidades**. Curitiba: Editora CRV, 2022. p. 63-76.

BRASIL. **Lei Federal n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1997.

BROOKES, A. **Channelized Rivers: Perspectives for Environmental Management**. WileyIntercience. 1998. 326 p.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARVALHO, L. D. M. de. **O posicionamento e o traçado urbano de algumas cidades implantadas pela Companhia de Terras Norte do Paraná e sucessora**,

Companhia Melhoramentos Norte do Paraná. 2000. 200 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2000.

CASETTI, V. **Elementos de Geomorfologia.** Goiânia: Editora UFG, 2001.

CAVIGLIONE, J. H. *et al.* **Cartas climáticas do Paraná.** Londrina: IAPAR, 2000.

CHARLTON, R. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology.** Madison Avenue: New York, 2008.

CHIN, A.; GREGORY, K. J. Urbanization and adjustment of ephemeral stream channels. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 91, n. 4, p. 595-608, 2001.

CHIN, A.; GREGORY, K. J.; O'DOWD, A. P. Urbanizing River Channels. **Treatise on Geomorphology**, v. 9, p. 809-827, 2020.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia: introdução.** Editora Hucitec, Editora da Universidade de São Paulo, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **A análise de Bacias Hidrográficas: Geomorfologia.** São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial: o canal fluvial.** São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1999.

COMPANHIA MELHORAMENTOS NORTE DO PARANÁ. **Colonização e Desenvolvimento do Norte do Paraná.** São Paulo, 1 Edição, 1975.

CONAMA. **Resolução nº 1, de 17 de fevereiro de 1986.** Critérios Básicos e As Diretrizes Gerais Para Uso e Implementação da Avaliação de Impacto Ambiental Como Um dos Instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/legislacao/resolucao/219-1986.html>. Acesso em: 10 nov. 2023.

CRESTNI-MAGALHÃES, G. A.; OLIVEIRA, E.; FERNANDES, F.; DIAS-OLIVEIRA, E. Reflexões sobre a contribuição da geomorfologia da paisagem urbana. **Revista GEOMAE (UNESPAR)**, v. 6, n. 1, p. 89-98, 2015. Disponível em: <http://200.201.12.34/index.php/geomae/article/view/5826>. Acesso em: 2 jan. 2023.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. *In*: GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sanda Baptista da. **Geomorfologia – Exercícios, Técnicas e Aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 157-189.

CUNHA, S. B. Canais Fluviais e a questão ambiental. *In*: CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Teixeira (orgs.). **A questão ambiental: diferentes abordagens.** 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. p. 219-238.

DA SILVA PEIXOTO, F.; SILVEIRA, R. N. C. M. Bacia hidrográfica: tendências e perspectivas da aplicabilidade no meio urbano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 03, p. 840-853, 2017.

DE MORAIS, E. S; MONTANHER, O. C. Ajustamento fluvial à agropecuária, urbanização e reservatório e análise cientométrica do impacto dessas atividades nos rios brasileiros. *In*: CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de (org.). **Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira**. Brasília: Selo Caliandra, 2022. p. 143-175. Disponível em: <https://www.ige.unicamp.br/lehg/lancamento-do-livro-revisoes-de-literatura-da-geomorfologia-brasileira/>. Acesso em: 27 abr. 2023.

DE REZENDE ALVES, V. A.; ORLANDO, P. H. K; Relação cidade-curso de água: Canalização de cursos de água. **Revista Geografar**, v. 16, n. 2, p. 375-400, 2021.

DIAS-OLIVEIRA, E.; CRESTANI MAGALHÃES, G. A.; SOUZA, P.; VESTENA, L. R. A urbanização e seus impactos na densidade de drenagem e na geometria hidráulica do córrego Siriema, Jandaia do Sul/PR. **Terr@ plural**, v. 4, p. 257-271, 2010.

