

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA, TURISMO E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Tomás Carvalhaes Volpi

Análise de fragilidade ambiental como subsídio para a gestão da Bacia do rio
Alambari, região de Botucatu (SP)

Sorocaba

2025

Tomás Carvalhaes Volpi

Análise de fragilidade ambiental como subsídio para a gestão da Bacia do rio Alambari,
região de Botucatu (SP)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Geografia para obtenção do
título de Mestre
em Geografia da Universidade Federal de São
Carlos. Área de concentração:
Dinâmicas Ambientais e Socioespaciais
Orientação: Emerson Martins Arruda
Financiamento: Capes

Sorocaba

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Volpi, Tomás Carvalhaes

Análise de fragilidade ambiental como subsídio para a gestão da Bacia do rio Alambari, região de Botucatu (SP) / Tomás Carvalhaes Volpi -- 2025.
113f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Emerson Martins Arruda

Banca Examinadora: Erminio Fernandes, Ronaldo Missura

Bibliografia

1. Cuestas paulistas . 2. Fragilidade ambiental. 3. Planejamento ambiental. I. Volpi, Tomás Carvalhaes. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Humanas e Biológicas
Programa de Pós-Graduação em Geografia

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Tomás Carvalhaes Volpi, realizada em 21/08/2025.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Emerson Martins Arruda (UFSCar)

Prof. Dr. Erminio Fernandes (UFSCar)

Prof. Dr. Ronaldo Missura (UFS)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Aos meus pais, Maria Antonieta e Reinaldo.

AGRADECIMENTOS

A Rafael Perroni, pelo convite que deu origem a esta pesquisa.

À ONG Giramundo, que possibilitou travar contato íntimo com a Bacia do Alambari.

A Emerson Martins Arruda, pela orientação, apoio e companhia em trabalhos de campo.

Aos professores de disciplinas do PPGGEO-UFSCar, André de Oliveira Souza, Ermínio Fernandes, Gilberto Cunha Franca, Kelly Cristina Tonello, Neusa de Fátima Mariano e Marcos Roberto Martines, pelas contribuições à pesquisa e à melhoria de habilidades acadêmicas.

Aos amigos e colegas do Cursinho Núcleo, Nora Santos Silva, Tatiana Barbosa, Rian Beduschi e Rodrigo Ballalai, por acreditarem em mim e me direcionarem para a Geografia.

A Isabella Moreira Oliveira, Charles Rodrigues, Pedro Habimorad e Antonio Tornich Junior, pelo suporte afetuoso em momentos difíceis.

Às Bibliotecas da UFSCar B-So, e da FCA Unesp, por ajudarem a solucionar problemas de pesquisa.

A todos os funcionários que, com seu esforço diário, fazem o PPGGeo e a UFSCar funcionarem.

Desde o começo do mundo água e chão se amam
e se entram amorosamente
e se fecundam.

Manoel de Barros, Menino do Mato.

RESUMO

VOLPI, Tomás Carvalhaes. Análise de fragilidade ambiental como subsídio para a gestão da Bacia do rio Alambari, região de Botucatu (SP). Dissertação Mestrado em Geografia – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2025.

A Bacia do rio Alambari localiza-se nos municípios de Botucatu, Anhembi e Bofete (SP). Com nascentes no Planalto Ocidental Paulista, a drenagem atravessa a Cuesta de Botucatu estendendo-se pela Depressão Periférica e chegando à foz no Rio Tietê, no reservatório de Barra Bonita. A geomorfologia dessa região é tema de estudos clássicos da Geografia brasileira, além do conferir elementos únicos à paisagem e à dinâmica ambiental. O estudo pautou-se por um referencial teórico sistêmico e pela metodologia de fragilidade ambiental empírica, com apoio de Sistemas de Informação Geográfica. As classes predominantes de cobertura e uso da terra são as pastagens, formações florestais e silvicultura. Ocorre predomínio da fragilidade alta, sendo a erosão do solo o principal problema ambiental. Verifica-se a necessidade de fiscalização e recuperação de áreas de preservação, melhorias no manejo agrícola, além de estímulos aos sistemas agroecológicos.

Palavras-chave: Cuestas paulistas; paisagem; fragilidade ambiental; planejamento ambiental.

ABSTRACT

The Alambari River Basin is located in the municipalities of Botucatu, Anhembi, and Bofete, in the state of São Paulo, Brazil. Originating in the Western Paulista Plateau, its drainage crosses the Botucatu Cuesta, extends through the Peripheral Depression, and flows into the Tietê River at the Barra Bonita reservoir. The geomorphology of this region has been the subject of classic studies in Brazilian geography and contributes unique features to the landscape and environmental dynamics. This study is based on a systemic theoretical framework and uses the empirical methodology of environmental fragility, supported by Geographic Information Systems (GIS). The predominant land cover and use types are pastures, forest formations, and silviculture. High environmental fragility prevails, with soil erosion identified as the main environmental issue. There is a clear need for enforcement and restoration of preservation areas, improvements in agricultural management, and incentives for agroecological systems.

Keywords: Cuestas paulistas; landscape; environmental fragility; environmental planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da Bacia do Alambari.	13
Figura 2: Modelo de Geossistema (Rodriguez, Silva E Cavalcanti, 2017, p. 42).	21
Figura 3: Divisão taxo-corológica (Cavalcanti E Correa, 2016, p. 18).	22
Figura 4: Etapas da pesquisa.	36
Figura 5: Histograma de classes hipsométricas.	39
Figura 6: Valores atribuídos às variáveis ambientais (Martines, Machado e Toppa, 2020, p. 116).	40
Figura 7: Histograma de classes de fragilidade ($\cdot 10^5$).	41
Figura 8: Mapa topográfico da Bacia do Alambari.	44
Figura 9: Mapa litológico da Bacia do Alambari.	46
Figura 10: Formação Piramboia, contato entre arenito e siltito (Sanchez, 2023, p.13).	47
Figura 11: Arenito Botucatu, estratificação cruzada (Sanchez, 2023, p.34).	48
Figura 12: Arenito Botucatu silicificado (Sanchez, 2023, p.34).	48
Figura 13: Contato de basalto da Formação Serra Geral e arenito Botucatu (Sanchez, 2023, p.48). ..	49
Figura 14: Mapa geomorfológico do Estado de SP (Ross e Gouveia, 2022, p. 729).	51
Figura 15: Bloco diagrama da Bacia do Alto Paraná (Ab'Saber, 1956, p. 17).	52
Figura 16: Mapa Geomorfológico da Bacia do Alambari.	55
Figura 17: Mapa hipsométrico da Bacia do Alambari.	56
Figura 18: Mapa de declividade da Bacia do Alambari.	58
Figura 19: Mapa pedológico da Bacia do Alambari.	62
Figura 20: Climograma de Botucatu (Franco et al, 2023, p. 89).	63
Figura 21: Mapa de erosividade e isoietas do Estado de SP.	65
Figura 22: Mapa de unidades da Bacia do Alambari.	71
Figura 23: Fotografia da Bacia do Alambari e unidades altitudinais.	72
Figura 24: Mapa de cobertura e uso da terra para a Bacia do Alambari.	74
Figura 25 - Pontos de Registros de Campo.	77
Figura 26: Fotografia ponto A1.	78
Figura 27: Fotografia ponto M3.	78
Figura 28: Fotografia ponto B2.	79
Figura 29: Mapa de fragilidade ambiental para a Bacia do Alambari.	84
Figura 30: Gráfico de fragilidade para a Unidade 1.	85
Figura 31: Gráfico de fragilidade para a Unidade 2.	86
Figura 32: Gráfico de fragilidade para a Unidade 3.	86
Figura 33: Gráfico de fragilidade para a Unidade 4.	87
Figura 34: Gráfico de fragilidade para a Unidade 5.	87
Figura 35 Gráfico de fragilidade por unidade em área.	88
Figura 36: Imagem de satélite com processos erosivos intensos na Bacia do Alambari.	89
Figura 37: Fotografia de processo de assoreamento no Rio Alambari.	90
Figura 38: Fotografia de vossoroca na Bacia do Alambari.	90
Figura 40: Fotografia da vista geral da Bacia do Alambari.	97

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	12
2.	Fundamentação Teórica	18
2.1.	Paisagem e abordagem sistêmica.....	18
2.2.	Fragilidade Ambiental	25
2.3.	Cartografia e Geoprocessamento	29
2.4.	Bacias Hidrográficas e Planejamento Ambiental.....	32
3.	Metodologia.....	36
4.	Caracterização da área de estudo	43
4.1.	Litologia	45
4.2.	Geomorfologia	50
4.3.	Pedologia.....	59
4.4.	Clima e Erosividade	63
4.5.	Hidrografia.....	66
4.6.	Cobertura vegetal original.....	68
5.	Resultados e discussão	69
5.1.	Unidades de análise	69
5.2.	Cobertura e uso da terra	72
5.3.	Análise de fragilidade ambiental	80
5.4.	Análise de qualidade da água	91
5.5.	Medidas conservacionistas e mitigatórias	93
5.6.	Matriz SWOT.....	97
6.	Considerações Finais	102
7.	Referências	105

1. Introdução

O presente trabalho teve como impulso inicial um estágio realizado junto à ONG Giramundo, localizada em Botucatu (SP), a qual se dedica à conservação ambiental e assessoramento de produtores rurais agroecológicos. O estágio permitiu as primeiras idas à campo na Bacia do rio Alambari, além de primeiro contato com ferramentas de cartografia e geoprocessamento. O desejo de aprofundar e sistematizar o conhecimento levou à construção de uma análise ambiental, chegando a subsídios para o planejamento e gestão territoriais.

