UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Instituto de Geociências

MAYARA CAROLINE COVIZZI

# ALTERAÇÕES DA PAISAGEM COM A CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS:
perspectivas da gestão de recursos hídricos e dos sistemas ambientais

CAMPINAS
2020

MAYARA CAROLINE COVIZZI

# ALTERAÇÕES DA PAISAGEM COM A CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS:

## perspectivas da gestão de recursos hídricos e dos sistemas ambientais

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRA EM GEOGRAFIA NA ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL.

ORIENTADOR: PROF. DR. RAUL REIS AMORIM

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA MAYARA CAROLINE COVIZZI E ORIENTADA PELO PROF. DR. RAUL REIS AMORIM.

CAMPINAS

2020

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Marta dos Santos - CRB 8/5892

C838a

Covizzi, Mayara Caroline, 1995-
Alterações da paisagem com a construção de barragens : perspectivas da gestão de recursos hídricos e dos sistemas ambientais / Mayara Caroline Covizzi. – Campinas, SP : [s.n.], 2020.

Orientador: Raul Reis Amorim.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Impacto ambiental – Avaliação. 2. Reservatórios. 3. Barragens e açudes. 4. Paisagem - Proteção. I. Amorim, Raul Reis, 1981-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Landscape changes in reservoirs construction : perspectives of the water management and environmental systems
**Palavras-chave em inglês:**
Environmental impact analysis
Reservoirs
Dams
Landscape protection
**Área de concentração:** Análise Ambiental e Dinâmica Territorial
**Titulação:** Mestra em Geografia
**Banca examinadora:**
Raul Reis Amorim [Orientador]
Mara Lúcia Marques
Marcelo da Silva Gigliotti
Cassiano Gustavo Messias
**Data de defesa:** 29-10-2020
**Programa de Pós-Graduação:** Geografia

**Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)**
- ORCID do autor: https://orcid.org/0000-0002-8781-3017
- Currículo Lattes do autor: http://lattes.cnpq.br/0832182594674087

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

UNICAMP

**AUTORA**: Mayara Caroline Covizzi

**ALTERAÇÕES DA PAISAGEM COM A CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS:** perspectivas da gestão de recursos hídricos e dos sistemas ambientais

**ORIENTADOR**: Prof. Dr. Raul Reis Amorim

Aprovado em: 29 / 10 / 2020

**EXAMINADORES**:

Prof. Dr. Raul Reis Amorim - Presidente

Dra. Mara Lúcia Marques

Dr. Marcelo da Silva Gigliotti

Dr. Cassiano Gustavo Messias

***A Ata de Defesa assinada pelos membros da Comissão Examinadora consta no processo de vida acadêmica do aluno.***

Campinas, 29 de outubro de 2020.

Dedico este trabalho à Santíssima Virgem Maria, a
quem devo tudo o que tenho e tudo o que sou.
*Tuus totus ego sum, et omnia mea tua sunt.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo amparo e refúgio em todos os momentos;

Aos meus pais, Renilza e Claudionir, pelo incentivo e dedicação pela minha educação ao longo da vida;

À minha irmã Mayra, pela companhia e apoio de sempre;

Ao meu noivo, Rodrigo, por compartilhar comigo as dificuldades e alegrias deste trabalho e encontrar nele as motivações para concluí-lo.

Ao Professor Dr. Raul Reis Amorim, por me acolher na Unicamp como sua aluna e orientanda, pelo carinho e compreensão nestes anos de orientação, pelo professor e ser humano admirável;

Ao Professor Dr. Archimedes Perez Filho, pela oportunidade que tive em conhecer através dele a Teoria Geral dos Sistemas e por me trazer um novo olhar geográfico;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Unicamp, pelas excelentes aulas que contribuíram muito na realização deste trabalho;

Ao Geógrafo Ms. Danilo Mangaba de Camargo, pela amizade e pelas valiosas sugestões e apoio na conclusão deste trabalho, especialmente na parte cartográfica;

À Professora Dra. Mara Lucia Marques e ao Professor Dr. Marcelo da Silva Gigliotti, que me acompanham deste a graduação e pelas importantes considerações em minha banca de qualificação;

À minha amiga e afilhada Daniela Mandú, por dispor seu tempo e habilidade nas correções gramaticais e formatação deste trabalho;

Aos meus amigos que me acompanharam e se preocuparam comigo ao longo deste caminho, especialmente à Jocasta, Joyce, Camila, Lizandra e T. Filipe;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

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

*Ler e interpretar a paisagem, ter a noção de sequência dos cenários de um determinado espaço, passou a ser uma constante em minha vida.*
(Aziz Ab'Sáber)

## RESUMO

O aumento populacional paralelo ao crescente desenvolvimento urbano e industrial paulista têm desencadeado ações governamentais no setor de planejamento e gestão dos recursos hídricos, que visam o aproveitamento e a segurança de abastecimento em situações de escassez, como construção de barragens, que por sua vez, é uma infraestrutura que altera a dinâmica do fluxo natural de matéria, energia e nutrientes em bacias hidrográficas. Tomando como estudo de caso, está em curso a construção da barragem Pedreira, localizada no município de Pedreira - SP, no leito do rio Jaguari, afluente do rio Piracicaba, para garantir a segurança hídrica no território da metrópole do Estado de São Paulo, desde a ocorrência da pior crise hídrica registrada na história do estado em 2014. Considerando que estas obras são intervenções de grande impacto no sistema ambiental, o objetivo desta pesquisa é analisar, segundo o modelo sistêmico processo-resposta de Christofoletti (1979), as alterações na paisagem decorrentes da implantação de barragens, relacionando o estado sistêmico atual e as ações necessárias para a preservação do equilíbrio da paisagem. Neste sentido, foi realizado o mapeamento dos geossistemas do médio curso da bacia hidrográfica do rio Jaguari, que subsidiou a delimitação das Unidades da Paisagem, agregando os tipos de uso e cobertura da terra e sua caracterização fisiográfica e morfométrica; o mapeamento das áreas suscetíveis à inundação natural que serão atingidas pelo enchimento do reservatório; o mapeamento das fragilidades ambientais segundo a metodologia das Unidades Ecodinâmicas da Paisagem (ROSS, 1994) na Área de Influência Direta (AID), bem como o mapeamento e caracterização das APPs, antes e após a barragem; e a análise do novo cenário ambiental mediante os impactos causados pelo empreendimento. Os resultados mostraram uma área abundante em mananciais e preservada por vegetação original, que de acordo com o mapeamento das Unidades da Paisagem e da suscetibilidade à inundação, as matas serão a classe de cobertura mais atingida. A proximidade do eixo da barragem com a área urbana do município de Pedreira - SP também revela alto potencial de dano na situação de um iminente rompimento da barragem. A fragilidade se mostrou potencialmente forte, segundo as características naturais, mas com a presença de cobertura arbórea e herbácea que ainda ocupa metade da área total, a fragilidade ambiental se torna de nível médio. No entanto, a ocupação de pastagens nas APPs de topo de morro revela o risco de agravamento dos passivos de erosão e escorregamento de sedimentos provenientes do pisoteio do gado e da falta de vegetação protetiva, causando o assoreamento do futuro reservatório e a diminuição da sua vida útil, sem que haja um plano de recuperação dessas áreas previsto no Estudo de Impacto Ambiental da barragem.



**Palavras-chave: Impacto ambiental – Avaliação; Reservatórios; Barragens e açudes; Paisagem - Proteção.**

## ABSTRACT

The population increase, in parallel to the growing urban and industrial development of São Paulo have triggered governmental actions in the planning and management of water resources, aimed at the use and security of supply in situations of scarcity, such as the construction of dams, which in turn, is an infrastructure that alters the dynamics of the natural flow of matter, energy and nutrients in watersheds. Taking as a case study, construction is underway on the Pedreira reservoirs, located in the municipality of Pedreira-SP, on the Jaguari River, a tributary of the Piracicaba River, to ensure water security in the territory of the metropolis of the State of São Paulo, since the occurrence of the worst water crisis recorded in the state's history in 2014. Considering that these works are interventions of great impact on the environmental system, the objective of this research is to analyze, according to Christofoletti's (1979) systemic process-response model, changes in landscape resulting from the implantation of dams, relating the current systemic state and the necessary actions to preserve the balance of the landscape. In this sense, the mapping of the geosystems of the medium course of the hydrographic basin of the Jaguari River was carried out, which subsidized the delimitation of the Landscape Units, adding the types of land use and coverage and their physiographic and morphometric characterization; the mapping of areas susceptible to natural flooding that will be affected by filling the reservoir; the mapping of environmental weaknesses according to the methodology of Landscape Ecodynamic Units (ROSS, 1994) in the Area of Direct Influence (ADI), as well as the mapping and characterization of PPAs, before and after the dam; and the analysis of the new environmental scenario through the impacts caused by the enterprise. The results showed an area abundant in water sources and preserved by original vegetation, which, according to the mapping of the Landscape Units and the susceptibility to flooding, the forests will be the most affected coverage class. The proximity of the dam axis to the urban area of the municipality of Pedreira - SP also reveals a high potential for damage in the event of an imminent rupture of the dam. The fragility proved to be potentially strong, according to the natural characteristics, but with the presence of tree and herbaceous cover that still occupies half of the total area, the environmental fragility becomes medium level. However, the occupation of pastures in the PPAs at the top of the hill reveals the risk of aggravating the erosion liabilities and slipping of sediments from the trampling of cattle and the lack of protective vegetation, causing the silting of the future reservoir and the reduction of its life useful, without a recovery plan for these areas foreseen in the Environmental Impact Study of the dam.



**Keywords: Environmental impact analysis; Reservoirs; Dams; Landscape protection.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Estruturação dos Sistemas Ambientais ..... 22
Figura 3.2 - Representação esquemática de um sistema, assinalando os elementos (A, B, C e D) e suas relações, assim como o evento entrada e produto saída ..... 25
Figura 3.3 - Esquema do sistema do canal fluvial ..... 28
Figura 3.4 - Relacionamento sequencial entre vários subsistemas ..... 29
Figura 3.5 - Mecanismo de retroalimentação em um sistema de processo-resposta ..... 29
Figura 3.6 - Os principais tipos de mecanismos de retroalimentação ..... 30
Figura 4.1 - Mapa de localização das áreas de estudo ..... 33
Figura 4.2 - Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa ..... 35
Figura 5.1 - Mapa de Geossistemas do médio curso da BH do Rio Jaguari ..... 48
Figura 5.2 - Fragmento do Mapa Geológico do Estado de São Paulo ..... 50
Figura 5.3 - Fragmento do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo ..... 52
Figura 5.4 - Fragmento do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo ..... 54
Figura 5.5 - Fragmento do Mapa Fitogeográfico do Estado de São Paulo ..... 56
Figura 5.6 - Mapa climático do médio curso da bacia do rio Jaguari ..... 57
Figura 5.7 - Média mensal da temperatura máxima (em graus Celsius), da temperatura mínima (em graus Celsius) e da precipitação (em milímetros), dos dados registrados na estação meteorológica do CEPAGRI/Unicamp, no período de 1990 a 2019 ..... 58
Figura 5.8 - Mapa da hipsometria do médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari ..... 60
Figura 5.9 - Mapa de declividade do médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari ..... 61
Figura 5.10 - Perfil longitudinal (1 - 2) do médio curso da BH do rio Jaguari ..... 62
Figura 5.11 - Mapa de ordenamento fluvial do médio curso da BH do Rio Jaguari ..... 64
Figura 5.12 - Mapa de uso e cobertura das terras do médio curso da BH do rio Jaguari ..... 69
Figura 5.13 - Mapa de suscetibilidade às inundações do médio curso da bacia hidrográfica do rio Jaguari ..... 70
Figura 5.14 - Mapa de Unidades da Paisagem do médio curso da BH do Rio Jaguari ..... 77
Figura 5.15 - Mapas de Curvatura e Declividade na AID da barragem Pedreira ..... 80
Figura 5.16 - Sobreposição ponderada de curvatura e declividade a partir dos graus de fragilidade ..... 81
Figura 5.17 - Mapas de solo e uso e cobertura da terra na AID da barragem Pedreira ..... 83
Figura 5.18 - Mapa de Fragilidade Potencial na AID da barragem Pedreira ..... 85
Figura 5.19 - Mapa da Fragilidade Ambiental na AID da barragem Pedreira ..... 86
Figura 5.20 - Sistema processo-reposta da Ecodinâmica da Paisagem da área de estudo ..... 88
Figura 5.21 - APPs na área de estudo (AID barragem Pedreira) ..... 90
Figura 5.22 - Mapa de conflito do uso e cobertura da terra de acordo com os tipos de APPs da AID da barragem Pedreira ..... 92
Figura 5.23 - Mapa do cenário das APPs após a implantação da barragem Pedreira ..... 95
Figura 5.24 - Modelo esquemático da evolução do processo de elevações induzidas no lençol freático nas bordas de reservatórios ..... 98
Figura 5.25 - Áreas de rastejo e erosões lineares (sulcos e ravinas) na área do reservatório, registrado em 22/04/2019 ..... 102
Figura 5.26 - Cortes no terreno para acesso à propriedade particular, favorecendo o processo de erosão, registrado em 22/04/2019 ..... 102
Figura 5.27 - Processo de escorregamento em estágio médio/avançado de evolução, registrado em 22/04/2019 ..... 103

Figura 5.28 - Desmatamento e canteiro de obras às margens do rio Jaguari para construção da barragem Pedreira ..... 108
Figura 5.29 - Mancha de lama no leito do rio Jaguari após fortes chuvas no verão de 2019 ..... 108

# LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Pesos atribuídos para as diferentes classes de fragilidade das Unidades Ecodinâmicas....44
Tabela 5.1 - Parâmetros morfológicos do médio curso da BH do Rio Jaguari .....62
Tabela 5.2 - Relação hierarquia, quantidade, extensão e comprimento médio de canais da rede de drenagem da média bacia do rio Jaguari.....65
Tabela 5.3 - Relação do número de canais e o índice de bifurcação da média bacia do rio Jaguari.....65
Tabela 5.4 - Dados morfométricos gerais da média bacia do rio Jaguari.....65
Tabela 5.5 - População e índice demográfico nas cidades da BMJ.....72
Tabela 5.6 - Índices de Desenvolvimento Humano por Município da BMJ em 2010.....73
Tabela 5.7 - Produto Interno Bruto a preços correntes nos municípios da BMJ em 2017.....74
Tabela 5.8 - Extensão das Unidades da Paisagem do médio curso da BH do Rio Jaguari em km², em ordem decrescente. .....76
Tabela 5.9 - Classes e reclassificação do Mapa de Curvatura .....79
Tabela 5.10 - Classes e reclassificação do Mapa de Declividade .....79
Tabela 5.11 - Graus de fragilidade de acordo com os tipos de solos .....82
Tabela 5.12 - Graus de fragilidade conforme o tipo de uso e cobertura da terra.....82
Tabela 5.13 - Total de áreas ocupadas pelas APPs em quilômetros e porcentagem .....89
Tabela 5.14 - Classificação de áreas em km² de classes de uso e cobertura da terra por tipo de APP. .93
Tabela 5.15 - Classes de uso e cobertura da terra na área total das APPs. .....93

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AID – Área de Influência Direta

ANA – Agência Nacional de Águas

APA – Área de Preservação Ambiental

APP – Área de Preservação Permanente

BMJ – Bacia Média do rio Jaguari

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

DPA – Dano Potencial Associado

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MDE – Modelo Digital de Elevação

PCJ – Piracicaba, Capivari e Jundiaí

RA – Região Administrativa

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

RMC – Região Metropolitana de Campinas

SBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

TGS – Teoria Geral dos Sistemas

UP – Unidade da Paisagem

## SUMÁRIO


**1. INTRODUÇÃO** ..... 15

**2. OBJETIVOS** ..... 18

2.1 Geral ..... 18

2.2 Específicos ..... 18

**3. REFERENCIAL TEÓRICO** ..... 19

3.1 A Teoria Geral dos Sistemas e o enfoque na Geografia ..... 19

3.2 Abordagem geossistêmica ..... 20

3.3 O conceito de paisagem e sua concepção espacial ..... 23

3.4 O modelo sistêmico processo-resposta em unidades da paisagem ..... 24

**4. MATERIAIS E MÉTODOS** ..... 32

4.1 Localização da área de estudo ..... 32

4.2 Etapas metodológicas e procedimentos operacionais ..... 34

4.2.1 Mapeamento dos Geossistemas e sua caracterização ..... 35

4.2.2 Mapeamento dos Sistemas Antrópicos e sua caracterização ..... 39

4.2.3 Mapeamento das Unidades da Paisagem ..... 40

4.2.4 Áreas suscetíveis às inundações ..... 41

4.2.5 Identificação das fragilidades ambientais ..... 42

4.2.6 Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente ..... 44

**5. RESULTADOS E DISCUSSÕES** ..... 47

5.1 Geossistemas do médio curso da Bacia do Rio Jaguari ..... 47

5.1.1 Caracterização fisiográfica ..... 49

5.1.2 Caracterização morfométrica ..... 59

5.2 Interfaces entre a construção da barragem e as áreas suscetíveis às inundações ..... 67

5.3 Sistemas Antrópicos e o contexto socioterritorial ..... 71

5.4 Unidades da Paisagem do médio curso da bacia hidrográfica do Rio Jaguari ..... 76

5.5 Fragilidade Ambiental da AID da Barragem Pedreira ..... 78

5.6 Áreas de Preservação Permanente na AID da Barragem Pedreira ..... 89

5.7 Possíveis impactos a partir da construção da barragem Pedreira ..... 96

5.7.1 Principais impactos hidrológicos, geomorfológicos e antrópicos na AID da barragem Pedreira e suas ações de manejo ..... 96

5.7.2 Os conflitos ambientais da barragem Pedreira ..... 106

**6. CONSIDERAÇÕES FINAIS** ..... 110

**7. REFERÊNCIAS** ..... 113

# 1. INTRODUÇÃO

A expansão das áreas urbanas aliada à falta de planejamento na ocupação destes espaços causa, para grande parte das cidades brasileiras, uma intensificação populacional que não é compatível com a infraestrutura presente nos municípios. Essa condição contribui para a deterioração da qualidade de vida das pessoas em relação aos serviços básicos e está fortemente atrelada à falta d'água disponível nestes centros urbanos.

Mesmo sendo um país que possui uma das maiores reservas de água doce do mundo, a irregularidade da distribuição de água no Brasil não ocorre somente por causas naturais, como, por exemplo, o regime pluviométrico das diferentes regiões e a disponibilidade hídrica *per capta*. Ocorrem também pela má qualidade das águas dos rios, que atravessam áreas populosas e industrializadas sem um planejamento de gestão adequado, como por exemplo, a situação do ribeirão Quilombo que foi classificado como péssimo no Índice de Qualidade das Águas (IQA), em dois pontos localizados nos municípios de Campinas e Sumaré, cuja região é de intensa urbanização no estado de São Paulo (COMITÊ DAS BACIAS PCJ, 2019).

Neste sentido, a concentração populacional estimada em 43,9 milhões de habitantes no estado de São Paulo[1], paralela ao crescente desenvolvimento urbano e industrial paulista, tem desencadeado ações governamentais para suprir as necessidades hídricas, já que a água é um recurso natural essencial para a subsistência humana e para as atividades de natureza econômica. Como exemplo dessa demanda deficitária de abastecimento, o quadro de disponibilidade das águas das bacias hidrográficas PCJ (Piracicaba-Capivari-Jundiaí) apresentado no Relatório de Situação dos Recursos Hídricos 2019, apontou que a disponibilidade *per capta* em relação à vazão média da população total das bacias, foi de 978,08 m³/hab.ano em 2018. Este número, que está abaixo de 1.500 m³/hab.ano, é considerado um nível crítico de disponibilidade, quando para ser considerado bom, deve estar acima de 2.500 m³/hab.ano (COMITÊ DAS BACIAS PCJ, 2019).

Nessa perspectiva, as barragens são comumente construídas no território como solução para distribuição de água nas áreas deficitárias ou de alta demanda, que visam o aproveitamento e a segurança de abastecimento em situações de escassez, que, por sua vez,

---

1 Segundo dados da Fundação SEADE, em novembro de 2018.

geram impactos no meio físico e antrópico, acarretando modificações no regime hidrológico, com reflexo na subsistência das famílias que vivem e dependem dessas áreas atingidas.

Desde que o Estado de São Paulo enfrentou a pior crise hídrica da sua história, no período de 2014 a 2016, provocada por uma anomalia climática de verões secos e calor intenso, foi proposta a construção da barragem Pedreira, localizada entre os municípios de Campinas e Pedreira, no leito do rio Jaguari, afluente do rio Piracicaba, que compõe o comitê de bacias hidrográficas PCJ[2], parte do sistema Cantareira. Esta obra é integrada à construção da barragem Duas Pontes, que será construída no rio Camanducaia, no município de Amparo-SP. Além disso, estas obras são de origem do Plano Diretor de Aproveitamento dos Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista, desenvolvido pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) (COBRAPE, 2013).

Em termos hidrográficos, as bacias do PCJ são compostas por sete sub-bacias principais, cinco delas pertencentes ao rio Piracicaba (Piracicaba, Corumbataí, Jaguari, Camanducaia e Atibaia), além do Capivari e Jundiaí, que se tornam um conjunto de afluentes do rio Tietê. A área das bacias PCJ abrange 15.377,82 km², no qual 92,45% está localizada no Estado de São Paulo e 7,55% no Estado de Minas Gerais, sendo que este último corresponde, principalmente, à cabeceira da sub-bacia dos rios Jaguari e Camanducaia. Em termos demográficos, 74 municípios se encontram na área das bacias PCJ, sendo 69 em São Paulo e 5 em Minas Gerais. Na parte paulista, a população é estimada em 5.585.706 habitantes e 96,8% de sua área é considerada urbana (COMITÊ DAS BACIAS PCJ, 2019).

A escolha da área de estudo da bacia hidrográfica se deu pelo contexto regional em que se encontra a instalação da barragem Pedreira, em razão da plena expansão demográfica e territorial da região de Campinas, que demanda maiores volumes de água para abastecimento, a fim de suprir principalmente o desenvolvimento socioeconômico das bacias hidrográficas PCJ. Entre 2014 a 2018, a demanda de água para abastecimento público foi de 54,75 m³/s para 61,02 m³/s, no uso industrial de 12,74 m³/s para 16,74 m³/s, e no uso rural o aumento quase triplicou de 1,97 m³/s para 5,53 m³/s (COMITÊS DA BACIA PCJ, 2019). Nota-se nestes dados um aumento significativo em um curto período de quatro anos, por isso, em razão da presença dos principais polos industriais, tecnológicos e agrícolas do interior paulista, e da presente

[2] "Os Comitês PCJ são compostos por representantes dos Governos Federal, dos Estados de São Paulo e de Minas Gerais, dos municípios, usuários dos recursos hídricos e da sociedade civil. Sua gestão é descentralizada e participativa, e busca a convergência de decisões como forma de garantir o desenvolvimento e a continuidade da gestão dos recursos hídricos nas Bacias PCJ." (COMITÊ DAS BACIAS PCJ, 2020, n.p.)

situação de déficit hídrico, “a implantação das barragens nos rios Jaguari e Camanducaia, busca aumentar a disponibilidade de água bruta por meio da regularização de aproximadamente 17,2 m³/s na região” (SÃO PAULO; DAEE, 2015, p. 39).

Diante da importância que as bacias hidrográficas dos rios Jaguari e Camanducaia exercem para o abastecimento hídrico no estado de São Paulo, análises ambientais integradas garantem ao recorte territorial estudado uma base de informações para a identificação e avaliação de impactos ambientais que afetam a dinâmica natural das bacias e da população nela inserida. Nesse sentido, a presente dissertação busca contribuir para a comunidade acadêmica, a partir da avaliação dos efeitos das ações humanas sobre um determinado espaço natural, no caso da implantação de um reservatório para abastecimento hídrico e sua relação com a gestão dos recursos hídricos, integrando os demais recursos naturais, o bem-estar econômico e social e a sustentabilidade geoambiental.

O referencial teórico deste trabalho é fundamentado na Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy (2009) e no conceito de Geossistemas apresentado por Sochava (1977), e ainda seus desdobramentos na teoria dos Sistemas Ambientais (CHRISTOFOLETTI, 1999) e de Geoecologia das Paisagens (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2007). O capítulo “Materiais e Métodos” apresenta a leitura metodológica adotada para o desenvolvimento dos resultados deste trabalho, empregando a análise integrada da paisagem e a análise sistêmica processo-resposta. O último capítulo apresenta e discorre sobre os resultados levantados a respeito da área objeto de estudo: o mapeamento das Unidades da Paisagem formada pelos geossistemas e sistemas antrópicos no médio curso da bacia hidrográfica do rio Jaguari, o mapeamento das fragilidades ambientais, o estado atual e o futuro das Áreas de Preservação Permanentes (APP) e o novo estado geoambiental com análise dos principais impactos e conflitos no meio físico, para a Área de Influência Direta da barragem Pedreira.

Portanto, este trabalho se justifica por três razões: primeiro, por corroborar com a necessidade de verificar as transformações na dinâmica das unidades da paisagem com a construção de uma barragem para formação de um reservatório hídrico entre Campinas e Pedreira, elemento antrópico responsável pela alteração nos mecanismo de circulação da matéria e energia nos sistemas ambientais associados; segundo, por se tratar de uma intervenção na paisagem que ampliará a capacidade do sistema de abastecimento integrado do sistema Alto Tietê/PCJ, um dos principais do país; e, terceiro, pela ausência de estudos desta temática na área em estudo.

# 2. OBJETIVOS

## 2.1 Geral

Analisar as transformações na dinâmica da paisagem, decorrentes da construção de barragens para reservatório de abastecimento hídrico, no médio curso da bacia hidrográfica do Rio Jaguari.

## 2.2 Específicos

I. Identificar o estado sistêmico atual da média bacia hidrográfica do rio Jaguari, a partir do mapeamento das Unidades da Paisagem.
II. Relacionar as alterações ambientais da área de estudo pela análise sistêmica processo-resposta.
III. Investigar as alterações ocorridas no sistema ambiental da área de influência direta da barragem e verificar as ações de manejo necessárias para manter a vida útil da barragem e a conservação dos recursos naturais.

# 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Nos últimos tempos, acompanha-se a crescente demanda de pesquisas sobre o espaço geográfico de forma integrada, com suas raízes na maneira como Alexander Von Humboldt, e outros naturalistas alemães, explicavam as leis da Terra e do Universo na sua totalidade (TROPPMAIR; GALINA, 2006, p. 79). Para tanto, a abordagem sistêmica é cada vez mais utilizada em estudos ambientais para compreensão das relações entre a sociedade e a natureza, tornando necessário o entendimento dos conceitos que estão engendrados nesta perspectiva.

## 3.1 A Teoria Geral dos Sistemas e o enfoque na Geografia

A Teoria Geral dos Sistemas (TGS) foi criada pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy (1901-1972), na década de 1920, quando ele percebeu as lacunas existentes na pesquisa e na teoria da biologia, que desprezavam ou negavam aquilo que era essencial nos fenômenos da vida. Segundo o autor, o esquema mecanicista e o tratamento por partes se mostraram "insuficientes para atender aos problemas teóricos, especialmente das ciências biossociais, e aos problemas práticos propostos pela moderna tecnologia" (BERTALANFFY, 2009, p. 31).

Portanto, com a evolução da ciência moderna, Bertalanffy verificou a existência de leis gerais dos sistemas que se aplicam a qualquer tipo de sistema, independentemente das suas particularidades e dos elementos que o constituem. Assim, é dada uma ciência geral da "totalidade", sendo seu objeto "a formulação de princípios válidos para os 'sistemas' em geral, qualquer que seja a natureza dos elementos que os compõem e as relações ou 'forças' existentes entre eles" (BERTALANFFY, 2009, p. 62). Além da totalidade, os seguintes princípios constituem essa nova ciência: organização, relações, hierarquia, estrutura e processos. No entanto, pode ser controversa a ideia da Teoria Geral dos Sistemas enquanto ciência, pois ela surgiu como uma concepção teórico-metodológica que permite uma nova leitura de objetos determinados, mas não necessariamente define o estudo de um novo objeto próprio. Em outras palavras, a TGS não seria uma nova ciência, mas uma linha de pensamento que pode ser aplicada nas ciências já existentes.

A Geografia, assim como a Biologia, Física e Psicologia, é uma das ciências que fazem uso da Teoria Geral dos Sistemas. Os primeiros estudos que envolviam os princípios sistêmicos tiveram início no final do século XIX, na Rússia, quando Dokoutchaev denominou de Ciência da Paisagem o complexo natural territorial, a interação de componentes bióticos e

abióticos que se desenvolvem no interior de um complexo sistêmico (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2004).

Nos anos 1950, em decorrência do novo contexto histórico mundial, surge a Nova Geografia, que se revitaliza devido aos pressupostos do Neopositivismo. Nesta fase da Ciência Geográfica, a natureza – entendida como meio ambiente – tratada pela Geografia Física recebe uma abordagem fortemente carregada pela teoria dos sistemas, resultando na sua modelização e numerização (AMORIM, 2012). Assim, a Teoria Geral dos Sistemas tem sua aplicação introduzida na Geografia pelos estudos de Strahler e Choley sobre Geomorfologia, ao escrever que "um sistema de drenagem ajustado talvez seja mais bem descrito como sistema aberto em estado constante" (STRAHLER, 1950, apud CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 7).

É importante salientar que o desenvolvimento dessas novas abordagens geográficas está relacionado ao contexto histórico que o mundo vivia nessa época, pois devido aos "conflitos de bipolaridade existente na geopolítica mundial (conflitos entre o mundo capitalista e socialista), a Nova Geografia desenvolve-se com frentes de atuação totalmente distinta de um sistema econômico para o outro" (AMORIM, 2012, p. 84).

No mundo capitalista, em especial a Geografia Norte-Americana, a ênfase dos estudos voltava-se ao Planejamento Territorial mais ligado às questões urbanas, econômicas e sociais. No que tange a temática ambiental, os americanos deram continuidade à produção de estudos dos aspectos físicos na perspectiva davisiana/demartoneana, empregando quase exageradamente a modelização e a quantificação das paisagens (AMORIM, 2012).

Já a Geografia, desenvolvida na antiga União Soviética, avançou nas questões teórico-metodológicas concernentes à Geografia Física. A partir da década de 1960, Sochava (1977) realizou pesquisas sistemáticas, com a finalidade de aplicá-las ao planejamento ambiental, tomando como base a Teoria Geral de Sistemas e considerando a paisagem como um sistema interligado e organizado, com forte influência socioeconômica. Os desdobramentos dessa relação sistêmica sobre o conceito de paisagem levaram ao domínio da Geografia o estudo dos geossistemas.

### 3.2 Abordagem geossistêmica

A princípio, a busca do conhecimento e interpretação dos chamados geossistemas tem se sustentado no campo da Geografia Física (BERTRAND, 2004; MONTEIRO, 2000; SOCHAVA, 1977). Por sua vez, o conceito de geossistema foi criado pelo geógrafo Viktor Borisovich Sochava, no início da década de 1960, que aplicou a Teoria Geral de Sistemas ao

estudo da superfície terrestre e das paisagens naturais (AMORIM, 2012), definindo-o como o estudo da dinâmica, estrutura e conexões dos componentes naturais, que podem sofrer alterações da sociedade humana (SOCHAVA, 1977; 1978). Desse modo, a função da Geografia Física de estudar as interações da esfera epidérmica da Terra e os fenômenos sobre ela, encontra-se de maneira significativa nas ideias correntes sobre os geossistemas (RODRÍGUEZ; SILVA, 2019).

O uso da abordagem geossistêmica para esta pesquisa possibilita, segundo Rodríguez e Silva (2019), ferramentas para análise da influência dos fatores socioeconômicos no meio natural, sendo este um dos principais questionamentos da Teoria dos Geossistemas que caracterizam os rumos da Geografia Física:

> O enfoque geossistêmico procurou racionalizar as tarefas exigidas na análise das dependências entre os distintos fenômenos geográficos, como de desmatamentos de bosques, modificações no escoamento fluvial, desvio de cursos d'água, transformações dos regimes naturais em virtude da construção de barragens, intensificação de processos erosivos [...] e outros múltiplos problemas que surgem na ocupação dos territórios. (RODRÍGUEZ; SILVA, 2019, p. 42, grifo nosso)

Diante disso, compreende-se que a Geografia Física, por meio da Teoria dos Geossistemas, deixa de ser uma disciplina de síntese da natureza, pois passa a empregar problemas geográficos complexos que incluem questões socioterritoriais (população, urbanização, política e regional), de maneira que as pesquisas físico-naturais encontram o seu lugar na Geografia, como no caso desta pesquisa, no qual o seu objeto de estudo é ressaltado por Rodríguez e Silva (2019) em grifo.

Christofoletti (1979) afirma que duas ideias complementares são importantes para a compreensão dos geossistemas: 1) todos os sistemas naturais são dinâmicos e capazes de modificar os seus estados em transformações contínuas, pelas transferências de matéria e energia; 2) conforme as propriedades individuais dos subsistemas, uma mesma influência externa poderá ocasionar consequências diferentes.

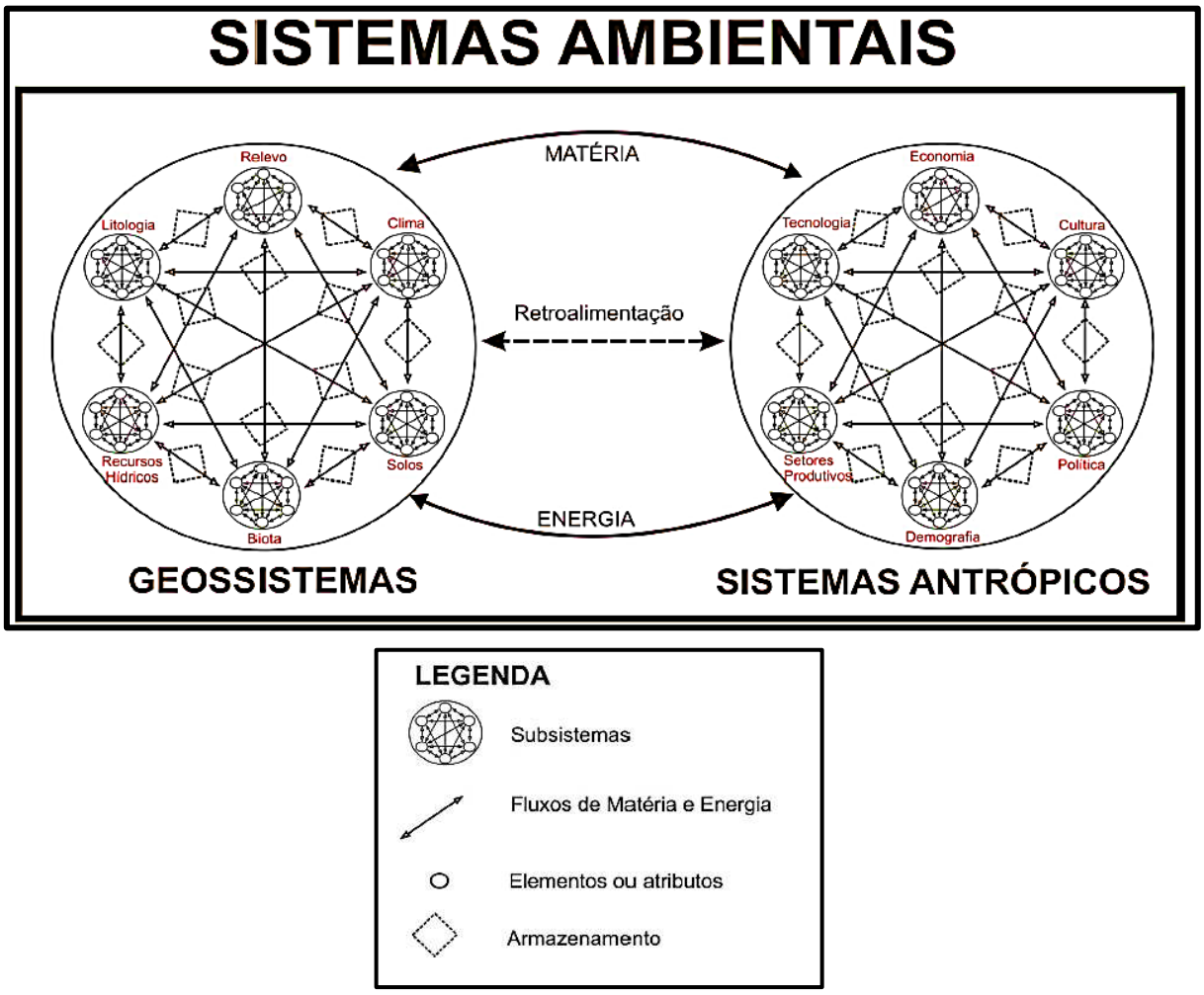
Sendo a Geografia a disciplina que estuda as organizações espaciais, Christofoletti (1999) apropria o conceito de geossistema de Sochava (1977) dentro da estrutura dos Sistemas Ambientais, tornando-o mais relevante com a característica espacial:

> Os sistemas ambientais representam entidades organizadas na superfície terrestre, de modo que a espacialidade se torna uma das suas características inerentes. A organização desses sistemas vincula-se com a estruturação e funcionamento de (e entre) seus elementos, assim como resulta da dinâmica evolutiva. Em virtude da variedade de elementos componentes e dos fluxos de

> interação, constituem exemplos de sistemas complexos espaciais. (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 35)

A partir dos princípios emanados da Teoria Geral dos Sistemas, a estrutura de um Sistema Ambiental (Figura 3.1) é formada pelas relações do subsistema físico-natural – Geossistema – com o subsistema antrópico – elementos socioeconômicos (CHRISTOFOLETTI, 1999; PEREZ FILHO, 2006; AMORIM, 2012). Logo, o subsistema físico-natural (geossistema) é composto por elementos e processos relacionados ao clima, solo, relevo, águas e seres vivos, enquanto os componentes e processos do subsistema antrópico são aqueles ligados a população, urbanização, industrialização, agricultura e mineração, entre outras atividades e manifestações humanas (CHRISTOFOLETTI, 1999; AMORIM, 2012).