DIAS-OLIVEIRA, E.; BORSATO, V. A. Propriedades morfométricas da bacia hidrográfica do córrego Marumbizinho, Jandaia do Sul/PR. **Revista Geografar (UFPR)**, Curitiba, v. 6, p.76- 94, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/21804>. Acesso em: 2 jan. 2023.

DIAS-OLIVEIRA, E. *et al.* Caracterização fisiográfica da bacia de drenagem do Córrego Jandaia, Jandaia do Sul/PR. **ACTA GEOGRÁFICA**, v. 5, n. 10, p. 169-183, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/277135203>. Acesso em: 19 jul. 2023.

DIAS-OLIVEIRA, E.; VESTENA, L. R.; OLIVEIRA, E. A. Considerações sobre os aspectos hidrogeomorfológicos da cidade de Jandaia do Sul-PR. **Revista Eletrônica Geoaraguaia**, Barra do Garças-MT, v. 3, n. 1, p. 33-49, jan./jul. 2013. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/>. Acesso em: 2 jan. 2023.

DIAS-OLIVEIRA, E.; VESTENA, L. R.; VESTENA, C. L. B. Efeitos da urbanização no Ribeirão Cambará, Jandaia do Sul-PR. **Revista Equador (UFPI)**, v. 5, n. 2, p. 139-158, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/4864/2815>. Acesso em: 2 jan. 2023.

DIAS-OLIVEIRA, E.; DOS SANTOS, S. G.; SEGANTIM, L. P. Diagnóstico ambiental dos sistemas fluviais em pequenas cidades: Estudo de Caso de Florestópolis - PR. **Revista Equador (UFPI)**, v. 5, n. 5, p. 56-70, 2016. Disponível em: <https://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador>. Acesso em: 2 jan. 2023.

DIAS, W. A. **Dinâmica erosiva em margens plenas de canal fluvial**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2012

DIAS, W. A.; THOMAZ, E. L. Influência de escombros lenhosos na dinâmica de riachos em área de faxinal. **Terr@ Plural**, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 229–248, 2011. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/tp/article/view/2332>. Acesso em: 24 fev. 2023.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L. B. **Water in Environmental Planning**. San Francisco, W. H. Freeman Co. 1978, p. 818.

DSG. Diretoria de Serviços Geográficos do Exército. **Carta Topográfica de Mandaguari**, Folha SF.22-Y-D-V-3 MI2793/2, escala: 1:50.000, 1980.

EBISEMIJU, F. S. The Response of Headwater Stream Channels to Urbanization in The Humid Tropics. **Hidrological Processes**, v. 3. p. 237–253, 1989.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná**, Rio de Janeiro, 1984.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013. 353 p.

ESPÍNDOLA, E. L. G.; SILVA, J. S. V.; MARINELLI, C. E.; ABDON, M. M. **A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar**. São Carlos: Rima Editora, 2000.

FERREIRA, M. L.; AGUIAR, A. de O.; CORTESE, T. T. P.; KNISS, C. T.; QUARESMA, C. C.; PASCHOALIN FILHO, J. A. Cidades inteligentes e sustentáveis: problemas e desafios. In: BENINI, S. M.; ROSIN, J. A. R. de G. (orgs.). **Estudos urbanos: uma abordagem interdisciplinar da cidade contemporânea**. 2. ed. Tupã: ANAP, 2016. p. 81-112.

FERNANDEZ, O. V. Q. Determinação do nível e da descarga de margem plena em cursos fluviais. **Boletim de Geografia**, n. 21, p. 97-109, 2003.

FERNANDEZ, O. V. Q. Relações da geometria hidráulica em nível de margens plenas nos córregos de Marechal Cândido Rondon, região oeste do Paraná. **Revista Geosul**, v. 19, n. 37, p. 115-134, 2004.

FUJITA, R. H. **O perfil longitudinal do rio Ivaí e sua relação com a dinâmica de fluxos Maringá**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2022.

GRISON, F. **Geometria Hidráulica de Bacias Hidrográficas Paranaenses**. 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand, 2009.

GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2004.