A Bacia do rio Alambari tem área de aproximadamente 302 hectares, dividindo-se entre os municípios de Botucatu e Anhembi, além de uma pequena porção no município de Bofete. O rio Alambari, em sua porção mais ao norte, faz a divisa entre os municípios de Botucatu e Anhembi. A principal rodovia de ligação é a Marechal Rondon (SP-300), que vai de Itu até a divisa SP/MS, no rio Paraná. De acordo com os dados do IBGE (2025), o município de Botucatu possui 145.155 habitantes, PIB per capita de R\$ 39.937,48 e IDHM de 0,800. O município de Anhembi possui 5.674 habitantes, PIB per capita de R\$ 24.534,54 e IDHM de 0,721. O município de Bofete possui 10.460 habitantes, PIB per capita de R\$ 14.546,39 e IDHM de 0,705.

A Bacia do Rio Alambari se situa sobre dois compartimentos geomorfológicos distintos: a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental Paulista. Entre esses compartimentos se situa a feição das Cuestas Paulistas as quais podem ser percebidas, em uma primeira abordagem, como uma ruptura morfológica, desnível na paisagem que chama a atenção de todo observador que rumo ao interior, sentido noroeste, a partir da capital São Paulo. Objeto de estudo clássico da Geomorfologia do Brasil, Aziz Ab'Saber (1949) as define como escarpas de circundenudação, dentro da tese de circundenudação da Bacia do Paraná.

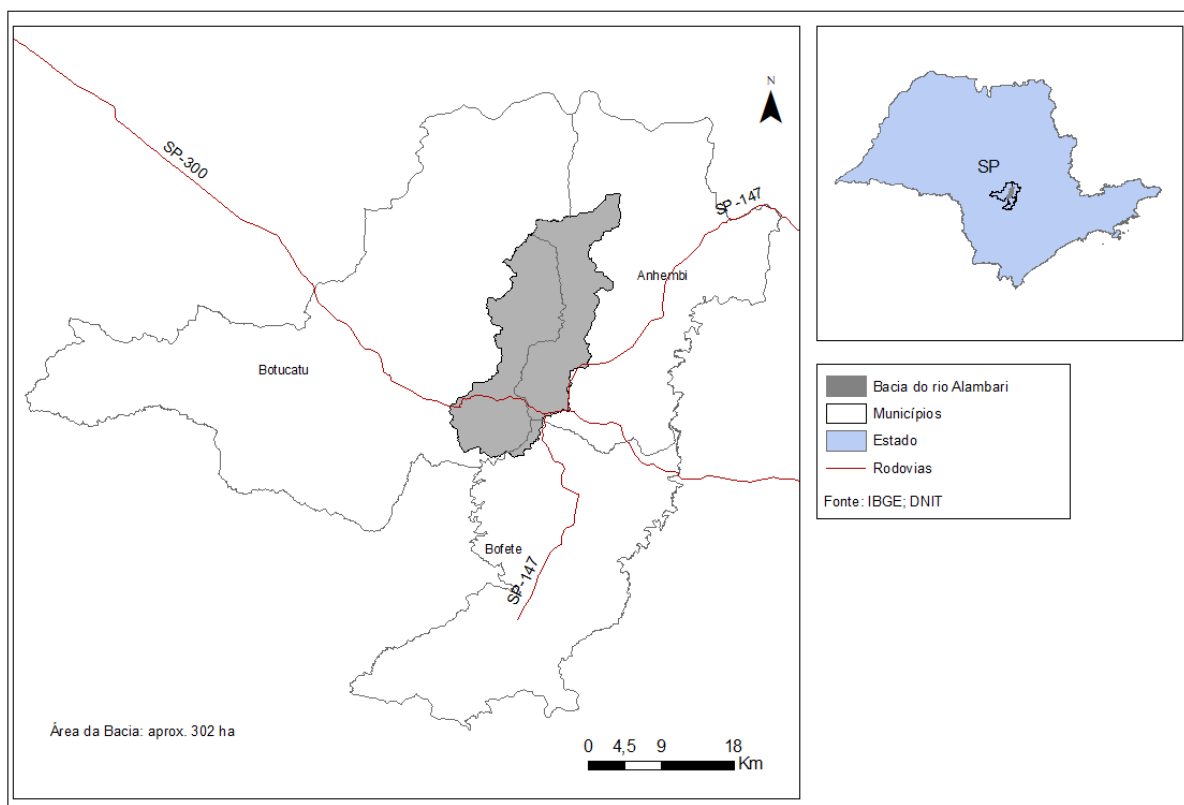


Figura 1: Mapa de localização da Bacia do Alambari.

Os objetivos do trabalho são: 1) Caracterizar a bacia hidrográfica do rio Alambari de acordo com os elementos da paisagem, incluindo hidrografia, geomorfologia, litologia, pedologia, clima, e cobertura e uso da terra. 2) Realizar uma análise ambiental, a partir de metodologias quali-quantitativas de fragilidade ambiental empírica. 3) Propor subsídios para a gestão e planejamento ambiental com base em metodologia participativa SWOT, e com base em princípios de conservação ambiental. Dessa forma, a dissertação integra metodologias de análise ambiental, as especificidades da dinâmica geomorfológica no relevo e a perspectiva da abordagem sistêmica associada às bacias hidrográficas. Chega-se, assim, a uma análise ambiental, levando em conta as características da paisagem, os desequilíbrios encontrados e a fragilidade ambiental, segundo a base metodológica de Ross (1994) e de Martines (2005), para então propor subsídios à gestão com base em uma metodologia participativa, agregando diferentes atores da sociedade civil e poder público.

A Bacia do Alambari se justifica como recorte de estudos em função de suas características paisagísticas, destacando-se que a drenagem atravessa distintos compartimentos

geomorfológicos. Além disso, o problema ambiental se impõe diante dos impactos presentes e do anseio por uma mudança rumo à sustentabilidade.

De acordo com Ross (2006, p. 201)

Somados aos avanços das tecnologias de informações, também emergiram, a partir da década de 1970, as preocupações com os problemas da poluição, questões ecológicas e a problemática ambiental. As discussões sobre os temas ambientais realizadas pela sociedade e pelos cientistas trouxe à tona novas demandas para trabalhos aplicados nos mais diversos ramos da ciência e da tecnologia, e inclusive para a Geografia.

Como principais problemas ambientais, a serem investigados, ocorrem a erosão acelerada, o assoreamento de cursos de água e a perda de biodiversidade. Tais problemas se relacionam diretamente às práticas de uso da terra, sendo que se acredita que práticas mais conservacionistas são possíveis e se justificam em termos ambientais. Para isso deve-se conhecer as áreas mais frágeis, e as práticas inadequadas, sugerindo-se manejos e escolhas mais racionais.

Em sua obra *Ecogeografia do Brasil*, Ross (2006, p. 60) sintetiza:

O relevo e os demais componentes da natureza devem ser levados em conta no processo de produção dos espaços, sob dois aspectos fundamentais: as potencialidades dos recursos naturais, diante das novas necessidades criadas pelas sociedades humanas, e as fragilidades dos ambientes naturais em função das interferências possíveis que as tecnologias, cada vez mais desenvolvidas, permitem. Esses dois vetores devem servir de parâmetros para nortear aquilo que se define como planejamento ambiental aplicado à gestão (administração) dos territórios. Assim, o planejamento ambiental articula-se com o princípio do desenvolvimento sustentável, o que significa permear todos os níveis das relações sociais e econômicas das sociedades humanas e dos vínculos que estas estabelecem com a natureza.

A bacia hidrográfica se coloca como unidade geográfica pertinente de planejamento, condizente com a dinâmica dos sistemas ambientais. Na bacia hidrográfica ganham sentido os fluxos de matéria e energia, e a complexidade ambiental ganha respaldo nas instituições sociais, sendo os comitês de bacias uma unidade de gestão cada vez mais atuante no território brasileiro (Cunha e Coelho, 2003).