Figura 3.1 - Estruturação dos Sistemas Ambientais




Fonte: Amorim (2010, n.p.).

Como pode ser observado na Figura 3.1, “a estruturação, funcionamento e dinâmica dos elementos físicos, biogeográficos, sociais e econômicos constituem os sistemas espaciais da mais alta complexidade” (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 41). Este é um exemplo de sistema definido por Mattos e Perez Filho (2004 apud AMORIM, 2012), que utilizam três conceitos em sua definição de sistemas: todo, partes e inter-relação. Para os autores, o sistema é como um todo organizado composto por elementos que se inter-relacionam ganhando sentido (MATTOS; PEREZ FILHO, 2004 apud AMORIM, 2012). A simples interação entre os elementos não forma um sistema se não forem aptos a criar algo que funcione como um todo integrado. Por outro lado, não é possível compreender totalmente esse todo se não entendermos quais são suas partes e como elas se inter-relacionam (AMORIM, 2012).

### 3.3 O conceito de paisagem e sua concepção espacial

A paisagem, considerada neste estudo como a categoria de análise geográfica principal, é definida na visão da Geoecologia das Paisagens como “um conjunto inter-relacionado de formações naturais e antroponaturais” (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2007, p. 18). Enquanto formação natural, compreende-se a paisagem como o espaço terrestre onde os componentes da natureza se encontram em relação sistêmica uns com os outros, concebido, portanto, como um geossistema. A paisagem antroponatural consiste “num sistema territorial composto por elementos naturais e antropotecnogênicos condicionados socialmente, que modificam ou transformam as propriedades das paisagens naturais originais” (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2007, p. 15). Este escopo dá luz para compreender a área de estudo da bacia hidrográfica do rio Jaguari enquanto paisagem atroponatural, no qual, a partir dos usos agrícolas e industriais que se faz para a reprodução do sistema socioeconômico e com a construção da barragem Pedreira, a paisagem natural é transformada, apropriando-se de um sistema que contêm e produz recursos hídricos para subsistência da atividade humana.

É importante ressaltar que o conceito de paisagem para alguns autores significa a “fisionomia do próprio geossistema” (TROPPMAIR; GALINA, 2006, p. 82) ou “o mundo das representações sociais e da natureza” (ROSS, 2006, p. 33). Nessas definições, nota-se uma interpretação estética da paisagem, considerada como uma imagem ou representação de uma ou outra qualidade. No entanto, neste estudo, representa-se a paisagem pela espacialidade geográfica, determinada pela individualização dos geossistemas na condição de paisagem natural, e pelas Unidades da Paisagem para a condição de paisagem antroponatural.

Nesse sentido, considera-se uma Unidade da Paisagem a delimitação espacial de um Sistema Ambiental, ou seja, a associação espacial dos geossistemas com os sistemas antrópicos. Segundo Amorim e Oliveira (2008), a Unidade da Paisagem é uma categoria de análise geográfica de grande complexidade, pois:

> [...] a interação entre os diversos atributos do sistema natural e do sistema antrópico permite a identificação dos atributos responsáveis pela dinâmica da paisagem, como também identificar as principais fragilidades ambientais de cada unidade, elemento essencial na gestão do território. (AMORIM; OLIVEIRA, 2008, p. 179)

Esta complexidade também é compreendida por Sauer (1925), uma vez que a paisagem passa a ser considerada:

> [...] um organismo complexo, feito pela associação específica de formas e apreendida pela análise morfológica [...] constituído pela combinação de elementos materiais e de recursos naturais, disponíveis em um lugar, com as obras humanas correspondendo ao uso que deles fizeram os grupos culturais que viveram nesse lugar. (SAUER, 1925 apud CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 39)

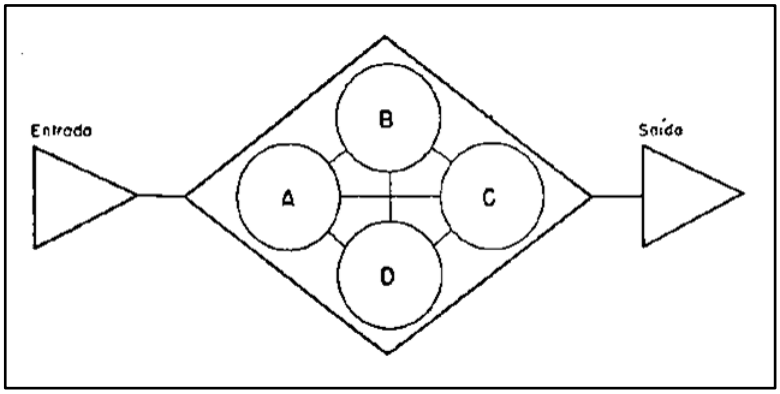
As afirmações destes autores corroboram para a definição das Unidades de Paisagem e apontam para a síntese das variações das formas de relevo, clima, cobertura vegetal, solos e litologia, compreendendo a alteração na estrutura, dinâmica, funcionalidade e organização a partir da categoria de análise dos geossistemas, combinado ao uso antrópico dessas unidades. Desse modo, pode ser feita a modelagem dessas unidades seguindo o método sistêmico "processo-resposta" de Christofoletti (1979), a partir da influência de um empreendimento socioeconômico, neste caso, a construção de barragens como condicionante das transformações em uma bacia hidrográfica.

### 3.4 O modelo sistêmico processo-resposta em unidades da paisagem

Como premissa para a definição de um sistema, Christofoletti (1980) afirma que ele deve ser constituído por: elementos ou unidades (partes componentes); relações entre os elementos integrantes do sistema, em que um elemento depende do outro, através de ligações de fluxos; atributos das qualidades que caracterizam o sistema ou que descrevem suas partes, como comprimento, área, volume, características de composição, densidade dos fenômenos e outros; e eventos de entrada (input) e saída (output) de matéria, energia ou informação (Figura

3.2), como uma bacia hidrográfica que é organizada para escoar a quantidade de água e de detritos que recebe em sua área de drenagem.

Figura 3.2 - Representação esquemática de um sistema, assinalando os elementos (A, B, C e D) e suas relações, assim como o evento entrada e produto saída




Fonte: Christofoletti (1979, p. 2).

Christofoletti (1979) ressalta a importância de que os sistemas não ocorrem de maneira isolada na Geografia, mas funcionam dentro de um ambiente que compreende o conjunto de todos os fenômenos e eventos que sofrem alterações e mudanças por causa do comportamento do referido sistema particular. Assim, entende-se que as interações que ocorrem entre o geossistema e o sistema antrópico, com suas trocas de matéria e energia, influenciam na modelagem do sistema ambiental (universo) e configuram as unidades da paisagem.

As unidades da paisagem, como um exercício de delimitação e distinção de sistemas, que exige do observador uma percepção ambiental e uma formação intelectual, segundo Campbell (1958 apud CHRISTOFOLETTI, 1979), é preciso considerar as seguintes normas para não cair na subjetividade: a) proximidade física dos elementos; b) similaridade de seus elementos; c) o objetivo comum de seus elementos; d) a padronagem distinta ou reconhecível de seus elementos. Graças ao avanço tecnológico nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), essa tarefa torna-se mais prática e precisa com o uso de ferramentas de geoprocessamento e análise espacial para a delimitação e o mapeamento dessas unidades, desde que haja o cuidado dessa representação estar de acordo com uma determinada escala espacial e temporal do fenômeno que está sendo apreendido. Por isso, a escala é também uma variável fundamental dos geossistemas, podendo variar da micro à mesoforma, como planaltos, colinas, vertentes, perfis de solo etc.

Por exemplo, em uma bacia hidrográfica, sua grandeza determinará o número de unidades sistêmicas que estão organizadas hierarquicamente conforme a variedade dos atributos dos seus elementos, como: número, tamanho, forma, arranjo espacial, fluxo,

intensidades e taxas de transformação (CHRISTOFOLETTI, 1979). As variáveis expressam as qualidades atribuídas ao sistema, enquanto os valores dos parâmetros denunciam a intensidade dos atributos relacionados aos fatores controladores e fornecidos ao sistema, como quantidade de material ou energia.

Para o caso de bacias hidrográficas, as condições climáticas, geológicas e biogeográficas constituem o seu ambiente. Dessa maneira, os parâmetros relevantes que descrevem fornecimentos para as bacias de drenagem são os relacionados com a quantidade de calor (expressa pela temperatura), de precipitação (chuvas, neves etc.), área e volume dos afloramentos litológicos, área e densidade da cobertura vegetal, profundidade do manto de alteração, entre outros. A rede de canais e as vertentes são os dois principais elementos da bacia hidrográfica, e a estruturação da rede de canais é reflexo do comportamento hidrogeológico tendo em vista, também, os diversos tipos de controles atuantes (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 7-8).

Dessa forma, percebe-se que um sistema é composto basicamente por matéria, energia e estrutura. De acordo com Christofoletti (1980), a matéria corresponde ao material que vai ser mobilizado através do sistema, por exemplo, dentro dos geossistemas, os subsistemas que têm o movimento de matérias, como o subsistema planta (água e minerais absorvidos do solo); o subsistema hidrográfico (água, sedimentos, matéria orgânica); o subsistema vertente (precipitação, rocha subjacente, vegetação). O segundo componente, a energia, corresponde às forças que fazem o sistema funcionar, gerando capacidade de trabalho, podendo ser potencial (gravidade) ou cinética (transporte de sedimentos, movimento das águas). Desse modo, associando ambos os componentes, verifica-se uma dinâmica de matéria e energia que circula constantemente, se transforma e pode ser armazenada. O terceiro componente, a estrutura, é constituído por elementos e suas relações, expressando-se através do arranjo dos componentes; o seu tamanho é determinado pelo número de elementos que o compõem. O encadeamento das variáveis de um sistema expressa o modo pelo qual elas se inter-relacionam. A direção da causalidade mostra qual é a variável independente, aquela que é controlada, de modo que a última só sofre modificação se a anterior se modificar (CHRISTOFOLETTI, 1979).

A partir dessa base teórica relativa à definição e composição dos sistemas, segundo a análise geográfica, podemos classificá-los entre critério funcional (FOSTER; TRUCO, 1957 apud CHRISTOFOLETTI, 1979) e complexidade estrutural (CHORLEY; KENNEDY, 1971 apud CHRISTOFOLETTI, 1979).

No critério funcional, há os sistemas isolados, em que “dadas as condições iniciais, não sofrem mais nenhuma perda e nem recebem energia ou matéria do ambiente que os

circundam" (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 14), e os sistemas não-isolados, que são aqueles sistemas que mantêm relações com os demais sistemas do universo (ambiente), podendo ser subdivididos em:

a) Sistemas fechados: quando há permuta de energia (recebimento e perda), mas não de matéria, como: o planeta Terra e o ciclo hidrológico.

b) Sistemas abertos: são os sistemas nos quais ocorrem constantes trocas de energia e matéria, tanto recebendo quanto perdendo, como: a bacia hidrográfica, a vertente, o homem, a cidade, a indústria, o animal etc.

Nos sistemas de complexidade estrutural, determina-se o foco deste trabalho no que se diz respeito aos sistemas de processos-resposta. Para explicá-lo, é necessário a compreensão dos sistemas morfológicos e sistemas sequenciais, pois a partir da sua relação que se dá o sistema processo-resposta, direcionados para os exemplos que cabem ao funcionamento das bacias hidrográficas.

Os sistemas morfológicos são compostos somente pela associação das propriedades físicas dos fenômenos (geometria, composição etc.), assim, constituindo fenômenos menos complexos das estruturas naturais. Por sua vez, correspondem às formas aquelas que interferem diretamente na dinâmica do fenômeno avaliado: comprimento, altura, largura, declividade, granulometria, densidade, dentre outras, e que, por isso, representam a expressão espacial e visual de um fenômeno (CHRISTOFOLETTI, 1999). Como exemplo, o autor apresenta o sistema do canal fluvial (Figura 3.3), com ênfase nos elementos fundamentais da sua estruturação:

a) Elemento fluxo: largura do canal, profundidade, velocidade do fluxo, volume ou débito, gradiente de energia, relação entre largura e profundidade, área, perímetro úmido, raio hidráulico, concentração de sedimentos.

b) Material sedimentar: granulometria e rugosidade do leito.

Figura 3.3 - Esquema do sistema do canal fluvial

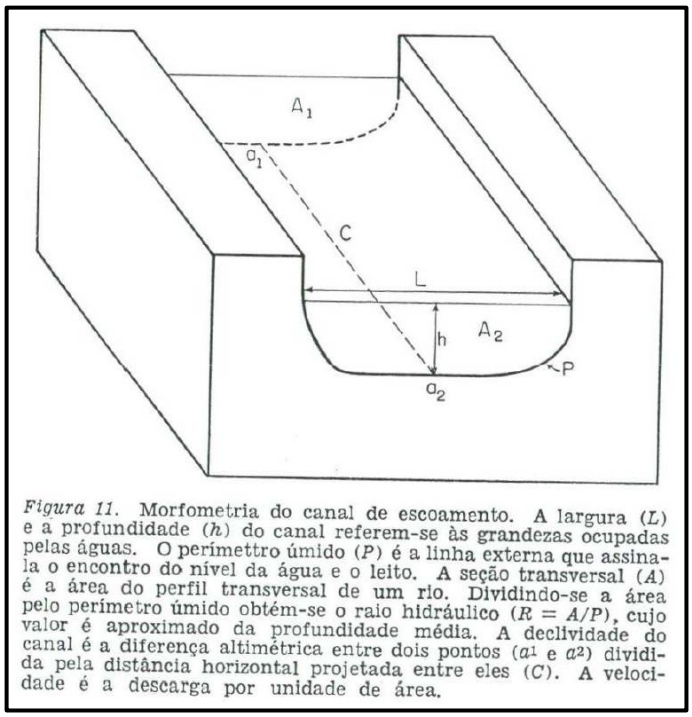



*Figura 11.* Morfometria do canal de escoamento. A largura (*L*) e a profundidade (*h*) do canal referem-se às grandezas ocupadas pelas águas. O perímetro úmido (*P*) é a linha externa que assinala o encontro do nível da água e o leito. A seção transversal (*A*) é a área do perfil transversal de um rio. Dividindo-se a área pelo perímetro úmido obtém-se o raio hidráulico ($R = A/P$), cujo valor é aproximado da profundidade média. A declividade do canal é a diferença altimétrica entre dois pontos ($a^1$ e $a^2$) dividida pela distância horizontal projetada entre eles (*C*). A velocidade é a descarga por unidade de área.

Fonte: Christofoletti (1979, p. 39).

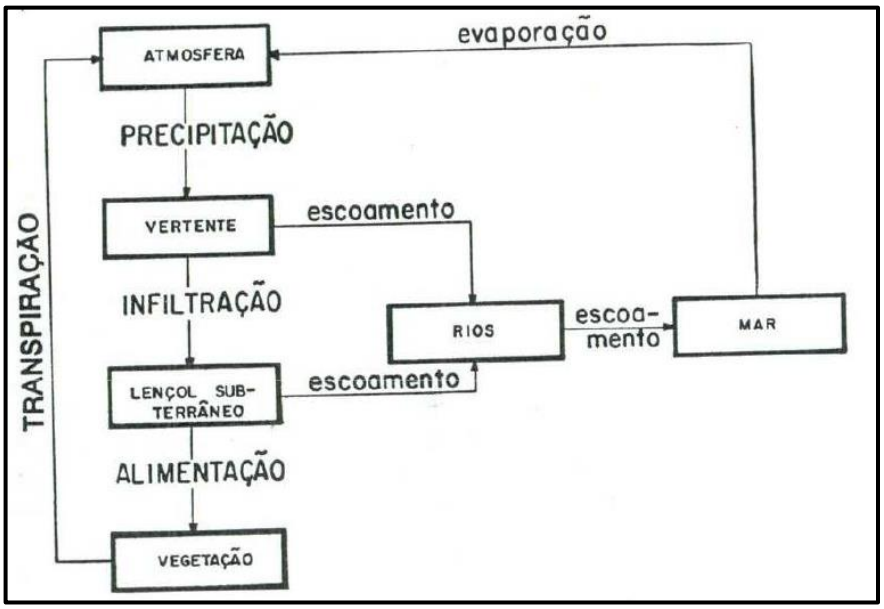
O sistema em sequência é o que mais representa uma bacia hidrográfica, pois "são compostos por cadeia de subsistemas, possuindo tanto magnitude espacial quanto localização geográfica, que são dinamicamente relacionados por uma cascata de matéria e energia" (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 15-16), e que não ocorrem isoladamente. Como representado na Figura 3.4, "o posicionamento dos subsistemas é contíguo e nesta sequência a saída (output) de matéria e energia de um subsistema torna-se a entrada (input) para o subsistema de localização adjacente" (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 16). Cada subsistema deve ter um regulador que trabalhe a fim de repartir o input recebido de matéria ou energia em dois caminhos: armazenando-o (ou depositando) ou fazendo atravessar o subsistema e tornando-o um output do referido subsistema. Ainda, Christofoletti (1979) apresenta o exemplo da água, sendo a matéria de entrada no sistema e suas formas de armazenamento e saída conforme o tipo de subsistema (Quadro 3.1):

Quadro 3.1 - Formas de armazenamento e saída de água segundo subsistemas

| **Subsistemas / Reguladores** | **Vertente** | **Lençol subterrâneo** | **Vegetação** | **Rio** |
|---|---|---|---|---|
| **Armazenamento** | Poros das rochas | Níveis aquíferos | Nas plantas | Depositada no leito |
| **Saída** | Transferida para os rios | Transferida para plantas e rios | Atmosfera (evapotranspiração) | Transferida para lagos e mares ou atmosfera |

Fonte: adaptado de Christofoletti (1979).

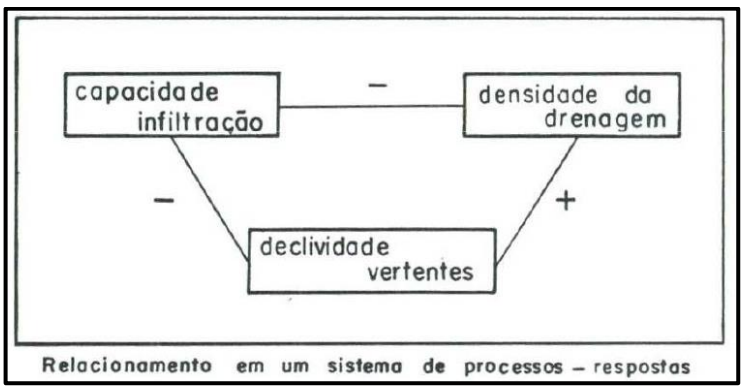
Figura 3.4 - Relacionamento sequencial entre vários subsistemas




Fonte: Christofoletti (1980, p. 4).

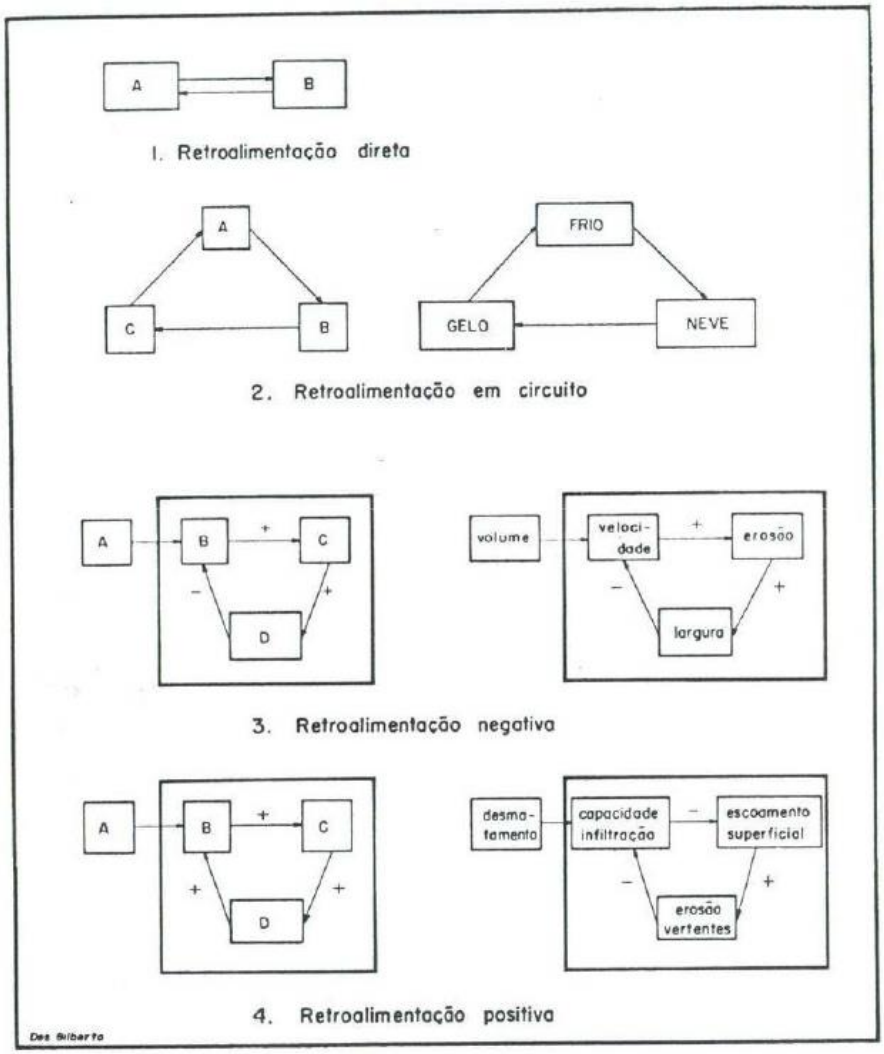
Como dito anteriormente, os sistemas processos-respostas "são formados pela combinação dos sistemas morfológicos e dos sistemas em sequência. Os sistemas em sequência indicam os processos e os sistemas morfológicos representam a forma" (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 17). Neste contexto, nas unidades da paisagem é possível identificar as relações entre o processo e as formas que dele resultam. Por sua vez, o seu equilíbrio ocorre pelo mecanismo de retroalimentação (Figura 3.5), que pode ser direta, em circuito, negativa ou positiva (Figura 3.6).

Figura 3.5 - Mecanismo de retroalimentação em um sistema de processo-resposta




Fonte: Christofoletti (1980, p. 5).

Figura 3.6 - Os principais tipos de mecanismos de retroalimentação




Fonte: Christofoletti (1980, p. 6).

Consequentemente, pode-se estabelecer um equilíbrio entre o processo e a forma, de modo que qualquer alteração no sistema em sequência será refletida por alteração na estrutura do sistema morfológico (isto é, na forma), por meio do reajustamento das variáveis, em vista a alcançar um novo equilíbrio, estabelecendo uma nova forma. Por outro lado, as alterações ocorridas nas formas podem alterar a maneira pela qual o processo se realiza, produzindo modificações na qualidade dos inputs fornecidos ao sistema morfológico (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 17).

Neste contexto, entende-se que quando ocorre uma intervenção humana, no caso, a construção de uma barragem para armazenamento de grande volume de água no sistema de drenagem, há a modificação da distribuição de matéria e energia do sistema em sequência, que atingem as formas das unidades da paisagem e, então, o sistema processo-resposta passa a ser um sistema controlado. Desse modo, “os sistemas controlados são aqueles que apresentam a

atuação do homem sobre os sistemas de processos-respostas" (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 19). Nesse caso, o aumento do volume de água no leito do rio e o acúmulo de sedimentos a montante da barreira da barragem, contra a diminuição do volume de água a jusante, causa uma modificação no nível de base fluvial entre os dois polos. Por meio do mecanismo de retroalimentação negativa, o sistema procura se reajustar em função das novas condições de fluxo, embora complexa, conforme Christofoletti (1979, p. 27) afirma:

> Em qualquer sistema complexo, existem muitos circuitos de relações entre os elementos componentes; tanto positivos como negativos. Da mesma maneira, um mesmo elemento pode participar de vários circuitos de retroalimentação, tornando mais difícil e mais complexa a tarefa de discernir "as causas" que interferem no seu comportamento.

Assim, "o mecanismo de retroalimentação não deve possuir um valor de explicação, mas representa um processo cuja descrição e discernimento são questões básicas nas pesquisas realizadas sob a abordagem sistêmica" (CHRISTOFOLETTI, 1979, p. 28). Nesse sentido, análise do funcionamento de uma unidade da paisagem a partir dos sistemas de processos-respostas se dá pela verificação do estado de equilíbrio, que podem ser observadas pelas características de suas formas, bem como suas possíveis modificações.

# 4. MATERIAIS E MÉTODOS

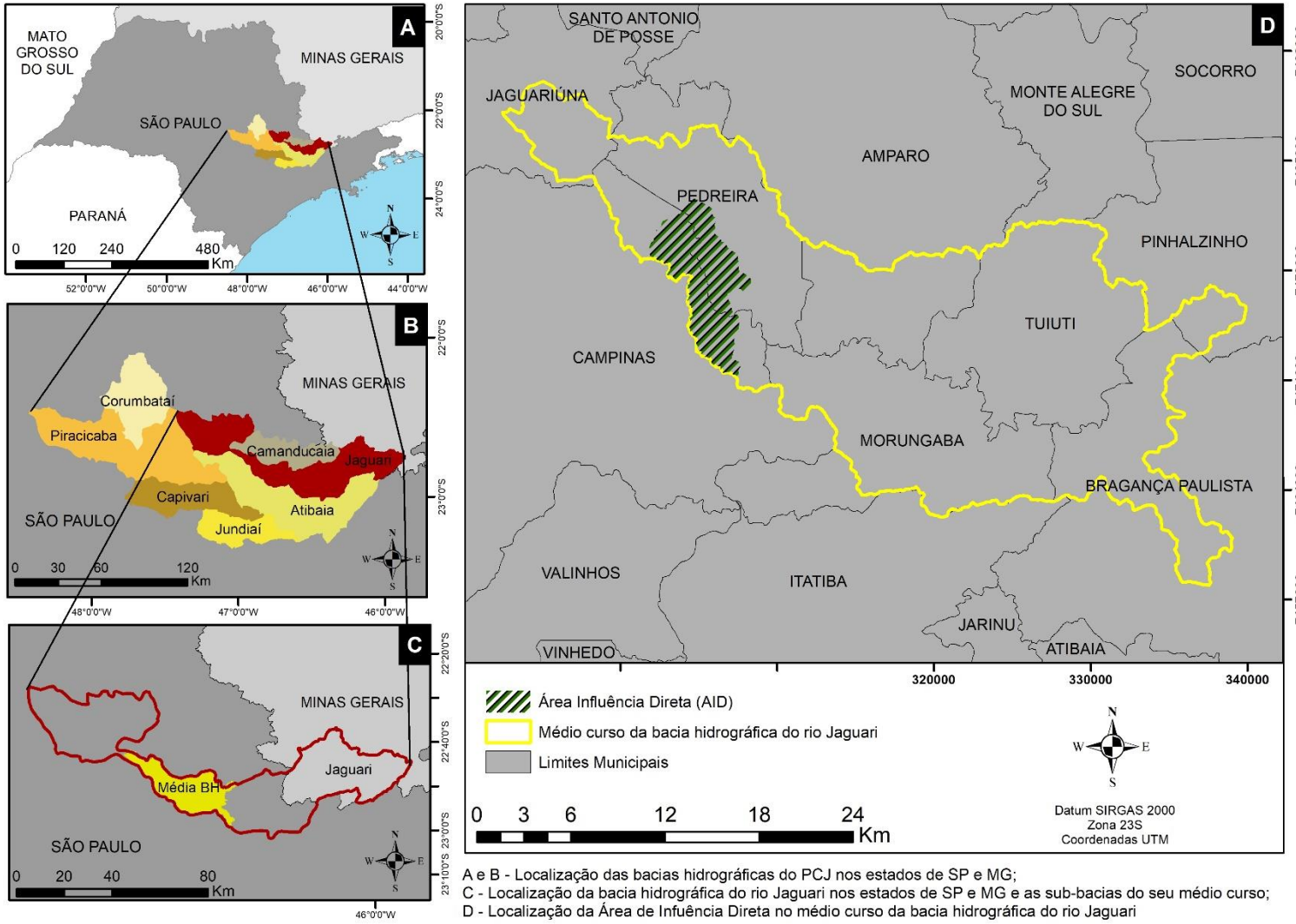
## 4.1 Localização da área de estudo

O rio Jaguari é uma das bacias hidrográficas que integram o PCJ (Comitê de Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí). A partir dele, este trabalho agrega duas escalas de análise da área de estudo utilizadas em momentos diferentes: o médio curso da bacia hidrográfica do rio Jaguari, para o contexto geral do trabalho; e a Área de Influência Direta (AID), para uma pesquisa de detalhe onde será construída a barragem.

A delimitação da área do primeiro recorte de estudo foi feita a partir da separação das sub-bacias do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2013c) localizadas no médio curso da bacia do rio Jaguari. Para o segundo recorte da área de estudo, a delimitação da AID foi retirada do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da barragem Pedreira e Duas Pontes (SÃO PAULO; DAEE, 2015), e ambos foram utilizados como recorte para os demais produtos cartográficos.

O médio curso do rio Jaguari, que apresenta área de 545.844 km² (Figura 4.1), situado totalmente no estado de São Paulo. A área integra dez municípios: Itatiba (0,02%), Monte Alegre do Sul (0,02%), Pinhalzinho (2,08%), Jaguariúna (4,80%), Campinas (8,47%), Amparo (11,42%), Bragança Paulista (13,06%), Pedreira (15,78%), Morungaba (21,21%) e Tuiuti (23,15%). Neste contexto, destaca-se a área da construção da barragem (AID), que corresponde à área do entorno do futuro reservatório, que incorpora, nessa faixa, as áreas das sub-bacias de contribuição direta, em que os meios físicos e bióticos serão influenciados diretamente pelo reservatório, localizada na divisa dos municípios de Campinas e Pedreira (SÃO PAULO; DAEE, 2015).

Figura 4.1 - Mapa de localização das áreas de estudo




A e B - Localização das bacias hidrográficas do PCJ nos estados de SP e MG;
C - Localização da bacia hidrográfica do rio Jaguari nos estados de SP e MG e as sub-bacias do seu médio curso;
D - Localização da Área de Infuência Direta no médio curso da bacia hidrográfica do rio Jaguari

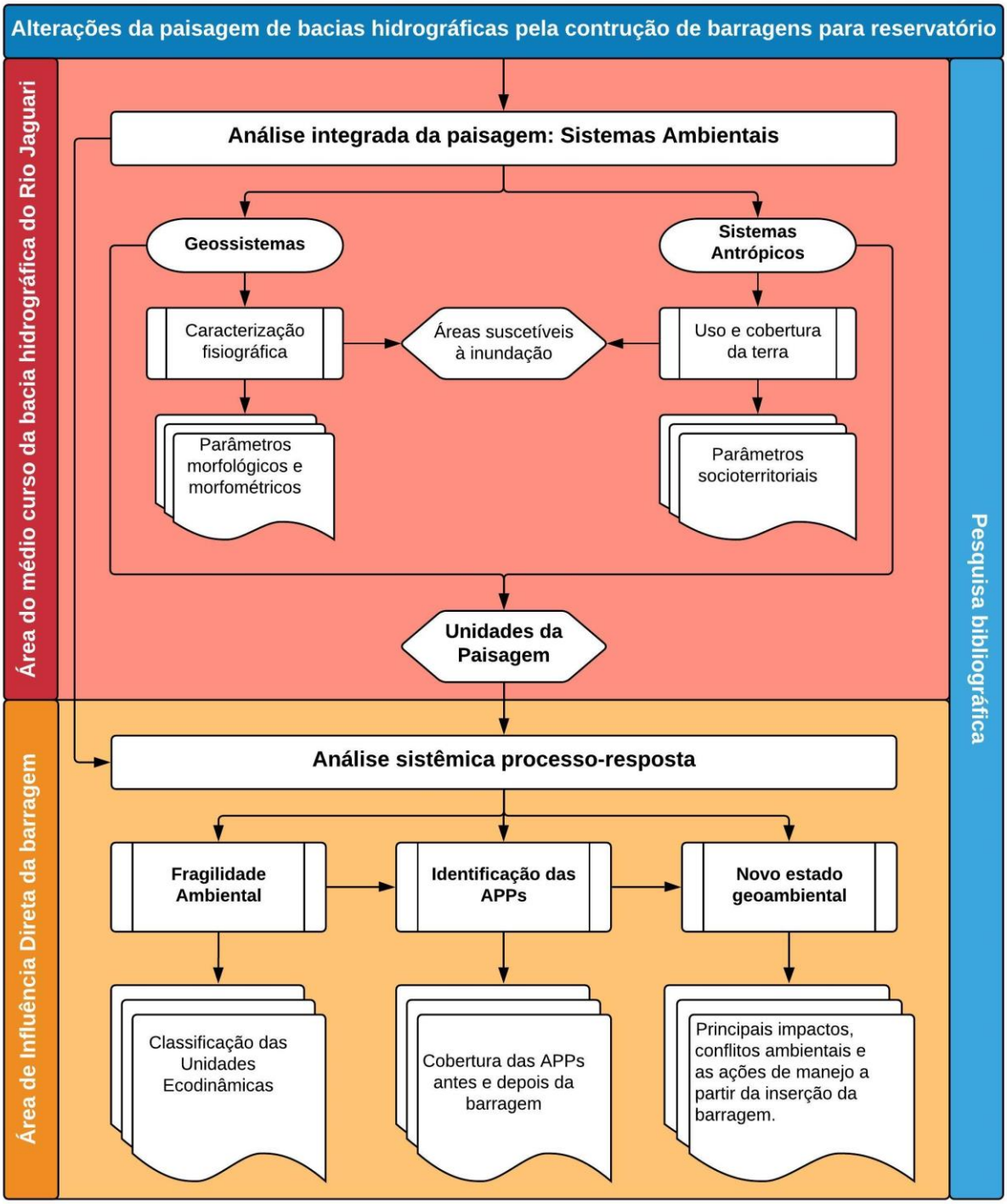
Fonte: IBGE (2015), São Paulo (2013c), São Paulo e DAEE (2015). Elaborado pela autora.

## 4.2 Etapas metodológicas e procedimentos operacionais

Para atender os objetivos propósitos, partindo dos termos e conceitos relacionados à ciência da paisagem, a proposta metodológica para o estudo dos aspectos dinâmicos dos fenômenos geográficos segue os critérios de Sochava (1977) para análise sistêmica dos processos físico-naturais (geossistemas) formadores da paisagem da bacia hidrográfica do rio Jaguari, a fim de avaliar as fragilidades naturais, as transformações promovidas pelas atividades antrópicas e as suas consequências para o ambiente.

Para Monteiro (2000), a análise da integração homem-natureza deve considerar a extensão do território (espaço), a duração histórica da ocupação humana (tempo) e o grau de intensidade em que se manifestam essas ações antrópicas. Dessa maneira, nesta pesquisa, utilizou-se os princípios básicos de mapeamento da paisagem da escola geográfica soviética, representado por Isachenko *et al*. (1962), das técnicas de representação e observação da paisagem propostas por Cavalcanti (2013) e Amorim (2012) e da análise sistêmica por processo-resposta de Christofoletti (1979). Por sua vez, a Figura 4.2 apresenta o fluxograma das etapas desenvolvidas.

Figura 4.2 - Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa




Fonte: elaborado pela autora.

### 4.2.1 Mapeamento dos Geossistemas e sua caracterização

O mapeamento dos geossistemas se baseou na proposta metodológica de Amorim, Reis e Ferreira (2017), na qual a delimitação dos geossistemas se dá mediante aos aspectos ligados à morfoestrutura (formas resultantes da estrutura do relevo), à morfoescultura

(compartimentações resultantes da ação climática sobre um tipo de estrutura do relevo) e às formas de relevo predominantes na área de estudo. O plano de informação utilizado foi o arquivo vetorial em formato *shapefile* das *Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico do Estado de São Paulo* (SÃO PAULO, 2014), com o processamento dos dados feitos no software ArcGIS 10.7, utilizando-se de técnicas e métodos de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

As UBC constituem as menores unidades de análise do terreno, obtidas a partir da fotointerpretação sistemática de elementos texturais e tonais em produtos de sensoriamento remoto, referentes ao substrato geológico-geomorfológico-pedológico da paisagem. Na presente pesquisa, foram utilizados os níveis 1 e 2 correspondentes aos domínios morfoestruturais e morfoesculturais. Além disso, acrescentou-se as associações de solos do *Mapeamento Pedológico do Estado de São Paulo* (ROSSI, 2017) e a reclassificação do atributo "formas do relevo" de acordo com o *Manual Técnico de Pedologia* (IBGE, 2015). Para subsidiar a legenda do mapa, conforme Cavalcanti (2013), foi elaborado um quadro onde estão dispostos os elementos fisiográficos extraídos das bases cartográficas citadas, acompanhado dos atributos gerais sobre clima e cobertura vegetal da área de estudo.