HUECK, K. **Distribuição e habitat natural do Pinheiro do Paraná** (Araucária angustifolia). São Paulo: Botânica, 1953.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. Classificação Climática. Disponível em: http://200.201.27.14/Site/Sma/Cartas_Climaticas/Classificacao_Climatica.htm. Acessado em 20 de junho de 2023.

IBGE. **Censo demográfico 1960**. IBGE, Rio de Janeiro: 1960.

IBGE. **Censo demográfico 1970**. IBGE, Rio de Janeiro: 1970.

IBGE. **Censo demográfico 1980**. IBGE, Rio de Janeiro: 1980.

IBGE. **Censo demográfico 1991**. IBGE, Rio de Janeiro: 1991.

IBGE. **Censo demográfico 2000**. IBGE, Rio de Janeiro: 2000.

IBGE. **Censo demográfico 2010**. IBGE, Rio de Janeiro: 2010.

ITCG – Instituto de terras, cartografia e geografia do Paraná. 2018. Dados e informações geoespaciais temáticos. Disponível em: < <http://www.itcg.pr.gov.br/modules/faq/category.php?categoryid=9#>>. Acesso em: 08 jan. 2022.

JANDAIA DO SUL. Prefeitura Municipal. **Plano Diretor Municipal de Jandaia do Sul**. Jandaia do Sul: 2008.

JORGE, F. N.; UEHARA, F. N. Águas de superfície. *In*: OLIVEIRA A. M. S.; BRITO, S. N. A. (orgs.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p.101-109.

KNIGHTON A. D. **Fluvial Forms and Processes: A New Perspective**. Arnold: London, 1998.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A. A.; CORSEUIL, C. W. **Recursos hídricos e saneamento**. Curitiba: Organic Trading, 2008.

LEOPOLD, L. B.; MADDOCK, T. **The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications.** United States Geological Survey, 1953.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G.; MILLER, J. P. **Fluvial processes in geomorphology.** San Francisco: Freedman, 1964.

LICCO, E. A.; MAC DOWELL, S. F. Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. **Revista Iniciação Científica**, v. 5, n. 3, 2015.

LIMA, M. I. C. **Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico.** Pará: UFPA, 2006.

LOHMANN, U.; FEICHTER, J. Global indirect aerosol effects: a review. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 5, p. 715-737, 2005.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná.** 3. ed. Curitiba: Banco de Desenvolvimento do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Instituto de Biologia e Pesquisa Tecnológica, 2002.

MACHADO, J. de O.; TORRES, F. T. **Introdução à hidrogeografia.** São Paulo: Cengage Learning, 2012.

METEN, G. H. (Coord.). Manejo de solos de baixa aptidão agrícola no centro-sul do Paraná. Londrina, PR: **IAPAR**, 1994. 112 p. il., color.

MENEZES, C. R.; SALGADO, C. M. Caracterização morfométrica e de intervenções urbanas na bacia hidrográfica do rio Imboaçú (São Gonçalo, RJ): contribuição ao estudo de inundações. **Revista Formação**, Presidente Prudente, v. 25, n. 44, p. 279-299, jan./abr. 2018.

MINERAIS, DO PARANÁ SA. MINEROPAR. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná.** Escala Base 1: 250.000. Modelos Reduzidos 1: 500.000. 2006.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Atlas internacional de nuvens.** Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969.

MONTEIRO, C.A. de F. M. **Geografia Regional do Brasil – Grande Região Sul: Clima.** Cap. III, Vol.IV, Tomo 1, Rio de Janeiro,. IBGE, 1963, pp.117-169.

MÜLLER, N. L. Contribuição ao estudo do Norte do Paraná. **Revista Geografia**, v. 10, n. 1, p. 89-118, 2001.

OKI, T.; KANAE, S. Global hydrological cycles and world water resources. **Science**, v. 313, n. 5790, p. 1068-1072, 2006.

OLIVEIRA, L. M. **Guia de prevenção de acidentes geológicos urbanos.** Curitiba: Mineropar, 1998.