A busca por referenciais teóricos levou à abordagem sistêmica como capaz de compreender o objeto de estudo, uma bacia hidrográfica, a partir da interação dialética dos elementos que a compõem.

A conceituação da abordagem sistêmica é realizada a partir do formulador do conceito de geossistema, Viktor Sochava, bem como de outros autores que desenvolveram estudos com base sistêmica, como Jean Tricart. Tricart (1977) com a obra *Ecodinâmica*, publicada pelo IBGE, valendo-se da teoria de bio-resistência, tornou-se referência de diversas metodologias de análise ambiental e suscetibilidades, classificando os meios de acordo com a sua estabilidade ou instabilidade.

No presente trabalho buscou-se fontes diretas desses autores, bem como discussões levadas a cabo por outros autores que se debruçam sobre esse tema. Destaca-se a chegada do pensamento geossistêmico ao Brasil a partir das traduções realizadas por Olga Cruz em 1972 (Bertrand, 2004), e por Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro em 1977 (Sochava, 1977). Na atualidade, mantendo-se vivo o debate e a influência do paradigma sistêmico, com destaque para os trabalhos de Cavalcanti e Corrêa (2004), Neves e Passos (2022), e Reis Júnior (2007a, 2007b).

Jurandyr Luciano Sanches Ross é outra referência fundamental, uma vez que, partindo de uma abordagem sistêmica, sendo Jean Tricart sua principal referência, desenvolve um método empírico para análise da fragilidade e potencialidade dos recursos naturais (Ross, 1994). Desde seu desenvolvimento, o método segue sendo aprimorado e obtendo bons resultados com fins ao diagnóstico ambiental. Martines (2005), baseando nos princípios da inferência geográfica da proposta de Camara (2001), formulou um estudo de uma bacia hidrográfica no município de Itirapina desenvolvendo princípios de inferência geográfica, sendo de grande valor para o presente trabalho.

Consultaram-se dezenas de trabalhos aplicados que utilizam da abordagem sistêmica. Eles servem como repertório, mostrando possibilidades e dificuldades da pesquisa. Existem diversas escolhas que vão desde o critério de delimitação da área de estudo, as maneiras de classificação das unidades de paisagem, as implicações de escala, os produtos cartográficos, as maneiras de trabalhar a interação dos elementos paisagísticos e assim por diante. Os diferentes caminhos apontam para a necessidade de conciliar solidez teórico-metodológica com as exigências fluidas de cada escopo de pesquisa.

Um dos trabalhos aplicados mais relevantes foi realizado por Rodriguez *et al.* (1995) na cuesta de Corumbataí-SP. Com um material cartográfico muito refinado, a equipe realizou um diagnóstico ambiental integrado possibilitando apreender as dinâmicas sistêmicas na paisagem como um todo. Esse é um produto realizado na década de 1990, mas que mantém seu

valor até dias atuais. Consiste no principal estudo aplicado que futuramente balizaria a síntese teórico-metodológica expressa na Geoeologia das Paisagens. Merece destaque também a discussão da aplicação da abordagem geossistêmica no recorte de bacias hidrográficas, realizada por Lima e Silva (2015).

A necessidade de domínio de estudos especializados em elementos da paisagem se fez presente, ainda que o eixo da pesquisa seja a paisagem como integradora de elementos. Foram buscadas referências consagradas e livros-texto, como forma de garantir um patamar básico de conhecimentos sem os quais a análise integrada sofreria fragilidade.

Na área da pedologia e erosão do solo, as principais referências consultadas foram Santos *et al* (2006), com o Sistema brasileiro da classificação de solos; Carlos Roberto Espíndola (2010); Antonio José Teixeira Guerra e Maria do Carmo Oliveira Jorge (2017); Rossi, Nalon e Kanashiro (2022), com o atlas de suscetibilidade de dos solos do Estado de São Paulo . Na hidrologia, Carlos E. M. Tucci (2001) e Antonio Christofolletti (1980) apresentam extenso arcabouço metodológico para o estudo de bacias hidrográficas, servindo para as pesquisas mais detalhadas. Em geomorfologia, destacam-se os estudos clássicos de Aziz Ab'Saber (1956), Fernando Flávio Marques de Almeida (1964) e o estudo geomorfológico de Ross para o Estado de São Paulo (Ross e Gouveia, 2022). No estudo das litologias presentes na bacia do Paraná, destacam-se Milani *et al* (2007), além de diagnóstico pela CETESB (1985), para a Área de Proteção Ambiental de Botucatu. A base de dados para cobertura e uso do solo foi obtida na plataforma MAPBIOMAS (2025).

Na área de geoprocessamento recebe destaque o trabalho de Fitz (2008) e de Camara, et, al. (2001), que entram na discussão do papel da tecnologia nos estudos geográficos, os conceitos e práticas referentes a um Sistema de Informações Geográficas, e vão até os processos decisórios envolvidos no processo. Na cartografia de paisagens destaca-se o excelente trabalho de Cavalcanti (2018), o qual faz uma ampla discussão que passa pela categoria paisagem, as escalas adequadas para cada tipo de análise, a sobreposição de camadas, o grau de detalhamento, e técnicas de validação em campo.

Para caracterizar a área de estudo, bem como promover discussão de estado de conhecimento, buscou-se monografias e artigos relativos às Cuestas Paulistas, de diferentes áreas das geociências. Dessa forma chegou-se a um amplo material, incluindo perspectivas da Engenharia Agrícola, da Geologia e da Geomorfologia. Essa opção, ainda que abrindo o leque da pesquisa para outros focos, se mostrou acertada para inserir o estudo junto ao estado de

conhecimento já existente. Destacam-se artigo de Daniela Traficante (2017) e o mestrado de Rafael Andrade (2022), produtos recentes e que analisam o setor de Cuestas de Botucatu com muita qualidade. Por fim, destaca-se o plano de manejo da APA Corumbataí-Tejupá-Botucatu perímetro Botucatu (FFLORESTAL, 2011), o qual faz levantamentos detalhados do meio físico, biótico e social ainda que em uma escala menor do que a bacia hidrográfica de estudo.

Especificamente sobre a Bacia do Alambari foi localizado apenas um trabalho precedente, sendo uma tese de doutorado realizada por Aílton Luchiari (1993). Dada a antiguidade do trabalho, bem como a diferença de enfoques, considera-se que o presente trabalho colabora com novos conhecimentos. Ocorrem estudos hídricos relevantes com um recorte de área maior, englobando toda a Bacia do Sorocaba e Médio Tietê. Nessa escala o trabalho de referência é o Relatório de Situação 2023, realizado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Sorocaba e Médio Tietê (CBH-SMT, 2023).

O desenvolvimento do texto segue as etapas lógicas de fundamentação teórica, onde se discute a revisão bibliográfica conceitual; metodologias, onde se apresentam e se discutem as opções encontradas para realizar as análises; caracterização da área de estudo, composto de revisão bibliográfica, levantamento de dados e material cartográfico, além de trabalho de campo; resultados e discussão, em que se promove a caracterização de unidades de análise, bem como geoprocessamento para a análise ambiental, efetivando-se as metodologias qualitativas de fragilidade empírica, por fim chegando-se ao planejamento ambiental, onde se discutem estratégias de conservação e cenários para a bacia do Alambari.

2. Fundamentação Teórica

A fundamentação teórica do trabalho se pautou em ampla revisão bibliográfica, atentando-se às necessidades conceituais e ao estado da arte dos estudos ambientais. Uma primeira seção discute os conceitos de paisagem e sistemas, dando ênfase a mudança de paradigma na Geografia principalmente a partir das propostas de V. Sochava e J. Tricart. Uma segunda seção discute as bacias hidrográficas enquanto unidade de análise e gestão territorial. A seguir discutem-se as possibilidades de pesquisa da paisagem constituídas pelas tecnologias de cartografia e geoprocessamento. Por fim discutem-se os referenciais teóricos para a realização de análises ambientais, com destaque para a proposta de fragilidade ambiental empírica de Jurandy Ross e o problema da erosão de solos.

2.1. Paisagem e abordagem sistêmica

A discussão teórica da paisagem é um tema de longa data na geografia. Desde o século XIX, o conceito de paisagem tem sido central para a compreensão das interações entre a sociedade e a natureza em um dado espaço. No entanto, dentro da geografia, existem diversas interpretações sobre o que constitui uma paisagem, refletindo as variadas abordagens geográficas. (Schier, 2003). A abordagem do presente trabalho se filia a concepção sistêmica da paisagem.