Ressalta-se que os dados foram compilados de acordo com a maior escala de detalhe obtida de 1:250.000 (referente ao mapeamento pedológico) com a "interpretação das áreas generalizadas, buscando o nivelamento no mapa final, de reconhecimento de alta intensidade a semidetalhe, sempre que possível" (ROSSI, 2017, p. 15). Assim, este mapeamento se enquadra no grupo de mapas generalizados de grande escala, ou mapa de trados (ISACHENKO *et al.*, 1962). Para visualização do mapa impresso, a escala foi de 1:180.000.

Na Cessão de Dados da Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo foram obtidos os seguintes dados cartográficos, com recorte para a área do médio curso da BH do rio Jaguari e organizados na projeção *Universal Transversa de Mercator/Datum SIRGAS 2000/Zona 23S*:

I. "Geologia do Estado de São Paulo", escala 1:750.000 (CPRM, 2006).
II. "Geomorfologia do Estado de São Paulo", escala 1:500.000 (ROSS e MOROZ, 1997).
III. "Mapa Pedológico do Estado de São Paulo", escala 1:250.000 (ROSSI, 2017).
IV. "Modelo Digital de Elevação (MDE) do Estado de São Paulo com resolução horizontal de 30 metros, gerado a partir das curvas de nível extraídas das cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto

Geográfico Geológico (IGG) e Departamento de Serviços Geográficos do Exército", escala 1:50.000 (SÃO PAULO, 2013a).

V. "Rede de drenagem do Estado de São Paulo", escala 1:50.000 (SÃO PAULO, 2013b).

VI. "Sub-bacias do Estado de São Paulo, delimitadas a partir da rede de drenagem extraída do MDE", escala 1:50.000 (SÃO PAULO, 2013c).

VII. "Mapa de clima do Brasil", escala 1:5.000.000 (IBGE, 2002).

A partir da coleta dos dados cartográficos e de pesquisa bibliográfica, caracterizaram-se os componentes fisiográficos encontrados no geossistema: morfoestrutura (geologia), morfoescultura (relevo), pedologia, vegetação e clima.

Para caracterização das formas predominantes do relevo, foram elaborados produtos cartográficos que representam dados morfométricos, os quais foram gerados a partir da extração de informações do MDE, por meio de ferramentas disponíveis no ArcGIS, sendo eles: relevo sombreado (*Hillshade*), reclassificação altimétrica para a geração de classes hipsométricas (*Reclassify*), declividade (*Slope*), e hierarquia da drenagem (*Stream Order*).

Um segundo recurso utilizado para a representação do relevo oriundo das informações altimétricas foi o perfil topográfico. Os perfis das formas do relevo presentes na área de estudo foram traçados, classificados pelo mapeamento pedológico (ROSSI, 2017) e reclassificados segundo o *Manual Técnico de Pedologia* do IBGE (2015). A declividade foi também classificada segundo as fases e formas do relevo do *Manual Técnico de Pedologia* do IBGE (2015), que coincide com a classificação da Embrapa (1979).

Para complementar, os cálculos morfométricos foram realizados segundo as definições de Horton (1945 apud CHRISTOFOLETTI, 1980) e do próprio Chistofolletti (1980) referentes aos diferentes parâmetros mensurados na análise morfométrica realizada e aos seus cálculos, sendo escolhidos para este estudo as seguintes variáveis (CASTRO; CARVALHO, 2009):

**a) Análise linear da rede drenagem:**

A análise linear se refere aos índices e relações ao longo do fluxo da rede de drenagem, como a quantidade, a extensão e o comprimento médio dos canais de cada ordem, o comprimento do rio principal e a relação de bifurcação, sendo definida como:

- Relação de bifurcação: razão entre o número total de segmentos de determinada ordem e o número total dos segmentos da ordem imediatamente superior. Estes valores indicam o grau de dissecação da bacia hidrográfica, em que quanto maior for o valor do índice de bifurcação, maior será o grau de dissecação. Valores abaixo de 2, geralmente, indicam relevo colinoso. Ele pode ser definido pela seguinte equação:

  $Rb = Nu / Nu1$

  Sendo: Rb – relação de bifurcação; Nu – número de segmentos de determinada ordem; e Nu1 – número de segmentos da ordem imediatamente superior.

**b) Densidade hidrográfica:**

É a relação que se expressa entre o número de rios e a área da bacia hidrográfica. Ela é importante para indicar a capacidade de gerar novos cursos de água na bacia hidrográfica em função das características pedológicas, geológicas e climáticas da área. Por sua vez, a densidade hidrográfica é determinada pela seguinte equação:

$Dh = N / A$

Sendo: Dh – Densidade hidrográfica; N – Número total de rios; e A – Área da bacia.

**c) Densidade de drenagem:**

É definida como o quociente do comprimento total dos canais e a área de drenagem. Quanto maior o índice, menor é a capacidade de infiltrar água, valores baixos indicam que a região é mais favorável a infiltração, contribuindo, portanto, com o lençol freático. A equação da densidade de drenagem é a seguinte:

$Dd = Lt / A$

Sendo: Dd – densidade de drenagem; Lt – comprimento total dos canais; A – Área da bacia.

**d) Amplitude altimétrica da bacia:**

Esta variável corresponde à diferença altimétrica entre a foz e a maior altitude situada num determinado ponto da área da bacia. Ela indica o desnível médio da bacia hidrográfica. Este método também foi proposto por Strahler (1952), com a seguinte equação:

$Hm = Hmax – Hmin$

Sendo: Hm – Amplitude altimétrica; Hmax – Altitude máxima; Hmin – Altitude mínima.

**e) Comprimento da bacia:**

Dado pelo comprimento do curso d´água mais longo da bacia, ou o canal principal, da cabeceira até a desembocadura.

**f) Índice de circularidade:**

Para o índice de circularidade (Ic), utilizou-se classificação proposta por Schumm (1956 apud TRAJANO *et al*., 2012), que descreve que valores maiores que 0,51 mostram que a bacia tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundação (picos de cheias). Os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, o que contribui para o processo de escoamento. Este índice pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$Ic = 12,57 \times A/P^2$

Sendo: A – área (km²); P – perímetro (km).

Com a caracterização fisiográfica e morfométrica da área do médio curso da bacia hidrográfica do rio Jaguari, buscou-se compreender os motivos que levaram os órgãos públicos à escolha desse território para construção da barragem Pedreira. Essa caracterização possibilitou verificar os cenários dos geossistemas que subsidiaram as análises das transformações na paisagem com foco na Área de Influência Direta em uma segunda parte desse estudo.

### 4.2.2 Mapeamento dos Sistemas Antrópicos e sua caracterização

O segundo componente dos Sistemas Ambientais, de acordo com os pressupostos teóricos de Christofoletti (1999), refere-se aos sistemas antrópicos, e assim como para os geossistemas, a metodologia utilizada segue o trabalho de Amorim, Reis e Ferreira (2017). Segundo os autores, essa etapa possui a finalidade de reconhecer o caráter de ocupação e a apropriação da natureza, que determinam: "o tipo e modo de utilização do espaço e as unidades de paisagem; o modo de utilização dos recursos naturais; as formas de modificação e transformação das unidades de paisagem" (AMORIM; REIS; FERREIRA, 2017, p. 95)

Para chegar nesse objetivo, optou-se pelo mapeamento de uso e cobertura da terra, utilizando o material do *Mapa de cobertura e uso da terra da sub-bacia do rio Jaguari* (MESSIAS, 2018; COVIZZI; AMORIM; MESSIAS, 2019). Este mapeamento, por sua vez, foi realizado a partir de imagens obtidas pelo sensor multiespectral *Operation Land Imager* (OLI), do sistema Landsat 8 (agosto/2018). Os procedimentos de classificação de imagens digitais

foram realizados no ENVI 5.3. Para a construção da matriz de confusão foi utilizado o *BrOffice Calc*.

O mapeamento de uso e cobertura da terra foi feito a partir da aplicação de técnicas de classificação orientada a objetos, que é dividida em duas etapas iniciais: segmentação das imagens e a construção de amostras de treinamento. No processo de segmentação foram utilizados o algoritmo *Edge* e o valor 20 no *Segment Setting*, e *Full Lambda Schedule* e o valor 80 no *Merge Setting*. Os valores aplicados para o nível de escala e nível de mesclagem foram escolhidos por tentativa e erro, através de uma avaliação visual das imagens.

A classificação foi feita aplicando o *Support Vector Machine* (SVM), que, para a grande maioria das classes, permitiu obter maior precisão dos resultados. As classes escolhidas no processo classificatório foram: mata, silvicultura, cultivos agrícolas, pastagem, solo exposto, água e área urbana. Após obter os resultados, a classificação foi exportada em formato vetorial. Este arquivo foi importado no ArcGIS 10.6, onde buscou-se identificar visualmente os possíveis erros de classificação, os quais foram editados.

Após o processo classificatório foi avaliada a acurácia da classificação. O número de amostras utilizadas foi selecionado conforme a quantidade de polígonos gerados para cada classe. Nesta etapa, foram selecionados, aleatoriamente, 3% dos polígonos gerados para cada classe. Contudo, considerou-se um valor mínimo de 5 amostras para cada classe. Essas amostras foram avaliadas com base em imagens de alta resolução, disponíveis no Google Earth, nas próprias composições coloridas e conhecimento da área de estudo em campo. Foi construída uma matriz de confusão pelo *BrOffice Calc* e foram gerados os índices Kappa e exatidão global para toda a bacia hidrográfica do rio Jaguari.

Na matriz de confusão, o erro de comissão (EC) ou inclusão está relacionado com polígonos de outras classes, que foram classificados na classe de referência. De outro modo, o erro de omissão (EO) ou a exclusão está associada aos polígonos, que pertencem a uma classe de referência, porém foram inseridos em outras classes.

### 4.2.3 Mapeamento das Unidades da Paisagem

Segundo Zonneveld (1989 apud. Ramos *et al.*, 2007), a estrutura da paisagem pode ser definida pela área, forma e disposição espacial, como pelo grau de proximidade e de fragmentação das unidades de paisagem. Desse modo, para a delimitação das Unidades de Paisagem foi realizada uma correspondência espacial de informações distintas numa mesma

localidade, a fim de obter uma síntese dos sistemas ambientais (AMORIM; REIS; FERREIRA, 2017), resultante da integração das unidades geossistêmicas com as classes de uso e cobertura da terra.

Neste contexto, essa etapa considerou as características geomorfológicas, geológicas, pedológicas, de uso e cobertura da terra levantadas nas etapas anteriores, para delimitar as unidades de paisagem, conforme os trabalhos de Ramos *et al.* (2007) e Amorim *et al.* (2017).

Para integrar os resultados dos geossistemas e dos sistemas antrópicos foi utilizada a ferramenta de geoprocessamento *Union* do ArcGIS 10.7. Os polígonos que se subdividiram em pequenas áreas foram generalizados em relação ao polígono vizinho, a partir das ferramentas *Eliminate* e *Dissolve.*

### 4.2.4 Áreas suscetíveis às inundações

Essa etapa metodológica procurou identificar as áreas de suscetibilidade natural às inundações a partir da relação entre o algoritmo HAND (CUARTAS *et al*., 2012; NOBRE *et al*., 2011; RENNÓ *et al*., 2008) e as classes de declividade proposta na metodologia de Horn (1981).

De posse do MDE, converteu-se o arquivo para um formato em 8 *bits*, compatível com o software *TerraViewHidro 4.2.2,* com a ferramenta *Hydrological Tools.* Neste software se definiram as áreas sujeitas às inundações a partir da adoção do algoritmo HAND (***H****eight* ***A****bove the* ***N****earest* ***D****rainage*, em português, Altura Acima da Drenagem Mais Próxima).

O Modelo HAND gera mapas de proximidades topográficas ou desníveis relativos a cursos d'água. Estes desníveis relativos indicam a suscetibilidade às inundações de cada ponto na paisagem, mostrando como a topografia da bacia hidrográfica pode se comportar em períodos com maior entrada de água em excesso fluindo na superfície.

Para a criação do Modelo HAND é necessário o processamento do MDE e elaboração de três produtos: a Direção de Fluxo, a área de contribuição e a extração da rede de drenagem. Para determinar o modelo HAND aplicado às áreas suscetíveis às inundações, por sua vez, na ferramenta Editar Legenda do *TerraViewHidro 4.2.2* é preciso indicar 3 fatias, atribuir como valor mínimo 0 e valor máximo 10. Dessa forma, o software determinarão como classes de suscetibilidade Alta (0 a 3,30); Média (3,31 a 6,60) e Baixa (6,61 a 10,0).

Por fim, identificou-se a partir do arquivo vetorial da área de inundação do reservatório, previsto no EIA da barragem Pedreira (SÃO PAULO; DAEE, 2015), quais partes

desta correspondem às áreas naturalmente suscetíveis às inundações, assim como, os tipos de uso e cobertura da terra que serão afetados diretamente pelas zonas submersas e pela área de influência direta da barragem.

### 4.2.5 Identificação das fragilidades ambientais

Apesar da construção da barragem Pedreira fazer parte de um planejamento com a perspectiva econômica-social, sua análise está pautada nas potencialidades dos recursos hídricos. Mas, além disso, deve ser também considerada as fragilidades das unidades naturais com as diferentes inserções humanas para o desenvolvimento sustentável (ROSS, 1994). Portanto, a partir do conhecimento integrado da área de estudo, utilizando os produtos resultantes das Unidades de Paisagens, esta etapa metodológica tem como objetivo o mapeamento e a identificação dos diferentes graus de fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, proposto por Ross (1994) e conforme adaptações e aplicações realizadas em trabalhos de Messias *et al.* (2012) e Ferreira *et al.* (2016).

Baseado no conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977), em que se entende que a estabilidade da natureza se dá por uma relação sistêmica de trocas de matéria e energia, mas que pode se tornar instável por intervenções antrópicas, a proposta metodológica se diz respeito a "um produto cartográfico síntese que identifique manchas de diferentes padrões de fragilidade, representados através das Unidades Ecodinâmicas Estáveis (Instabilidade Potencial) e das Unidades Ecodinâmicas Instáveis (Instabilidade Emergente)" (ROSS, 1994, p. 69).

Dessa maneira, na metodologia original de Ross (1994), há o cruzamento entre os mapas de solos e declividade, gerando um produto intermediário. Na sequência, esse produto é cruzado com o uso e cobertura da terra, gerando o mapa de fragilidade ambiental. No artigo de Ferreira *et al* (2016), os autores realizam o cruzamento entre curvatura e declividade, gerando a "Fragilidade do Terreno". Na sequência, o mapa de fragilidade do terreno é cruzado com o mapa de solos e de uso e cobertura da terra, gerando o mapa de fragilidade ambiental.

Neste trabalho, ao gerar o produto de fragilidade do terreno (FERREIRA *et al.*, 2016), realizou-se uma nova adaptação ao cruzá-lo com o mapa de solos e chamá-lo de "fragilidade potencial" (ROSS, 1994). Por fim, cruzou-se a fragilidade potencial com uso e cobertura da terra, resultando na fragilidade ambiental.

Dentre os procedimentos apresentados por Ross (1994), foi tomada para esta pesquisa a classificação da fragilidade potencial e emergente segundo variáveis de relevo, solos e uso e cobertura da terra. As bases cartográficas utilizadas para o mapeamento dessas variáveis foram as mesmas usadas no mapeamento dos sistemas ambientais: MDE (SÃO PAULO, 2013a), *Mapa Pedológico do Estado de São Paulo* (ROSSI, 2017) e *Mapa do uso do solo da sub-bacia do rio Jaguari* (MESSIAS, 2018). A escala adotada para os mapeamentos na AID foi de 1:50.000, de acordo com o MDE (SÃO PAULO, 2013a), realizando o processamento, a classificação, reclassificação e combinação dos *rasters* para chegar ao resultado da fragilidade ambiental. Para visualização do mapa impresso, a escala adotada foi de 1:40.000.

Como não foi possível o levantamento do índice de dissecação do relevo, conforme indica Ross (1994) na metodologia para a escala adotada, na etapa de processamento foram elaborados mapas temáticos de curvatura e declividade a partir do MDE, utilizando as ferramentas de geoprocessamento do ArcGIS 10.7 *surface curvature* e *surface slope*, respectivamente.

De acordo com Valeriano (2013), com a classificação dos valores de curvatura, obtemos as formas de perfil das vertentes. Os valores positivos representam as vertentes côncavas, já os valores negativos representam as vertentes convexas e, ainda, as vertentes retilíneas possuem valor de curvatura nulo (VALERIANO, 2013). No entanto, para o autor, pouco do que se julga retilíneo apresenta curvatura rigorosamente nula, por isso, é aplicável uma faixa de tolerância no intervalo de –0,55% 100 m-¹ a + 0,55% 100 m-¹ para a classe de vertentes retilíneas. Valores abaixo desse intervalo foram classificados como côncavos e, acima, convexos.

Da mesma forma, o mapa de declividade foi classificado de acordo com as categorias hierárquicas das classes de declividade proposta por Ross (1994, p. 66):

> Esta hierarquização utiliza intervalos de classes consagradas nos estudos de capacidade de uso/aptidão agrícola, associados com aqueles conhecidos como valores limites críticos da geotecnia, indicativos respectivamente do vigor dos processos erosivos, dos riscos de escorregamentos/ deslizamentos e inundações frequentes. Deste modo estas classes são: 0 a 6%, 6 a 12%, 12 a 30% e acima de 30%.

Estes mapas temáticos foram reclassificados segundo os graus de fragilidade, que variam do “muito fraco” ao “muito forte” representados pelo padrão numérico das categorias de Unidades Ecodinâmicas que vão do 1 ao 5 (Tabela 4.1). Este padrão de reclassificação

também foi aplicado para definir os graus de fragilidade dos solos e do uso e cobertura da terra[3], consolidando-se como a escala de análise das categorias que representam a Fragilidade Potencial e a Fragilidade Emergente da área de estudo.

Tabela 4.1 - Pesos atribuídos para as diferentes classes de fragilidade das Unidades Ecodinâmicas

| Classes de fragilidade das Unidades Ecodinâmicas | Valor numérico |
|---|---|
| Muito fraca | 1 |
| Fraca | 2 |
| Média | 3 |
| Forte | 4 |
| Muito forte | 5 |

Fonte: adaptada de Ross (1994).

Com a reclassificação de cada mapa temático, aplicou-se o método booleano de combinação de mapas (álgebra de campo), também denominado de sobreposição ponderada, utilizando a ferramenta *Weigthted Overlay,* do módulo *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools - Overlay* do software ArcGIS 10.7. Ainda, para cada um dos mapas combinados foram atribuídas porcentagens iguais de influência. Os primeiros mapas combinados foram os de curvatura e declividade, que segundo Ferreira *et al.* (2016) resultam no mapa síntese da variável relevo – ou fragilidade do terreno. Esse produto foi combinado ao mapa de solos, obtendo-se um produto intermediário, chamado de Mapa de Fragilidade Potencial. Em seguida, as informações deste produto intermediário foram cruzadas com as de uso e cobertura da terra, resultando em um mapa síntese que classifica e qualifica a área estudada, denominado de Mapa de Fragilidade Ambiental (MESSIAS *et al*., 2012).

### 4.2.6 Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente

Com o objetivo de verificar a extensão e o grau de proteção existente na AID conforme exigido pela legislação, essa etapa realizou a delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APP) a partir dos parâmetros, limites e definições do atual Código Florestal – Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012), considerando-se a faixa marginal dos rios, ao redor das

[3] Esses dados foram reclassificados na tabela de atributos em formato vetorial e exportados para o formato matricial, a fim de realizar as combinações com os demais produtos cartográficos.

nascentes, nos topos de morros e montanhas (terço superior) e encostas com declividades acima de 45 graus.

Os procedimentos metodológicos para a delimitação das APPs foram baseados no trabalho de Luppi *et al.* (2015), com a utilização de ferramentas de geoprocessamento disponíveis no módulo "ArcToolbox" do software ArcGIS 10.7, e aplicação dos critérios dispostos pelo Código Florestal (BRASIL, 2012, art. 4º):

> Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei
> I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).
> a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
> b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
> c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
> [...]
> II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:
> a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;
> b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas;
> III - as áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento; (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).
> IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012).
> V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45º, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;
> [...]
> IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25º, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação.

De posse da hidrografia retirada da *Rede Hidrográfica do Estado de São Paulo* na escala 1:50.000 (SÃO PAULO, 2013b), em formato vetorial, foi delimitada a área de preservação de 30 metros ao longo dos cursos d'água menores de 10 metros de largura, por meio do comando *buffer*. Para os canais que possuem largura de 50 a 200 metros, como no caso o rio Jaguari e represas na área de estudo (medido de uma margem a outra com a régua disponível no ArcGIS 10.7), o *buffer* para delimitação da APP foi de 100 metros.

Com essa mesma hidrografia, foram gerados os pontos relacionados às nascentes (início de cada córrego), utilizando o comando *feature vertices to points*, disponível no módulo *Arc Toolbox – Data Management Tools – Feature*, com a opção *DANGLE*. A delimitação das áreas de preservação no entorno das nascentes também foi realizada por meio do comando *buffer*, delimitando-se um raio de preservação de 50 metros.

Para delimitação das APPs de topos de morro e em encostas com declividades acima de 45° de forma automática, foi necessário o uso de ferramentas de análise espacial disponível no SIG e da base do MDE (SÃO PAULO, 2013a). Para a realização deste processo de maior complexidade, utilizou-se passo a passo disponível no manual de Santos (2013).

Com o MDE recortado para a AID, realizou-se as etapas de delimitação da APP de topo de morro, com extração dos pontos de topo e base dos morros, seguido da amplitude e altitude e, posteriormente, a delimitação do terço superior de cada morro, conforme Santos (2013).

Para delimitação da APP de declividade superior a 45º foi elaborado o mapa matricial de declividade da área de estudo utilizando o MDE consistente no comando *slope*, disponível no módulo *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Surface*. Posteriormente, realizou-se a reclassificação do mapa de declividade com o objetivo de delimitar apenas a classe de APP superior a 45º.

Para aprofundar a análise das APPs na área de estudo, calculou-se a geometria dos polígonos, obtendo a extensão da área de preservação presente na AID. Em seguida, para analisar o impacto da barragem neste aspecto de preservação, foi inserido o polígono de inundação da barragem e gerado o *buffer* de APP no entorno da nova represa de 100 metros, conforme determina o EIA da barragem Pedreira (SÃO PAULO; DAEE, 2015).

Além disso, procurou-se verificar os conflitos de uso e cobertura da terra com as APPs. Para esta análise, utilizou-se a base de dados de uso e cobertura da terra de Messias (2018), recortados sobre as APPs totais (máscara de corte), utilizando-se o comando *clip*, delimitando-se o uso e cobertura da terra no interior das áreas de APPs.

# 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 5.1 Geossistemas do médio curso da Bacia do Rio Jaguari

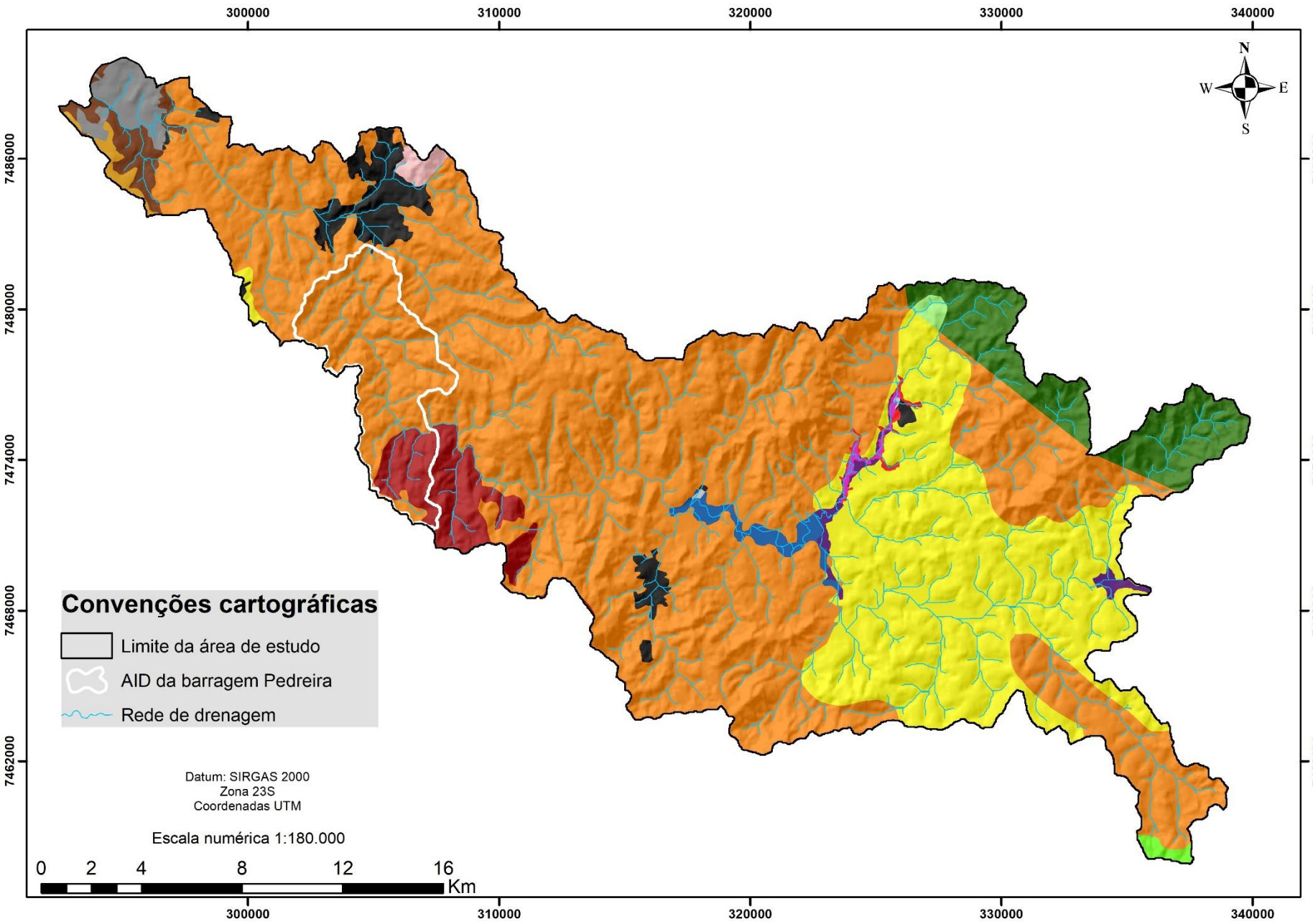
Para iniciar a apresentação dos resultados das Unidades da Paisagem, é de importância vislumbrar a diversidade dos geossistemas presentes na área de estudo para compreendermos a integração dos componentes físico-naturais antes de associá-los aos componentes antrópicos.

Com base na metodologia de Amorim, Reis e Ferreira (2017), os Geossistemas do médio curso da bacia hidrográfica do Rio Jaguari foram delimitados considerando a complexidade das interações entre os aspectos geomorfológicos (levou-se em conta que as unidades geológicas foram consideradas na delimitação das unidades geomorfológicas como domínios morfoestruturais), o tipo climático, os processos pedogenéticos predominantes e a cobertura vegetal. Ao todo, foram delimitados 17 Geossistemas (Figura 5.1).

Por existir uma maior homogeneidade no que se refere à cobertura vegetal (Floresta Ombrófila Densa) e ao clima, a principal distinção dos Geossistemas se deu pela cobertura pedológica, que também é um produto das condições litológicas[4]. Desse modo, optou-se por discutir os Geossistemas a partir dos seguintes domínios morfoestruturais: Cinturão Orogênico Atlântico, Depósitos Sedimentares e Coberturas Sedimentares Inconsolidadas.

4 Com exceção dos geossistemas categorizados como "área urbana", pois o material do *Mapeamento Pedológico do Estado de São Paulo* (ROSSI, 2017) não classificou a pedologia dessas áreas.

Figura 5.1 - Mapa de Geossistemas do médio curso da BH do Rio Jaguari




| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cobertura Vegetal | Floresta Ombrófila Densa | | | | | | | |
| | Precipitação | 1 a 2 meses secos | | | | | | 3 meses secos | |
| | Temperatura | Subquente | | | | | | Mesotérmico brando | |
| Domínios Morfoestruturais | Ordem de solos / Domínios Morfoesculturais | Área Urbana | Cambissolos | Gleissolos | Latossolos | Argissolos | Neossolos | Latossolos | Argissolos |
| Cinturão Orogênico do Atlântico | Serras/Escarpas | | | | | | | | |
| | Planaltos | | | | | | | | |
| Depósitos Sedimentares | Depressão Periférica | | | | | | | | |
| Coberturas Sedimentares Inconsolidadas | Planícies Fluviais | | | | | | | | |

Fonte: CPRM (2006), Ross, Moroz (1997), Rossi (2017) e São Paulo (2013a). Elaborado pela autora.

No mapa, observa-se que o domínio morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico ocupa a maior parte da área de estudo e concentra em si o domínio morfoescultural dominante dos Planaltos (95% da área total). Este possui a maior variação de geossistemas da área de estudo, com 8 (oito) tipos, entre os quais, 6 (seis) estão no clima subquente/1 a 2 meses secos e 2 (dois) no clima mesotérmico brando/3 meses seco. Sua diferença altimétrica é significativa, de 558 a 1.121 metros, formado por colinas e morros. Os geossistemas se distinguem por sedimentos de textura areno-argilosas, sendo a unidade Planaltos/Subquente/Argissolo o maior geossistema do médio curso da bacia do Rio Jaguari, com 341,32 km². Considerando os geossistemas relacionados aos domínios morfoesculturais de Serras/Escarpas estarem na extremidade da bacia e ocuparem uma porção irrisória (1,32 km²), estes foram generalizados ao vizinho próximo dominante de Planaltos para compor posteriormente as Unidades da Paisagem.

O segundo domínio morfoestrutural dos Depósitos Sedimentares está exclusivamente associado ao domínio morfoescultural da Depressão Periférica e seus geossistemas localizados no extremo oeste da bacia, em uma extensão de 14,76 km², com as menores cotas altimétricas entre 558 a 650 metros, formado por colinas suavemente onduladas. Os três geossistemas formados se concentram no clima subquente/1 a 2 meses secos, e sua classe de Latossolos são caracterizados por solos de textura argilosa, coloração de predominância avermelhada e muito profundos. Os geossistemas das classes de Argissolos possuem solos de textura arenosa e pouco profundos, com coloração também avermelhada.

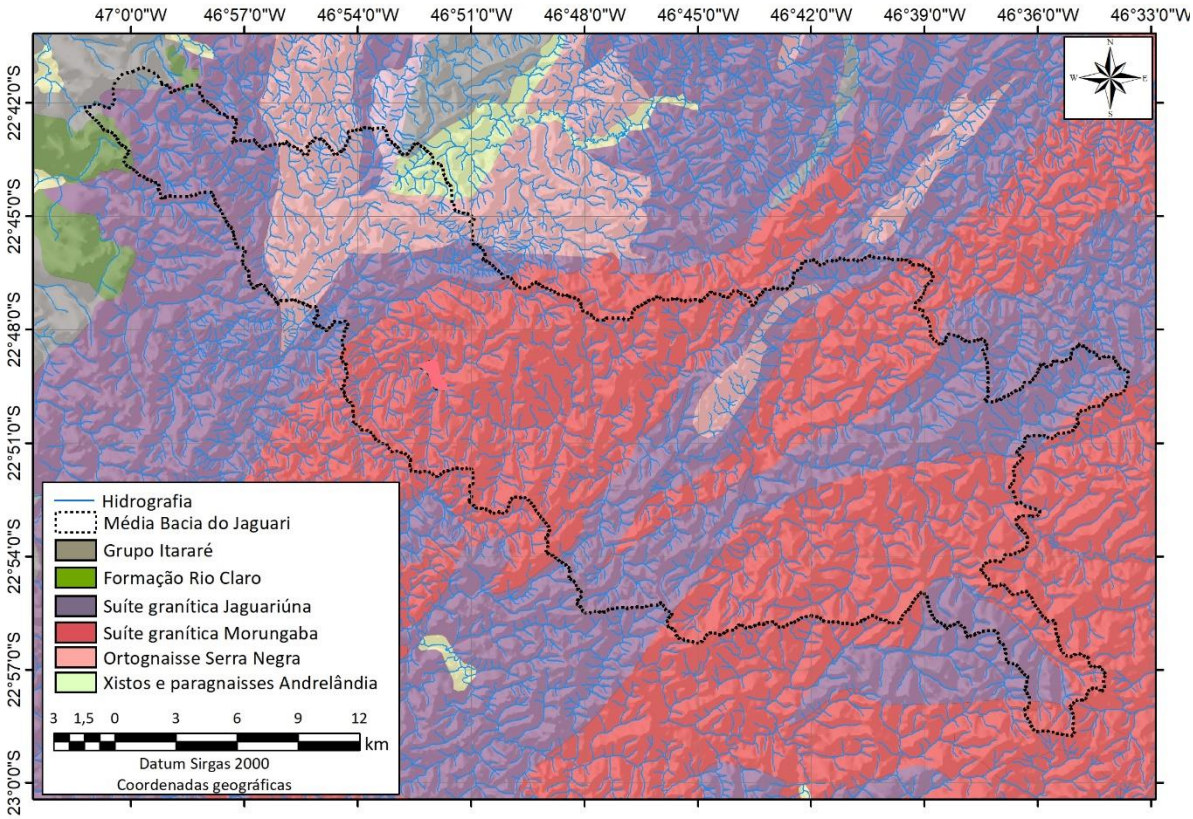
O terceiro e último domínio morfoestrutural corresponde às Coberturas Sedimentares Inconsolidadas associado ao relevo das Planícies Fluviais, com quatro geossistemas presentes no clima subquente/1 a 2 meses secos, que se distinguem pela formação de solos pouco desenvolvidos, como os Gleissolos, devido aos processos de hidromorfismo. Além disso, há a presença de Argissolos e Latossolos, provenientes de sedimentos transportados para as planícies. A área total destes geossistemas é de 8,31 km², localizados em áreas inundadas da bacia, entre 750 a 850 metros de altitude.

### 5.1.1 Caracterização fisiográfica

Para detalhar cada componente formador dos geossistemas da paisagem da bacia média do rio Jaguari (BMJ), inicia-se pelo aspecto geológico, sendo o seu substrato composto majoritariamente por rochas do embasamento cristalino, correspondente à área do Cinturão

Orogênico do Atlântico. A Figura 5.2 é um fragmento do Mapa Geológico do Estado de São Paulo, elaborado pelo CPRM em escala original de 1:750.000.

Figura 5.2 - Fragmento do Mapa Geológico do Estado de São Paulo




Fonte: adaptada de Perrota *et al.* (2005).

As áreas sedimentares são representadas por rochas do Grupo Itararé, Formação Rio Claro e Aluviões Quaternários, localizados na extremidade da bacia na região noroeste. O Grupo Itararé corresponde a uma complexa associação de litofácies variadas, quase sempre detríticas e com sucessão tanto horizontal como vertical. Sua primeira descrição é creditada a Oliveira (1916), sendo referida como Série, não obstante na atualidade está consolidada sua definição como Grupo (PERROTA *et al*., 2005). De acordo com IPT (1981, p. 51):

> No Estado de São Paulo as litologias predominantes são os arenitos de granulação heterogênea, mineralogicamente imaturos passando a arenitos feldspáticos e mesmo a arcósios. Constituem desde camadas delgadas a bancos, cuja espessura pode alcançar várias dezenas de metros. São maciços, ou mostram estratificação plano-paralela a cruzada de corrente aquosa. [...] Por suas características e associações litológicas indicam ser devidos a várias origens: fluviais, lacustres, praianos, deltaicos, *eskers*, eólicos, etc.

A Formação Rio Claro foi originalmente descrita por Bjornberg e Landim (1966), sua constituição é dada por arenitos, arenitos conglomeráticos, arenitos argilosos e argilitos intercalados (PONÇANO, 1981). Por sua vez, as suas fácies têm sido interpretadas como sendo representantes de um sistema fluvial meandrante em clima úmido (MELO, 1995). Não obstante, Perrota *et al.* (2005, p. 135) indica que "aluviões de rios que drenam o Grupo Itararé são portadores de diamantes, e varvitos são explotados para beneficiamento, sob a forma de lajes regulares, com uso principalmente em calçamentos de baixa carga".

Na área majoritária da BMJ, o embasamento cristalino é composto pelas suítes graníticas Jaguariúna e Morungaba, ortognaisse Serra Negra e os xistos e paragnaisses do Grupo Andrelândia. As suítes graníticas estão relacionadas ao Orógeno Socorro-Guaxupé, autores como Basei *et al.* (1986) consideram a suíte Jaguariúna no Proterozóico Superior, ela é descrita no conjunto de rochas granitoides que apresentam:

> [...] tendência calcialcalina potássica e caráter metaluminoso a fracamente peraluminoso. Predominam as composições monzogranítica, granodiorítica, monzodiorítica e diorítica com alguns termos monzoníticos, sieníticos e tonalíticos. Uma foliação bem desenvolvida é dada, principalmente, pela orientação planar de micas e/ou anfibólios. (PERROTA *et al*., 2005, p. 94)

No que tange a suíte granítica Morungaba, ela tem também sido situada como pertencente ao Proterozóico superior, constituída por granitos equigranulares e inequigranulares (IG, 2009). Reconhece-se a existência de duas associações petrográficas relacionadas a essa suíte sendo que "a primeira reúne (leuco) monzogranitos equigranulares, cinza a rosados, com paragêneses peraluminosas" (PERROTA *et al*., 2005, p. 105) para o segundo caso os mesmos autores indicam que "uma segunda associação engloba, predominantemente, monzogranitos, além de quartzo-monzonitos, monzodioritos, granodioritos e sienogranitos, marginalmente peraluminosos, com texturas microporfiríticas, porfiríticas ou porfiróides".