OLLERO, A. D.; BALLARÍN, D. M. **Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro**. Zaragoza: Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009.

OLMOS ITURRI LARACH, J. **Bases para leitura de mapas de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1981. 91 p. (EMBRAPA-SNLCS. Série Miscelânea, 4).

PAUL, Michael J.; MEYER, Judy L. Streams in the urban landscape. **Annual review of Ecology and Systematics**, v. 32, n. 1, p. 333-365, 2001.

PELEGRINI, S. C. A. A paisagem urbana de Maringá expressa em distintas representações pictóricas da cidade. *In*: PELEGRINI, S.; ZANIRATO, S. **Narrativas da Pós-modernidade na pesquisa histórica**. Maringá: Eduem, 2005.

PESSOA, F. da S; FACANHA, A. C. Impressões sobre Bacia Hidrográfica Urbana e Gestão Compartilhada. **InterEspaço** - Grajau/MA, v. 1, n. 2, p. 256-269, jul./dez. 2015.

PETTS, G. E.; AMOROS, C. **Fluvial Hydrosystems**. London: Chapman & Hall, 1996.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 4.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/download>. Acesso em: 1 set. 2022.

QGIS Development Team, <YEAR>. QGIS Geographic Information System. **Open Source Geospatial Foundation Project**. <http://qgis.osgeo.org>

QUARESMA, M. N. S., SANTOS, M. R. S.. **Os impactos ambientais decorrentes da multiterritorialidade na Praia de Ajuruteua – Pará**. Atena Editora, 2023

REGO, R. L.; MENEGUETTI, K. S. A forma urbana das cidades de médio porte e dos patrimônios fundados pela Companhia Melhoramentos Norte do Paraná. **Acta Scientiarum Technology**, v. 28, n. 1, p. 93-103, 2006.

RICHARD, G. A. **Quantification and prediction of lateral channel adjustments downstream from cochiti Dam, Rio Grande, NM**. 2001. 276 f. PhD Dissertation (Department of Civil Engineering). Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 2001.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As regiões fitogeográficas do Estado do Paraná. **Revista Ciência e Ambiente**, v. 24, p. 75- 92, 2002.

RODRIGUES, C.; GOUVEIA, I. M. C. Importância do fator antrópico na redefinição de processos geomorfológicos e riscos associados em áreas urbanizadas do meio tropical úmido. Exemplos na Grande São Paulo. *In*: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. **Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. p. 1-192.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 3-74, 1994.

SANDER, C. *et al.* Intervenções antrópicas em canais fluviais em áreas urbanizadas: rede de drenagem do igarapé Caranã, Boa Vista - RR. **Acta Geográfica**, v. 6, p. 59-84, 2012.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de textos, 2020.

SANTOS, R. F. **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007.

SPVS - SOCIEDADE DE PROTEÇÃO DA VIDA SELVAGEM. **Nossas árvores – manual para a recuperação da reserva florestal legal**. Curitiba: FNMA, 1996.

SILVA, A.; SOUZA, C. A.; ZANI, H.; FREITAS, D. R. Avaliação da erosão da margem esquerda do rio Paraguai a jusante da praia do Julião município de Cáceres – MT. **Revista Geografia Acadêmica**. v. 1, p. 5-19. 2007

SILVA, R. F. da. Análise dos impactos ambientais da urbanização sobre os recursos hídricos na subbacia do Córrego Vargem Grande em Montes Claros-MG. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 26, n. 47, p. 966-976, nov. 2016.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. *In*: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRS/USP/ABRM, 1993. p. 35-51.

SINGER, E. M. **Metodologia para avaliação dos impactos ambientais da mineração**. *In*: Anais do Encontro sobre Mineração e Meio Ambiente no Estado de São Paulo. [S.l.: s.n.], 1985. p. 10–20.

SWANSON, F. J.; LIENKAEMPER, G. W.; SEDELL, J. R. **History, physical effects, and management implications of large organic debris in Western Oregon Streams**. Portland: USDA Forest Service General Technical Report, 1976.