A concepção sistêmica se inicia a partir de questionamentos aos quais o paradigma mecanicista, de raízes cartesianas e newtonianas se mostrava insuficiente. Trata-se da dinâmica que envolve fluxos de matéria e energia, bem como sua conservação e dissipação na complexidade dos sistemas naturais abertos (Neves *et al.*, 2014). Marco dessa pesquisa é o trabalho do biólogo austríaco Ludwig Von Bertalanffy, que desenvolve a Teoria Geral dos Sistemas, na década de 1940. De acordo com essa teoria:

É necessário estudar não somente partes e processos isoladamente, mas também resolver os decisivos problemas encontrados na organização e na ordem que os unifica, resultante da interação dinâmica das partes, tornando o comportamento das partes diferentes quando estudado isoladamente e quando tratado no todo (Bertalanffy, 1973; p. 53).

Quanto à incorporação da abordagem sistêmica na Geografia, de acordo com Marques Neto (2008, p. 73):

A concepção sistêmica em Geografia [...] pode ser detectada já nos primórdios de sua sistematização por Alexander von Humboldt no final do século XVIII, o qual, por intermédio do conceito de *Landschaft*, considerava o meio geográfico em sua totalidade, funcionando mediante as inter-relações vigentes entre seus componentes, delineando-se assim as primeiras rupturas com o paradigma mecanicista e reducionista na interpretação do meio.

Segundo Gregory (1992, apud Marques Neto, 2008), a internalização da abordagem sistêmica ocorreu ao longo de um período de 35 anos. Esse processo iniciou-se em 1935 com a proposição do conceito de ecossistema pelo ecólogo-botânico A. G. Tansley e atingiu sua consolidação com a publicação de "Physical Geography: a system approach" por Chorley e Kennedy em 1971. Desde então, a perspectiva sistêmica se estabeleceu como um dos pilares das investigações em Geografia Física. A emergência dos estudos geográficos sob a ótica dos geossistemas e da análise integrada da paisagem contribuiu significativamente para a sedimentação da abordagem sistêmica nos domínios da Geografia teórica e aplicada.

Os sistemas, naturais ou antrópicos, consistem em “formações inter-relacionadas, em que os diferentes elementos, relacionados entre si, formam um todo único e integral, que se distingue de seu meio e relaciona-se com ele” (Rodriguez, Silva e Cavalcanti, 2017). O sistema abrange qualquer aspecto da realidade que se estude, manifestando-se mediante algumas categorias sistêmicas, tais como estrutura, elemento, meio, relações, intensidade, havendo ainda uma hierarquia entre os elementos, e uma subordinação de sistemas de nível inferior ao nível superior.

Georges Bertrand avalia que apesar de "vulgarizado durante a segunda metade do século XX", o paradigma sistêmico corresponde a uma profunda mudança epistemológica, transformando as matemáticas, as físicas e a biologia, dando impulso à ecologia e finalmente chegando à Geografia na perspectiva da ciência do geossistema (Bertrand e Bertrand, 2009, p. 90-91).

Cabe destacar a diferença de ecossistema e geossistema. Tendo sido proposto em 1935 pelo ecologista britânico Arthur George Tansley, o conceito de ecossistema conseguiu “visualizar o mundo vivo no ambiente físico-químico do qual nunca deixou de estar inserido” (Reis Junior, 2007a, p. 367). Trata-se de uma abordagem capaz de relacionar os fluxos de

matéria e energia entre componentes bióticos e abióticos, compreendendo um todo elementar na forma da biocenose. No entanto, tal formulação marcou-se como eminentemente teórica, destacada do espaço, desprendida de escala e com carências empíricas, segundo Bertrand em seu célebre artigo “Paisagem e geografia física global”, de 1968 (Bertrand, 2004).

No entanto, o termo geossistema foi tomado de empréstimo por Bertrand, tendo aparecido originalmente na academia soviética. Tendo um sólido arcabouço institucional com vistas ao planejamento territorial naquele país, a Geografia soviética debruçou-se sobre questões de método, levando em conta as influências da nascente ecologia e da interdisciplinaridade. Apresentavam-se, então, os problemas da micro-regionalização econômica e o mapeamento integrado físico e humano, problemas para os quais o pensamento sistêmico se mostrou eficaz (Reis Junior, 2007b). Experimentando "a desenvoltura de técnicas combinatórias, técnicas “subdivisoras” da paisagem", alinhado com os princípios sistêmicos (Reis Junior, 2007b, p. 558).

Contando com o investimento massivo da União Soviética dada a influência territorial no jogo geopolítico, o Instituto de Geografia de Irkutsk (leste siberiano) abrigou ensaios arrojados e estações de pesquisa que possibilitaram a base material para a reunião de conhecimentos necessários para a empreitada epistemológica sistêmica. Exemplos desses estudos eram os transectos sobre a paisagem, nos quais eram medidos os balanços hídrico, radioativo e de biomassa, detectando fluxos, variações, estabilidades e hierarquias (Reis Junior, 2007b).

Com essa base, Sochava propôs o geossistema a partir de princípios axiomáticos, configurando-se "como uma unidade natural dinâmica de qualquer dimensão, da maior dimensão espaço-temporal (toda a superfície terrestre), à menor (ex.: um pequeno setor morfodinâmico de encosta com mesmo sistema de transformação pedológica e estágio de sucessão florestal)" (Cavalcanti e Correa, 2016, p. 12).

De acordo com Snytko e Semenov (2008), o surgimento da ciência dos geossistemas data de 1963, quando V.B. Sochava criou e introduziu o conceito de "geossistema" no meio científico. Mais tarde, o autor caracterizou esse conceito como uma unidade complexa, independentemente de sua escala, formada por elementos naturais interconectados que seguem as leis que atuam no envelope geográfico, ou esfera da. Em termos cibernéticos, Sochava (1978, apud Snytko e Semenov, 2008) também descreveu o geossistema como um tipo específico de sistema de controle, abrangendo o espaço terrestre em todas as suas dimensões, onde os

diversos componentes da natureza estão interligados sistemicamente e, como um todo coeso, interagem tanto com o ambiente quanto com a sociedade humana.

Um modelo esquemático para visualizar um geossistema pode ser observado na figura:

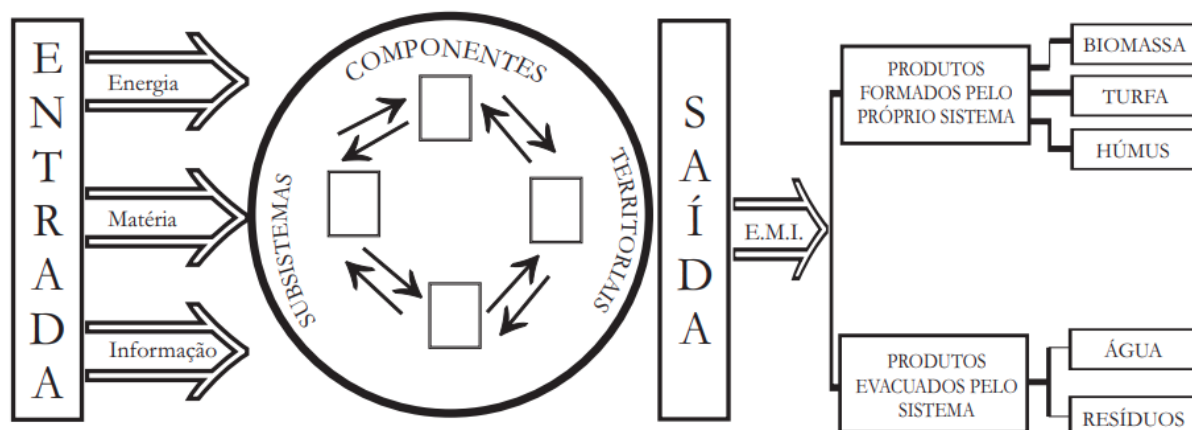


Figura 2: Modelo de Geossistema (Rodriguez, Silva E Cavalcanti, 2017, p. 42).

As unidades de análise geossistêmicas são as geofácies, definidas como a estrutura horizontal da paisagem, um mosaico no qual cada unidade é uma associação única de geohorizontes. Os geohorizontes, por sua vez, são a estrutura vertical da paisagem, definindo-se pela visão de estratos na distribuição das massas (matéria e energia). Conforme Cavalcanti e Correa (2016, p. 22) “do ponto de vista metodológico, um aspecto relevante para identificação dos grupos de fácies é a utilização de informações geomorfológicas combinadas com informações vegetacionais”.