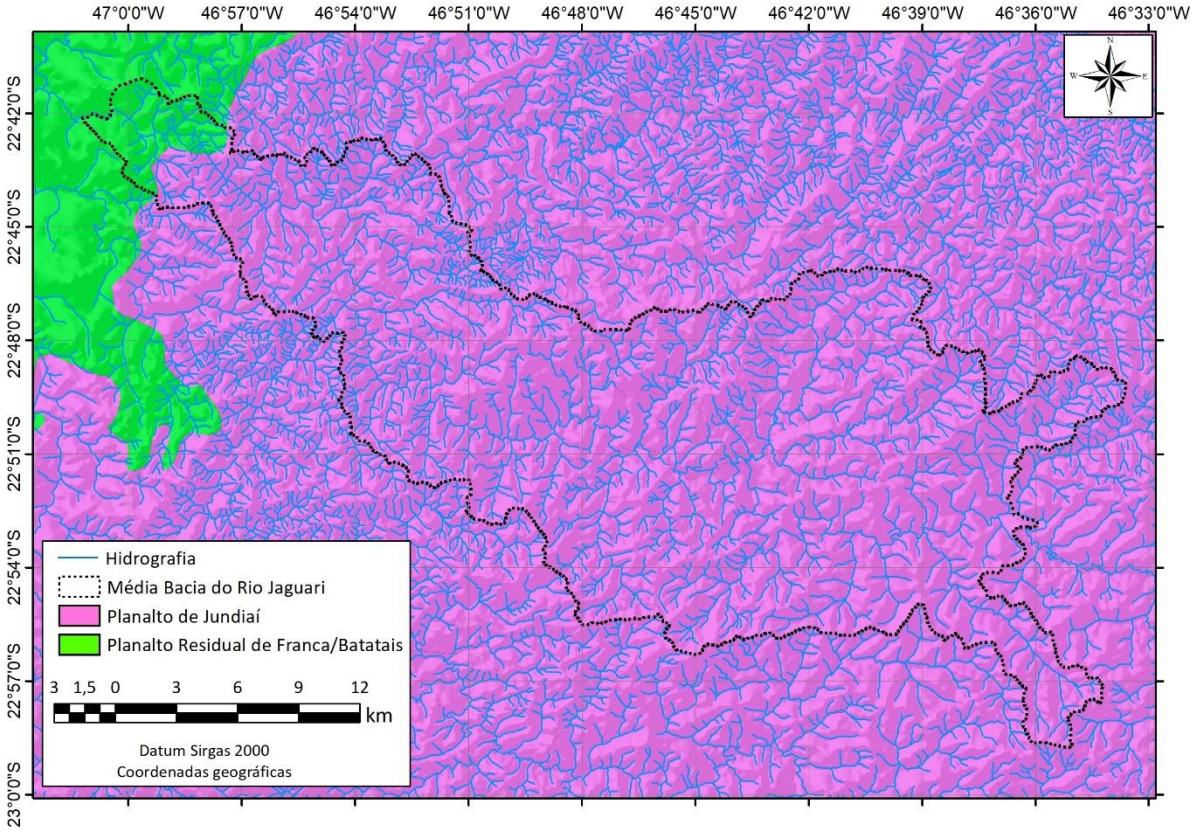
Por Ortognaisse Serra Negra compreende-se uma série de corpos alongados associados ao Complexo Amparo, sendo nele intrusivos, no entanto, contatos de origem tectônicas suprimem essa relação (PERROTA *et al*., 2005). Assim, constitui-se de "(hornblenda)-biotita leucogranitóides gnáissicos, parcialmente migmatíticos compreendidos em uma série calcialcalina relativamente expansiva, com composição que varia de quartzo-diorito a granito 3B, com predominância de termos tonalíticos" (PERROTA *et al*., 2005, p. 12).

A unidade de xistos do Grupo Andrelândia foi descrita pela primeira vez por Ebert (1956) como uma hierarquia para metassedimentos de grau médio. Nesta unidade, predomina

o micaxisto com variações mineralógicas refletindo a composição original do sedimento ou o grau metamórfico (PERROTA *et al*., 2005). Os paragnaisses ocorrem na unidade de metagrauvacas, constitui-se está de granada-(muscovita)-biotita-plagioclásio gnaisse homogêneo, granoblástico, sendo que "O gnaisse homogêneo pode alternar-se com bancos decimétricos a métricos mais micáceos, de textura granolepdoblástica, granada-(aluminossilicato)-mica xisto feldspático e muscovita quartzito. Intercalam-se subordinadamente bancos lenticulares de anfibolito" (PERROTA *et al*., 2005, p. 60).

Associado ao embasamento cristalino e aos depósitos sedimentares, de acordo com o Ross e Moroz (1996), dois compartimentos geomorfológicos podem ser reconhecidos na bacia do médio curso do rio Jaguari, sendo predominante o Planalto de Jundiaí e em menor grau o Planalto Residual de Franca/Batatais, este localizado na extremidade da bacia na região noroeste. A Figura 5.3 apresenta um fragmento do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, indicando a distribuição espacial desses compartimentos na área de estudo.

Figura 5.3 - Fragmento do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo



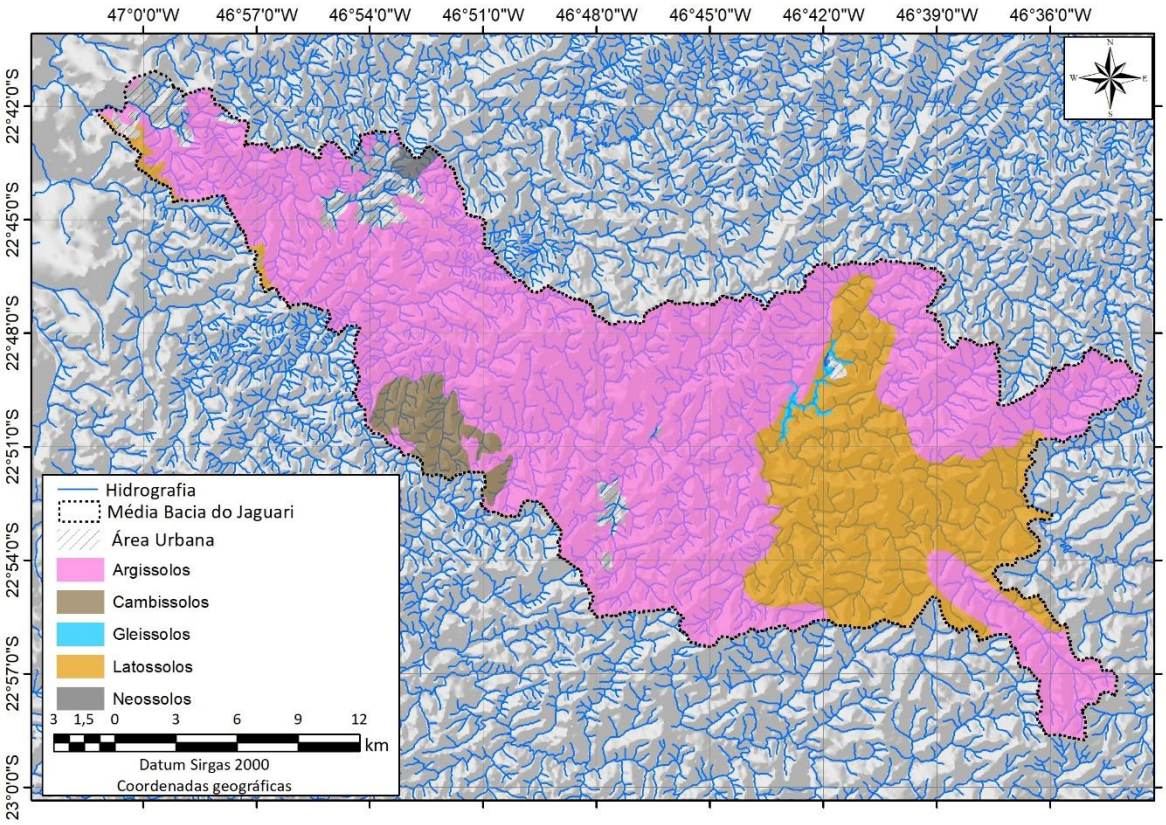

Fonte: adaptada de Ross e Moroz (1996).

Hierarquicamente, considerando os níveis taxonômicos de mapeamento do relevo, o Planalto de Jundiaí está inserido em uma unidade morfoescultural de ordem superior, o Planalto Atlântico, por sua vez, insere-se na unidade morfoestrutural conhecida como Cinturão Orogênico do Atlântico. São características dessas áreas um modelado composto pelo agrupamento de formas de topos convexos e alta densidade de drenagem e vales entalhados (AB'SABER, 1970). Quanto aos padrões de formas semelhantes de relevo, no Planalto de Jundiaí predominam as colinas e morros altos, com declividade média variando na ordem de 20% a 30%.

Já o Planalto Residual de Franca/Batatais está inserido na Bacia Sedimentar do Paraná (unidade morfoestrutural) e no Planalto Ocidental Paulista ou Depressão Periférica (unidade morfoescultural). A gênese dessa unidade remonta aos episódios epirogênicos cenozoicos, bem como a atuação de diferentes ciclos erosivos controlados pela alternância climática (climas secos e úmidos). O relevo dessa morfoescultura é, de modo genérico, levemente ondulado constituído por uma série de colinas amplas e baixas de topos aplainados, com declividades predominantes entre 10% a 20% (ROSS; MOROZ, 1996).

Da interação entre esse arcabouço de formas e litologias, junto às condições climáticas atuais e pretéritas, uma diversificada tipologia de solos é encontrada na bacia. Nesse sentido, podem ser reconhecidas cinco ordens de solos de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS) (EMBRAPA, 2013), a saber: Argissolos; Cambissolos; Gleissolos; Latossolos; Neossolos. A distribuição espacial dessas classes é apresentada na Figura 5.4.

Figura 5.4 - Fragmento do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo




Fonte: adaptada de Rossi (2017).

Dentro do SBCS, a ordem dos LATOSSOLOS é definida pela existência de solos minerais com a presença um horizonte B latossólico, sendo precedido por qualquer outro tipo de horizonte (EMBRAPA, 2013). Esses solos estão localizados majoritariamente na região leste da bacia e se desenvolvem na paisagem em áreas com declividades mais suaves, como em topos aplainados ou sub-aplainados de morros e colinas. São solos em que, na fração argila, ocorre a predominância de argila caulinítica ou caulinítica-óxida. A homogeneidade ao longo do perfil é uma característica marcante desse tipo de solo, que é, geralmente, bem drenado, bastante intemperizado e profundo (IBGE, 2015).

A presença de um horizonte de acúmulo de argila (B textural) logo abaixo de um horizonte A ou E é a característica marcante que define a ordem dos ARGISSOLOS. Por sua vez, esses são solos minerais que, em termos de profundidade, costumam variar entre pouco profundo a profundo e distribuem-se ao longo das paisagens em áreas com o relevo mais acidentados, geneticamente ligados à localizações com maior declive (IBGE, 2015; EMBRAPA, 2013), representados neste caso pelo Planalto de Jundiaí.

Os CAMBISSOLOS, localizados na região sudoeste da bacia, são aqueles diagnosticados quando há ocorrência de um horizonte B incipiente subsequente a um horizonte

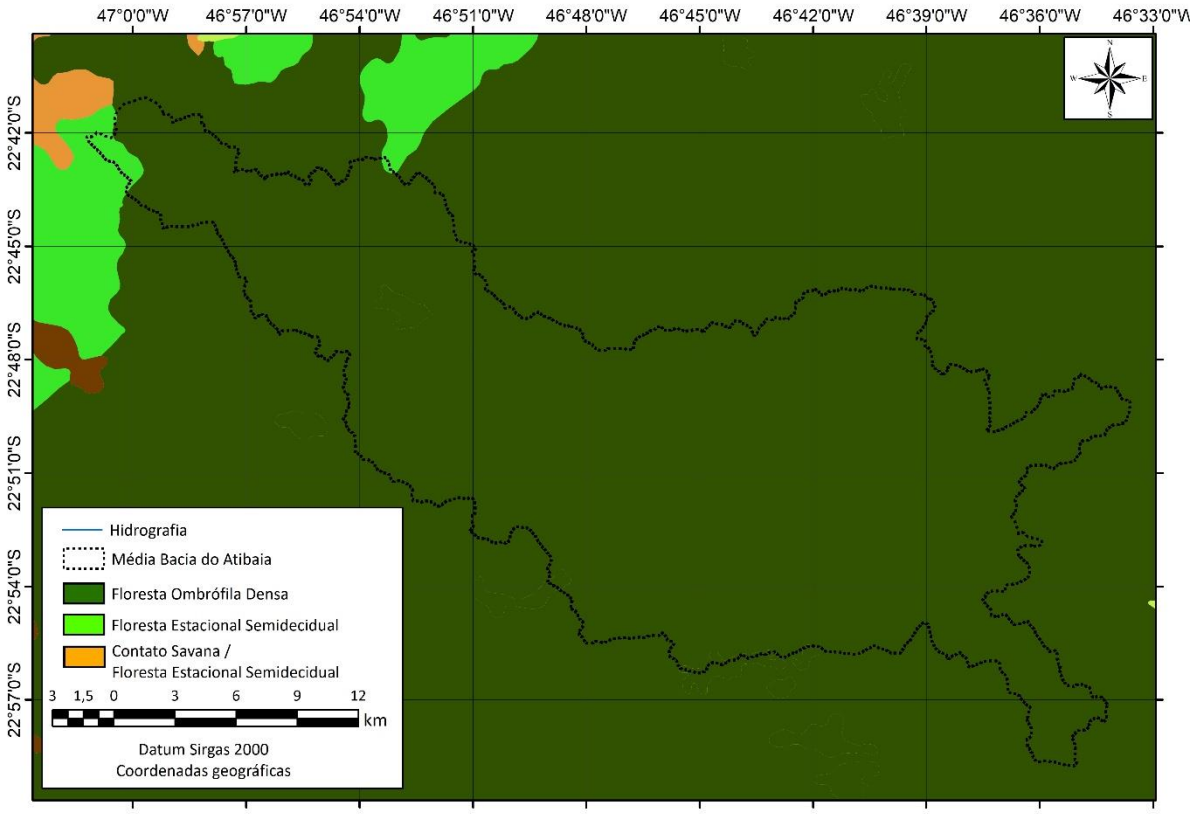
A. Uma grande variação das características como, por exemplo, sua drenagem, que vai de acentuada a imperfeita, é também marcante nesse tipo de solo. Quanto a profundidade, esta também varia entre extremos, podendo se apresentar variando de rasos a profundos, e costumam apresentar características acessórias como a presença de pedregulhos, cascalhos e, até mesmo, blocos rochosos.

Ao longo de áreas planas e alagáveis se encontram os solos da ordem do GLEISSOLOS. Eles têm sua gênese ligada aos processos hidromórficos, possuem como característica diagnóstica a presença de um horizonte glei a partir dos 50 cm de profundidade e costumam ocorrer em áreas úmidas e de baixa declividade (IBGE, 2015; EMBRAPA, 2013).

A última classe de solos ocorrentes na área de estudo corresponde aos NEOSSOLOS Litólicos, localizados na extremidade da bacia na região sudoeste. Esses solos são rasos, que na soma dos horizontes não costuma ultrapassar os 50 cm. Solos dessa ordem tem sua ocorrência associada às áreas íngremes e de com maior grau de dissecação (EMBRAPA, 2013).

Sustentados pelos componentes do meio físico acima mencionados, dois domínios fito-geográficos são atribuídos à cobertura vegetal originária da BMJ (HUEK, 2017), quais sejam: Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual. A distribuição espacial dos domínios fitogeográficos citados é apresentada na Figura 5.5.

Figura 5.5 - Fragmento do Mapa Fitogeográfico do Estado de São Paulo




Fonte: adaptada de Hueck (2017).

A Floresta Ombrófila Densa é predominante, distribuindo-se ao longo de toda área da bacia, com exceção ao extremo de sua faixa ocidental. Esse tipo de vegetação é ainda conhecida como Floresta Tropical Pluvial, e sua biomassa é composta por indivíduos fanerófitos (espécies vegetais lenhosas ou herbáceas com gemas de renovo acima dos 25 cm do solo), lianas lenhosas (cipós e trepadeiras) e epífitas (predominantemente orquídeas e bromélias). A característica ecológica principal desse tipo de formação é dada pelo caráter ombrófilo de sua área de ocorrência, de modo que seu desenvolvimento está ligado às áreas com clima tropical, com temperaturas médias na ordem dos 25º C, associadas à alta taxa de precipitações bem distribuídas anualmente com máximo de 60 dias secos, não configurando na prática um período biologicamente seco (IBGE, 2012).

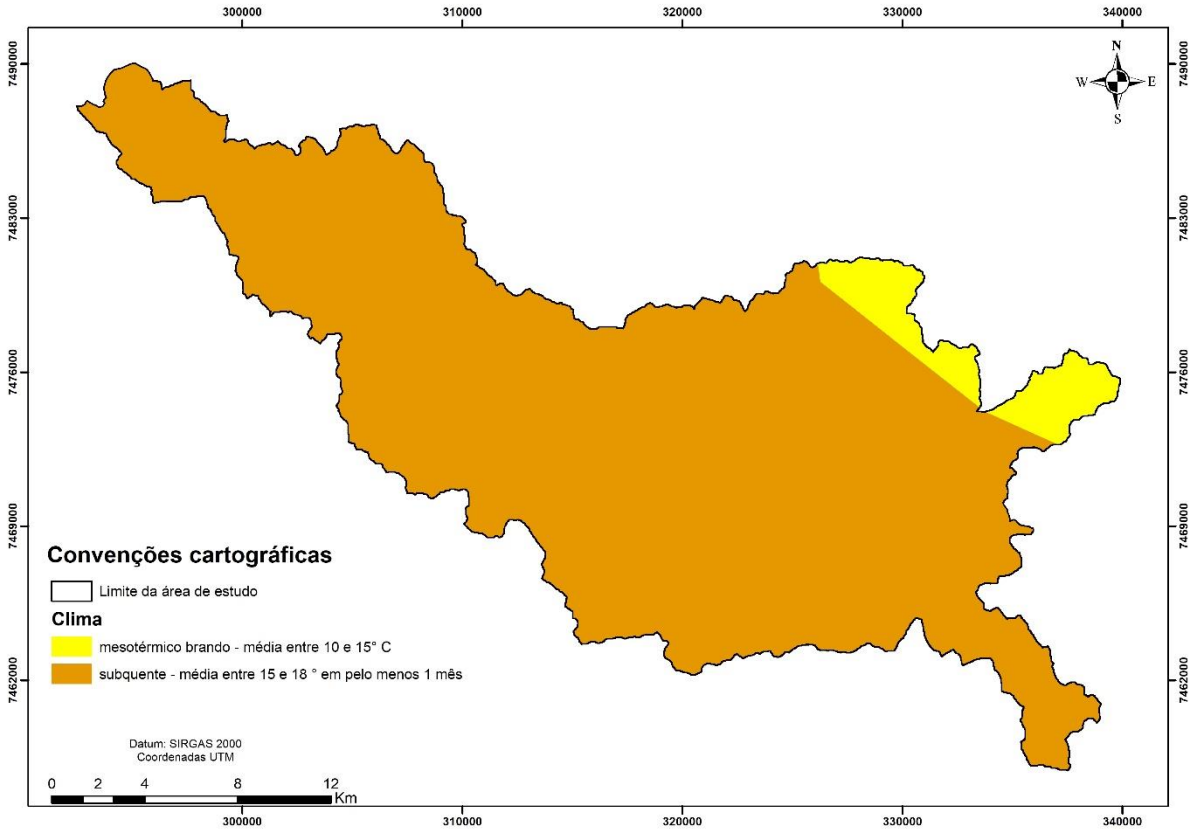
No extremo oeste da área de estudo, encontra-se a Floresta Estacional Semidecidual. Esse tipo florestal é caracterizado pela queda parcial de sua folhagem durante o inverno nas zonas subtropicais, embora com clima sem período seco, esse fenômeno é controlado pelo frio do inverno (IBGE, 2012). Em virtude da sua pequena extensão dentro da área da bacia, essa vegetação não foi considerada na delimitação dos geossistemas, generalizando toda a área como Floresta Ombrófila Densa.

Na região fora da bacia, há, ainda, uma área de contato da Floresta Estacional Semidecidual com a Savana, sendo essa última conhecida nacionalmente como Cerrado, composta basicamente por espécies xeromorfas.

Por fim, a condição climática na área de estudo, segundo o IBGE (2002), pertence de modo geral à Zona Tropical do Brasil Central e está dividido em dois climas: subquente e mesotérmico brando (Figura 5.6). A primeira é predominante na área da BMJ, com temperaturas médias de 15º e 18º C em pelo menos um mês do ano, com precipitações que variam de um a dois meses secos, caracterizando um clima úmido. A segunda ocupa uma porção da extremidade da bacia na região nordeste e possui temperaturas médias que variam de 10º a 15º C, com precipitações a cada 3 meses secos, caracterizando também um clima úmido.

Com a associação destes tipos climáticos no geossistema, observa-se que a maior parte das variações morfoestruturais, morfoesculturais e pedológicas ocorrem no clima subquente, enquanto no clima mesotérmico brando, há apenas o domínio dos Planaltos com pequeno trecho de Serras/Escarpas, subdividindo-se nas classes pedológicas do Latossolo e Argissolo.

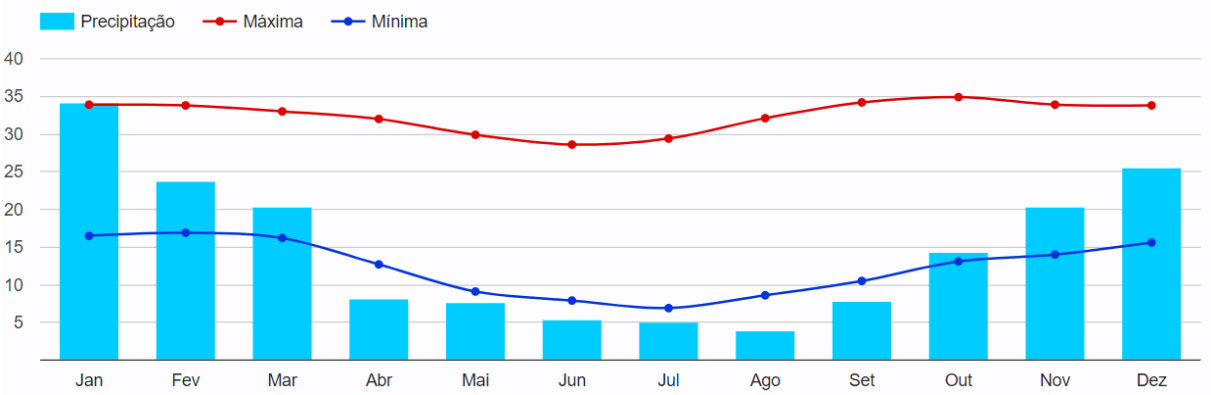
Figura 5.6 - Mapa climático do médio curso da bacia do rio Jaguari




Fonte: adaptada de IBGE (2002).

Considerando que esses dados do IBGE (2002), na escala de 1: 5.000.000, são gerais para todo o território nacional, pode-se caracterizar com maior detalhe a partir de informações climáticas para o município de Campinas-SP para aproximar-se da área de estudo. De acordo com os dados do Cepagri (2020), considerando as médias acumuladas de 1990 a 2019, Campinas possui um clima tropical de altitude, com verão quente e úmido e inverno ameno e quase seco (Figura 5.7). Desse modo, a temperatura média é da ordem de 22° C ao ano. A umidade relativa do ar – média anual – é de 73%. Além disso, predominam os ventos na direção sudeste, com velocidade média de 2,0 m/s.

Figura 5.7 - Média mensal da temperatura máxima (em graus Celsius), da temperatura mínima (em graus Celsius) e da precipitação (em milímetros), dos dados registrados na estação meteorológica do CEPAGRI/Unicamp, no período de 1990 a 2019




Fonte: Cepagri (2020, n/p).

Com a soma das médias de precipitação mensal no período de referência, a precipitação média anual é de 1.410,2 mm, o que representa 1,41 m³ de chuvas por ano para cada metro quadrado da cidade (CEPAGRI, 2020). Esse valor, se comparado com outras regiões do Brasil e do mundo, pode indicar uma elevada disponibilidade hídrica ao longo do ano, o que não representa a realidade, já que o clima da cidade apresenta um inverno normalmente seco, com poucas chuvas. Devido à variação temporal das chuvas sobre a região, Campinas sofre com chuvas intensas nos meses de verão e com um período relativamente longo de estiagem, que vai de maio a setembro, durante as estações do outono e inverno (CAMPINAS, 2006).

### 5.1.2 Caracterização morfométrica

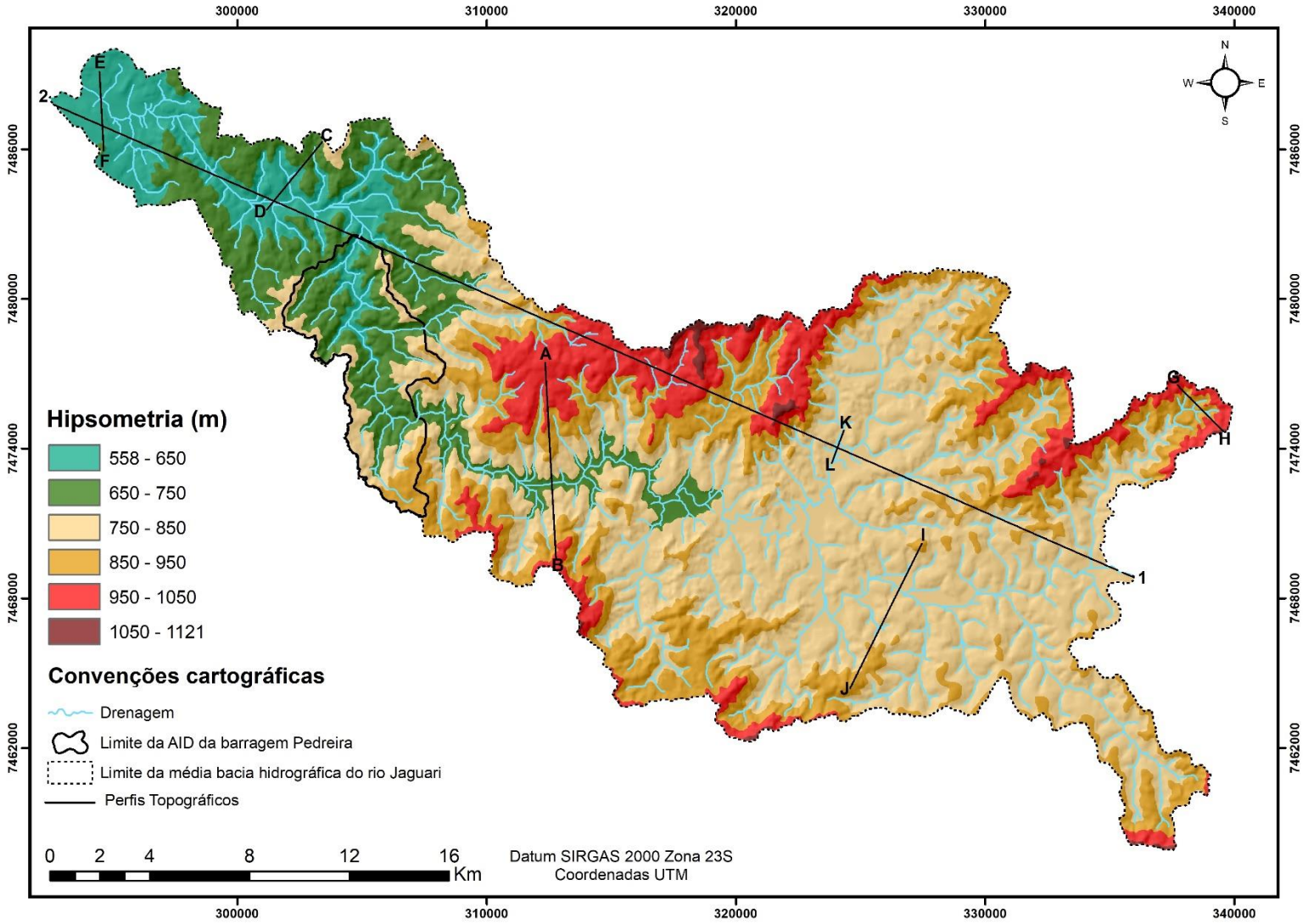
Segundo Teodoro *et al.* (2007), a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos procedimentos mais comuns da análise ambiental, e tem como objetivo elucidar o entendimento da dinâmica ambiental local e regional.

Com o objetivo de interpretar as configurações superficiais do terreno, a função do Mapa Hipsométrico é de identificar as áreas com maior desnível altimétrico e as áreas de topos e nascentes, enquanto com o Mapa de Declividade é possível identificar as variações do terreno que poderão apresentar áreas sujeitas ao perigo de inundação e movimentos de massa (AMORIM; REIS; FERREIRA, 2017).

A hipsometria da BMJ varia de 558 a 1.121 metros, em uma amplitude altimétrica de 563 metros, ou seja, a área possui um desnível que varia praticamente o dobro da menor cota. Essa variação nos valores de altitude pode influenciar na distribuição da precipitação e na intensidade de escoamento da sub-bacia. A amplitude altimétrica das classes no mapa hipsométrico é de 100 metros (Figura 5.8).

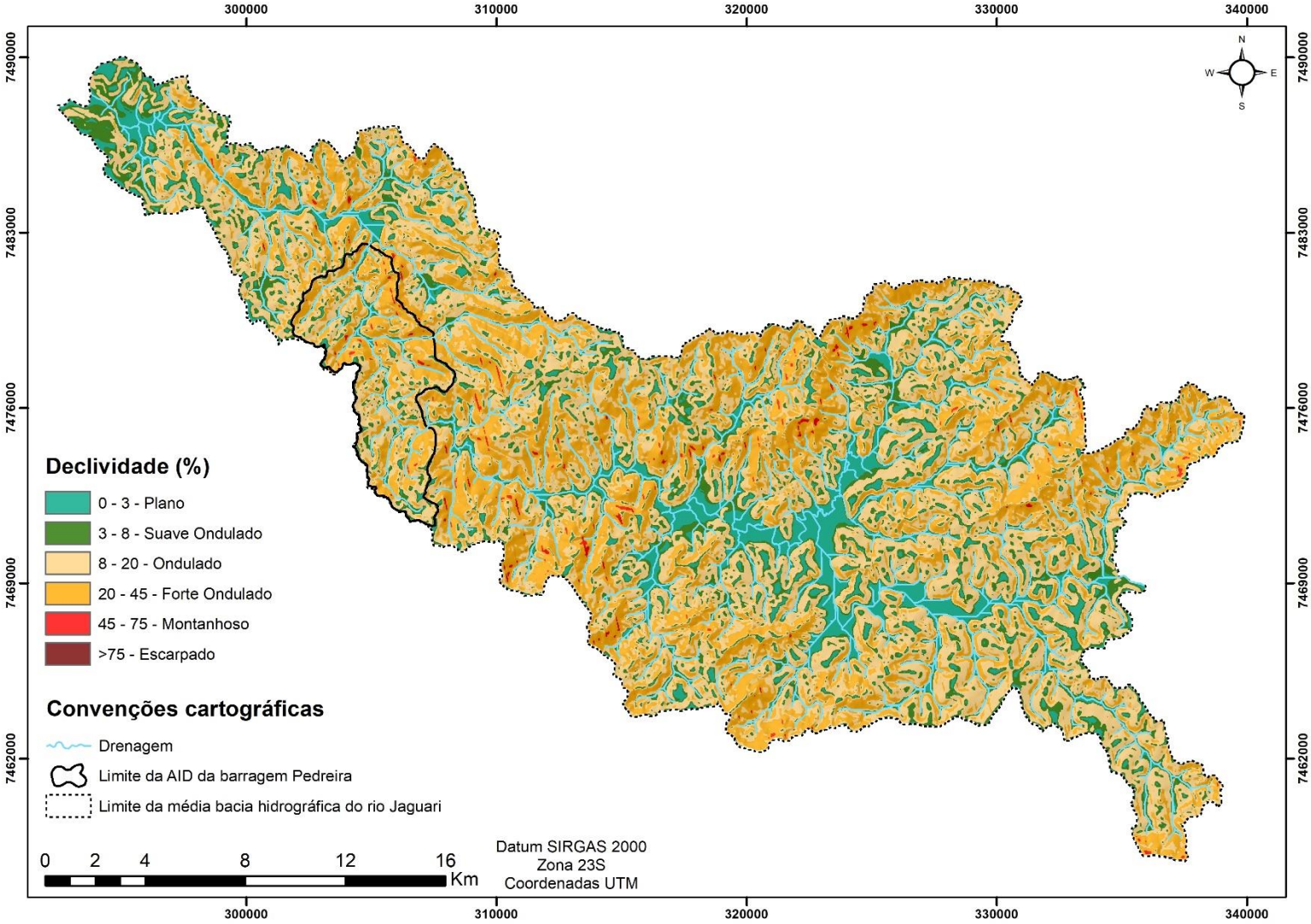
Os perfis traçados sobre o mapa dão uma ideia mais compreensível da configuração do relevo na área selecionada (Tabela 5.1). Além disso, o traçado do perfil longitudinal (Figura 5.8) na direção leste (1) para oeste (2) mostra a dimensão da amplitude de escoamento da bacia. Já o resultado da Figura 5.9 mostra o predomínio de declividades moderadas, de 8 – 20% (ondulado) e de 20 a 45% (forte ondulado), indicando ser uma área de drenagem alta e instável.

Figura 5.8 - Mapa da hipsometria do médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari



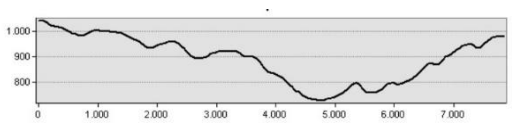
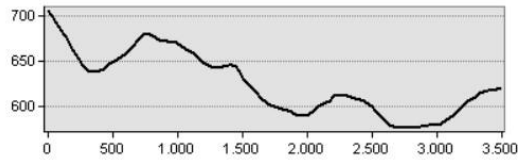
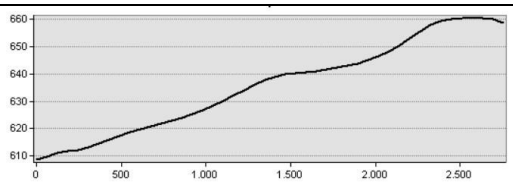
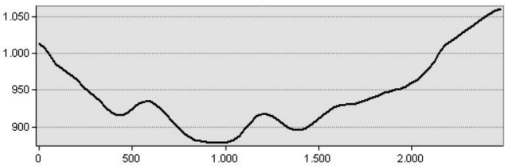
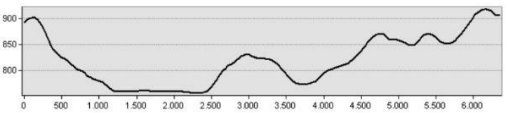
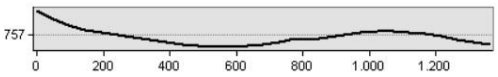

Fonte: São Paulo (2013a). Elaborado pela autora.

Figura 5.9 - Mapa de declividade do médio curso da Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari



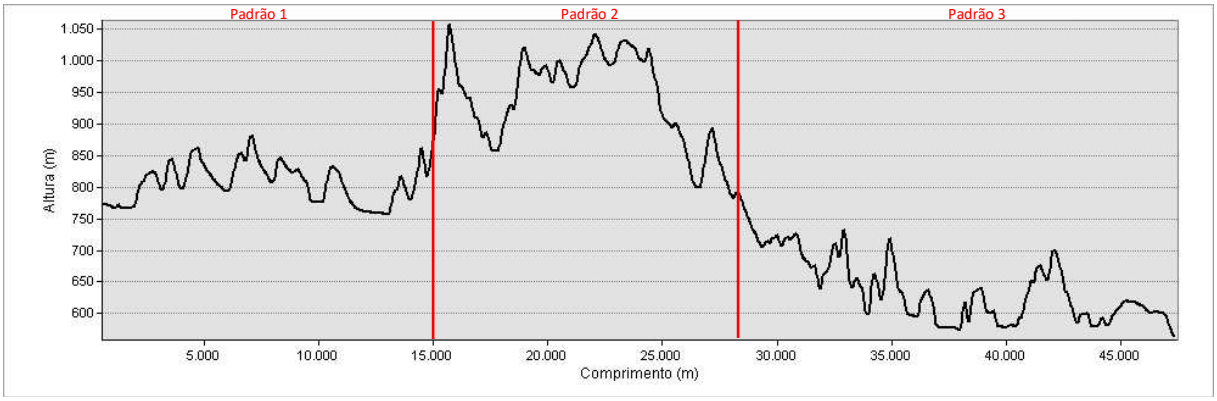

Fonte: São Paulo (2013a). Elaborado pela autora.