TOMAZI, N. D. **Norte do Paraná: Histórias e fantasmagorias**. Curitiba: Aos Quatro Ventos, 2000.

TORRES, F. T.; MACHADO, J. de O. **Introdução à climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

TUBELIS, A. N. **Meteorologia descritiva fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1984.

TUCCI, C. E. M. Água no Meio Urbano. *In*: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (ed.) **Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora Distribuidora de Livros. 2000, p. 475-508.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem urbana. Ciência e cultura**, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

- TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Rbrh: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, RS. Vol. 7, n. 1 (2002 jan./mar.), p. 5-27, 2002.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2a ed. Porto Alegre: ABRH. 2000, p. 943.
- TUCCI, C. E. M. Inundações e Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (org.) **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH, cap. 3. 2003, p. 45-129.
- TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS/ABRH. 1 ed. Cap. 1, pp. 15-36.
- TUCCI, C. E. M. Gestão de Águas Pluviais Urbanas: Ministério das Cidades: **Global Water Partnership: World Bank**, capítulo 2, 2005, pp. 2-63.
- TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (org.) **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH. v. 9. 2003, p. 348.
- TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. Infiltração e armazenamento no solo. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Rio Grande do Sul (RS): Editora Universidade, 2000. p. 335-372.
- VALE, C. C. do. Teoria Geral do Sistema: histórico e correlações com a geografia e com o estudo da paisagem. **Entre-Lugar**, v. 3, n. 6, p. 85-108, 2012.
- VALENTE, O. F. Reflexões hidrológicas sobre inundações e alagamentos urbanos. **Minha Cidade**, n. 109, 2009.
- VIEIRA, V. T.; CUNHA, S. B. Mudanças na Rede de Drenagem Urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. p. 111-145.
- WESCHE, T. A. Stream channel modifications and reclamation structures to enhance fish habitat. In: GORE, J. A. (Ed.). **The Restoration of Rivers and Streams: theories and Experience**, chapter 5. Boston: Butterworth Publishers, 1985. p.103-163.
- WOLMAN, M. G. **A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels**. **Geographiska Annaler**, v. 49, p. 385-395, 1967. DOI: 10.2307/520904

APÊNDICE A - PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS CÓRREGO MARUMBI

Seção	Coordenadas UTM (X/Y)	A (km ²)	Amp (m ²)	Dmp (m)	Wmp (m)
01	-23.609006 / -51.644777	0,125	1,884	0,985	2,00
02	-23.610152 / -51.643415	0,193	1,544	0,940	1,80
03	-23.610941 / -51.642388	0,281	2,244	0,980	2,60
04	-23.611726 / -51.641037	0,415	5,944	1,195	5,20
05	-23.612756 / -51.639205	0,491	3,342	1,160	3,80
06	-23.611877 / -51.635595	0,949	2,714	1,160	2,60
07	-23.606160 / -51.638714	0,249	5,734	1,600	3,80
08	-23.608798 / -51.637873	0,465	6,502	1,550	4,80
09	-23.609779 / -51.637592	0,686	3,500	1,020	3,80
10	-23.610955 / -51.637009	0,739	6,850	1,260	6,00
11	-23.611742 / -51.635710	0,849	3,966	1,120	3,60
12	-23.612589 / -51.633437	1,890	5,792	1,180	5,20
13	-23.613291 / -51.631327	1,953	5,222	1,400	4,40
14	-23.604517 / -51.631702	0,176	2,660	1,025	2,60
15	-23.605480 / -51.630640	0,257	1,434	0,850	1,80
16	-23.606916 / -51.629718	0,322	1,996	0,690	2,80
17	-23.605693 / -51.628249	0,128	0,874	0,740	1,00
18	-23.607135 / -51.629551	0,421	2,414	1,010	2,40
19	-23.607899 / -51.629860	0,759	3,756	1,130	3,40
20	-23.608667 / -51.630443	0,786	2,198	0,920	2,60
21	-23.609393 / -51.631265	1,004	3,482	1,400	2,40
22	-23.611001 / -51.631056	1,196	3,798	1,110	3,40
23	-23.612693 / -51.631009	1,276	2,574	0,645	4,20

Nota: A: área de drenagem; Amp: área da seção; Dmp: Profundidade média; Wmp: largura da seção.
Fonte: Dados organizados pelo autor.