Outro aspecto relevante é a classificação em relação a homogeneidade da estrutura. Se a estrutura é homogênea, o geossistema chama-se “geômero”; se heterogênea, ele será um “geócoro” (Reis Junior, 2007b). Os geômeros e géócoros, assim como o próprio conceito de geossistema configuram-se em níveis hierárquicos, sendo artefatos multiescalares para a interpretação da paisagem. Trata-se de uma subdivisão taxo-corológica que pode ser observada na figura 3:

Geômeros	Dimensão	Geócoros	
Geossistema Planetário			
Conjuntos de Tipos de Meios Naturais	Planetária	Cinturão físico-geográfico e Grupos de Domínios físico-geográficos	
Tipos de Meios Naturais		Subcontinentes e conjuntos de suas megaposições	
Classes de Geomas		Domínios físico-geográficos	
Subclasses de Geomas			
Grupos de Geomas	Regional	Com Zonalidade Latitudinal	Com Diferenciação Vertical
Subgrupos de Geomas		Zonas Naturais	Grupos de Províncias
		Subzonas/Províncias	Províncias
Geomas	Local	Macrogeócoro (Distritos, Paisagens)	
Classes de Fácies		Topogeócoro (Raion)	
Grupos de Fácies		Mesogeócoro (Localidades e grupos de Tratos)	
Fácies		Microgeócoros (Tratos)	
Geômero elementar (fácies elementar)		Geócoro elementar (Subtrato)	

Figura 3: Divisão taxo-corológica (Cavalcanti E Correa, 2016, p. 18).

Há ainda que se considerar a dimensão temporal nos geossistemas, a qual leva em consideração tanto a evolução (memória do geossistema) quanto a fenologia (estados) do geossistema, consistindo a pesquisa do geossistema em uma rotina espaço-temporal, na qual aplica-se a abordagem sistêmica (Bertrand e Bertrand, 2009).

Conforme Sochava (1971), os geômeros e geócoros estabelecem níveis distintos de interdependências ecológicas, os quais podem servir como base para determinar a capacidade produtiva da terra. As classificações tradicionais de paisagem, baseadas unicamente em aspectos morfológicos e desprovidas de informações ecológicas e dinâmico-estruturais, mostram-se limitadas para a criação de uma tipologia útil para terras agrícolas, uma questão crucial.

De acordo com Reis Junior (2007b), uma ampla gama de pesquisadores considera o geossistema uma conquista da geografia física, buscando uma abordagem integral, calculando parâmetros naturais e sociais, espaciais e temporais para se chegar a prognósticos e ao planejamento territorial. Na geografia brasileira, o paradigma sistêmico se mostrou presente em trabalhos seminais como os realizados por Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, pesquisador que teve contato próximo com geógrafos russos e franceses. Segundo ele, o geossistema visa a integração das variáveis “naturais” e “antrópicas” (etapa análise), fundindo “recursos”, “usos” e “problemas” configurados (etapa integração) em “unidades homogêneas” assumindo papel primordial na estrutura espacial (etapa síntese) que conduz ao esclarecimento

do estado real da qualidade do ambiente (etapa aplicação) do “diagnóstico” (Monteiro, 2001, p. 81).

De acordo com Marques Neto (2008, p. 78) “a abordagem sistêmica dentro da Geografia mostra [...] uma tendência de sobreposição conceitual entre paisagem e geossistema, sendo comumente discutidos de forma associada e por vezes considerados a mesma categoria de análise. Ainda de acordo com o autor (Idem, p. 82), “a abordagem ecodinâmica proposta por Tricart também representa uma importante possibilidade de aplicação do método sistêmico para o estudo da dinâmica das paisagens físicas”

Nas palavras de Tricart (1977, p. 16):

O conceito de sistema é, atualmente, o melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente. Ele permite adotar uma atitude dialética entre a necessidade da análise - que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação - e a necessidade, contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente. Ainda mais, o conceito de sistema é, por natureza, de caráter dinâmico e por isso adequado a fornecer os conhecimentos básicos para uma atuação o que não é o caso de um inventário, por natureza estático.

Tricart (1977) caracteriza os meios de acordo o equilíbrio dinâmico que se instala entre os processos pedogênico e morfogênico. Nos meios estáveis predomina a pedogênese, enquanto nos meios instáveis predomina a morfogênese, havendo ainda os meios intergrades, em que ambos os processos são significativos.

Assim: “onde a morfodinâmica é intensa por exemplo, num campo de dunas ou em área de intenso ravinamento a vegetação é pobre e muito aberta, com biomassa reduzida e pouca variedade específica” (Idem, p. 29). Já “onde a vegetação é capaz de fornecer detritos tem lugar a pedogênese” (Idem, p. 37). E ainda “quanto mais fraca a intensidade da dissecação, maior é a complexidade do modelado e do solo, porque as condições favorecem a permanência de relíquias. Os solos, notadamente frágeis por sua débil espessura e coesão, são longamente conservados” (Idem, p. 39). Tricart e Cailleux (1973, p. 165) sintetizam a dinâmica da seguinte forma: “when a morphoclimatic equilibrium is realised, erosional and depositional forms are adjusted to the processes that form them”

No Brasil, o método ecodinâmico de Tricart (1977) tem sido amplamente adaptado para avaliar a fragilidade ambiental em diversas áreas, tornando-se uma das abordagens mais recorrentes em pesquisas de geomorfologia ambiental, notadamente no trabalho de Ross

(1994). A abordagem ecodinâmica é frequentemente encontrada em estudos de diversos centros acadêmicos nos simpósios de Geografia Física e Geomorfologia, bem como em outros eventos da ciência geográfica. Essa ferramenta metodológica, possui um grande potencial para investigações que buscam avaliar a instabilidade morfodinâmica do meio ambiente, classificando unidades espaciais distintas em diferentes categorias de acordo com seu grau de instabilidade. Seus resultados também são diretamente aplicáveis a programas de planejamento e ordenamento territorial (Marques Neto, 2008);

Jurandy Ross aparece como uma referência no estudo sistêmico da paisagem no Brasil, sendo a principal base da metodologia do presente trabalho. De acordo com Schineider (2011, p. 19):

As proposições de Ross sintetizam importantes contribuições teóricoconceituais de outros pesquisadores clássicos como Penck, Mescerjakov, Gerasimov, Chorley, Bertrand e Tricart, inovam ao implementar critérios claros de descrição morfoestrutural, morfográfica, morfométrica e morfodinâmica através do sistema taxonômico de classificação do relevo e contribuem nos estudos dos sistemas naturais com a metodologia de análise empírica da fragilidade potencial do relevo utilizando-se dos recursos de inter-relação de dados aplicáveis em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

De acordo com Ross (2006) as unidades ambientais, termo equivalente a unidades de paisagem, são áreas territoriais que exibem certo grau de homogeneidade fisionômica. Essa uniformidade é um reflexo tanto dos fluxos naturais de energia e matéria entre seus componentes quanto das intervenções humanas por meio das atividades econômicas ao longo da história. Essa semelhança visual se manifesta concretamente através de elementos como o relevo, a vegetação e os usos da terra. Esses padrões fisionômicos podem ser mais genéricos ou mais detalhados, dependendo da escala de análise utilizada. A identificação dessas unidades baseia-se na teoria de sistemas.

No presente trabalho a paisagem é entendida sob o viés da abordagem sistêmica, representando um recurso natural de alta complexidade, crucial para a existência e o progresso tanto da humanidade quanto de outras formas de vida. A qualidade do ambiente depende significativamente de sua organização vertical e espacial otimizada. Dessa forma, o geossistema/paisagem deve servir como alicerce científico para o manejo integrado da paisagem, definido como a ação de controlar seu uso. Para isso, são necessárias ferramentas de

gestão que integrem e apliquem de maneira apropriada o conhecimento paisagístico e ecológico referente ao geossistema (Miklós, *et al.*, 2019).

2.2. Fragilidade Ambiental

A vulnerabilidade dos sistemas ambientais perante as intervenções antrópicas é relativa às suas características intrínsecas. Qualquer modificação nos componentes naturais acarreta um comprometimento da funcionalidade sistêmica, rompendo seu equilíbrio dinâmico. Diante disso, torna-se imprescindível a implementação de ações antrópicas que estejam em consonância com a potencialidade dos recursos e a fragilidade dos ambientes naturais. Torna-se urgente a adoção do planejamento físico territorial, o qual deve abranger, além da perspectiva econômico-social, também a dimensão ambiental (Soares e Oliveira, 2023).

Destaca-se a proposta teórico-metodológica de Ross (1994) como uma investigação orientada ao entendimento das relações de interdependência entre o aspecto físico-ambientais e as atividades antrópicas por meio de avaliação multitemática. Esse tipo de avaliação ganhou força na segunda metade do século XX (Santos, 2015; Cunha, 2021), havendo outras propostas como metodologia desenvolvida por Crepani *et al* (2001), também influenciada por Tricart, e a proposta da Geoecologia das Paisagens.