Tabela 5.1 - Parâmetros morfológicos do médio curso da BH do Rio Jaguari

| **PERFIL TOPOGRÁFICO (altura X comprimento em metros)** | **FORMAS DO RELEVO (IBGE, 2015)** | **FASES DO RELEVO (ROSSI, 2017)** | **DECLIVIDADE (IBGE, 2015; EMBRAPA, 1979)** |
|---|---|---|---|
|  | Colinas medianas intercaladas por morros. A-B | Ondulado e Forte Ondulado. | Predomínio de declividades de 8 a 20% sobre 20 a 45%. |
|  | Colinas medianas intercaladas por vales encaixados. C-D | Ondulado. | Declividade de 8 a 20%. Relativamente movimentado, com topos aguçados e suavemente arredondados. |
|  | Colinas suaves intercalados por colinas medianas. E-F | Suave Ondulado e Ondulado. | Predomínio de declividades de 3 a 8% sobre 8 a 20%. Topografia ligeiramente movimentada. |
|  | Morros e superfícies entrecortadas por vales profundos. G-H | Forte Ondulado. | Declividade de 20 a 45%. Topografia movimentada e com desníveis fortes. |
|  | Morros e superfícies intercaladas por colinas médias. I-J | Forte Ondulado e Ondulado. | Predomínio de declividades de 20 a 45% sobre 8 a 20% |
|  | Planícies K-L | Plano | Declividade menor que 3%. Topografia lisa e desníveis muito pequenos. |

Fonte: elaborada pela autora.

Figura 5.10 - Perfil longitudinal (1 - 2) do médio curso da BH do rio Jaguari



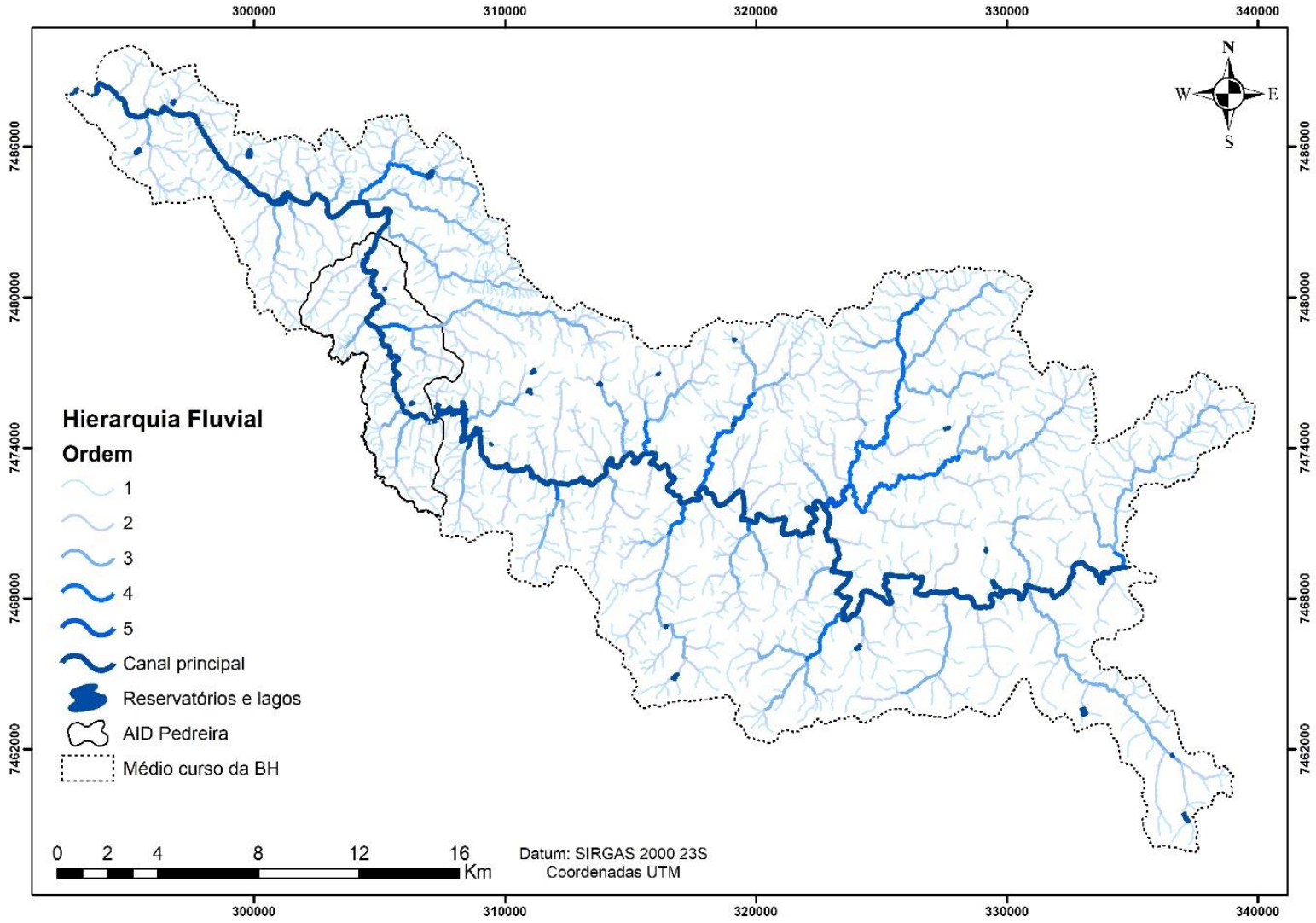

Fonte: elaborada pela autora.

O perfil longitudinal está intimamente ligado ao relevo, pois corresponde à diferença de altitude entre a montante e a jusante da média bacia. Por isso, ao analisar o perfil longitudinal, na escala de 50/5.000 metros, é possível constatar que seu gradiente altimétrico varia ao longo do perfil, atingindo diversos picos dentro de três padrões: na parte mais alta de 0 a 15.000 metros de distância (padrão 1), as altimetrias variam de 750 a 880 metros; na parte média de 15.000 a 28.000 metros de distância (padrão 2), as altimetrias aumentam a variação para 1.060 a 800 metros, demostrando uma área mais resistente às intempéries físicas; e na parte mais baixa, de 28.000 a 50.000 metros de distância (padrão 3), as altimetrias diminuem e atingem as menores altitudes da bacia: de 800 a 550 metros. Isto demostra que a parte alta e média desse trecho da bacia são responsáveis pela maior produção de escoamento da bacia, enquanto a parte mais baixa tende a acumular mais material, que coincide com a área de depósitos sedimentares.

Em relação às características da rede de drenagem, pode-se analisá-la a partir de alguns atributos específicos, como o tipo dos canais, o padrão de drenagem e a hierarquia fluvial. Assim, observa-se que os canais da BMJ são do tipo meandrante psamítico (BIGARELLA; BECKER; PASSOS, 2003), comum em áreas de maior declive e com curvas mais suaves. O padrão de drenagem segundo Howard (1967 apud IBGE, 2009, p. 99) é do tipo dendrítico, pois “os canais distribuem-se em todas as direções sobre a superfície e se unem formando ângulos agudos de graduações variadas, mas sem chegar ao ângulo reto”.

Na hierarquia fluvial, classificada segundo o método de Strahler (1984), os menores canais são considerados como de primeira ordem, sem a existência de tributários e que se estende desde a nascente até a confluência com o próximo canal. A partir da confluência de canais de primeira ordem, surge o canal de segunda ordem, da mesma forma que, a partir da confluência de dois canais de segunda ordem, surge o canal de terceira ordem, que poderá receber tributários de ordens inferiores, e assim por diante (CHRISTOFOLETTI, 1980), como a Figura 5.11. Desta forma, classifica-se o médio curso da bacia hidrográfica do Rio Jaguari como de quinta ordem.

Figura 5.11 - Mapa de ordenamento fluvial do médio curso da BH do Rio Jaguari




Fonte: adaptada de São Paulo (2013b) e Strahler (1984).

Através dos resultados dos cálculos morfométricos, decorrentes das equações definidas na metodologia deste trabalho, obteve-se uma aproximação das características da rede de drenagem e da área da BMJ, como apresentado nas Tabelas 5.2, 5.3 e 5.4:

Tabela 5.2 - Relação hierarquia, quantidade, extensão e comprimento médio de canais da rede de drenagem da média bacia do rio Jaguari

| **Ordem (Strahler)** | **Quantidade de canais** | **Extensão (km)** | **Comprimento médio (km)** |
|---|---|---|---|
| **1º** | 1067 | 673,72 | 0,63 |
| **2º** | 528 | 234,73 | 0,44 |
| **3º** | 293 | 140,72 | 0,48 |
| **4º** | 66 | 38,25 | 0,58 |
| **5º** | 2 | 2,60 | 1,3 |
| **Canal principal** | 1 | 83,56 | - |
| **Total** | 1.958 | 1.173,58 | 3,43 |

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 5.3 - Relação do número de canais e o índice de bifurcação da média bacia do rio Jaguari

| **Relação entre ordens** | **Número de canais** | **Índice de bifurcação** |
|---|---|---|
| **1ª/2º** | 1067/528 | 2,02 |
| **2ª/3ª** | 528/293 | 1,8 |
| **3ª/4ª** | 293/66 | 4,44 |
| **4ª/5º** | 66/2 | 33 |

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 5.4 - Dados morfométricos gerais da média bacia do rio Jaguari

| | |
|---|---|
| Área da BMJ | 545,85 km² |
| Perímetro da BMJ | 232,38 km |
| Densidade hidrográfica (Dh) | 3,59 canais/km² |
| Densidade da drenagem (Dd) | 2,15 km/km² |
| Amplitude altimétrica (Hm) | 563 m |
| Comprimento da bacia | 45.274 m |
| Índice de circularidade (Ic) | 0,13 |

Fonte: elaborada pela autora.

Com a análise dos resultados apresentados, considera-se que o índice de bifurcação na relação entre 1ª e 2ª ordem ficou em 2,02, o que indica que as áreas de nascentes possuem relevo dissecado e morros desenvolvidos; enquanto na relação entre 2ª e 3ª ordem o índice foi de 1,8, indicando um relevo menos dissecado e com mais presença de colinas. Quando a análise avança para as relações de 3ª/4ª e 4ª/5ª ordens, os índices aumentam para 4,44 e 33,

respectivamente, caracterizando as áreas de relevo mais dissecado formado por unidades de erosão remanescentes das condições fisiográficas.

Essas características morfológicas do relevo também contribuem para o índice de densidade hidrográfica (Dh) de 3,59 canais por km². No mesmo grau de desenvolvimento da bacia, a densidade da drenagem (Dd) foi de 2,15 km/km². De acordo com Villela e Mattos (1975), esse índice pode variar de 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 km/km², ou mais, em bacias bem drenadas, indicando, assim, que a bacia em estudo possui média capacidade de drenagem. Essa variável está diretamente relacionada à capacidade de erosão fluvial, sendo assim, ela representa uma superfície com maiores índices de dissecação, eficiência em transportar sedimentos e maiores vazões em seu curso principal, formando rios com planícies bem desenvolvidas nas ordens elevadas, como no Rio Jaguari. Essa condição também depende do comportamento hidrológico das rochas condicionadas ao mesmo tipo de clima, ou seja, as rochas do embasamento cristalino do Planalto Atlântico são mais impermeáveis, possuindo melhores condições para o escoamento superficial do que para infiltração no lençol freático, possibilitando a formação de canais e, consequentemente, aumentando a densidade de drenagem.

O índice de circularidade (Ic) de 0,13 está abaixo do limiar definido na fórmula, de 0,51, indicando, portanto, uma bacia mais alongada. Este dado corrobora para atestar, segundo Christofoletti (1980), que a capacidade de escoamento da média bacia é alta, devido ao seu formato ser distante da forma de um círculo e, consequentemente, menos propício a ocorrência de cheias.

De acordo com Castro e Carvalho (2009), essas análises lineares da rede de drenagem permitem que, através das extensões e quantidades de canais de escoamento superficial, seja expressa sua potencialidade e capacidade de escoamento, que associado aos cálculos morfométricos, constituem dados fundamentais para definir sua potencialidade hídrica. Já as análises hipsométrica e de declividade permitem que, do ponto de vista geomorfológico, o saldo quantitativo revele informações objetivas e importantes ligados à distribuição dos gradientes altimétricos da bacia, os graus de dissecação, o entalhamento e as formas do relevo.

Dessa forma, associando as principais características fisiográficas e morfométricas: relevo acidentado, vales encaixados, rochas cristalinas, solos pouco profundos com presença de cascalhos e blocos rochosos, declividade ondulada a forte ondulada, boa capacidade de drenagem e formato de bacia alongada, é possível auferir que entre os motivos que levaram os órgãos públicos à escolha desse território para construção da barragem Pedreira está relacionado, principalmente, à capacidade de drenagem e escoamento da bacia, o que garante

um rápido enchimento do reservatório. No entanto, a capacidade de erosão pode ser um fator limitante na manutenção do reservatório.

### 5.2 Interfaces entre a construção da barragem e as áreas suscetíveis às inundações

Ao longo do tempo, a ação antrópica na bacia alterou sensivelmente a cobertura da terra, restando apenas remanescentes da cobertura vegetal originária. A implantação de monoculturas de café e cana-de-açúcar, seguido do processo de crescimento da população urbana e da industrialização, provocou durante as décadas, uma alta perda vegetacional, restando apenas 16,3% da cobertura original da Mata Atlântica no estado de São Paulo (SOSMA; INPE, 2019).

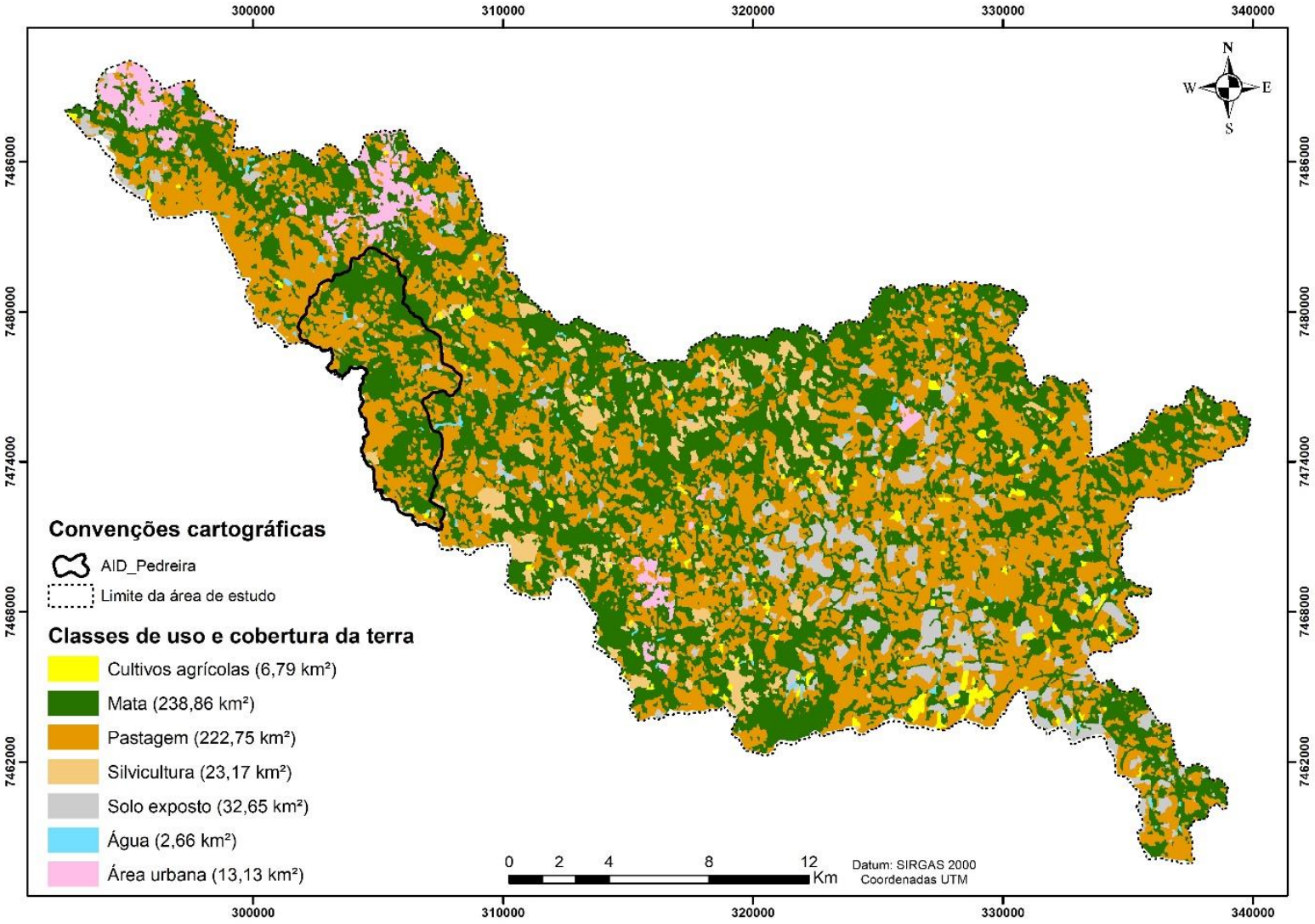
A Figura 5.12 apresenta o mapa da distribuição das classes de cobertura da terra para o ano de 2018. Considerando a área total da bacia, nota-se que os tipos de usos mais comuns são mata, com 238,86 km² (44%) e pastagem com 222,75 km² (41%). A presença de mata está principalmente associada às APPs (Áreas de Proteção Permanente) de topo de morro e cursos d'água. A extensa área de pastagem está ligada à pecuária leiteira, atividade econômica importante desta região do estado. Comparado a estas duas classes, as demais possuem pequena expressividade de ocupação, sendo: solo exposto – 32,65 km² (6%); silvicultura – 23,17 km² (4,3%); área urbana – 13,13 km² (2,4%); cultivos agrícolas – 6,79 km² (1,3%); e água – 2,66 km² (0,5%).

A aplicação do modelo HAND na área da BMJ mostrou que, cerca de 103 km², dos 545.844 km² da área total, são sujeitos às inundações, o que representa 19% da área total da BMJ. Dessa área inundável, 50% possui suscetibilidade alta, 23% suscetibilidade média e 27% suscetibilidade baixa, conforme a Figura 5.13.

O reservatório da Barragem de Pedreira está projetado para ocupar 2,05 km² de extensão, sendo que 61,25% dessa área é naturalmente suscetível à inundação. Os tipos de cobertura mais afetados com o reservatório serão a Mata, que corresponde a 67% da área prevista para o reservatório, seguida da pastagem, com 32%. A porção de Mata que deve ser suprimida para inundação do reservatório é de 1,4 km² e a de pastagem de 0,7 km². Ao comparar estes valores em relação à área total da BMJ e da AID, estima-se que a área afetada de mata e pastagem é relativamente pequena, mas para a manutenção do reservatório, principalmente no que tange a sua maior longevidade, é fundamental que se desenvolvam práticas de manejo do solo aplicados na rede de drenagem que conflui para o seu interior, bem como nas terras ao entorno, a fim de evitar os processos erosivos e o assoreamento do reservatório.

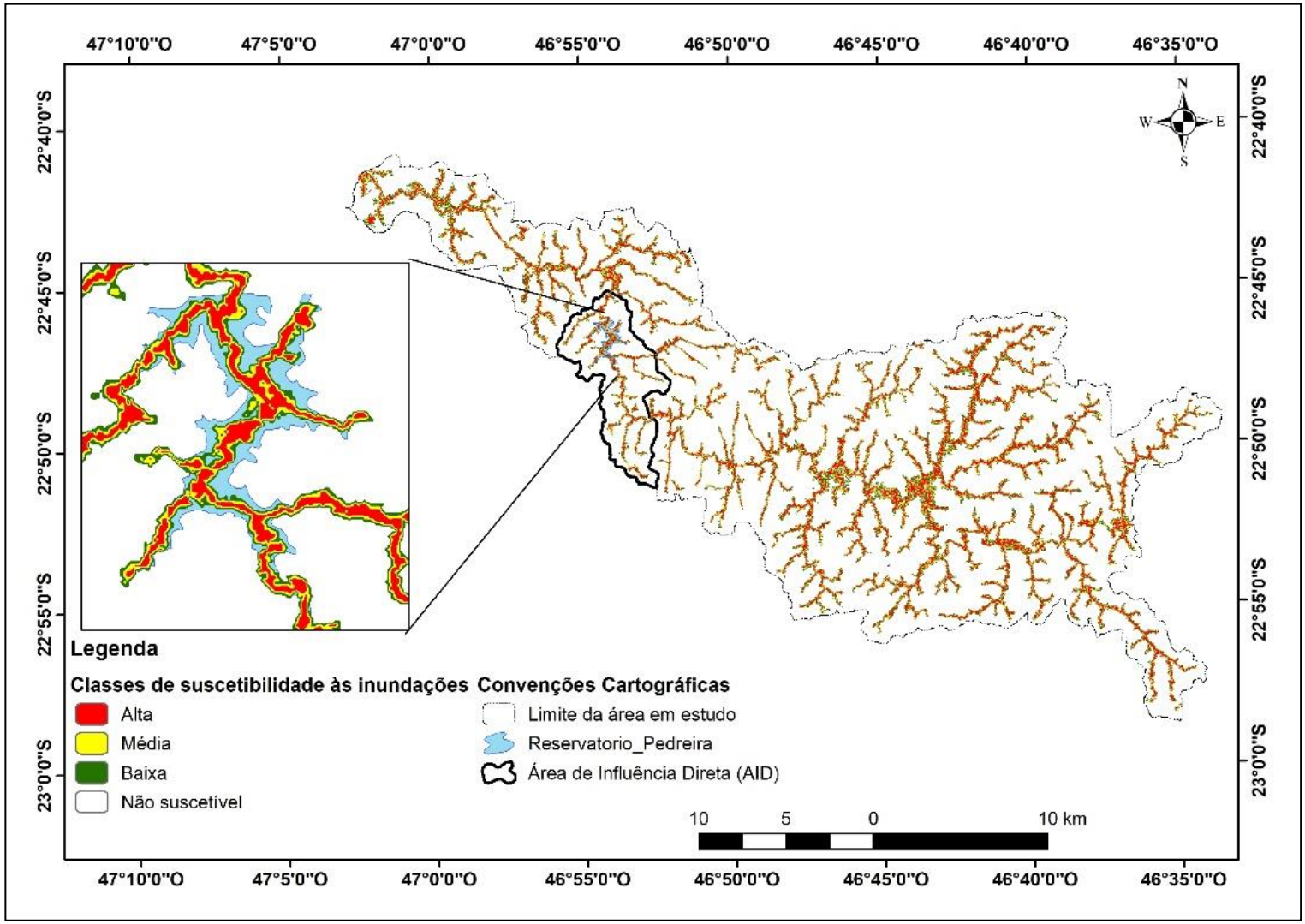
A partir da correlação entre a suscetibilidade às inundações, o mapeamento de uso e cobertura das terras e a área projetada para inundação na barragem, obtém-se uma leitura dos impactos acometidos no nível superficial, onde é possível prever os pontos do reservatório que podem sofrer uma sobrecarga em períodos com maior entrada de água em excesso fluindo na superfície, podendo ampliar a sua área de inundação e atingir novos tipos de uso e cobertura.

Figura 5.12 - Mapa de uso e cobertura das terras do médio curso da BH do rio Jaguari




Fonte: adaptada de Messias (2018).

Figura 5.13 - Mapa de suscetibilidade às inundações do médio curso da bacia hidrográfica do rio Jaguari




Fonte: elaborada pela autora.

## 5.3 Sistemas Antrópicos e o contexto socioterritorial

A interpretação dos Sistemas Antrópicos, representado espacialmente pelo Mapa de Uso e Cobertura da Terra (Figura 5.12) e sendo a segunda categoria dos Sistemas Ambientais, possui a finalidade de reconhecer o caráter de ocupação e a apropriação da natureza, para prosseguir com sua relação espacial com os Geossistemas através das Unidades da Paisagem. Conforme apresentado no referencial teórico deste trabalho, neste tópico serão analisados os processos do sistema antrópico ligados à população, urbanização, industrialização, agricultura, entre outras atividades e manifestações humanas encontradas na área de estudo. Para compreender a composição deste sistema, é necessário contextualizar historicamente a organização territorial presente na região do médio curso da bacia do rio Jaguari.

De maneira substancial, a partir século XIX, após o esgotamento do ciclo do ouro em Minas Gerais, o ciclo do café passou a dominar a economia da época e impulsionou o crescimento do interior de São Paulo, especialmente do Vale do Paraíba, da região de Campinas e da região de Jundiaí. Além da produção de café, a cana de açúcar aliada à construção da rede ferroviária paulista e ao fornecimento de energia elétrica foram os grandes propulsores da urbanização do interior do Estado, ampliando as populações dos aglomerados e gerando a necessidade de criação de unidades administrativas para gerenciar esses assentamentos (SÃO PAULO; DAEE, 2015). Desse modo, foram fundadas várias cidades da região, como Campinas em 1842 e Pedreira em 1906.

Com a crise do ciclo do café no início do século XX e diante das mudanças políticas e econômicas no cenário nacional, com a implantação do Estado Novo de Getúlio Vargas (1937 a 1945), o Brasil se aprofunda no processo de industrialização. Este processo impactou diretamente cidades como Campinas, Sumaré, Jundiaí e Bragança Paulista, que passaram a crescer rapidamente a partir de um novo perfil industrial, resultante de um movimento econômico de descentralização do polo industrial de São Paulo (SÃO PAULO; DAEE, 2015).

Através desse processo histórico, configurou-se a organização territorial atual do estado de São Paulo, dividida em 13 mesorregiões, ou Regiões Administrativas (RA). Dentre elas, está a RA de Campinas que engloba a Região Metropolitana de Campinas (RMC) e as Áreas Urbanas (AU) de Jundiaí e Piracicaba. Das cidades que estão presentes na bacia média do Rio Jaguari, as seguintes cidades fazem parte da RMC: Campinas, Jaguariúna, Pedreira e Morungaba e, exclusivamente da RA, Amparo, Tuiuti, Pinhalzinho e Bragança Paulista.

Embora a linha marcante da organização atual do território seja dada pela urbanização, a associação entre indústria e agricultura reforça a base agrícola, como pode ser observada no uso do solo. As classes ligadas ao setor rural de cultivos agrícolas, pastagens e silvicultura representam 46,3% da área total da BMJ (cerca de 252 km²) e são destinadas para a produção de cana-de-açúcar, pecuária (pastagens) e o reflorestamento de eucaliptos para a indústria de papel e celulose em Jundiaí (silviculturas), identificando a existência de zonas mais especializadas.

Na área urbana das cidades que pertencem a BMJ, são mais expressivos os índices demográficos, no qual a população mais numerosa corresponde ao município de Campinas, com população superior a 1 milhão de habitantes, e Tuiuti sendo o município menos populoso, com 6.439 habitantes, conforme os dados da Fundação SEADE de 2018, apresentados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - População e índice demográfico nas cidades da BMJ

| Cidades da BMJ | População | Densidade demográfica (hab/km²) |
|---|---|---|
| **Tuiuti** | 6.439 | 50,81 |
| **Morungaba** | 12.958 | 88,3 |
| **Pinhalzinho** | 14.433 | 93,4 |
| **Amparo** | 68.945 | 154,82 |
| **Bragança Paulista** | 160.840 | 313,79 |
| **Jaguariúna** | 53.018 | 374,98 |
| **Pedreira** | 45.618 | 419,21 |
| **Campinas** | 1.158.944 | 1.458,58 |

Fonte: Fundação SEADE (2018, n.p.).

Observa-se que Campinas também é a cidade que possui maior adensamento populacional, com 1.458 hab/km², justificado pelo eixo econômico que atrai populações vizinhas em busca de trabalho. De maneira objetiva, os altos índices de desenvolvimento humano municipais (IDH-M), composto pelos indicadores de renda, escolaridade e longevidade, demostram a capacidade de oferecer uma boa qualidade de vida para quem procura se estabelecer na região da BMJ. Na Tabela 5.6 são apresentados esses índices que variam de 0 a 1, em que quanto mais próximo do 1, maior o desenvolvimento humano.

Tabela 5.6 - Índices de Desenvolvimento Humano por Município da BMJ em 2010

| Cidades da BMJ | Renda | Longevidade | Escolaridade | IDH-M |
|---|---|---|---|---|
| **Tuiuti** | 0,70 | 0,87 | 0,63 | 0,73 |
| **Morungaba** | 0,73 | 0,80 | 0,63 | 0,71 |
| **Pinhalzinho** | 0,71 | 0,81 | 0,67 | 0,72 |
| **Amparo** | 0,78 | 0,87 | 0,71 | 0,78 |
| **Bragança Paulista** | 0,77 | 0,86 | 0,70 | 0,78 |
| **Jaguariúna** | 0,78 | 0,86 | 0,71 | 0,78 |
| **Pedreira** | 0,75 | 0,86 | 0,70 | 0,77 |
| **Campinas** | 0,83 | 0,86 | 0,73 | 0,80 |
| **Estado de SP** | 0,80 | 0,85 | 0,83 | 0,83 |
| **Brasil** | 0,75 | 0,85 | 0,74 | 0,78 |

Fonte: PNUD, FJP e IPEA (2010, n.p.).

A partir do IDH-M apresentado, observa-se que as condições de vida da população residente nas cidades da BMJ variam entre alto e muito alto desenvolvimento humano, sendo a longevidade o principal componente que eleva os índices em comparação com renda e escolaridade, e, novamente, Campinas lidera com o maior IDH-M, de 0,80.

Outro indicador que ajuda a analisar as condições de vida da população é o Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS), criado pela Fundação SEADE, que sintetiza a situação de cada município no que diz respeito às dimensões de riqueza, escolaridade e longevidade e, quando combinados, geram uma tipologia que classifica os municípios do estado de São Paulo em cinco grupos:

1. Dinâmicos: municípios que apresentaram níveis altos de riqueza e níveis altos e/ou médios de longevidade e de escolaridade.
2. Desiguais: municípios que apresentaram níveis altos de riqueza, mas com nível baixo de longevidade e/ou de escolaridade.
3. Equitativos: municípios que apresentaram níveis baixos de riqueza e níveis altos e/ou médios de longevidade e de escolaridade.
4. Transição: municípios que apresentaram níveis baixos de riqueza e nível baixo de longevidade ou de escolaridade.
5. Vulneráveis: municípios que apresentaram níveis baixos de riqueza, de longevidade e de escolaridade.

Em 2018, Amparo, Jaguariúna, Campinas e Bragança Paulista pertenciam ao Grupo 1; Morungaba ao Grupo 2; Pedreira e Pinhalzinho ao Grupo 3; e Tuiuti ao Grupo 5.

Como dito anteriormente, os municípios da região tiveram sua formação pautada centralmente pelas lavouras de cana, café e, posteriormente, pelo processo de industrialização, mas também pela expansão de serviços, com a implantação da malha ferroviária e da rede de iluminação pública. Esses aspectos ainda têm influência no perfil desses municípios e na geração de riquezas na região, e, por isso, são responsáveis pelos altos índices de desenvolvimento humano, que se desencadeiam nos valores do PIB (Produto Interno Bruto), conforme apresentado na Tabela 5.7, os valores do último PIB por municípios divulgado pelo IBGE em 2017.

Tabela 5.7 - Produto Interno Bruto a preços correntes nos municípios da BMJ em 2017.

| Unidades Territoriais | Valor do PIB (R$) | Participação no Estado de SP (%) | Representação do PIB por setores econômicos (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Agropecuária | Indústria | Serviços |
| **Estado de SP** | 2.119.854.035,00 | 100,00 | 1,72 | 17,86 | 56,49 |
| **Campinas** | 59.053.563,02 | 2,79 | 0,17 | 16,92 | 58,88 |
| **Pedreira** | 1.128.534,29 | 0,05 | 0,71 | 21,64 | 48,05 |
| **Jaguariúna** | 11.346.027,89 | 0,54 | 0,12 | 25,29 | 47,54 |
| **Bragança Paulista** | 5.672.442,62 | 0,27 | 0,90 | 24,91 | 51,76 |
| **Amparo** | 4.358.990,77 | 0,21 | 1,90 | 42,58 | 33,79 |
| **Pinhalzinho** | 250.266,08 | 0,01 | 14,63 | 8,08 | 49,62 |
| **Morungaba** | 424.901,11 | 0,02 | 4,43 | 31,41 | 34,52 |
| **Tuiuti** | 86.002,00 | 0,00 | 28,49 | 3,46 | 35,24 |
| **Total entre municípios da BMJ** | 82.320.727,78 | 3,88 | 0,41 | 20,08 | 55,17 |

Fonte: IBGE (2017, n.p.).

A diversificação dos setores de atividades econômicas levou o estado de São Paulo a uma dinâmica de desenvolvimento econômico ao longo da sua história. No início, se o setor primário (agropecuária) dominava o cenário e, posteriormente, o setor secundário (indústria), atualmente o setor dominante é o terciário (serviços), como pode ser observado nos dados do PIB. Tanto em relação ao estado de São Paulo, como para cada município e o seu total entre os municípios, o setor de serviços representa em média 50% do PIB, estando a frente dos outros números que representam a agropecuária e indústria, com exceção de Amparo, onde o setor industrial está à frente de serviços com 42,58%. Ainda, nota-se que depois do setor de serviços, a indústria é o setor que representa uma parte maior na economia em relação ao setor agropecuário, sendo esse o menor setor.

Comparando a representação dos setores nos valores do PIB com as taxas de uso e cobertura do solo, verifica-se que a extensão de ocupação no território não necessariamente

representa uma maior economia, como a agropecuária em que sua extensão ocupa a maior parte do território da BMJ, mas não representa a maior economia da área de estudo. O setor de que rende o maior PIB é o setor de serviços, que, por sua vez, está concentrado nas áreas urbanas, ocupando uma área menor no território da BMJ.

O crescimento do setor de serviços pode ser explicado pela rápida expansão urbana da região, onde os sistemas de engenharia que garantem a fluidez de produção, transportes e telecomunicação, oferecem uma demanda cada vez maior de consumo e prestação de serviços. Segundo Santos e Silveira (2001, p. 269), esse fenômeno é característico da Região Concentrada, onde "o meio-técnico-científico-informacional se implantou sobre um meio mecanizado, portador de um denso sistema de relações, devido, em parte, a uma urbanização importante, ao padrão de consumo das empresas e das famílias, a uma vida comercial mais intensa".

No caso dos municípios pertencentes a BMJ, a presença de um aeroporto internacional de cargas e passageiros, rodovias de grande porte, universidades e um polo tecnológico e industrial são infraestruturas que, para Santos e Silveira (2001), privilegiam as exportações, a competitividade, a circulação fluída, a mão de obra especializada e, consequentemente, um território mais custoso, que realizando a ponte entre o local e o global, torna-se referência em ciência, técnica e informação.

Além do avanço tecnológico e da modernização do setor de serviços impulsionarem a economia, ainda existem ramos no campo cultural que, como parte do sistema antrópico, contribuem para o desenvolvimento socioeconômico. Para preservar na memória as tradições da população migratória europeia que se estabeleceu na região ao longo da história, o turismo é uma das principais fontes de renda das cidades da BMJ. Um exemplo é o Circuito das Frutas, onde Morungaba representa uma das cidades que possui forte atuação no setor rural de fruticultura, mas que vem se fortalecendo no turismo rural, no qual exploram a própria vida rural, as paisagens naturais e realizam as festas tradicionais que atraem visitantes de diversos lugares. Ainda, há a cidade de Pedreira, conhecida como a cidade das porcelanas, e Jaguariúna, conhecida pelos festivais de rodeio.

As características da paisagem natural da região da BMJ também são um atrativo que movimenta o turismo da região, organizado por cidades que formam o Circuito das Águas Paulista, que entre elas estão Amparo, Jaguariúna e Pedreira. Nessas cidades, as estâncias possuem centros de lazer com infraestrutura hoteleira e de serviços aos moldes da cultura europeia, que permitem o turista desfrutar dos vales recobertos por vegetação nativa, cachoeiras e fontes de água mineral.

## 5.4 Unidades da Paisagem do médio curso da bacia hidrográfica do Rio Jaguari

Com a união dos principais tipos de morfoesculturas, solos e classes de uso e cobertura da terra, esse último representando pelos sistemas antrópicos, obteve-se a carta das Unidades da Paisagem do médio curso da bacia do Rio Jaguari, delimitado por 17 unidades (Figura 5.14).

A partir da análise do comportamento espacial das Unidades da Paisagem, observa-se a formação de quatro grupos segundo o padrão morfoescultural e pedológico: 1 – Planaltos e Argissolos; 2 – Planaltos e Cambissolos; 3 – Planaltos e Latossolos; 4 – Depressões Periféricas e Argissolos; além da unidade exclusiva de Planícies fluviais/Latossolos/Matas.