APÊNDICE B - PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS RIBEIRÃO CAMBARÁ

Seção	Coordenadas UTM (X/Y)	A (km²)	Amp (m²)	Dmp (m)	Wmp (m)
01	-23.603597 / -51.652359	0,408	6,170	1,495	4,00
02	-23.603561 / -51.652570	0,477	1,998	0,505	3,20
03	-23.603518 / -51.652803	0,558	3,962	0,920	4,00
04	-23.603530 / -51.653057	0,661	4,618	1,300	4,20
05	-23.603630 / -51.653450	0,765	10,092	1,875	6,40
06	-23.603984 / -51.654065	0,844	8,220	1,665	5,20
07	-23.603968 / -51.656650	1,096	4,494	1,100	4,80
08	-23.604237 / -51.658175	1,434	6,948	0,208	6,80
09	-23.605220 / -51.661416	1,627	7,838	1,165	6,80
10	-23.605730 / -51.662257	2,144	6,580	0,940	7,00

Nota: A: área de drenagem; Amp: área da seção; Dmp: profundidade média; Wmp: largura da seção
 Fonte: Dados organizados pelo autor.

APÊNDICE C - PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS RIBEIRÃO ROCHEDO

Seção	Coordenadas UTM (X/Y)	A (km ²)	Amp (m ²)	Dmp (m)	Wmp (m)
01	- 23.589443 / - 51.650263	0,147	3,810	1,120	3,20
02	- 23.589226 / - 51.650306	0,215	2,482	0,795	3,40
03	- 23.590093 / - 51.651619	0,373	3,974	1,565	3,00
04	- 23.589919 / - 51.652153	0,271	2,464	1,150	2,40
05	- 23.589888 / - 51.653287	0,703	4,284	0,965	4,60
06	- 23.589595 / -51.654521	0,875	4,176	1,120	3,80
07	- 23.589219 / - 51.655999	0,944	5,720	1,920	3,60
08	- 23.589139 / - 51.658185	1,448	2,298	0,610	4,00
09	- 23.590027 / - 51.660413	1,589	6,240	0,970	6,60
10	- 23.589821 / - 51.662581	2,544	6,880	1,120	6,80
11	- 23.588041 / - 51.666345	3,392	7,888	1,320	6,00
12	- 23.596544 / - 51.653408	0,147	2,898	1,055	3,00
13	- 23.594075 / - 51.655842	0,374	3,074	1,150	2,80
14	- 23.593302 / - 51.657802	0,408	5,732	1,210	5,40
15	- 23.592159 / - 51.659945	0,542	2,874	1,150	2,80
16	- 23.591105 / - 51.661241	0,739	3,454	1,120	3,20
17	- 23.590191 / - 51.661873	0,924	3,412	0,690	4,60

Nota: A: área de drenagem; Amp: área da seção; Dmp: Profundidade média; Wmp: largura da seção
 Fonte: Dados organizados pelo autor.

APÊNDICE D – PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS CÓRREGO LAPUNA

Seção	Coordenadas UTM (X/Y)	A (km ²)	Amp (m ²)	Dmp (m)	Wmp (m)
01	-23.599254 / -51.625056	0,267	4,992	1,225	4,40
02	-23.596816 / -51.625509	0,502	6,692	1,805	4,40
03	-23.595555 / -51.625766	0,629	3,574	0,960	4,60
04	-23.593011 / -51.625730	0,707	3,698	1,345	2,80
05	-23.594563 / -51.630158	0,906	5,594	1,250	5,00
06	-23.593038,-51.627081	1,093	5,016	1,050	4,00
07	-23.591820 / -51.625519	0,858	2,434	0,655	4,00
08	-23.589460 / -51.625704	2,641	5,814	1,430	4,60
09	-23.587317 / -51.626271	3,310	12,07	1,760	7,60
10	-23.585392 / -51.626388	3,399	7,274	1,530	5,60
11	-23.584055 / -51.626872	3,763	9,712	1,920	5,60
12	-23.581732 / -51.628597	3,916	7,856	1,905	4,20

Nota: A: área de drenagem; Amp: área da seção; Dmp: Profundidade média; Wmp: largura da seção
 Fonte: Dados organizados pelo autor.