A proposta metodológica de Ross inicia-se com a definição clara dos objetivos da investigação, a delimitação da área de estudo e a determinação da escala de análise a ser empregada. Subsequentemente, a segunda fase concentra-se no inventário detalhado dos atributos físicos e antrópicos que caracterizam a paisagem. Este levantamento de dados é crucial para a seleção de informações a serem representadas cartograficamente e, em conjunto com as atividades de campo, fundamenta a terceira etapa: o diagnóstico ambiental. Precedendo esta etapa diagnóstica, a metodologia preconiza a análise da paisagem seguindo uma hierarquia taxonômica do relevo. A fase de diagnóstico ambiental propriamente dita consiste na correlação e análise das informações coletadas nas etapas anteriores, o que possibilita a identificação de áreas com potenciais vulnerabilidades morfodinâmicas na paisagem (Oliveira, 2014).

Discutindo-se resumidamente outras propostas mencionadas para diagnósticos ambientais, destacam-se como alternativas as metodologias de Crepani *et al* (2001) e de Rodriguez (1995). A metodologia de Crepani é bastante similar à de Ross, também se

inspirando no referencial da Ecodinâmica de Tricart (1977). No entanto, na metodologia de Crepani, as variáveis são sintetizadas em um cálculo de fragilidade por meio de média aritmética simples. Considera-se isso uma desvantagem pois parte do pressuposto de que todas as componentes da paisagem têm a mesma importância na definição da fragilidade. Há uma tendência a resultar em valores médios, os quais podem mascarar ou atenuar o índice de fragilidade (Spörl e Ross, 2004).

A metodologia de Rodriguez, por sua vez, estrutura-se em etapas sequenciais. Inicialmente, ocorre a Organização do Projeto, seguida pelo Inventário dos Componentes Naturais, compreendendo a Caracterização Geoecológica, e pelo Inventário dos Componentes Antrópicos, que abrange a Caracterização Sócio-Econômica. A integração dos dados levantados nessas fases fornece a base para a subsequente fase analítica. A análise dos resultados obtidos em cada etapa constitui o referencial fundamental para a sistematização de indicadores ambientais, os quais subsidiarão a fase de diagnóstico. Esta última etapa configura-se como a síntese dos resultados dos estudos, culminando na identificação dos principais problemas ambientais e, conseqüentemente, na caracterização do cenário geoambiental atual (Oliveira, 2014). Considerou-se que a metodologia de Rodriguez não integra plenamente os potenciais quali-quantitativos da utilização das modernas aplicações de Sistemas de Informação Geográfica, pautando-se por análises prioritariamente descritivas e qualitativas.

No presente trabalho optou-se pela proposta de Ross (1994), a qual integra a análise multicriterial em ambiente SIG, representando um avanço em relação ao mero cruzamento de planos de informação (sobreposição cartográfica) (Oliveira, Augustin e Fonseca, 2017). Na análise multicriterial os critérios, as variáveis presentes na paisagem, podem ser integrados com a utilização de pesos de importância através da ferramenta de álgebra de mapas.

Martines (2005), apresenta uma alternativa derivada do método de Ross associando o método Booleano Ponderativo com o Analytical Hierarchical Process – AHP (Processo Analítico Hierárquico), com a finalidade de gerar um modelo sintético da paisagem. O método Booleano Ponderativo se baseia na combinação de dados numéricos, permitindo a aplicação de diferentes pesos a cada variável. Sua potencialidade é expressa na síntese dos dados, resultando em um mapa temático onde é possível identificar diversos níveis de criticidade. Já o método AHP (Processo Analítico Hierárquico) aplica o conceito de importância relativa a um conjunto de variáveis, complementando os métodos de inferência geográfica. Este método utiliza a

hierarquização de significância para definir uma valoração numérica entre as variáveis analisadas, proporcionando um incremento avaliativo ao modelo Booleano Ponderativo.

O modelo resultante, de tipo empírico, integra variáveis a partir de um conjunto de dados observados e a partir do conhecimento de especialistas. A integração é feita através de média ponderada, considerada com “a técnica mais utilizada em projetos que envolvam análise espacial” (Camara, *et. al.*, 2001, p. 9-2). Nessa abordagem metodológica, cada mapa de entrada é tratado como uma evidência, sendo ponderado de acordo com sua relevância para a hipótese em análise. Similarmente, tanto os diferentes planos de informação quanto suas respectivas classes internas são submetidos a uma ponderação diferenciada. O modelo utiliza o conceito de inferência geográfica, a qual permite a adição de novas informações espaciais com base em dados pré-existentes, culminando em mapas temáticos com incremento semântico (Martines, Machado e Toppa, 2020).

O produto final consiste em um mapa que espacializa o grau de importância relativa por meio de valores numéricos atribuídos às diferentes áreas. “O mapa ponderado pode ser ajustado para refletir o julgamento de um especialista, segundo os pesos de importância definidos para cada critério” (Camara, *et. al.*, 2001, p. 9-10).

De acordo com Spörl (2007, p. 113):

Entende-se por especialistas, as pessoas que têm conhecimento sobre um domínio particular, entendem os problemas dentro desse domínio e têm habilidade para resolvê-los. Esses especialistas possuem o conhecimento público, aquele que inclui informações amplamente conhecidas e geralmente publicadas, disponíveis dentro do domínio, mas possuem também o conhecimento que não é encontrado em literatura publicada, aquele que é formado por regras práticas e experiências. Esse conhecimento os torna capazes de fazer suposições, reconhecerem problemas e lidar efetivamente com erros ou dados incompletos.

Spörl, Castro e Luchiari (2011, p. 115-116) fazem a ressalva de que “há grande dificuldade em ajustar os modelos propostos de análise da Fragilidade Ambiental de maneira a conciliá-los com os fenômenos complexos da natureza”. Assim, torna-se imprescindível que qualquer modelo científico seja submetido a testes rigorosos de validação e, crucialmente, a tentativas de falseamento. A busca incessante por erros configura-se como um processo contínuo de depuração dos modelos. Nesse contexto, o objetivo primordial reside em identificar as condições sob as quais o modelo se revela inadequado, ou seja, em verificar e

comprovar suas limitações intrínsecas. De todo modo, considera-se que os modelos de fragilidade são ferramentas importantes para a etapa de planejamento ambiental.

Vitte (2011) destaca a filiação da proposta de Ross com suas reflexões sobre a gênese do relevo e dos processos modeladores. Além disso, a considera um avanço em relação à Ecodinâmica de Tricart, culminando em sua obra de síntese da relação dialética entre a organização natural e a produção do território brasileiro: *Ecogeografia do Brasil* (Ross, 2006). Segundo Marques Neto (2008), a proposta de Ross está fundamentada na análise das interconexões entre morfogênese e pedogênese, demonstrando significativa potencialidade para investigações que visam avaliar a instabilidade morfodinâmica ambiental. Ela possibilita a classificação de unidades espaciais distintas em diferentes categorias, de acordo com seu grau de instabilidade. Adicionalmente, seus resultados oferecem subsídios diretos para programas de planejamento e ordenamento territorial, apresentando aplicabilidade especialmente relevante em áreas de forte dinamismo morfogenético, como as encontradas no domínio tropical atlântico.

Spörl (2007) destaca a erosão do solo como um dos resultados do desequilíbrio dos sistemas ambientais, principalmente em função de atividades antrópicas mal planejadas. Nesse sentido, os mapeamentos de Fragilidade Ambiental analisam o ambiente em função de seus diferentes níveis de fragilidade ao processo de erosão, levando em conta suas características naturais (fragilidade pontecial) e relacionando essas características ao uso da terra (fragilidade emergente).

A erodibilidade do solo, ou sua fragilidade à erosão, depende das suas características físicas e químicas. Isso explica por que alguns solos são mais suscetíveis à erosão do que outros, mesmo sob as mesmas condições ambientais. Além disso, o tipo de uso do solo e a cobertura vegetal são fatores cruciais no processo erosivo. Eles não apenas protegem o solo da perda de material, mas também atuam direta e indiretamente na proteção contra os efeitos que modificam as formas do relevo (Kawakabo *et al*, 2005).

Segundo Guerra e Jorge (2017), a erosão dos solos é um fenômeno natural, sendo que todas as paisagens que possuam algum tipo de declividade, geralmente superior a 3°, podem sofrer erosão. Quando a erosão ultrapassa os níveis naturais, fato comum em regiões tropicais com falta práticas conservacionistas, cria-se um problema ambiental evidenciado em sulcos, ravinas, voçorocas e assoreamento do leito dos rios.