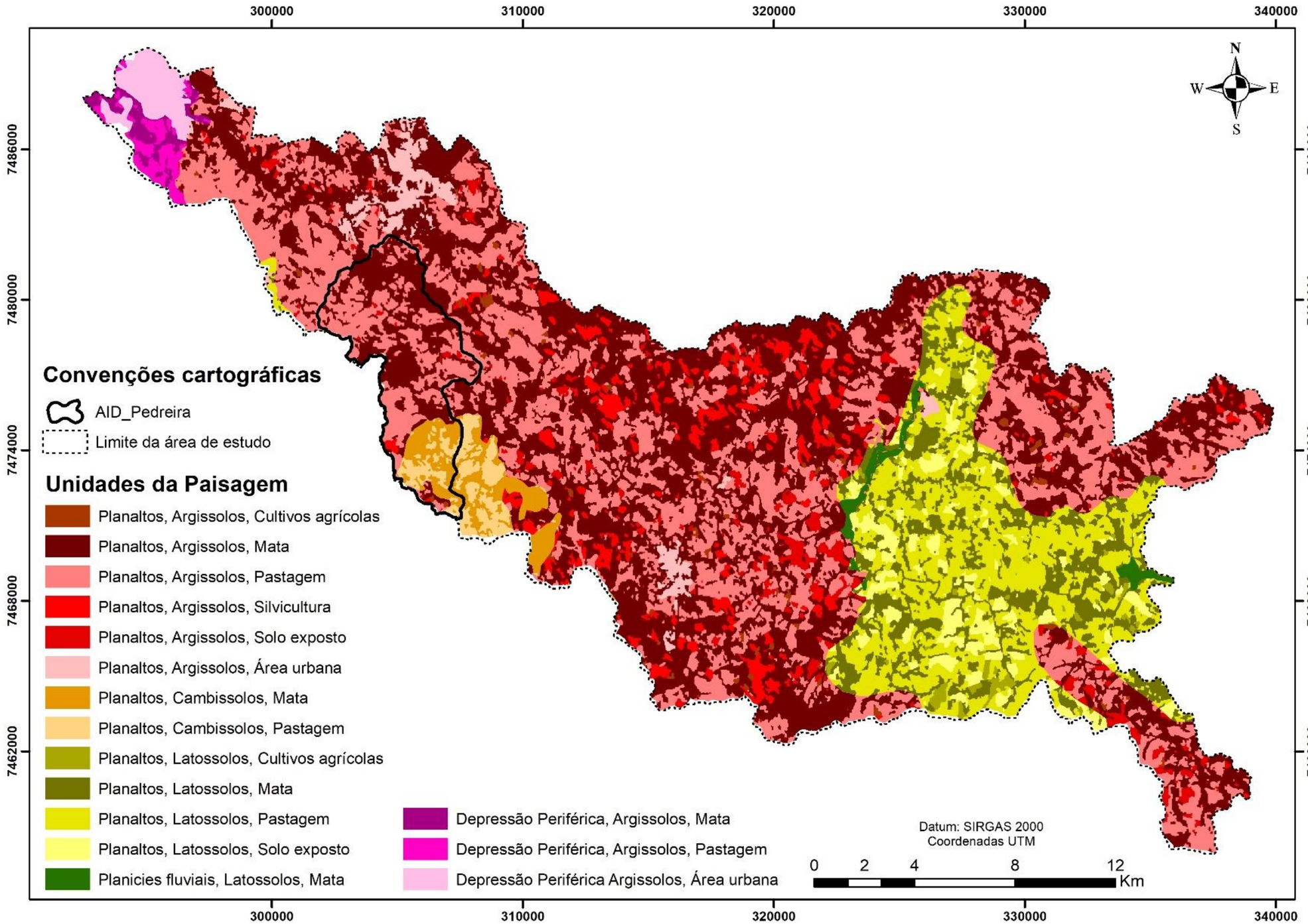
Na Tabela 5.8 estão discriminados a área de cada UP, onde se identifica os Planaltos/Argissolos/Matas como a maior unidade, com 179,91 km² e 34,3 % da área total, seguido de Planaltos/Argissolos/Pastagem com 147,73 km² (28,2%).

Tabela 5.8 - Extensão das Unidades da Paisagem do médio curso da BH do Rio Jaguari em km², em ordem decrescente.

| Morfoesculturas | Solos | Classes de Uso e Cobertura da terra | Área km² | Área % |
|---|---|---|---|---|
| Planaltos | Argissolos | Mata | 179,91 | 34,3 |
| Planaltos | Argissolos | Pastagem | 147,73 | 28,2 |
| Planaltos | Latossolos | Pastagem | 59,29 | 11,3 |
| Planaltos | Latossolos | Mata | 37,29 | 7,1 |
| Planaltos | Argissolos | Silvicultura | 20,72 | 4,0 |
| Planaltos | Latossolos | Solo exposto | 16,90 | 3,2 |
| Planaltos | Argissolos | Solo exposto | 12,68 | 2,4 |
| Planaltos | Cambissolos | Mata | 7,92 | 1,5 |
| Planaltos | Argissolos | Área urbana | 7,40 | 1,4 |
| Planaltos | Cambissolos | Pastagem | 7,27 | 1,4 |
| Planaltos | Argissolos | Mata | 5,04 | 1,0 |
| Depressão Periférica | Argissolos | Área urbana | 4,67 | 0,9 |
| Depressão Periférica | Argissolos | Pastagem | 3,77 | 0,7 |
| Planícies Fluviais | Latossolos | Mata | 3,49 | 0,7 |
| Depressão Periférica | Argissolos | Mata | 3,33 | 0,6 |
| Planaltos | Latossolos | Cultivos agrícolas | 3,29 | 0,6 |
| Planaltos | Argissolos | Cultivos agrícolas | 3,22 | 0,6 |

Fonte: elaborada pela autora.

Figura 5.14 - Mapa de Unidades da Paisagem do médio curso da BH do Rio Jaguari




Fonte: Ross e Moroz (1997), Rossi (2017) e Messias (2018). Elaborado pela autora.

Diante do limite da Área de Influência Direta da barragem Pedreira, verifica-se que as UP atingidas serão:

1 – Planaltos/Argissolos/Matas.

2 – Planaltos/Argissolos/Pastagem.

3 – Planaltos/Argissolos/Cultivos Agrícolas.

4 – Planaltos/Argissolos/Silvicultura.

5 – Planaltos/Argissolos/Solo Exposto.

6 – Planaltos/Cambissolos/Matas.

7 – Planaltos/Cambissolos/Pastagem.

Com esse resultado, um dos motivos pela escolha dessa área para instalação da barragem é a baixa ocupação antrópica dessas unidades, estando relacionadas às áreas de pastagem e cultivo agrícola, sem nenhuma área urbana. Em contrapartida, fragmentos florestais serão os mais atingidos. Além disso, também verifica-se que, estando em uma área de Planaltos, a alta densidade fluvial e os vales entalhados contribuem para o volume e energia das águas a preencherem o reservatório.

Para aprofundar as análises a respeito do estado atual da área de estudo, a partir das Unidades da Paisagem serão definidas, conforme proposto na metodologia deste trabalho, as fragilidades ambientais através das Unidades Ecodinâmicas da paisagem, assim, verificando o comportamento sistêmico segundo o modelo de processo-resposta.

## 5.5 Fragilidade Ambiental da AID da Barragem Pedreira

De acordo com o referencial teórico deste trabalho salientado por Ross (1994), um estudo integrado da paisagem não deve se limitar por uma leitura estática do ambiente natural, mas compreendê-lo em constante processo de transformação, seja de forma natural ou acarretado por ações humanas.

Nesse sentido, a fragilidade ambiental de uma área pode ser determinada por esses dois tipos de processos. De um lado, a fragilidade potencial, ou a Unidade Ecodinâmica Estável, é onde as trocas de matéria e energia, advindas da energia solar da atmosfera e da energia do interior da terra na litosfera, comandam de forma natural os processos envolvidos na estrutura sistêmica. Mas, “aliado a esses processos naturais, é cada vez mais significativa a ação humana, que, ao se apropriar do território e de seus recursos naturais, causa grandes alterações na paisagem natural com um ritmo muito mais intenso que aquele que normalmente a natureza

imprime" (ROSS, 1994, p. 64), e sendo assim, a fragilidade emergente, ou Unidade Ecodinâmica Instável, torna-se perceptível e deve ser considerada nas análises ambientais integradas.

Através da análise empírica, a identificação das fragilidades potenciais e emergentes da AID da barragem Pedreira se fundamentou no conceito de Unidades Ecodinâmicas preconizados por Tricart (1977) e sobre os critérios de mapeamento de Ross (1994).

Entre os produtos intermediários que constituíram as etapas desse mapeamento, os primeiros foram os mapas de curvatura e declividade, que combinados resultaram no mapa representativo do relevo. Neste estudo, na elaboração do mapa de curvatura foram adotadas as seguintes classificações: vertentes convexas, para os intervalos de curvatura de -3,45 a -0,01; vertentes côncavas, para os intervalos de 0,01 a 3,09 e vertentes retilíneas para os intervalos de -0,01 a 0,01. As Tabelas 5.9 e 5.10 expressam as classes e categorizações adotadas para curvatura e declividade e a Figura 5.15 os respectivos mapas. A Figura 5.16 mostra o mapa resultante da sobreposição ponderada dos mapas de curvatura e declividade classificados de acordo com as categorias de fragilidade, oferecendo um resultado intermediário dos graus de fragilidade segundo as variáveis geomorfológicas.

Tabela 5.9 - Classes e reclassificação do Mapa de Curvatura

| **Classes de curvatura** | **Graus de Fragilidade** | **Categorias** |
|---|---|---|
| Retilíneo | Média | 3 |
| Convexa | Forte | 4 |
| Côncava | Muito Forte | 5 |

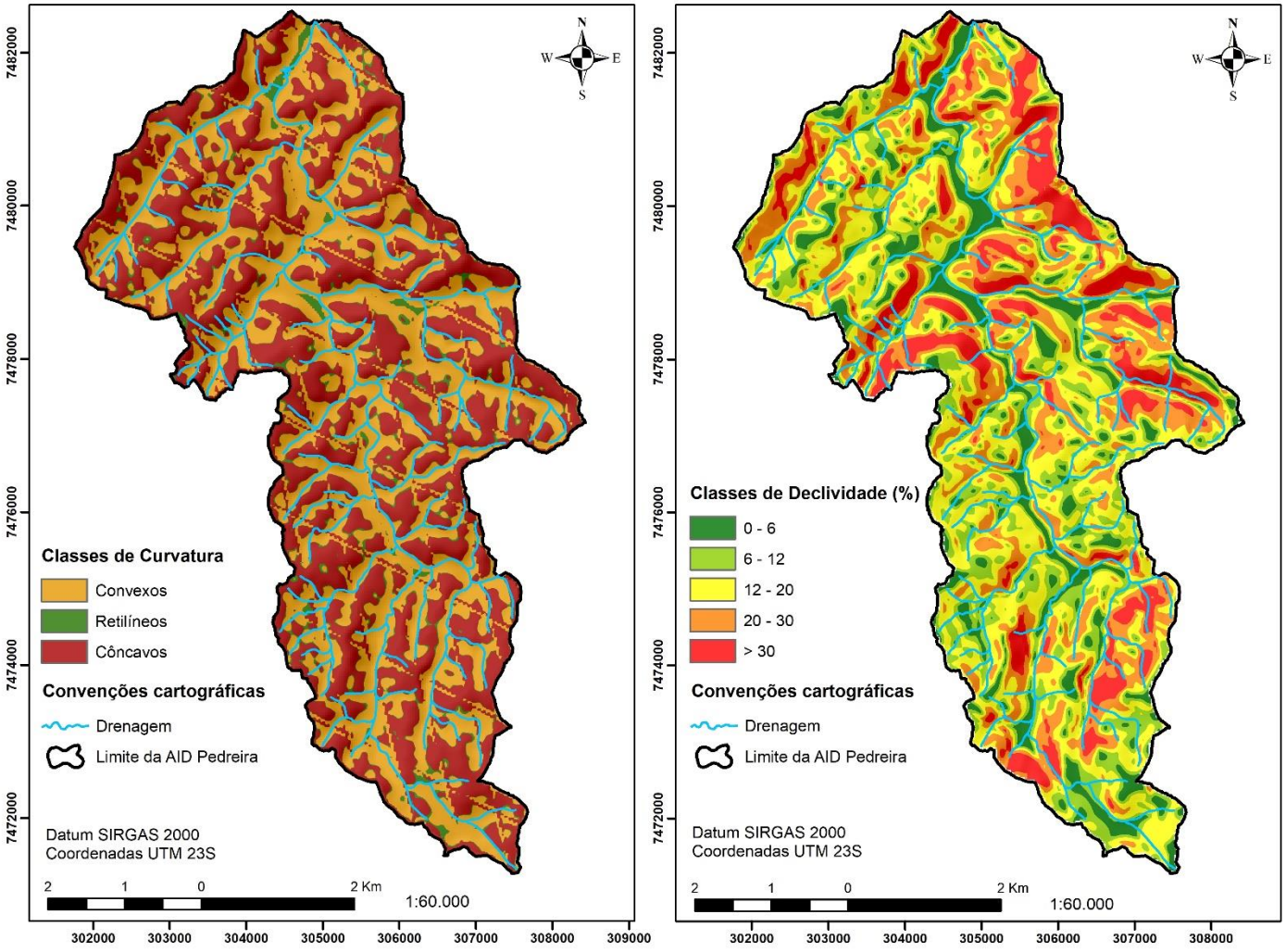
Fonte: Ferreira *et al.* (2016, p. 50).

Tabela 5.10 - Classes e reclassificação do Mapa de Declividade

| **Classes de declive (%)** | **Graus de Fragilidade** | **Categorias** |
|---|---|---|
| 0 - 6 | Muito Fraca | 1 |
| 6 – 12 | Fraca | 2 |
| 12 – 20 | Média | 3 |
| 20 – 30 | Forte | 4 |
| Acima de 30 | Muito Forte | 5 |

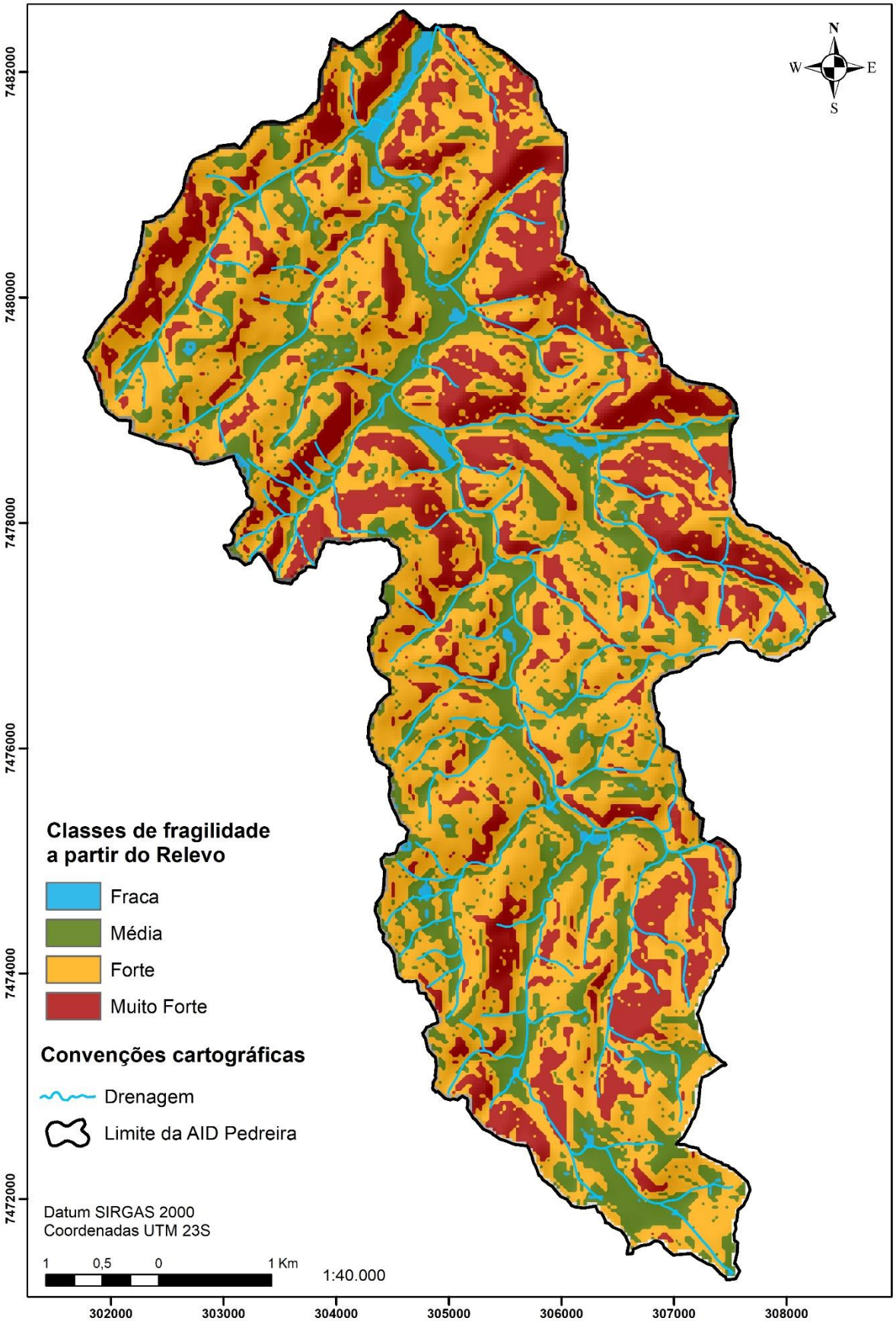
Fonte: Ross (1994, p. 66).

Figura 5.15 - Mapas de Curvatura e Declividade na AID da barragem Pedreira




Fonte: São Paulo (2013a). Elaborado pela autora.

Figura 5.16 - Sobreposição ponderada de curvatura e declividade a partir dos graus de fragilidade




Fonte: São Paulo (2013a). Elaborado pela autora.

Assim, observa-se que a maior área de fragilidade com as variáveis da curvatura e declividade do relevo se apresenta com índice Forte (17,5 km²), ocorrendo principalmente nas áreas de curvaturas convexas e nas declividades de 20 a 30%. Associado às áreas de morro estão presentes as áreas de fragilidade Muito Forte (8 km²), onde ocorrem as curvaturas côncavas e declividades maiores que 30%. Por apresentarem elevada declividade das vertentes, esses locais são propícios à ocorrência de processos erosivos.

Em menor área se encontram as fragilidades de índice médio (7 km²) e fraco (0,46 km²), associadas às áreas de planície fluvial (0 a 6% de declividade) e nas áreas de colinas (6 a 12% de declividade), com curvaturas retilíneas e convexas. Desse modo, elas são áreas mais propícias à inundação e ao acúmulo de sedimentos, e podem se tornam mais frágeis, estando sujeitas à processos erosivos das margens fluviais quando desprotegidas de vegetação.

De posse do resultado da síntese de fragilidade do relevo, classificou-se os graus de fragilidade dos tipos de solo e das classes de uso e cobertura da terra presentes na AID da Barragem Pedreira, conforme apresentam as Tabelas 5.11 e 5.12 e seus respectivos mapas na Figura 5.17.

Tabela 5.11 - Graus de fragilidade de acordo com os tipos de solos

| **Classes de solo** | **Graus de Fragilidade** | **Categorias** |
|---|---|---|
| Área urbana (solo não identificado) | Muito Fraca | 1 |
| Argissolo Vermelho-Amarelo, textura média/argilosa | Média | 3 |
| Cambissolos | Forte | 4 |
| Argissolo cascalhentos e Neossolos Litólicos. | Muito Forte | 5 |

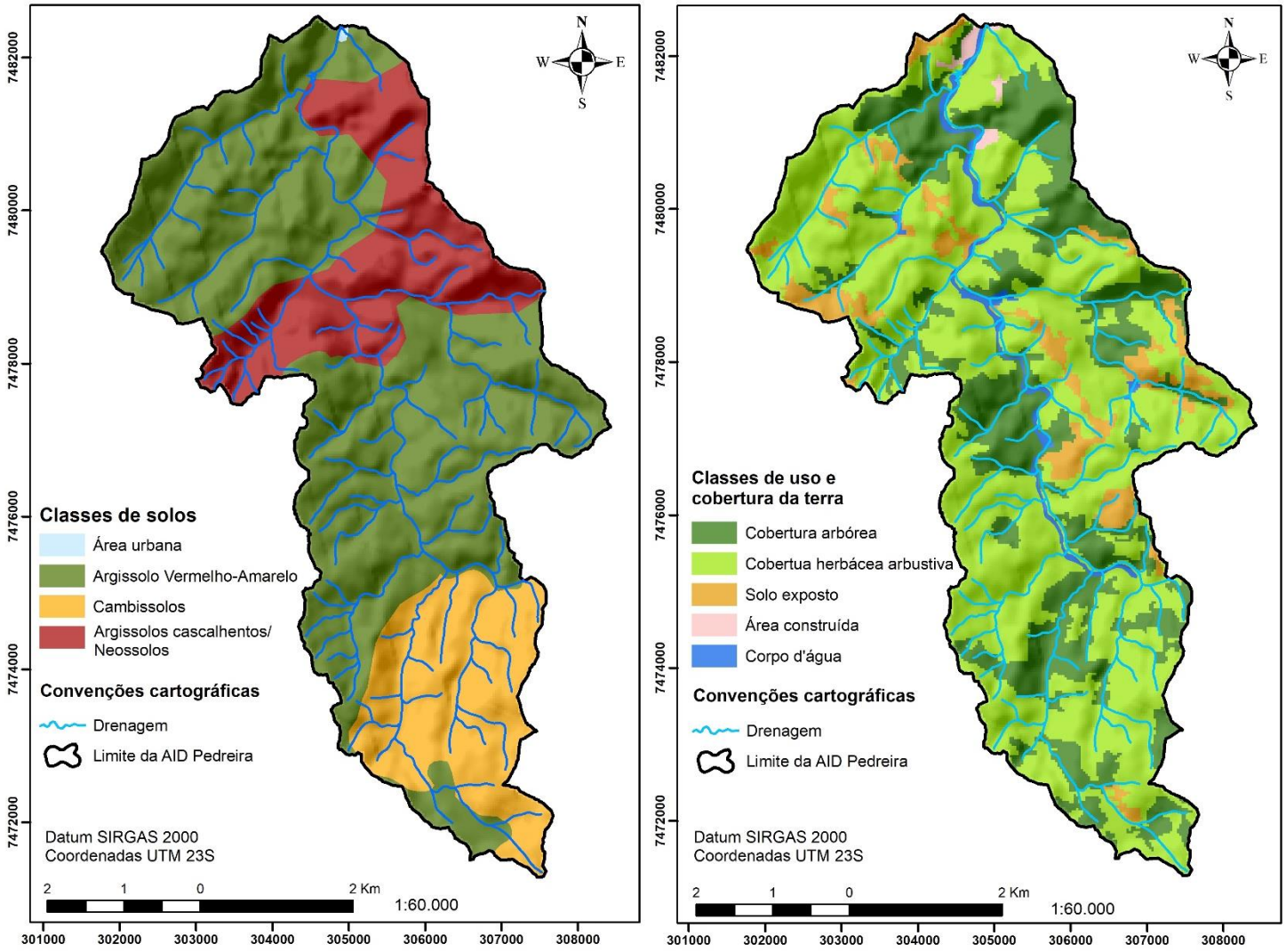
Fonte: adaptada de Ross (1994), Embrapa (2006) e Rossi (2017).

Tabela 5.12 - Graus de fragilidade conforme o tipo de uso e cobertura da terra

| **Classes de Uso e Cobertura** | **Graus de Fragilidade** | **Categorias** |
|---|---|---|
| Cobertura arbórea | Muito Fraca | 1 |
| Cobertura herbácea arbustiva | Fraca | 2 |
| Solo exposto / área construída | Forte | 4 |
| Corpo d'água | Muito Forte | 5 |

Fonte: adaptada de Ross (1994), Rossi (2017) e Ferreira *et al.* (2016).

Figura 5.17 - Mapas de solo e uso e cobertura da terra na AID da barragem Pedreira



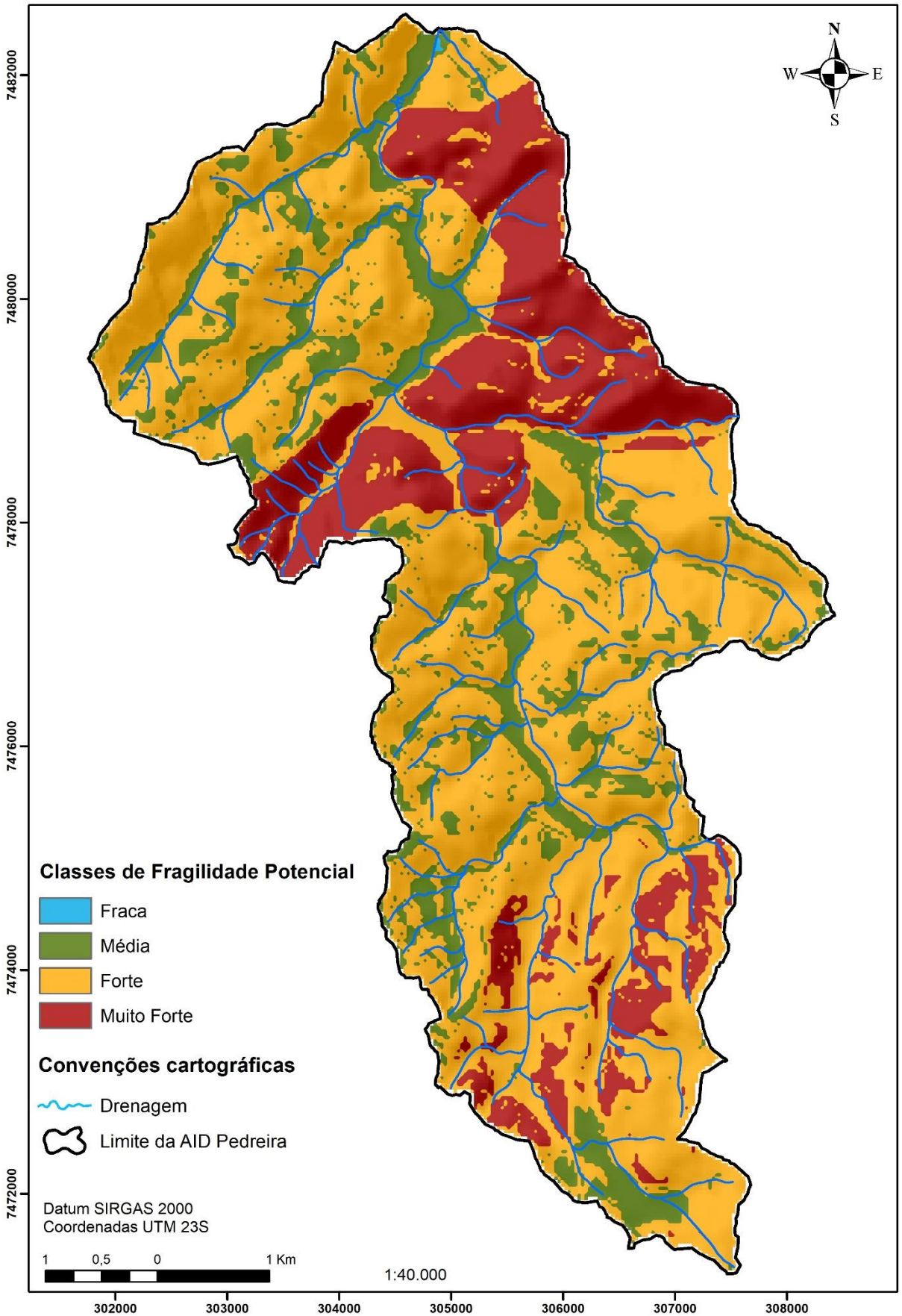

Fonte: Rossi (2017) e Messias (2018). Elaborado pela autora.

Pelo mapa de solos se verifica a predominância dos Argissolos Vermelho-Amarelo classificados com fragilidade Média, segundo Ross (1994), em razão da constante ocorrência dos processos de morfogênese e pedogênese, tornando-os mais profundos e argilosos, associados aos relevos de encostas mais suaves.

Em seguida, os Cambissolos foram classificados em grau de fragilidade forte e os Argissolos cascalhentos/Neossolos com fragilidade Muito Forte. São associações que ocorrem em áreas de morros e montanhas, onde há declives acentuados com relevos ondulados e forte ondulados. De acordo com Rossi (2017) são solos que variam do pouco profundo ao raso, e, por isso, segundo Guerra e Botelho (1998), os mais rasos tendem a ser mais suscetíveis à erosão, devido à declividade do terreno e da presença de camada impermeável, representada pelo substrato rochoso próximo da superfície, como no caso do Complexo do Embasamento Cristalino.

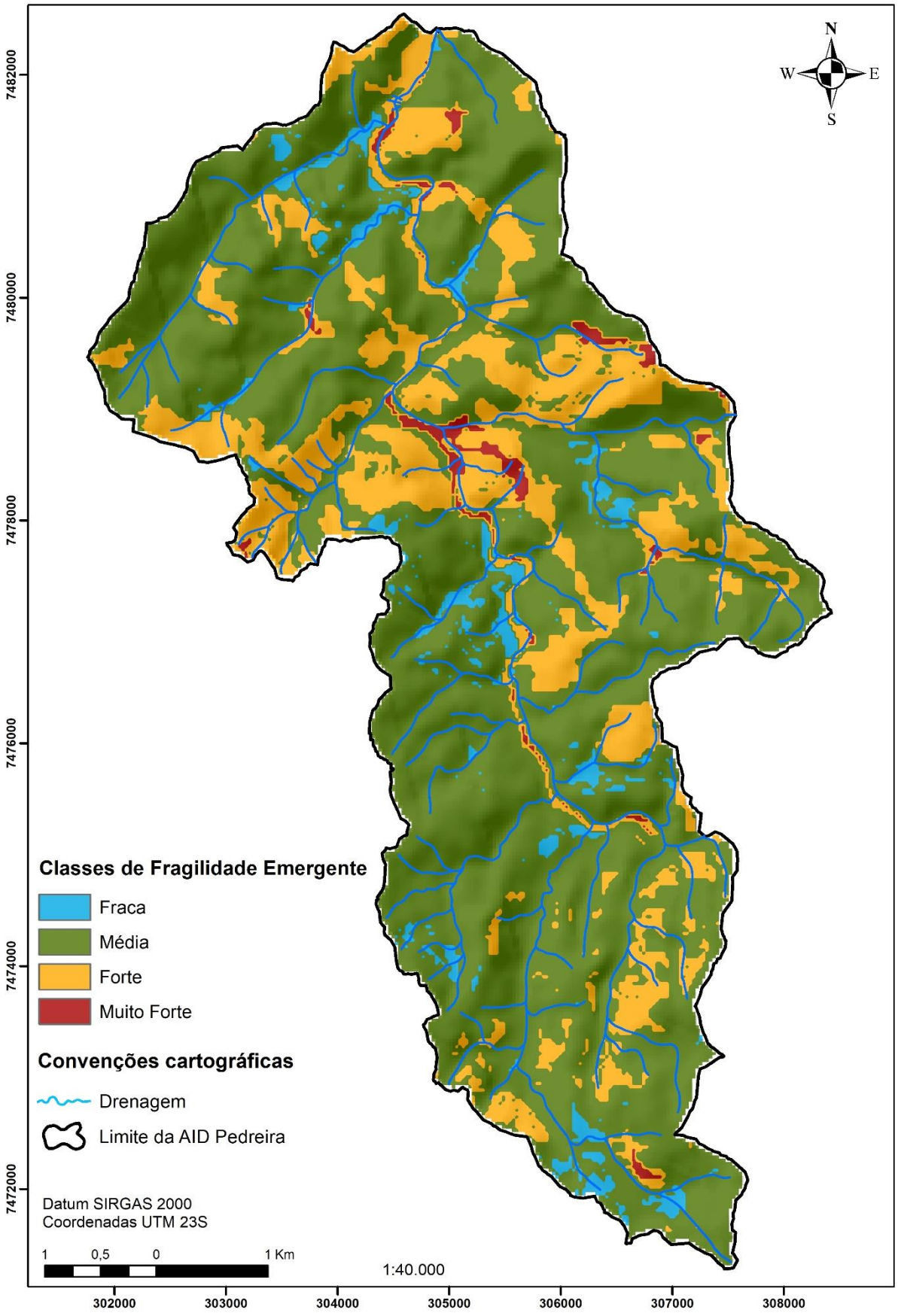
Além das características morfológicas e pedogênicas, a fragilidade ambiental também é afetada pelo grau de proteção existente na superfície, representado pelo mapa de uso e cobertura da terra. Na maior área, verifica-se a presença da cobertura herbácea arbustiva, classificada em grau fraco de fragilidade e, posteriormente, a cobertura arbórea ocupa a segunda maior área, com grau de fragilidade muito fraco. Isso significa que, pelos critérios de cobertura superficial, a AID possui alto grau de proteção aos processos erosivos, no entanto, a partir da sobreposição das demais variáveis analisadas que é possível auferir essa capacidade com maior precisão. Desta maneira, as Figuras 5.18 e 5.19 apresentam respectivamente: a combinação do Mapa de Fragilidade do Relevo com Mapa de Solos, resultando no Mapa de Fragilidade Potencial; e a combinação deste último com o Mapa de Uso e Cobertura da Terra, resultando na síntese do Mapa de Fragilidade Ambiental.

Figura 5.18 - Mapa de Fragilidade Potencial na AID da barragem Pedreira




Fonte: Ross (1994), São Paulo (2013a) e Rossi (2017). Elaborado pela autora.

Figura 5.19 - Mapa da Fragilidade Ambiental na AID da barragem Pedreira




Fonte: Ross (1994), São Paulo (2013a), Rossi (2017) e Messias (2018). Elaborado pela autora.

O Mapa de Fragilidade Potencial (Figura 5.18) é a síntese da fragilidade natural dos componentes do geossistema, representado pelas feições morfológicas e as características pedogenéticas, que são resultado da dinâmica interna e externa da ação físico-natural.

Neste mapa, verificou-se o predomínio da fragilidade potencial forte em 20,4 km² da área de estudo, sendo essas áreas mais vulneráveis aos processos de erosão e impróprias para uso antrópico. A ocorrência da fragilidade potencial muito forte é a segunda mais encontrada, com 7,4 km² da área de estudo, aumentando a vulnerabilidade. Ela, por sua vez, ocorre principalmente nas áreas de Argissolo cascalhento/Neossolo e Cambissolos e nas declividades mais acentuadas, que também são mais frágeis. Em terceiro lugar, a fragilidade potencial média ocupa uma área de 5,5 km² e está associada, principalmente, às áreas de declividade menos acentuada, às curvaturas convexas e aos Argissolos vermelho-amarelos. E em menor área se encontra a fragilidade potencial fraca, com menos de 1 km² presente na parte extrema ao norte da AID, onde a área urbana não determina o tipo de solo encontrado.

No Mapa de Fragilidade Ambiental (Figura 5.19), na dimensão dos sistemas ambientais, é possível observar a interferência do sistema antrópico sobre o sistema físico-natural a partir da apropriação do homem pelo espaço.

Os resultados deste mapa mostram que há predominância da fragilidade média na área estudada, com extensão de 24,8 km². Embora nenhum tipo de uso e cobertura da terra tenham sido classificados em grau de fragilidade média, a sobreposição ponderada mostrou um equilíbrio entre o resultado da fragilidade potencial de maioria forte a muito forte, com o resultado da classificação da fragilidade do uso e cobertura de maioria fraco a muito fraco. Isso significa que apesar da área ser potencialmente frágil, a presença de cobertura arbórea e herbácea diminui sua fragilidade, tornando-a média.

Nesse contexto, pode-se afirmar que o resultado da fragilidade ambiental média é coerente com a realidade antrópica da área de estudo, visto que na caracterização das Unidades da Paisagem, essas áreas de cobertura herbácea estão relacionadas ao uso de pastagem e de cultivos agrícolas. De acordo com Ross (1994), as pastagens possuem médio grau de proteção ao solo e os cultivos agrícolas, por sua vez, baixo grau de proteção. Em áreas de pastagem, o pisoteio do gado pode acarretar ou intensificar processos erosivos, como rastejo e compactação do solo.