APÊNDICE E – PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS CÓRREGO SIRIEMA

Seção	Coordenadas UTM (X/Y)	A (km ²)	Amp (m ²)	Dmp (m)	Wmp (m)
01	-23.593246 / -51.642529	0,657	4,534	1,200	4,00
02	-23.591540 / -51.641740	0,951	6,710	1,465	5,20
03	-23.590775 / -51.641400	1,097	9,810	1,570	7,00
04	-23.590328 / -51.641088	1,139	4,400	1,035	4,80
05	-23.589821 / -51.640870	1,158	9,322	1,320	7,00
06	-23.588739 / -51.639983	1,215	9,720	1,920	5,40
07	-23.588489 / -51.639834	1,349	9,726	2,035	5,20
08	-23.587475 / -51.639252	1,543	4,118	0,595	6,80
09	-23.586197 / -51.638402	1,750	8,134	1,545	5,60
10	-23.585151 / -51.637370	2,004	9,974	1,530	6,80
11	-23.583949 / -51.635765	2,491	5,624	1,040	5,20
12	-23.582486 / -51.633795	2,679	7,022	1,380	5,60
13	-23.581656 / -51.630056	3,119	9,148	1,870	5,20

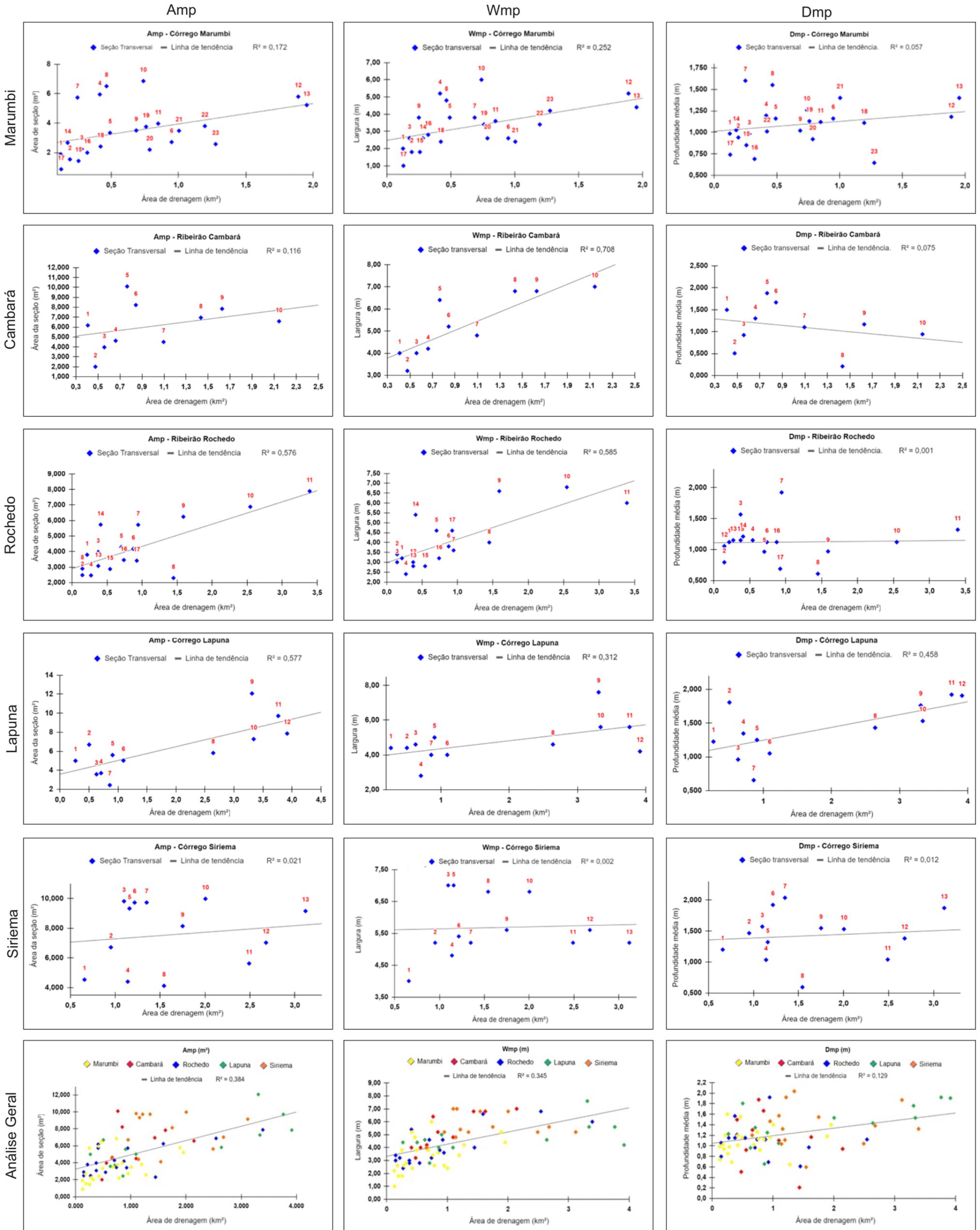
Nota: A: área de drenagem; Amp: área da seção; Dmp: Profundidade média; Wmp: largura da seção
 Fonte: Dados organizados pelo autor.