No Brasil, são perdidas toneladas de solo agricultável anualmente, problema bastante significativo também no Estado de São Paulo (Corrêa, Moraes e Pinto, 2015). Em praticamente todo o Sul, Sudeste e Centro-Oeste brasileiros, sulcos, ravinas e voçorocas são feições frequentes, geralmente associadas ao uso do solo, ao substrato geológico, ao tipo de solo, às características climáticas, hidrológicas e ao relevo (Filizola, Boulet e Gomes, 2003). Em estudo de Wang *et al* (2021), a cobertura da terra é o fator de maior correlação com a variação das taxas de erosão. A aplicação da modelagem de fragilidade ambiental colabora na identificação de processos erosivos e sua possível mitigação através de medidas conservacionistas.

2.3. Cartografia e Geoprocessamento

Diante do problema ambiental, para Martinelli (1994, p. 61), “a representação gráfica como uma linguagem artificial não pode ficar alheia [...], porquanto tem potencial para participar dele, mediante mapas, com a tríplice função: de registrar as informações, de processar os dados, de denunciar as distorções e de comunicar os resultados obtidos a partir das pesquisas empreendidas sobre a questão”.

A importância da cartografia transcende a mera representação sintetizada (obtida pela análise de diferentes mapas temáticos) das complexas e interligadas relações entre os elementos naturais e a sociedade. Mais do que isso, a cartografia possibilita investigar como as paisagens se transformam no espaço e no tempo. Essa capacidade é fundamental para que pesquisadores e planejadores possam tomar decisões eficazes, prevenindo os atritos que surgem quando se tenta conciliar o potencial e as limitações naturais de um território com o desenvolvimento de suas atividades socioeconômicas (Chavez, Puebla e Trombeta, 2019).

Retomando o conceito de paisagem, Cavalcanti (2018, p. 11) as define como indivíduos geográficos, os quais "agregam elementos e processos com diferentes naturezas, dimensões e durações que, relacionando-se numa determinada área da superfície terrestre, dão origem a uma unidade visível”. A diferenciação e a representação das paisagens são, portanto, objetivos básicos da cartografia junto às geotecnologias.

A questão da escala se impõe frente à cartografia das paisagens, uma vez que cada escala permite um tipo aplicação, bem como exige um tipo de levantamento. Cavalcanti (2018)

propõe um primeiro tipo de escala situada entre as menores que 1:250.000, sendo um exemplo de aplicação os domínios de natureza de Ab'Saber. Servem à comparação de biodiversidade bem como à zoneamentos ecológico-econômicos em nível estadual, regional e nacional. As escalas entre 1:25.000 e 1:250.000 configuram o mapeamento semidetalhado, revelando tipos de associações entre unidades de paisagem. Alimentam a modelagem e o zoneamento ambiental e servem para o planejamento em nível municipal ou intermunicipal. Os levantamentos detalhados abrangem escalas de 1:2.000 a 1:10.000, permitindo representar unidades de paisagem pequenas e detalhar dinâmicas e vulnerabilidades ambientais. Grande parte do trabalho pode ser realizada a partir de mapas temáticos preexistentes e com uso das geotecnologias. Contudo, tanto o mapeamento detalhado como o semidetalhado exigem procedimentos de campo para validar e adensar informações. No presente trabalho julgou-se mais adequada a escala de trabalho 1:200.000, sendo capaz de revelar as principais dinâmicas da bacia, sem contudo um levantamento detalhado.

As ferramentas e as técnicas recentes de geoprocessamento suprem hoje parte da lacuna metodológica que a proposta inicial dos estudos baseados na abordagem sistêmica encontrava para realizar seus objetivos (Schneider, 2011).

Destaca-se, inicialmente, entre as geotecnologias o Sistema de Informações Geográficas. "Um SIG é um poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados espaciais do mundo real para um conjunto de propósitos específicos" (Fitz, 2008, p. 19). Os dados espaciais utilizados em um SIG podem ser do tipo vetorial ou matricial. Os dados vetoriais traduzem imagens vetorizadas, compostas de pontos, linhas e polígonos. Os dados matriciais traduzem imagens digitais matriciais geradas por sensoriamento remoto e processos de escanização. São imprescindíveis, ainda, os dados alfanuméricos. Compostos por letras, números ou sinais gráficos, formam bancos de dados os quais são vinculados à estrutura espacial do sistema (Idem).

Quanto ao sensoriamento remoto, pode ser definido como "a técnica que utiliza sensores para a captação e registro à distância, sem o contato direto, da energia refletida ou absorvida pela superfície terrestre" (Fitz, 2008, p. 72). As imagens digitais obtidas por sensoriamento remoto permitem a análise da superfície terrestre, indo além dos limites convencionais do olho humano. Além do espectro visível, o sensoriamento remoto permite trabalhar com as micro-ondas, e com as faixas do ultravioleta e infravermelho. As imagens

obtidas podem ser analisadas através da composição de bandas e podem ser classificadas de acordo com a aplicação desejada, servindo à diversas tarefas de geoprocessamento.

O geoprocessamento, por sua vez, pode ser definido como “uma tecnologia, ou mesmo um conjunto de tecnologias, que possibilita a manipulação, a análise, a simulação de modelagens e a visualização de dados georreferenciados” (Fitz, 2008, p. 20). Formalmente, o geoprocessamento pode independer de um SIG. Basta, por exemplo, uma sobreposição de mapas traçados em lâminas transparentes ou papel vegetal. As geotecnologias, no entanto, facilitaram e ampliaram grandemente suas aplicações. Pode-se considerar, de maneira ampla, que as aplicações do geoprocessamento servem à análise espacial (Idem).

De acordo com Camara *et al* (2001, p.2-1): “o problema fundamental da Ciência da Geoinformação é o estudo e a implementação de diferentes formas de representação computacional do espaço geográfico”. Ainda segundo os autores (Idem, p. 2-2) “do ponto de vista da aplicação, utilizar um SIG implica em escolher as representações computacionais mais adequadas para capturar a semântica de seu domínio de aplicação”.

O principal diferencial de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de outros sistemas de informação é sua capacidade de realizar análises espaciais. Isso se liga ao objetivo principal dos projetos, que “é a combinação de dados espaciais, com o objetivo de descrever e analisar interações, para fazer previsões através de modelos, e fornecer apoio nas decisões tomadas por especialistas” (Idem p. 9-1).

Segundo Lima (2015), a definição de unidades ambientais (paisagens) homogêneas é uma das principais situações em que as técnicas de análise espacial são utilizadas. Com o objetivo de chegar a zoneamentos ambientais, o método mais usual de integração de dados com os elementos da paisagem é a sobreposição de mapas, chegando-se a um mapa-síntese. Lima adverte, no entanto, que não se deve proceder apenas a simples justaposição de produtos cartográficos. As unidades de paisagem integram dinamicamente os elementos naturais e humanos e a análise espacial deve ser capaz de revelar essa dinâmica. Entre as técnicas para esse fim se incluem a álgebra de mapas e a estatística multivariada.

No presente trabalho as unidades foram delimitadas seguindo classes de altitude. As principais análises foram feitas com álgebra de mapas, utilizando-se também a sobreposição cartográfica para subdividir a análise para cada unidade.

2.4. Bacias Hidrográficas e Planejamento Ambiental

Em termos hidrológicos, na definição de Tucci (2001), a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, descontando-se as perdas por evapotranspiração e infiltração profunda. Na definição de Christofolletti (1980, p. 102), a bacia hidrográfica consiste na "área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial", compreendendo os recursos hídricos e também toda a área que os afeta.

A bacia hidrográfica é reconhecida como uma unidade espacial de estudo na Geografia Física desde o final da década de 1960. No entanto, foi na última década que sua utilização se consolidou entre profissionais não apenas da Geografia, mas também de diversas áreas das Ciências Ambientais, em suas pesquisas e projetos. Compreendida como a unidade fundamental para a análise ambiental, a bacia hidrográfica possibilita a identificação e avaliação de seus múltiplos componentes, bem como dos processos e interações que nela se desenvolvem. A adoção dessa unidade básica subentende uma perspectiva sistêmica e integrada do ambiente (Botelho e Silva, 2004).

Bacia hidrográfica de acordo com Lima e Silva (2015), é uma totalidade sistêmica. Tal totalidade é formada por interações e articulações dos vários sistemas ambientais, ecossistemas, geossistemas e sociossistema. Para o autor, a bacia hidrográfica consiste em recorte adequado da pesquisa geossistêmica, articulando os fluxos de energia e matéria, bem como os elementos que compõe o geossistema, tais como relevo, solo, uso do solo e clima.

Existe um entendimento geral em âmbito nacional de que a bacia hidrográfica deve ser considerada como unidade fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos. Esta visão a trata como um sistema único e integrado, que transcende as fronteiras político-administrativas, onde todos os recursos naturais e atividades econômicas estão interligados e fazem parte do mesmo sistema interativo (Lima, 2012).