Outra classe de fragilidade ambiental relevante é a forte (6,8 km²), que ocorre em grande parte nos locais de fragilidade potencial muito forte e forte, associados às áreas de pastagens, culturas e solo exposto. Essas áreas são vulneráveis à perda de material do solo e a

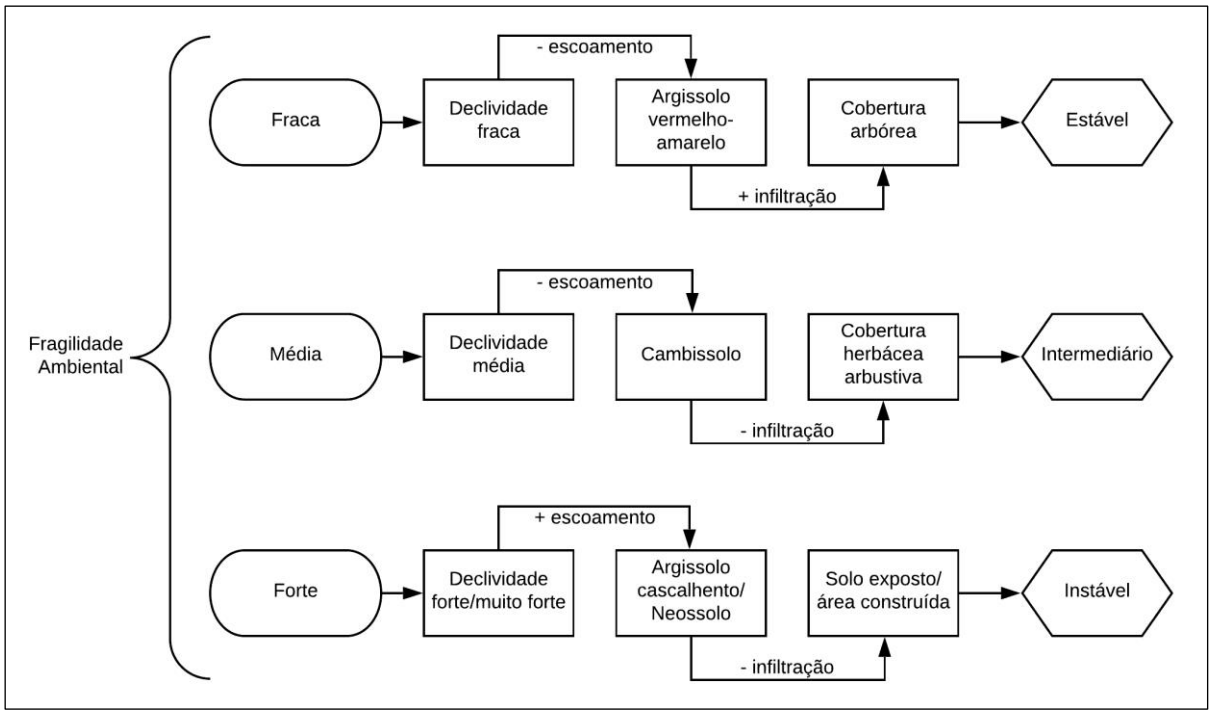
formação de processos erosivos, sendo que muitas delas apresentam altas declividades, solos com alta erodibilidade ou ausência de cobertura vegetal.

As áreas de fragilidade ambiental fraca (1,2 km²) estão em grande parte relacionadas às áreas de baixas declividades e curvaturas convexas, ou seja, nas áreas de planície fluvial cobertas por matas ciliares, que apresentam maior proteção do solo e do entorno dos cursos d'água, sendo áreas de preservação permanente.

A classe de fragilidade muito forte não possui grande expressividade, com apenas 0,5 km². Encontra-se em áreas associadas aos corpos d'água e pequenas áreas de declividade acentuada e descobertas de vegetação.

Tendo em vista a AID como um sistema aberto e a análise processo-resposta, composta pelo sistema morfológico (caracterizado pelos sistemas ambientais) e pelo sistema em sequência, a Figura 5.20 apresenta o funcionamento deste sistema, com a finalidade de sintetizar, na perspectiva da Ecodinâmica da Paisagem, os processos de capacidade de infiltração e escoamento superficial que resultam nas classes de estabilidade estável, intermediária e instável.

Figura 5.20 - Sistema processo-reposta da Ecodinâmica da Paisagem da área de estudo




Fonte: adaptada de Ross (1994).

## 5.6 Áreas de Preservação Permanente na AID da Barragem Pedreira

De acordo com o novo Código Florestal brasileiro (Lei nº 12.651/2012), as Áreas de Preservação Permanente (APP) são áreas "[...] cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas" (BRASIL, 2012, art. 3, inciso II). Segundo Skorupa (2003), o conceito de APP emerge do reconhecimento da importância da manutenção da vegetação de determinadas áreas, as quais ocupam porções particulares de uma propriedade, abrangem comunidades e torna a sociedade responsável pela preservação da natureza enquanto bem comum.

A AID está presente na zona rural dos municípios de Campinas e Pedreira, por esse motivo, as APPs mapeadas na área de estudo são comumente encontradas no ambiente rural e nelas é possível apontar uma série de benefícios ambientais decorrentes da manutenção dessas áreas. De acordo com Skorupa (2003), esses benefícios estão relacionados aos componentes físicos do geossistema; o segundo, com relação aos serviços ecológicos prestados pela flora existente, incluindo todas as associações por ela proporcionada com os componentes bióticos e abióticos do ecossistema. Os resultados obtidos serão apresentados ressaltando a importância das APPs no quesito do geossistema.

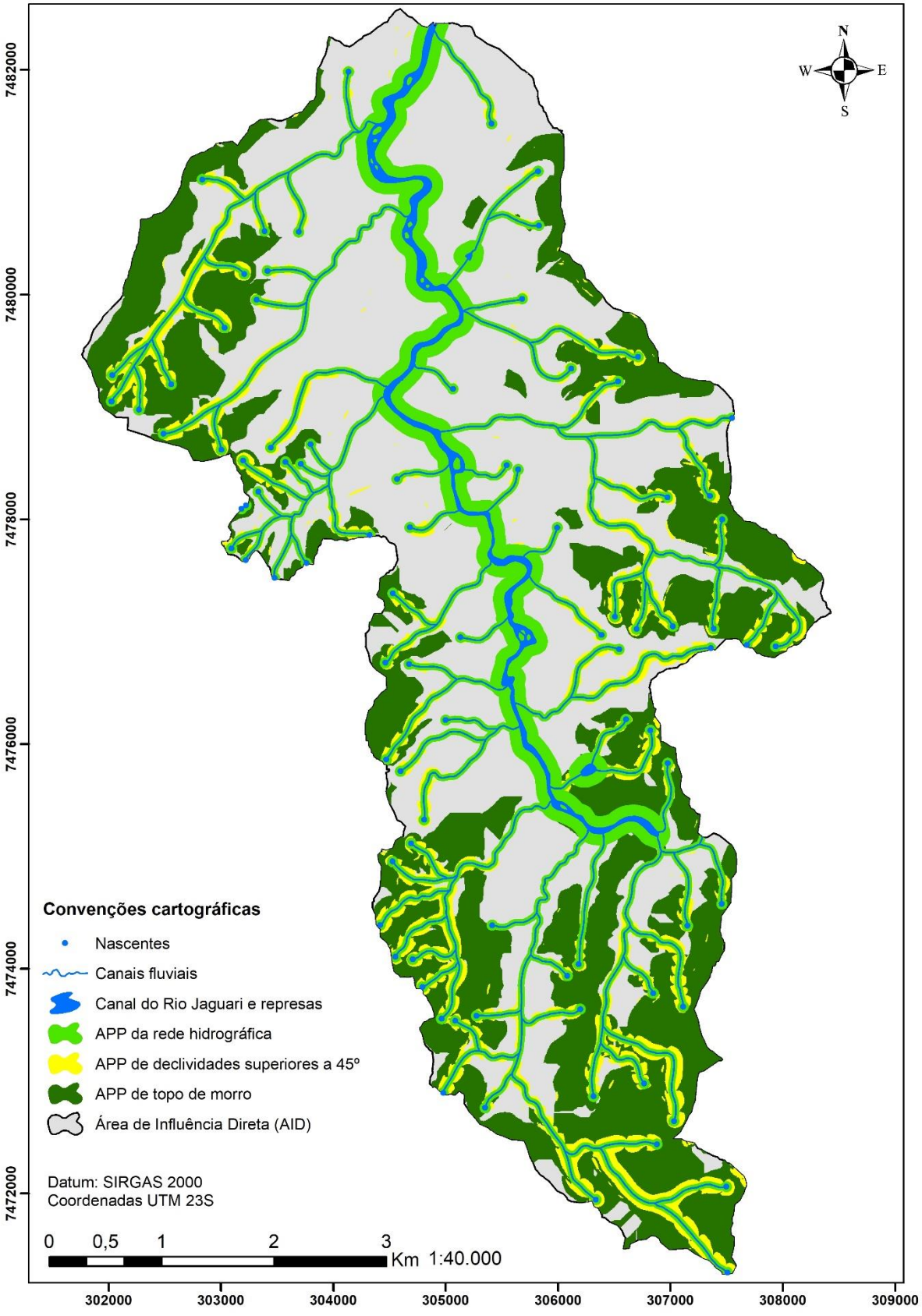
A Tabela 5.13 e a Figura 5.21 mostram o resultado das APPs relacionadas à rede hidrográfica (nascentes, canais fluviais e represas), às declividades superiores a 45º e aos topos de morro, considerando a área total das APP em relação ao total de APP e ao total da área de estudo.

Tabela 5.13 - Total de áreas ocupadas pelas APPs em quilômetros e porcentagem

| APPs | Características | Área (km²) | Área em relação à área total de APP (%) | Área em relação à área total de estudo (%) |
|---|---|---|---|---|
| Rede hidrográfica | Raio de 50m para nascentes; buffer de 30m para canais tributários menores de 10m de largura; buffer de 100m para o canal principal e represas de 50 a 200 metros | 7,63 | 32,49 | 22,20 |
| Declividade | Acima de 45° | 5,06 | 21,55 | 14,73 |
| Topos de morro | Terço superior de morro | 10,79 | 45,96 | 31,41 |
| TOTAL | Sem sobreposições | 23,44 | 100 | 68,35 |

Fonte: elaborada pela autora.

Figura 5.21 - APPs na área de estudo (AID barragem Pedreira)




Fonte: IGC (1979) e São Paulo (2014). Elaborado pela autora.

A área ocupada por APPs da rede hidrográfica é de 7,63 km², o que representa 22,2% em relação à área total da AID. Para compreender melhor a atuação desse tipo de APP no geossistema, Skorupa (2003, p. 2-3) considera que:

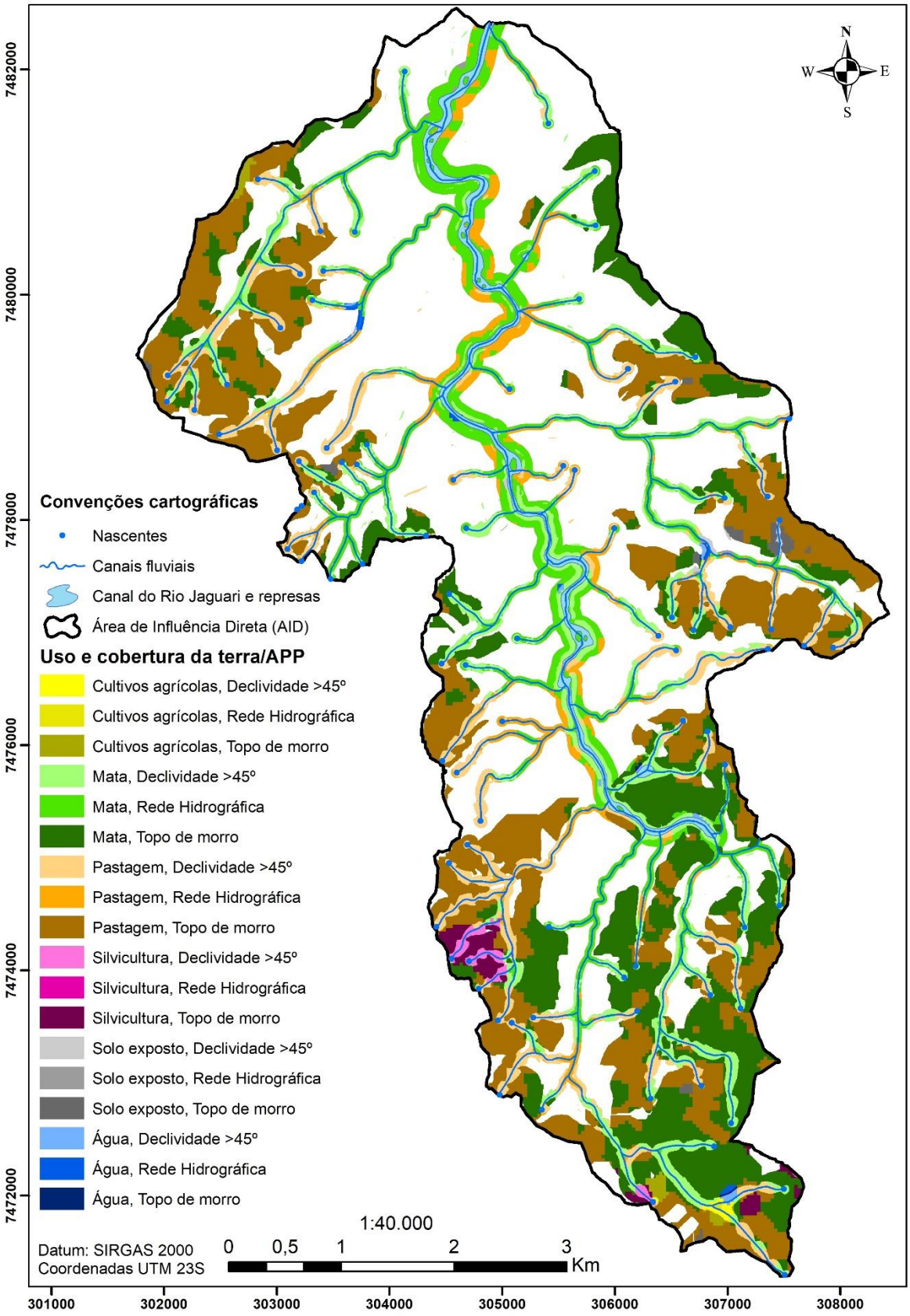
> Nas áreas de nascentes, a vegetação atua como um amortecedor das chuvas, evitando o seu impacto direto sobre o solo e a sua paulatina compactação. Permite, pois, juntamente com toda a massa de raízes das plantas, que o solo permaneça poroso e capaz de absorver a água das chuvas, alimentando os lençóis freáticos; por sua vez, evita que o escoamento superficial excessivo de água carregue partículas de solo e resíduos tóxicos provenientes das atividades agrícolas para o leito dos cursos d'água, poluindo-os e assoreando-os;
> Nas margens de cursos d'água ou reservatórios, garante a estabilização de suas margens evitando que o seu solo seja levado diretamente para o leito dos cursos; atuando como um filtro ou como um "sistema tampão".

As declividades superiores a 45º são consideradas as encostas mais acentuadas no relevo, atribuído ao embasamento cristalino que oferece um relevo consideravelmente acidentado e elevado. Com isso, as APPs recobertas de vegetação promovem "a estabilidade do solo pelo emaranhado de raízes das plantas, evitando sua perda por erosão e protegendo as partes mais baixas do terreno, como as estradas e os cursos d'água" (SKORUPA, 2003, p. 2). A área ocupada por essas APPs é de 5,06 km² e corresponde a 14,73% da AID, sendo a menor APP da área de estudo.

As APPs de topo de morro ocupam a maior extensão na área de estudo, cerca de 10,79 km², que corresponde a 31,41% da área total, e estão também associadas às características do relevo acentuado e vales entalhados. Na Figura 5.21, verifica-se que a maior parte das nascentes estão localizadas nas APPs de topos de morro, aumentando assim a proteção das áreas de recarga dos mananciais.

No geral, as APPs recobertas de vegetação possuem o papel de realizar o controle hidrológico de uma bacia hidrográfica, regulando o fluxo de água superficial e subsuperficial, e assim do lençol freático, além de evitar ou estabilizar os processos erosivos. Portanto, a falta de manutenção das APPs pode afetar diretamente a qualidade e quantidade de água disponível em uma bacia, gerando danos ambientais, provocados principalmente por atividades antrópicas, como a expansão de áreas urbanas, agrícolas e pecuárias. A Figura 5.22 mostra as classes de uso e cobertura da terra localizadas nas áreas de APPs da AID da barragem Pedreira.

Figura 5.22 - Mapa de conflito do uso e cobertura da terra de acordo com os tipos de APPs da AID da barragem Pedreira




Fonte: adaptada de Messias (2018), São Paulo (2014) e IGC (1979).

Tabela 5.14 - Classificação de áreas em km² de classes de uso e cobertura da terra por tipo de APP.

| Classificação | APP | Classes de uso e cobertura da terra | Área (km²) | Área (%) |
|---|---|---|---|---|
| **1º** | Topo de morro | Pastagem | 5,99 | 25,5 |
| **2º** | Rede Hidrográfica | Mata | 4,95 | 21,1 |
| **3º** | Topo de morro | Mata | 4,38 | 18,7 |
| **4º** | Declividade >45º | Mata | 2,57 | 10,9 |
| **5º** | Rede Hidrográfica | Pastagem | 2,46 | 10,5 |
| **6º** | Declividade >45º | Pastagem | 2,24 | 9,6 |
| **7º** | Topo de morro | Silvicultura | 0,20 | 0,8 |
| **8º** | Declividade >45º | Silvicultura | 0,14 | 0,6 |
| **9º** | Topo de morro | Solo exposto | 0,10 | 0,4 |
| **10º** | Rede Hidrográfica | Silvicultura | 0,08 | 0,3 |
| **11º** | Topo de morro | Cultivos agrícolas | 0,08 | 0,3 |
| **12º** | Rede Hidrográfica | Água | 0,07 | 0,3 |
| **13º** | Rede Hidrográfica | Solo exposto | 0,05 | 0,2 |
| **14º** | Declividade >45º | Solo exposto | 0,04 | 0,2 |
| **15º** | Declividade >45º | Cultivos agrícolas | 0,04 | 0,2 |
| **16º** | Declividade >45º | Água | 0,03 | 0,1 |
| **17º** | Rede Hidrográfica | Cultivos agrícolas | 0,02 | 0,1 |
| **18º** | Topo de morro | Água | 0,01 | 0,0 |

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 5.15 - Classes de uso e cobertura da terra na área total das APPs.

| Classificação | Classes de uso e cobertura da terra | Área (km²) | Área (%) |
|---|---|---|---|
| **1º** | Mata | 9,54 | 50,3 |
| **2º** | Pastagem | 8,79 | 46,4 |
| **3º** | Silvicultura | 0,29 | 1,5 |
| **4º** | Solo exposto | 0,15 | 0,8 |
| **5º** | Cultivos agrícolas | 0,11 | 0,6 |
| **6º** | Água | 0,08 | 0,4 |

Fonte: elaborada pela autora.

Com a análise do mapa (Figura 5.22) e da Tabela 5.14, observa-se que foram geradas 18 unidades de APPs classificadas segundo o tipo e a classe de uso e cobertura presente em sua área, entre elas, as seis primeiras unidades são maiores que 2 km², enquanto o restante possui menos que 0,2 km². A maior unidade é a presença de pastagem em topos de morros, correspondente a 5,99 km² em sua APP, seguido pela presença de matas em APPs da rede hidrográfica (4,95 km²), topo de morro (4,38 km²) e declividades superiores a 45º (2,57 km²). As demais ocupações de pastagens estão nas APPs da rede hidrográfica (2,46 km²) e declividades superiores a 45º (2,24 km²).

De acordo com a Tabela 5.15, metade das APPs da AID são recobertas por matas (cerca de 50,3%), enquanto a segunda maior parte é ocupada por pastagens (46,4%), seguida

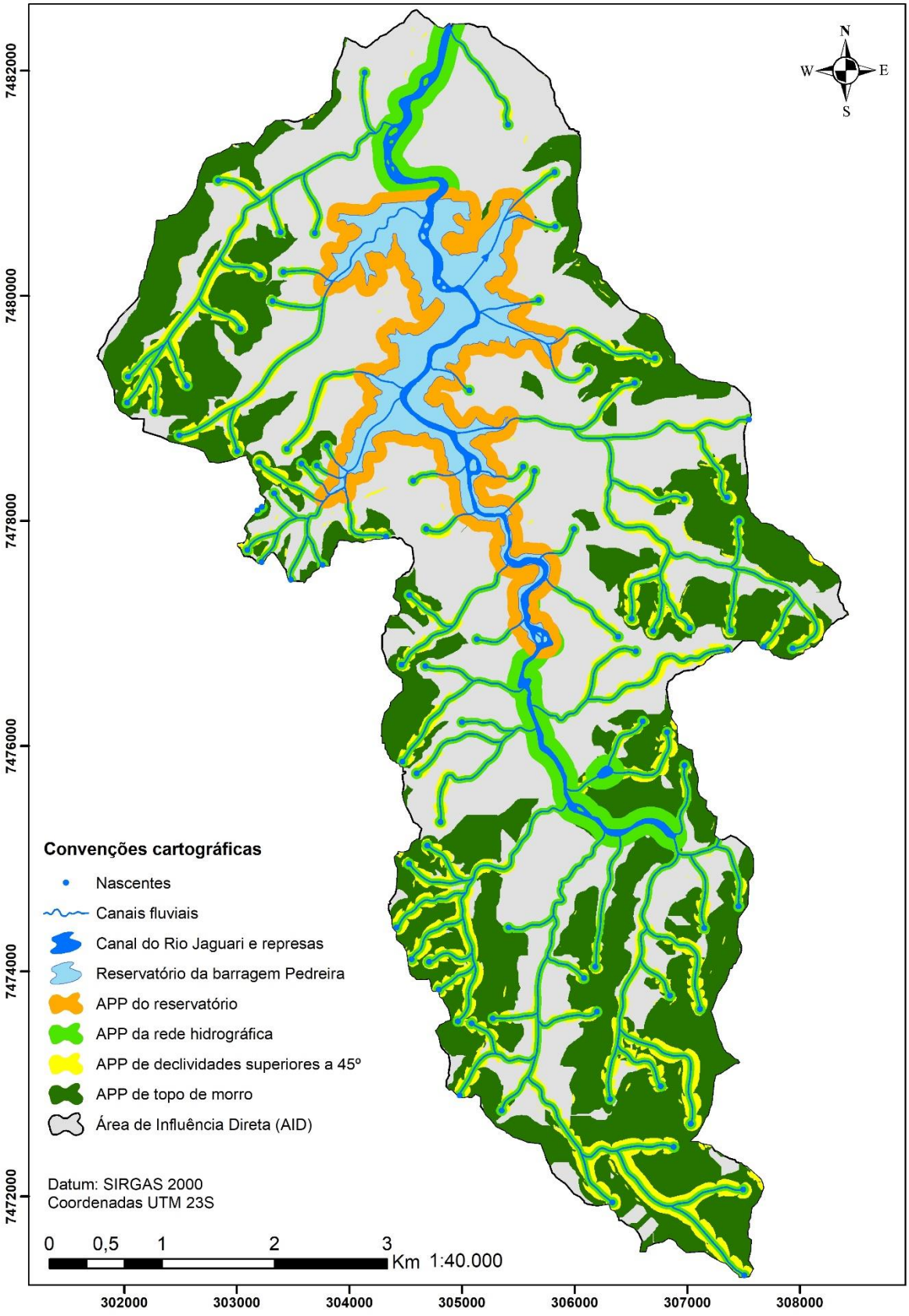
de fragmentos de silvicultura (1,5%), solo exposto (1,5%), cultivos agrícolas (0,6%) e água (0,4%).

Esse conflito de pastagem em APPs, principalmente em APPs de topos de morro, pode trazer sérios riscos para o geossistema. O pisoteio do gado provoca a compactação do solo e a predominância de vegetação herbácea exótica invasora não fornece massa de raiz suficiente para tornar o solo mais poroso e capaz de absorver a água pluvial. Nesse caso, o escoamento superficial de água será excessivo e poderá carregar partículas de solo provenientes das partes mais altas do terreno para o leito do rio, os quais afetam a qualidade da água, diminuem a vida útil dos reservatórios, das instalações hidroelétricas e dos sistemas de irrigação por causa do assoreamento.

Com a implantação da barragem Pedreira, um reservatório será formado com aproximadamente 2,08 km² de inundação e atingirá 1,51 km² de APP (sem sobreposições). Em contrapartida, esse reservatório deverá ter uma margem de 100 metros de APP (SÃO PAULO, 2014), que gerará um total de 2,18 km² de APP em torno de desse reservatório, oferecendo um incremento de 0,67 km² sobre a APP total da AID. Ou seja, o total de 23,48 km² de APP atual deverá ser de 24,15 km² após a barragem. A simulação desse novo cenário de APP pode ser observado na Figura 5.23.

Cerca de 1,02 km² de vegetação em APP necessitará ser suprimida na área de inundação do reservatório, por isso, a recuperação dessas matas no seu entorno é uma ação necessária em vista de não só proteger o empreendimento, mas de reestabelecer, ainda que parcialmente, os aspectos ecológicos e paisagísticos. Conforme a Resolução CONAMA nº 302/2002 (BRASIL, 2002), o reflorestamento das APPs nas margens de reservatórios artificiais requer o conhecimento dos aspectos fitogeográficos e fisiológicos, de acordo com a utilização de espécies florestais típicas da região e as condições edafoclimáticas exigidas pelas plantas selecionadas. De acordo com Aquino (2012, p. 133), o que importa é "criar condições satisfatórias para a proteção dos solos desprovidos ou com cobertura florestal rarefeita. Ou seja, em vez de refazer o ambiente original (restauração), o objetivo deve ser a recuperação das funções ecológicas e/ou econômicas do ambiente". Dessa forma, a paisagem torna-se sustentável do ponto de vista ecológico, com o surgimento de corredores que propiciam a fauna silvestre, bem como do ponto de vista econômico, através do desenvolvimento de atividades voltadas ao lazer e ao turismo.

Figura 5.23 - Mapa do cenário das APPs após a implantação da barragem Pedreira




Fonte: adaptada de IGC (1979) e São Paulo (2014).

## 5.7 Possíveis impactos a partir da construção da barragem Pedreira

Neste subcapítulo, analisou-se os resultados obtidos neste trabalho sob a ótica da transformação da paisagem decorrentes da construção da barragem Pedreira, tendo em vista os seus impactos e a proposição de ações de manejo para manutenção da vida útil da barragem e conservação dos recursos naturais. Como o projeto está em fase de implantação na área de estudo até o presente momento, foram analisados documentos oficiais do empreendimento a fim de verificar se as medidas de segurança e preservação do sistema ambiental estão sendo cumpridas[5].

### 5.7.1 Principais impactos hidrológicos, geomorfológicos e antrópicos na AID da barragem Pedreira e suas ações de manejo

Considerando que a Área de Influência Direta é formada pelo conjunto das sub-bacias de contribuição direta no trecho do médio curso do rio Jaguari, é importante destacar que a bacia hidrográfica é considerada como principal unidade de análise e planejamento ambiental, uma vez que, adotada como recorte analítico permite "avaliar de forma integrada as ações humanas sobre o ambiente e seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico" (BOTELHO; SILVA, 2004, p. 155). Desta forma, nela estão presentes diversos componentes do meio físico que se interagem para a manutenção do seu equilíbrio, tais como a água, as formas do relevo, o solo e a vegetação, configurando um sistema aberto, em constante dinâmica de permuta de matéria e energia (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A importância das bacias hidrográficas também está presente na chamada Lei das Águas, através da Lei 9.433/97, que a considera como "a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos" (BRASIL, 1997, art. 1º, inciso V). Essa atuação se dá, essencialmente, por comitês que fazem o gerenciamento das bacias hidrográficas formada por representantes do estado, dos municípios e de entidades da sociedade civil sediadas e com atuação comprovada na bacia hidrográfica, como o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari

[5] Estava previsto um trabalho de campo na área de estudo, mas devido à pandemia mundial do Covid-19 e o período de quarentena de março de 2020 até a conclusão deste trabalho, não foi possível realizá-lo.

e Jundiaí (CBH-PCJ), sendo o primeiro a ser instalado no Estado de São Paulo (GOMES; BARBIERI, 2004), possuindo também o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e a Agência Nacional de Águas (ANA) como órgãos gestores dos recursos hídricos do Estado de São Paulo, de onde partem as resoluções de gestão do Sistema Cantareira e a elaboração do Plano de Recursos Hídricos a ser aprovado pelo CBH-PCJ (RODRIGUES, 2005).

Para analisar os impactos decorrentes da construção da barragem Pedreira na bacia hidrográfica do rio Jaguari, pode-se partir das dimensões sistêmicas natural e antrópico explicitadas anteriormente e que estão envolvidas no processo de modificação da paisagem, bem como sobre a definição de impacto ambiental estabelecido pela Resolução CONAMA nº 001/86, que o define como "qualquer alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas" (BRASIL, 1986, art. 1).

Na dimensão do sistema natural, é visível quando uma barragem construída num determinado ponto do leito de um rio causa o represamento de água, formando um reservatório de abastecimento. No entanto, essa mudança não é significativa apenas no plano superficial, mas também está interligada com os corpos d'água subterrâneos, como os aquíferos e os lençóis freáticos, que participam ativamente do regime hidrológico e que necessitam de tratamento em conjunto com os corpos superficiais.

Assim, considerando as modificações no regime hidrológico superficial e subterrâneo, a alteração dos níveis de base superficial acarreta o processo de elevação dos lençóis freáticos induzido pelo enchimento do reservatório. Segundo Albuquerque Filho e Leite (2002, p. 70), esse processo se dá pelo fato de que:

> [...] ao provocar o represamento do rio que funciona como receptor das descargas subterrâneas, automaticamente o nível d'água nas bordas desse rio torna-se mais elevado do que no aquífero, resultando na inversão nos fluxos subterrâneos que, transitoriamente, passam a se estabelecer do reservatório para o sistema aquífero, realimentando-o.

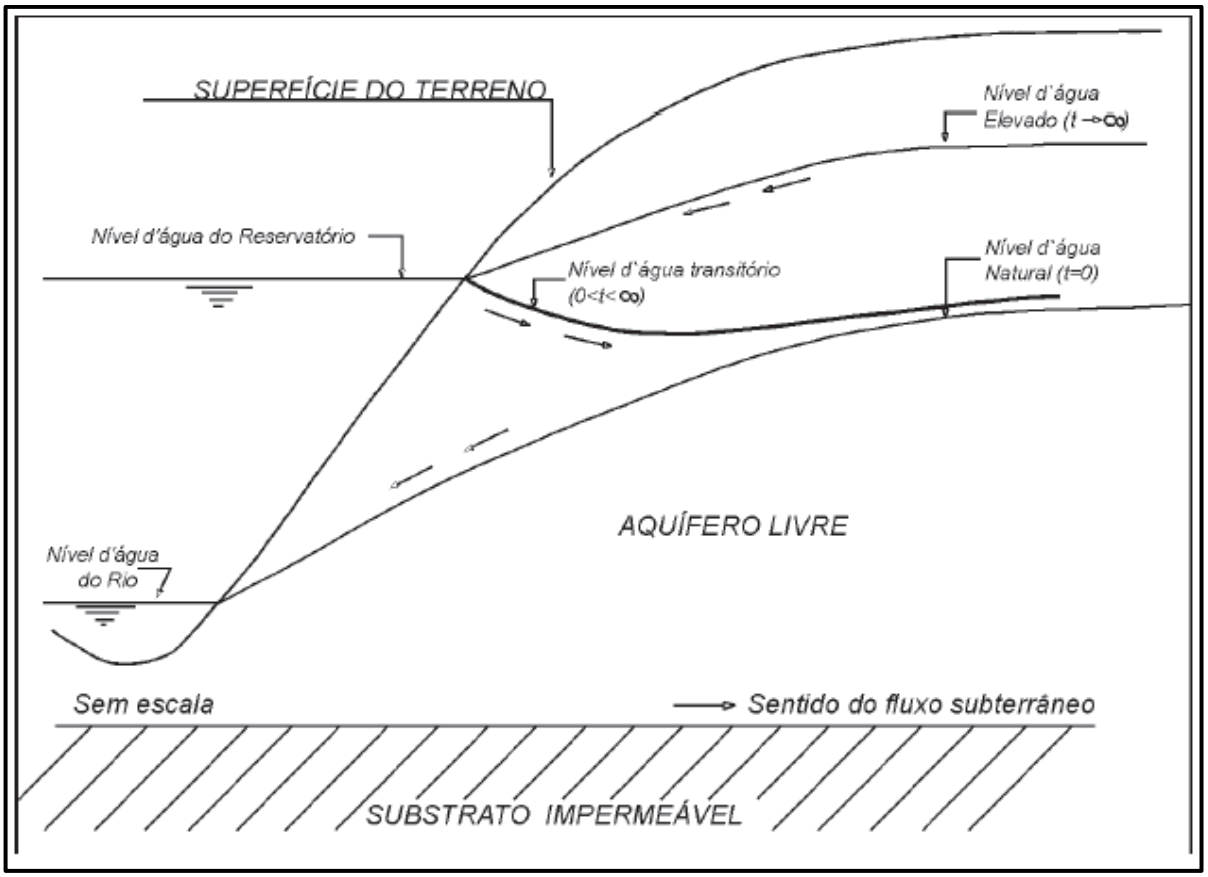
Segundo a lógica da análise sistêmica, pode-se compreender esse fenômeno de retroalimentação, de acordo com Christofoletti (1979), como um processo-resposta que tende a seguir o processo natural que ocorre em uma bacia hidrográfica.

Quando ocorre uma intervenção humana, no caso, a construção de uma barragem, o grande volume de água acumulado no sistema de drenagem altera os fluxos de armazenamento e saída, que atingem as formas da paisagem. Então, o sistema processo-resposta passa a ser um sistema controlado, onde a barragem é a estrutura que controla o novo sistema.

Nesse caso, a inundação provocada pela elevação do nível de base e o acúmulo de sedimentos na montante da barragem, contra a diminuição do nível de água à jusante, o sistema procura se ajustar em função das novas condições de fluxo, através do mecanismo de retroalimentação negativa (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Assim, as modificações induzidas pela inundação do reservatório passam por um reajuste transitório, que tende a se estabelecer a longo prazo e permanentemente, entrando em estado de equilíbrio (ALBUQUERQUE FILHO; LEITE, 2002), como mostra a Figura 5.24.

Figura 5.24 - Modelo esquemático da evolução do processo de elevações induzidas no lençol freático nas bordas de reservatórios




Fonte: Albuquerque Filho e Leite (2002, p. 70).

Neste contexto, entende-se a elevação dos níveis d'água superficial e subterrânea como uma das principais consequências da implantação de uma barragem, e sua ação pode ser benéfica para a gestão de recursos hídricos, uma vez que facilita a captação a custos menores, não sendo necessário perfurar longas camadas litológicas para alcançar o lençol freático. "Da mesma forma, podem ocorrer melhorias nas condições de umidade dos solos superficiais e, consequentemente, nas suas condições de cultivo" (ALBUQUERQUE FILHO; LEITE, 2002, p. 70).

Por outro lado, esses impactos também podem ser negativos na vegetação e, às vezes, refletir na subsistência das famílias que vivem nas áreas de rios e reservatórios. De acordo com Albuquerque Filho e Leite (2002, p. 72), tais impactos podem ser caracterizados como:

> a) saturação dos solos superficiais, ocasionando o afogamento de raízes, acarretando prejuízos à flora local, possibilitando a salinização - particularmente em regiões de clima quente - diminuindo, assim, a capacidade de produção agrícola da área, ou ainda a formação de nascentes e lagoas em zonas topograficamente mais deprimidas;
> b) surgências de água. Quando isso ocorre em determinadas condições de substrato geológico, pedológico e de relevo, poderá ser deflagrada a formação de entalhes erosivos lineares. Isso pode ocorrer, ainda, no interior de erosões já estabilizadas e, como consequência, resultar na retomada do processo nesses locais;
> c) aumento na vulnerabilidade natural do aquífero. À medida que ocorre a ascensão no lençol freático, é diminuída a espessura do horizonte não-saturado, que funciona como um filtro natural;
> d) níveis d'água mais rasos poderão ocasionar, ainda, afogamento de estruturas anteriormente edificadas no subsolo, proporcionando novo ambiente químico, muitas vezes com reações adversas para os diferentes materiais presentes.

Além desses impactos que acometem o nível subterrâneo, na área superficial, diretamente afetada pelo reservatório, é necessário o desmatamento da mata ciliar que contorna o rio, pois a não retirada pode ocasionar a contaminação da água do reservatório, devido ao acúmulo e decomposição da vegetação que foi inundada.

De acordo com o EIA (SÃO PAULO; DAEE, 2014), cerca de 27 famílias residentes na ADA terão seus imóveis rurais desapropriados. A remoção dessa população e a perda de áreas rurais produtivas, dedicadas à agropecuária e silvicultura, é um impacto social e econômico significativo, em vista da perda irrecuperável das relações de moradia e trabalho que foram construídas na comunidade ao longo dos anos.

Esses impactos citados se concentram a montante da barragem e ocorrem durante e após a sua instalação, já os impactos situados a jusante estão mais relacionados ao risco de um possível rompimento ou mau funcionamento da barragem. Para avaliação desse risco, a Agência Nacional de Águas (ANA) é o órgão responsável por classificar o grau de risco que uma barragem oferece, e a partir disso, a empresa responsável pelo empreendimento deve elaborar o Plano de Segurança de Barragem. Esta classificação, chamada pela ANA de Dano Potencial Associado (DPA), é a somatória de quatro parâmetros: volume total do reservatório, potencial para a perda de vidas, impacto ambiental e impacto socioeconômico (ANA, 2014). Cada um desses parâmetros é caracterizado pela ANA (2014, p. 59-60) da seguinte forma:

> **Volume total do reservatório:** capacidade máxima de armazenamento da barragem, já que a classificação do dano potencial deve ser baseada na máxima probabilidade dos eventos esperados.
> **Potencial para a perda de vidas humanas ou população em Risco (PeR):** é o primeiro fator para determinar a classificação de danos potenciais a jusante. A PeR corresponde ao número de pessoas que teriam que ser evacuadas de áreas a jusante no caso de um rompimento de barragem, abrangendo pessoas em domicílios permanentes, lugares de trabalho e áreas de uso temporário.
> **Impactos ambientais:** aqueles que envolvem apenas as situações em que a área atingida seja de interesse ambiental ou protegida em legislação específica, ou se encontrar totalmente descaracterizada de suas condições naturais.
> **Impacto socioeconômico:** inclui danos a instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços de lazer e turismo, e os danos econômicos associados, tanto permanentes quanto temporários.