APÊNDICE F – PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DAS SEÇÕES FECHADAS

Seção	Canal Fluvial	Coordenadas UTM (X/Y)	BH (km ²)	A seção (m ²)
01	Siriema	-23.595124 / -51.643430	0,508	1,580
02	Siriema	-23.593304 / -51.642647	0,724	5,512
03	Siriema	-23.591787 / -1.642065	0,176	0,785
04	Siriema	-23.588132 / -51.639764	1,425	40,000
05	Lapuna	-23.596267 / -51.632176	0,574	0,280
06	Lapuna	-23.600711 / -51.625570	0,078	1,060
07	Lapuna	-23.599961 / -51.625243	0,155	0,500
08	Lapuna	-23.598939 / -51.625266	0,383	1,960
09	Lapuna	-23.598135 / -51.625258	0,501	1,570
10	Lapuna	-23.591954 / -51.625240	0,891	0,560
11	Lapuna	-23.584308 / -51.626732	3,730	17,500
12	Marumbi	-23.612561 / -51.637899	0,853	1,065
13	Marumbi	-23.603852 / -51.633141	0,094	0,560
14	Cambará	-23.603058 / -51.650060	0,414	0,500
15	Cambará	-23.603605 / -51.651688	0,601	0,785
16	Cambará	-23.603810 / -51.655113	0,975	33,20
17	Rochedo	-23.597667 / -51.652552	0,127	0,280
18	Rochedo	-23.595484 / -51.654615	0,295	1,570
19	Rochedo	-23.593370 / -51.658204	0,568	1,570
20	Rochedo	-23.593163 / -51.658498	0,545	1,345
21	Rochedo	-23.592208 / -51.649907	0,123	0,840
22	Rochedo	-23.591618 / -51.650078	0,194	17,670
23	Rochedo	-23.589166 / -51.648545	0,066	0,280

Fonte: Dados trabalhados pelo autor

APÊNDICE G – GRÁFICOS DE DISPERSÃO DAS 75 SEÇÕES ABERTAS MENSURADAS



Nota: Amp: área da seção; Wmp: largura da seção; Dmp: Profundidade média
 Fonte: Dados organizados pelo autor.