De acordo com a Resolução ANA nº 34/2018 (BRASIL, 2018), o DPA da barragem Pedreira foi classificado como alto, justificado pela caracterização dos parâmetros que o empreendimento apresenta: o volume total do reservatório é de 38,34 hm³, classificado de nível médio; o PeR se apresenta como um dos principais fatores de risco, em razão da área urbana do município de Pedreira estar situado apenas a 2,5 km a jusante da barragem, portanto, em caso de rompimento, a água do reservatório pode atingir rapidamente várias vidas humanas devido à proximidade; os "impactos ambientais" que podem ser traduzidos como impactos nos aspectos naturais, e os "impactos socioeconômicos" também elevam a classificação do DPA por ser uma área de proteção ambiental – APA Municipal de Campinas – Lei Municipal 10850/01 (CAMPINAS, 2001), classificado pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) como "Unidade de Conservação de Uso Sustentável", que tem como objetivo principal disciplinar o ordenamento territorial, visando garantir a qualidade de vida e a compatibilização do uso antrópico, seja urbano ou rural, com a conservação dos atributos naturais.

Os impactos que a barragem Pedreira pode causar no regime hidrológico superficial e subterrâneo na bacia do rio Jaguari e a sua avaliação de alto risco que ela carrega para a população e o meio natural, também influenciam no estado de fragilidade ambiental, já que com a implantação do reservatório deverá ocorrer o acréscimo da suscetibilidade a processos de instabilização das encostas marginais. O rio tende a aumentar sua capacidade de entalhamento dos vales, com a diminuição do nível de base a jusante e o consequente aumento da produção de sedimentos e do processo de assoreamento. Cabe ressaltar que os resultados levantados neste estudo sobre a área diretamente afetada apresentaram um cenário que aponta um risco eminente

de colapso do reservatório e do equilíbrio geossistêmico, caso não sejam realizadas as ações mitigatórias.

O concessionário responsável pelo empreendimento é obrigado a manter as APPs, em atendimento à Resolução Conama nº 302/2002 (BRASIL, 2002), bem como das demais áreas, a fim de protegê-las dos processos erosivos. No entanto, os resultados mostram que a previsão da nova área de APP entorno do reservatório aumentará a APP total da área de estudo (de 23,5 km² para 24,15 km²), portanto, a barragem se apresenta como vantajosa do ponto de vista de proteção contra erosão, desde que seja feita a recuperação das APPs de topo de morro, ocupadas atualmente por pastagens, com o reflorestamento de vegetação arbórea para manter a estabilização das encostas e impedir o assoreamento do reservatório, e assim garantir sua vida útil por mais tempo.

De acordo com o primeiro relatório de andamento do Programa de Monitoramento da Estabilidade das Encostas Marginais e Processos Erosivos (SÃO PAULO; DAEE, 2019), por imagem aérea foram identificados alguns passivos ambientais no entorno do reservatório, como áreas de rastejo associados com degraus, além de algumas ravinas e/ou sulcos provenientes da criação de gado (Figura 5.25) e de cortes do terreno para abertura de acesso às propriedades (Figura 5.26). Em alguns pontos, o processo encontra-se em estágio médio/avançado de evolução, pois está abrangendo uma área grande (Figura 5.27), além do local apresentar uma declividade alta, fator este que pode acelerar mais o processo de escorregamento, com a atuação das chuvas e a ausência de cobertura vegetal associada à criação de gado existente na área.

Figura 5.25 - Áreas de rastejo e erosões lineares (sulcos e ravinas) na área do reservatório, registrado em 22/04/2019

Fonte: SÃO PAULO; DAEE (2019, p. 379).

Figura 5.26 - Cortes no terreno para acesso à propriedade particular, favorecendo o processo de erosão, registrado em 22/04/2019

Fonte: SÃO PAULO; DAEE (2019, p. 376).

Figura 5.27 - Processo de escorregamento em estágio médio/avançado de evolução, registrado em 22/04/2019

Fonte: SÃO PAULO; DAEE (2019, p. 385).

Para compreender a importância da preservação das encostas e topos de morro para manter o equilíbrio da dinâmica de sedimentos, Campagnoli e Diniz (2012, p. 158-159) define o processo de assoreamento enquanto geoindicador ambiental como:

> O assoreamento é um processo de deposição sedimentar acelerada, que ocorre em corpos d'água de diversas naturezas, como córregos, rios, lagos, estuários e ambientes de praia. Sua ocorrência denota um desequilíbrio entre a produção de sedimentos de uma bacia e a capacidade transportadora de sua rede de drenagem.
> [...] O assoreamento pode ocorrer naturalmente, pela geração e deposição rápida de sedimentos, por causa de eventos chuvosos excepcionais, ou resulta da influência da ação antrópica advinda da construção de reservatórios que transformam ambientes deposicionais fluviais em lacustres, ou do acréscimo de carga sedimentar oriunda de áreas com processos erosivos intensificados pelo uso inadequado do solo.

Com isso, compreende-se que, na qualidade geossistêmica, um corpo d'água possui naturalmente seu depósito sedimentar, mas se esse corpo d'água está inserido no uso do sistema antrópico, o processo de sedimentação passa a se figurar pelo termo assoreamento. Para o controle desse processo na situação que a AID se encontra, é necessário que a concessionária faça um balanço da dinâmica sedimentar, considerando: (1) carga de sedimentos produzidos e transportados por áreas de erosão laminar e linear; (2) carga de sedimentos produzidos e

transportados nas áreas de movimentos de massa; que resultam na (3) carga de sedimentos assoreada e na carga de sedimentos transportados a jusante (CAMPAGNOLI; DINIZ, 2012). Quando existe a possibilidade de quantificar a parcela de assoreamento, fica evidente a discriminação da parcela de interferência antrópica.

Segundo Cunha (1995 apud COELHO, 2008), quando ocorre uma intervenção humana de grande intensidade, como é o caso das construções de barragens, há o rompimento do equilíbrio longitudinal do rio, em pelo menos três setores distintos: (1) montante do reservatório/barragem; (2) no reservatório e entorno; (3) a jusante do reservatório/barragem. Desse modo, diante dos impactos ambientais apresentados e as ações necessárias para a preservação do equilíbrio do sistema ambiental da AID, no Quadro 5.1 foram pontuadas as principais alterações hidrológicas e geomorfológicas nos três setores/áreas de um rio represado, e a relação das ações de manejo propostas no EIA e se elas estão sendo cumpridas através da análise dos relatórios quadrimestrais de acompanhamento das condicionantes ambientais.

Quadro 5.1 – Principais impactos hidrológicos e geomorfológicos nos setores do rio represado e a relação das ações de compensação e mitigação propostas no EIA.

| Setor longitudinal do rio | Principais impactos hidrológicos | Principais impactos geomorfológicos | Propostas de compensação/mitigação no EIA | O que já foi cumprido |
|---|---|---|---|---|
| **A montante da barragem** | • Deposição de carga sólida.<br>• Mudança térmica das águas.<br>• Redução da velocidade das águas.<br>• Subida do nível das águas. | • Assoreamento na desembocadura dos rios principais.<br>• Assoreamento no fundo dos vales principais.<br>• Assoreamento na desembocadura e no fundo dos vales afluentes.<br>• Formação de novas áreas de inundação. | • Medições de descarga sólida (sedimentos) e líquida (vazões d'água).<br>• Implantação de postos fluviométricos para definição das afluências ao reservatório e cálculo de seu balanço hídrico.<br>• Recomposição da mata ciliar dos principais canais formadores e tributários contribuintes do reservatório. | • As medições de descarga sólida e líquida e dos postos fluviométricos estão sendo feitas regularmente uma vez ao mês, de setembro/2019 até abril/2020 (do último relatório publicado), permitindo um cálculo mais preciso da disponibilidade hídrica do reservatório e dos limites da inundação, durante a fase de operação.<br>• Sem informação de recomposição das matas ciliares adjacentes do reservatório. |
| **No reservatório e periferia** | • Armazenamento de carga liquida.<br>• Armazenamento de carga sólida.<br>• Modificação no conteúdo de gases dissolvidos.<br>• Elevação do nível piezométrico (compressibilidade dos líquidos).<br>• Alteração nas taxas de infiltração.<br>• Maior disponibilidade de água subterrânea.<br>• Ocorrência de Inundações.<br>• Assoreamento no reservatório.<br>• Redução da vida útil da barragem.<br>• Alteração na transparência da água.<br>• Alteração na estrutura térmica da água. | • Submersão das formas de relevo.<br>• Processos de abrasão lacustre.<br>• Recuo das margens ou das falésias lacustres.<br>• Formação de praias e depósitos de abrasão.<br>• Processos de assoreamento.<br>• Formação de bancos arenosos emersos ou imersos.<br>• Formação de lagoas fechadas.<br>• Colmatação da desembocadura dos rios principais.<br>• Formação de novas áreas de Inundação. | • Reduzir ao mínimo possível as áreas com solo exposto e, quando necessário, deverão ser previstas medidas de proteção deste solo exposto e/ou instalação de medidas para retenção de sedimentos.<br>• Implantar dispositivos de drenagem provisória de forma a permitir que as águas escoem sem o surgimento de processos erosivos e carreamento de material para os locais com as cotas mais baixas.<br>• Corrigir ou estabilizar, no menor prazo possível, todas as feições erosivas surgidas na área de terraplanagem ou que, de alguma forma, se originaram das alterações ocasionadas pela obra.<br>• Instalação de réguas limnimétricas complementares, ao longo do reservatório, para acompanhamento da variação dos níveis d'água.<br>• Reflorestamento da nova APP no entorno do reservatório e aumentar a conectividade entre os fragmentos remanescentes. | • Monitoramento das vazões e da amostragem de sedimentos acumulados no fundo do leito do rio e em suspensão.<br>• Os passivos de erosão e escorregamento estão sendo acompanhados, mas as ações de recuperação ou estabilização ainda não foram feitas, apenas continuam sendo recomendadas.<br>• Até agosto/2020 58,94% do solo foi escavado para construção da barragem.<br>• Até agosto/2020, 45,86% da vegetação foi suprimida e 32,19% do plantio reflorestamento da APP do reservatório foi feita. |
| **A jusante da barragem** | • Controle da regularização das descargas.<br>• Redução da carga sólida (sedimentos).<br>• Sanilização da água.<br>• Alteração na estrutura térmica.<br>• Redução do nível piezométrico.<br>• Alteração nas taxas de infiltração.<br>• Menor disponibilidade de água subterrânea. | • Entalhe no leito do rio, com consequente descida do nível de base local.<br>• Descida do nível de base dos afluentes com retomada erosiva (entalhe) dos seus leitos.<br>• Processos de erosão nas margens.<br>• Alteração nos sedimentos de fundo e das margens.<br>• Reajustamento na morfologia do canal pela migração dos setores de erosão e sedimentação.<br>• Processos de deposição nas margens e fundo do leito.<br>• Modificações na dinâmica da foz. | • Monitoramento hidrológico e de controle do assoreamento.<br>• Medições de descarga sólida e líquida.<br>• Implantação de um posto fluviométrico a jusante da barragem de forma a quantificar as suas defluências, levando-se em conta o efeito de regularização neste trecho.<br>• Inspeção visual periódica do aterro, dos taludes além de observações sistemáticas sobre o aspecto geral do rio Jaguari, e principais contribuintes afetados, registrando-se eventual presença de detritos e pontos de assoreamento. | • O monitoramento hidrológico e sedimentológico está sendo feito a jusante da mesma forma que na montante.<br>• Ainda na fase de construção não foram detectados eventos que demandem providências quanto à qualidade das águas superficiais e dos sedimentos, sendo possível a determinação destes nas fases de enchimento e operação do reservatório. |

Fonte: adaptado de Cunha (1995 apud COELHO, 2008), SÃO PAULO; DAEE (2015), SÃO PAULO; DAEE (2019).

De modo geral, o EIA da barragem Pedreira realiza um completo diagnóstico dos impactos no meio físico e propõe para todas as seções afetadas pelo reservatório (montante, jusante e área do reservatório) a reintegração das áreas degradadas da paisagem do entorno, de acordo com o uso pretendido, priorizando o reafeiçoamento do terreno e recomposição da vegetação nativa, para que, desta forma, sejam controlados os processos erosivos, a fim de evitar o assoreamento de cursos d'água. No entanto, em nenhum ponto do documento foi encontrada menção de recomposição da vegetação nativa nas APPs de topo de morro, haja vista os passivos ambientais existentes nessas áreas. Em relação à alteração dos níveis de água superficiais e subterrâneas a montante e a jusante da barragem, elas ocorrerão de forma permanente e irreversível, não possibilitando ações de mitigação.

### 5.7.2 Os conflitos ambientais da barragem Pedreira

A Lei nº 6.938/81 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente e institui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981) é a mais relevante norma ambiental depois da Constituição Federal da 1988, visto que traçou toda a sistemática das políticas públicas brasileiras para o meio ambiente e constituiu o EIA/RIMA para atividades modificadoras do meio ambiente. Dentro da legislação ambiental no Brasil, a Constituição Federal de 1988 assegura:

> Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.
> § 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:
> III - definir, em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção. (BRASIL, 1988, art. 225)

Tendo em vista o direito público de um ambiente ecológico equilibrado e as consequências de uma intervenção antrópica de grande porte, a preocupação da população de Pedreira sobre a barragem se acentuou após o rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho-MG em janeiro de 2019, pelo fato da barragem estar planejada para a montante da sede municipal, devido ao suposto risco que traz à população (em caso de rompimento). O então prefeito, Hamilton Bernardes Junior, tomou a providência de embargar a obra, mas por ter sido autorizada pelo Estado, não obteve sucesso. Com as devidas explicações à prefeitura, o DAEE

ficou obrigado a emitir relatórios quadrimestrais de acompanhamento dos condicionantes ambientais que estavam previstos no EIA/RIMA.

Segundo o EIA (SÃO PAULO; DAEE, 2015), o objetivo da construção da barragem Pedreira é o aumento da disponibilidade hídrica para atender as demandas industriais e de abastecimento público na região metropolitana de Campinas e Piracicaba. Para Moretti e Gontijo Júnior (2005), a necessidade de um empreendimento desse porte se deve ao fato de que o potencial de recursos hídricos superficiais das Bacias PCJ não está, em sua totalidade, à disposição para uso na própria região. Segundo os autores, uma parcela substancial é revertida para a bacia do Alto Tietê, através do Sistema Cantareira, principal sistema produtor de água potável da RMSP e responsável pelo abastecimento de cerca de 50% de sua população (MORETTI; GOTIJO JÚNIOR, 2005). Portanto, a barragem Pedreira é uma medida tomada para garantir o abastecimento da região de Campinas que não possui total usufruto dos seus próprios recursos. Sendo assim,

> [...] o atendimento futuro das demandas para o abastecimento de água dessa região é um enorme desafio, considerando-se a escassez de disponibilidade hídrica quali-quantitativa existente na bacia do Alto Tietê, na qual a RMSP está inserida em praticamente sua totalidade (95% do território), e as previsões do crescimento populacional. (MORETTI; GOTIJO JÚNIOR, 2005, p. 5)

Outro evento que trouxe à tona um impacto ambiental importante, foram as fortes chuvas de março de 2019, que arrastaram grandes quantidades de terra para o leito do rio Jaguari devido ao desmatamento das margens do rio e o trabalho de máquinas no canteiro de obras, ficando comprometida a qualidade da água do abastecimento da cidade de Pedreira e a jusante (Figuras 5.28 e 5.29). Segundo Moretti e Gotijo Júnior (2005, p. 4), "a degradação das águas superficiais resulta em dificuldades para os processos convencionais de tratamento de água para abastecimento público e industrial; gera conflitos no uso das águas e obriga as cidades localizadas nas proximidades de rios com vazões suficientes para abastecê-las, a recorrer a mananciais mais distantes".

Figura 5.28 - Desmatamento e canteiro de obras às margens do rio Jaguari para construção da barragem Pedreira

Fonte: Oliveira (2019, n.p.).

Figura 5.29 - Mancha de lama no leito do rio Jaguari após fortes chuvas no verão de 2019

Fonte: Oliveira (2019, n.p.).

De acordo com o EIA da barragem Pedreira (SÃO PAULO; DAEE, 2015), a alteração da qualidade das águas superficiais e dos sedimentos pela formação do reservatório Pedreira é um impacto negativo e direto, de caráter irreversível e permanente, persistindo durante toda a vida útil do empreendimento (SÃO PAULO, 2015). Em razão disso, a população questiona a necessidade da construção de uma barragem que pode ter a sua vida útil reduzida com o assoreamento e a poluição das águas, sendo que a região já possui outros reservatórios abandonados por esses mesmos motivos, como a barragem de Salto Grande em Americana-SP, que serve a uma pequena central hidrelétrica (PCH), que além de abandonada, encontra-se poluída por esgotos domésticos de grandes condomínios na região e tomada pelo lixo, e em sua água proliferaram, de maneira descontrolada, os chamados aguapés (OLIVEIRA, 2019). Para a população de Pedreira, a barragem em construção na cidade pode ser no futuro o que Salto Grande é hoje, e questiona-se o porquê de o governo optar por novos projetos que alteram a paisagem e podem trazer os mesmos prejuízos, ao invés dele cuidar ou recuperar aquilo que já tem construído no seu território.

# 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As Unidades da Paisagem são constituídas pela estrutura dos sistemas ambientais compostas por geossistemas e sistemas antrópicos, como forma de delimitação espacial dos elementos que o compõem e a representação das formas resultantes do equilíbrio dos sistemas processos-respostas. Sendo assim, o mapeamento das Unidades da Paisagem constituiu uma ferramenta importante para a análise sistêmica da área de estudo, podendo-se retirar informações das variáveis qualitativas que estão condicionadas à área, ao tempo e as relações de trocas de matéria e energia.

O principal geossistema do médio-curso da bacia do rio Jaguari – Clima Sub-quente/Cinturão Orogênico do Atlântico (embasamento cristalino)/Planaltos/Argissolos/Floresta Ombrófila – oferece a síntese da paisagem natural encontrada na área de estudo, resultante do processo sistêmico dominante, em conformidade com as características fisiográficas e morfométricas próprias. Associado aos tipos de uso e cobertura da área de estudo, como representação espacial dos sistemas antrópicos, obteve-se a Unidade da Paisagem predominantemente formada pelo mesmo geossistema e acrescido pela cobertura arbórea e pelo uso de pastagens em sua maioria. Os resultados mostraram uma área abundante em mananciais e preservada por vegetação original, que de acordo com o mapeamento das Unidades da Paisagem e da suscetibilidade à inundação, as matas serão a classe de cobertura mais atingida pelo reservatório.

O estudo dos atributos naturais na BMJ possibilitou identificar que a morfogênese predomina sobre a pedogênese, pois as características de relevo acidentado, vales encaixados, rochas cristalinas, solos pouco profundos e cascalhentos, matacões e a declividade ondulada a forte ondulada representam a forte ação dos agentes intempéricos e, por isso, a capacidade de erosão pode ser um fator limitante na manutenção do futuro reservatório. Esse fator foi comprovado com o resultado do mapeamento da fragilidade ambiental na AID, que se mostrou potencialmente forte, segundo as características naturais, mas que se mantém em equilíbrio com o resultado da fragilidade emergente média, em virtude da presença de cobertura arbórea e herbácea que ainda ocupa metade da área total.

Por esses motivos, independentemente da construção da barragem, as APPs devem ser mantidas nessa área conforme estabelece a lei ambiental. No entanto, o cenário atual mostra que a APP de topo de morro, a mais extensa da AID e onde se encontram as nascentes de recarga dos mananciais, está ocupada por pastagens e possui passivos de erosão e escorregamento de sedimentos provenientes do pisoteio do gado e da falta de vegetação protetiva. Com a barragem,

a APP total da AID será aumentada em razão da APP de 100 metros que deverá ser recomposta ao entorno do reservatório, mas o EIA não indica nenhuma recuperação ou proteção das APPs de topo de morro.

Em resumo, pode-se concluir as categorias sistêmicas apreendidas, como: todo (unidades da paisagem) – partes (variáveis físico-naturais) – inter-relação (processo-resposta). Os princípios sistêmicos de totalidade, hierarquia, organização, estrutura, relações e processos, oferecem ao estudo dos sistemas ambientais um rigor metodológico que se expressa nas ideias de Christofoletti, considerando que na análise da intervenção antrópica reside a finalidade dos geossistemas aplicada à ciência geográfica. Portanto, conclui-se que a construção de uma barragem é uma resposta à gestão hídrica de uma área, associado à densidade demográfica e econômica dela, que modificam os fluxos em vista do armazenamento, ou seja, são aproveitadas as condições naturais já existentes para atender as necessidades antrópicas, dando origem a novas paisagens.

Uma maior estabilidade hídrica no território contribui para a permanência de empresas e a prosperidade da agricultura, oferecendo condições favoráveis ao desenvolvimento socioeconômico da região. No entanto, considerando a construção de barragens como um empreendimento de grande despesa de dinheiro público, ela pode ser uma medida paliativa, pois uma barragem tem sua vida útil limitada em razão do acúmulo de sedimentos no seu interior, além dos gastos com a manutenção considerados altos, o que ocasionaria posteriormente mais um reservatório abandonado na região em meio a tantos outros.

Porventura, a visão sistêmica que permuta este trabalho não deve deixar de lado a estrutura subterrânea que também é afetada pela elevação dos lençóis freáticos, induzido pelo enchimento do reservatório. Se até o momento o ambiente possui uma regulação natural, a partir da intervenção antrópica, a barragem torna-se a estrutura reguladora de um novo sistema, onde a natureza procura se ajustar em função das novas condições de fluxo e armazenamento, até atingir o estado de equilíbrio, ocorrendo assim a transição de paisagem natural para paisagem atropogênica.

Diante das interfaces dos impactos nos níveis superficial e subterrâneo, modificando o uso dos recursos hídricos e a subsistência das famílias que dependem da atividade pastoril e agrícola na bacia, bem como os impactos situados a jusante relacionados ao risco de um possível rompimento ou mal funcionamento da barragem, é possível ampliar este estudo com base em dados demográficos e socioeconômicos para maior integração das análises antrópicas e naturais.

A metodologia proposta para este trabalho mostrou-se eficaz para uma análise integrada e possibilitou o cumprimento dos objetivos propostos. A adoção da escala de 1:250.000 para a média bacia do rio Jaguari, ofereceu uma visão sistêmica das características do entorno da área escolhida para implantação da barragem Pedreira, através do mapeamento dos geossistemas e das Unidades da Paisagem. A partir disso, o detalhamento das fragilidades ambientais e das APPs na escala 1:50.000 permitiu avaliar as transformações que podem ocorrer na paisagem da Área de Influência Direta. Na metodologia de análise da fragilidade dos ambientes naturais para a escala adotada, o cruzamento das informações das formas das vertentes (curvaturas) com as classes de declividades, ofereceram um resultado compatível com a realidade da área de estudo. Propõe-se para uma futura continuidade deste estudo, a produção da carta de dissecação do relevo pelo método automático e compará-lo com a metodologia utilizada neste estudo.

## 7. REFERÊNCIAS


AB'SABER, A. N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. **Boletim de Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-25, 1970.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Classificação de barragens: avaliação dos critérios gerais atuais, metodologia simplificada para áreas inundadas a jusante e diretrizes para a classificação. **Relatório final**, Brasília-DF, 2014.

ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; LEITE, C. B. B. Elevações induzidas no lençol freático devido a formação de reservatórios e o significado das modificações resultantes. **Geociências**, São Paulo, v. 7, n. 6, p. 69-74, dez. 2002.

AMORIM, R. R. Um novo olhar na Geografia para os conceitos e aplicações de Geossistemas, Sistemas Antrópicos e Sistemas Ambientais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 41, p. 80-101, mar. 2012.

AMORIM, R. R. **Sistemas Geomorfológicos**: a aplicação da Teoria Geral dos Sistemas em Geomorfologia. Aula do curso de Geografia, disciplina Geomorfologia Geral. Rio de Janeiro: UFF, 2010.

AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. As unidades de paisagem como uma categoria de análise geográfica: o exemplo do município de São Vicente-SP. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 2, p. 177-198, 2008.

AMORIM, R. R.; REIS, C. H.; FERREIRA, C. Mapeamento dos Geossistemas e dos Sistemas Antrópicos como subsídio ao estudo de áreas com riscos a inundações no baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Muriaé (Rio de Janeiro – Brasil). **Territorium**, Coimbra, n. 24, 2017.

AQUINO, L. C. S. Recuperação Florestal de Margens de Reservatórios: proteção dos recursos hídricos, manutenção da biodiversidade e recomposição da paisagem. *In:* CAMPAGNOLI, F.; DINIZ, N. C. (Orgs). **Gestão de Reservatórios de Hidrelétricas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. Cap. 8.

BASEI, M. A. S.; CAMPOS NETO, M. C.; BERGMANN, M.; FIGUEIREDO, M. C. H. **Geologia da folha Amparo 1:50.000**. São Paulo: Ig-Usp/Pro-Minério, 1986. 109pp.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. 4. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2009.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global - Esboço metodológico. **Revista RA´e GA: O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. v. 3.

BJORNBERG, A. J. S.; LANDIM, P. M. B. Sobre os arenitos da serra da Mantiqueira e os arenitos da formação Botucatu (eocretáceo). Curitiba. - **Boletim Paranaense de Geografia**, 1966.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. *In*: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. Cap. 6.

BRASIL. Agência Nacional de Águas – ANA. Resolução nº 34, de 30 de abril de 2018. A Diretora-Presidente da Agência Nacional de Águas-ANA, no uso da atribuição que lhe confere o art. 103, inciso XVII, do Regimento Interno aprovado pela Resolução nº 1.934, de 30 de outubro de 2017, torna público que a Diretoria Colegiada, em sua 698ª Reunião Ordinária, realizada em 30 de abril de 2018, considerando o disposto no art. 7º, da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, e com base nos elementos constantes do Processo nº: 02501.001230/2018-16, resolveu. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 mai. 2018.

BRASIL. Congresso Nacional. Novo Código Florestal. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF: 25 maio 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 11 ago. 2020.

BRASIL. Congresso Nacional. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jan. 1997.

BRASIL. Congresso Nacional. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei nº 6.398, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 02 set. 1981.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Considerando a necessidade de se estabelecerem as definições, as responsabilidades, os 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 fev. 1986.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 302, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 13 de mai. 2002.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, [1988]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 set. 2020.

CAMPAGNOLI, F.; DINIZ, N. C. Aplicação de Geoindicadores para Avaliar os Impactos Sociais e Econômicos do Ordenamento Territorial nos Reservatórios de Hidrelétricas Brasileiras. *In:* CAMPAGNOLI, F.; DINIZ, N. C. (Orgs). **Gestão de Reservatórios de Hidrelétricas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. Cap. 9.

CAMPINAS, Prefeitura Municipal de. Lei nº 10850, de 07 de junho de 2001. Cria a Área de Proteção Ambiental - APA - do município de Campinas, regulamenta o uso e ocupação do solo e o exercício de atividades pelo setor público e privado. **Diário Oficial Municipal**, Campinas, SP, 08 jun. 2001.

CAMPINAS, Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Planejamento, Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. **Caracterização urbana**. Campinas: Prefeitura Municipal de Campinas, 2006. Disponível em: http://www.campinas.sp.gov.br/governo/seplama/plano-diretor-2006/doc/tr_ccturb.pdf. Acesso em: 3 jun. 2020.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Revista Scientia Plena**, v. 5, nº 2, 2009.

CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de paisagens**: fundamentos. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CAVALCANTI, L. C. S. **Da descrição de áreas à teoria dos geossistemas**: uma abordagem epistemológica sobre sínteses naturalistas. 2013. 218f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

CEPAGRI. Climatologia Campinas. Disponível em: https://www.cpa.unicamp.br/graficos. Acesso em: 17 jun. 2020.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia.** São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise Morfométrica das Bacias Hidrográficas. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, n. 220, p. 131-159, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COBRAPE. Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista, no Estado de São Paulo. **Relatório Final**. São Paulo: DAEE, 2013.

COELHO, A. L. N. Geomorfologia Fluvial de Rios Impactados por Barragens. **Revista Caminhos** da Geografia, Uberlândia-MG, v. 9, nº 26, p. 16-32, 2008.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ – PCJ. **Relatório de situação dos recursos hídricos: versão simplificada; ano base 2019**. Piracicaba: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2019.

COVIZZI, M. C.; AMORIM, R. R.; MESSIAS, C. G. Interfaces entre a construção de barragem para reservatório hídrico e as áreas suscetíveis às inundações no município de Pedreira-SP. In: **Anais eletrônicos do XIII ENANPEGE**, ANPEGE: São Paulo-SP, 2019. Disponível em: https://www.enanpege2019.anpege.ggf.br/resources/anais/8/1565734971_ARQUIVO_TRABALHOCOMPLETO-COVIZZI_AMORIM_MESSIAS-XIIIENANPEGE.pdf. Acesso em: 13 nov. 2020.

CPRM. **Geologia do Estado de São Paulo**. Escala 1: 750.000. São Paulo: SMA/CPLA/DIA/CIGI, 2006.

CUARTAS, L. A. et al. Distributed hydrological modeling of a micro-scale rainforest watershed in Amazonia: Model evaluation and advances in calibration using the new HAND terrain model. **Journal of Hydrology**, v. 462–463, p. 15–27, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.12.047>.

EBERT, H. Relatório sobre a atividade do ano de 1955. **Relatório Anual**, Rio de Janeiro, 1956. p. 62-81.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**, Súmula 10, Rio de Janeiro, 1979. 83 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2013. 353 p.

FERREIRA, N. H.; FERREIRA, C. A. B. V.; GOUVEIA, I. C. M. C. Mapa de Fragilidade Ambiental como auxílio para o Planejamento Urbano e Gestão de Recursos Hídricos. **Periódico on-line Fórum Ambiental da Alta Paulista**, vol. 12, nº 3, p. 44-58, 2016.

GOMES, J. L.; BARBIERI, J. C. Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no Estado de São Paulo: um novo modelo de política pública. **Cadernos EBAPE.BR**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 3, 2004.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Erosão dos solos. *In:* CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

HUEK, K. Mapa Fitogeográfico do Estado de São Paulo. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 22, p. 19-25, 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Escala 1:5 000 000. Disponível em: http://mapas.ibge.gov.br/tematicos.html. Acesso em: 16 set. 2020.

IG – INSTITUTO GEOLÓGICO. **Subsídios do Meio Físico-Geológico ao Planejamento do Município de Campinas (SP)**. Mapa Geológico do Município de Campinas. São Paulo, 2009. 2v. (Relatórios Técnicos).

IPT. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 2v. Escala 1:500.000.

ISACHENKO, A. G.; VINAGRADOV, B. V.; GERENCHUK, K. I.; RAMAN, K. G.; TSESEL'CHUK, Y. N. Princípios básicos do Mapeamento da paisagem. **Revista Soviet Geography**, Nova Iorque, v. 3, p. 6, p. 15-20, 1962.

LUPPI, A. S. L.; SANTOS, A. R. dos; EUGÊNIO, F. C.; FEITOSA, L. S. Utilização de Geotecnologia para o Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente no Município de João Neiva, ES. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 22(1), p. 13-22, 2015.

MELO, M. S. **A Formação Rio Claro e depósitos associados**: sedimentação neocenozóica na Depressão Periférica Paulista. 1995. 144f. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MESSIAS, C. G. **Mapa de uso do solo da sub-bacia do Rio Jaguari (bacia hidrográfica PCJ)**. São Paulo: FAPESP, 2018.

MESSIAS, C. G.; FERREIRA, M. F. M.; RIBEIRO, M. B. P.; MENEZES, M. D. Análise empírica de fragilidade ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento: o caso da área de influência da hidrelétrica do Funil – MG. **Revista Geonorte**, edição especial, v. 2, n. 4, p. 112-125, 2012.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas**: a história de uma procura. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2000.

MORETTI, L. R.; GONTIJO JÚNIOR, W. C. Conciliação de conflito dentro da política brasileira de recursos hídricos – o caso do Sistema Cantareira. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais** [...] João Pessoa: ABRhidro, 2005.

NOBRE, A. D. et al. Height Above the Nearest Drainage - a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, v. 404, n. 1–2, p. 13–29, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.051>.

OLIVEIRA, C. Obra da barragem de Pedreira intensifica assoreamento do rio Jaguari. Rede **Brasil Atual**, 15 dez. 2019. Disponível em: https://www.redebrasilatual.com.br/ambiente/2019/12/obra-da-barragem-de-pedreira-intensifica-assoreamento-rio-jaguari/. Acesso em: 28 ago. 2020.

PEREZ FILHO, A. Sistemas Naturais e Geografia. *In*: SILVA, J. B.; LIMA, L. C.; ELIAS, D. (Org.). **Panorama da Geografia Brasileira**. São Paulo: Annablume, 2006, p. 333-336.

PERROTTA, M. M.; SALVADOR, E. D.; LOPES, R. C.; D'AGOSTINO, L. Z.; PERUFFO N; GOMES, S. D.; SACHS, L. L. B.; MEIRA, V. T.; GARCIA M. G. M.; LACERDA FILHO, J.V. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Programa Geologia do Brasil, PGB, CPRM, 2005. Escala: 1:750 000.

PONÇANO, W. L. As coberturas cenozoicas. *In*: BISTRICHI, C. A. *et al*. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 2v. Escala 1:500.000.

RAMOS, R.; PASQUALETTO, A. I.; BALBUENO, R. A.; PINHEIRO, E. da S. Paisagem, uso e cobertura da terra. *In*: BECKER, F. G.; RAMOS, R. A.; MOURA, L. de A. (Orgs.). **Biodiversidade**: regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2007. p. 61-83. Cap. 5.

RENNÓ, C. D. et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3469–3481, 2008.

RODRIGUES, R. B. Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e ferramenta de gestão (SSD RB). **Portal de Ecologia Aquática**, São Paulo, Departamento de Ecologia IB-USP, 2005. Disponível em: http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=144&Itemid=423. Acesso em: 31 out. 2017.

RODRÍGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da. **Teoria dos Geossistemas - o legado de V. B. Sochava:** Volume I Fundamentos Teórico-metodológicos. Fortaleza: Edições UFC, 2019.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia da paisagem**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: UFC, 2004.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, 1994.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, DG-FFLCH-USP, IPT, FAPESP, 1996.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. rev. e ampl. São Paulo: Instituto Florestal, 2017.

SÃO PAULO; DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Parte III – Meio Físico. *In:* **1º Relatório Quadrimestral de Acompanhamento das Condicionantes da Licença Ambiental da Instalação nº 2557 e do Andamento da Implementação das Ações do Plano Básico Ambiental – Barragem Pedreira**. São Paulo: 2019. Disponível em: https://www.daeepedreiraeduaspontes.com.br/relatorios/1/PARTE%20III.F%C3%8DSICO.pdf. Acesso em: 24/08/2020.

SÃO PAULO; DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. **Estudo de Impacto Ambiental – Barragens Pedreira e Duas Pontes**. São Paulo: Hidrostudio Engenharia e Themag Engenharia, 2015.

SÃO PAULO. **Modelo Digital de Elevação do Estado de São Paulo**. São Paulo: CPLA/SMA, 2013a. Escala 1: 50.000.

SÃO PAULO. **Mapa da Rede de Drenagem do Estado de São Paulo**. São Paulo: CPLA/SMA, 2013b. Escala 1: 50.000.

SÃO PAULO. **Sub-bacias do Estado de São Paulo**. São Paulo: CPLA/SMA, 2013c. Escala 1: 50.000.

SÃO PAULO. **Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico (UBC) do Estado de São Paulo**. São Paulo: IG/CPLA/SMA, 2014. Ficha Técnica disponível em: http://s.ambiente.sp.gov.br/cpla/Ficha_Tecnica_UBC_v2.pdf. Acesso em: 11/12/2020.

SANTOS, A. P. Delimitação de Área de Preservação Permanente (APP) de Topo de Morros. In: **Cap. 17 – Material de Cartografia Digital II do Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica**. UFV: Viçosa, 2013.

SANTOS, M.; SILVEIRA, M. L. **O Brasil - Território e Sociedade no início do século XXI**. Rio de Janeiro: Record, 2001, 473 p.

SOCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**: métodos em questão. São Paulo: IG/Usp, 1977.

SOCHAVA, V. B. **Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre**. São Paulo: IGEO/USP, 1978.

SOSMA – FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**, Relatório Técnico, Período 2017-2018. São Paulo: 2019. Disponível em: https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Atlas-mata-atlantica_17-18.pdf. Acesso em: 19 de nov. 2020.

STRAHLER, A. N. **Geografía Física**. Barcelona: Ediciones Omega, 1984.

TEODORO, V. L. I.; TEXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Araraquara, n. 20, p. 137-156, 2007.

TRAJANO, S. R. R. da S.; SPADOTTO, C. A.; HOLLER, W. A.; DALTIO, J.; MARTINHO, P. R. R.; FOIS, N. S.; SANTOS, B. B. de O.; TOSCHI, H. H.; LISBOA, F. S. Análise morfométrica de bacia hidrográfica: subsídio à gestão territorial, estudo de caso no alto e médio Mamanguape. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Gestão Territorial**, Campinas, 2012.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TROPPMAIR, H.; GALINA, M. H. Geossistemas. **Mercator – Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, ano 5, n. 10, 2006.

VALERIANO, M. M.; JÚNIOR, O. A. C. Geoprocessamento de Modelos Digitais de Elevação para Mapeamento da Curvatura Horizontal em Microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 4, nº1, p. 17-29, 2003.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAWHill do Brasil, 1975.