A Conferência Internacional de Água e Meio Ambiente, que ocorreu em Dublin em janeiro de 1992 trouxe um conjunto de recomendações para a gestão sustentável dos recursos hídricos, destacando quatro princípios fundamentais: 1) a água potável é um recurso finito e vulnerável, essencial para sustentar a vida, o desenvolvimento e o meio ambiente; 2) desenvolvimento e o gerenciamento dos recursos hídricos devem ser baseados num modelo de gestão participativa, envolvendo usuários, técnicos planejadores e agentes políticos em todos

os níveis; 3) as mulheres têm um papel central no suprimento, na gestão e na proteção dos recursos hídricos; 4) a água tem valor econômico e deve ser reconhecida como um bem econômico (Taveira, 2018).

Desse modo, compreende-se que a bacia hidrográfica é um recorte sistêmico pertinente, e apto ao planejamento, conjugando preocupações com o abastecimento hídrico, além dos problemas de uso do solo na área drenada. As degradações antrópicas aparecem como grande ameaça, sendo que um uso mais sustentável dos recursos é possível, havendo necessidade de conjugar os esforços de pesquisa científica e gestão participativa para melhoria de qualidade ambiental das bacias hidrográficas.

De acordo com Silva (2018), no campo científico atual, há um consenso de que o planejamento ambiental deve eleger sua categoria espacial preferencial em função de seus objetivos e metas preestabelecidos. Entre as diversas categorias de análise espacial passíveis de utilização, destacam-se ecossistemas, unidades ambientais, geossistemas, paisagens, bacias hidrográficas, zonas ecológico-econômicas e bioregiões ou biomas. A escolha de uma categoria específica está diretamente ligada à dimensão do território, à escala geográfica e aos propósitos do planejamento ambiental, partindo do macroconceito científico de ambiente.

Para Ross (2019, p. 36):

As bacias hidrográficas, são por excelência unidades territoriais, que se consubstanciam em unidades ambientais, onde a água é a componente natural de intersecção de interesses sociais e econômicos. Em função disto as bacias hidrográficas, de diferentes ordens e tamanhos, são por definição unidades territoriais de planejamento sócio-ambiental.

Para o autor (Idem), o principal objetivo da Geografia ao buscar a compreensão integrada entre sociedade e natureza é organizar um corpo de informações que se concretize em documentos. A partir desses documentos, é possível planejar e gerir ações ambientais em diferentes espaços, visando à conservação, preservação e recuperação da natureza. Paralelamente, essas ações devem fomentar o desenvolvimento econômico e social de forma sustentável, sem restringi-lo. Isso implica promover um desenvolvimento que respeite as potencialidades e limitações naturais, não necessariamente através de uma preservação total dos recursos, mas sim pela adoção de usos tecnicamente apropriados e pelo tratamento criterioso dos resíduos gerados.

O desenvolvimento ambiental requer uma política pública de planejamento ambiental que abranja diversas áreas. Isso inclui aspectos educacionais e de saúde pública, investimentos em infraestrutura e um ordenamento territorial que considere as potencialidades e fragilidades naturais. Além disso, a gestão territorial deve envolver a criação de unidades de conservação, fiscalização, monitoramento ambiental das atividades produtivas e controle da qualidade do meio ambiente. No que tange ao planejamento territorial ambiental, as preocupações centrais devem ser a preservação ambiental, a conservação dos recursos naturais e a recuperação de áreas degradadas (Ross, 2006).

Considera-se o planejamento ambiental como “a análise integrada do ambiente, a partir de um conjunto coordenado de etapas que envolvem não só o levantamento de diversas informações, mas a sistematização e análise visando garantir a preservação e a conservação do ambiente” (Trombeta e Leal, 2016, p. 188).

Para Santos (2007, p.28):

O planejamento ambiental consiste na adequação de ações à potencialidade, vocação local e à sua capacidade de suporte, buscando o desenvolvimento harmônico da região e a manutenção da qualidade do ambiente físico, biológico e social [...] Trabalha, enfaticamente, sob a lógica da potencialidade e fragilidade do meio, definindo e espacializando ocupações, ações e atividades, de acordo com essas características.

Nas bacias hidrográficas, a intensificação das atividades agrárias e da pecuária em desacordo com a aptidão do solo, somada ao planejamento urbano inadequado e aos efeitos da poluição difusa em áreas de elevada vulnerabilidade natural, tem provocado alterações significativas em dinâmicas funcionais. Esses impactos comprometem a qualidade da água tanto em fontes superficiais quanto em aquíferos, evidenciando a suscetibilidade desses sistemas frente à exploração desordenada dos recursos naturais (Manzione et al., 2010).

Em bacias hidrográficas com predominância de uso agrícola, o manejo direcionado à garantia do abastecimento hídrico superficial e subterrâneo deve ser prioritário no planejamento do uso da terra, apesar de sua complexidade. Essa priorização deve focar a otimização da infiltração da água no solo, em articulação com a mitigação do escoamento superficial resultante de processos erosivos (Traficante *et al.*, 2017).

Um aparente dilema se impõe referente a conservação ambiental e o desenvolvimento econômico. A regulação territorial se impõe, uma vez que interesse individual dos agentes de

mercado tende a somente maximizar seus ganhos, mesmo que às custas do ambiente. Feiock e Stream (2001) argumentam que o papel do poder público pode fazer convergirem os ganhos econômicos e ambientais, isso ao estabelecer marcos seguros e previsíveis para a ação do investimento privado. McGurn e McKay (2020) também analisam os conflitos dos interesses econômicos individuais frente aos valores ambientais coletivos. De acordo com os autores, a tendência econômica da agricultura convencional é o aumento de produtividade com impactos ambientais negligenciados, como a redução da biodiversidade. Para contrapor essa tendência são necessárias políticas públicas específicas para as demandas ambientais.

3. Metodologia

O trabalho foi dividido em duas etapas principais: 1) Revisão bibliográfica, onde buscou-se a fundamentação teórica e caracterização da área de estudo; 2) Análise e planejamento ambiental, onde empregam-se metodologias quali-quantitativas para obter os resultados e propor medidas conservacionistas.

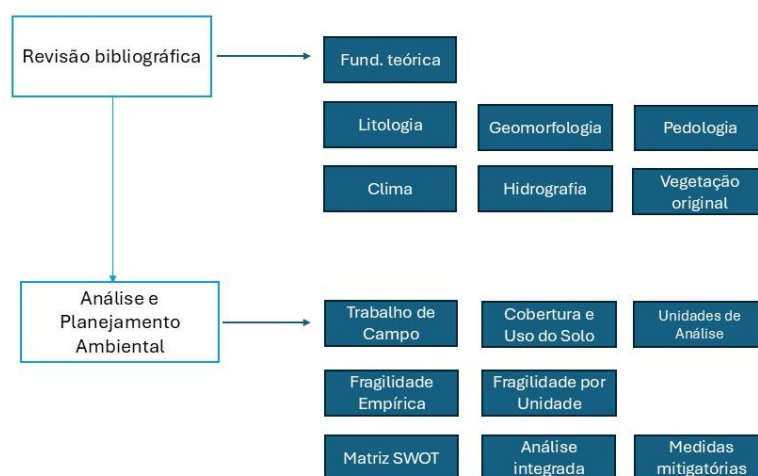


Figura 4: Etapas da pesquisa.

Na etapa de caracterização da área de estudo, conforme explicitado por Santos (2007), são delineadas as questões fundamentais que orientarão a efetiva elaboração da análise ambiental. Dentre estas, destacam-se a identificação dos elementos da paisagem considerados significativos para a investigação, a definição das variáveis cruciais para a construção de indicadores robustos, a determinação da escala de análise apropriada e a identificação das principais fontes de informação a serem consultadas.

Os estudos da paisagem ganham grande viabilidade graças aos modernos recursos computacionais e Sistemas de Informações Geográficas. Além de abrir novas possibilidades, ganha celeridade o levantamento e análise de diversos dados que antes demandavam muito tempo e recursos humanos.

A base cartográfica e o geoprocessamento do trabalho foram feitas no software ArcGIS 10.5. As delimitações da bacia do Rio Alambari, da rede de drenagem, das curvas de níveis e da hipsometria foram feitas em ambiente SIG, utilizando-se Modelo Digital de Elevação da missão Copernicus, com resolução espacial de 30 metros. O Modelo Digital de Elevação é uma modalidade de Modelo Numérico de Terreno, definido como “um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y), em um referencial qualquer, com atributos denotados de z, que descrevem a variação contínua da superfície” (Camara, et, al., 2001, p. 2-9) Desta forma, ele denota a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Foram consultadas as Folhas Topográficas do IBGE em escala 1:50.000 a fim de verificar a consistência das informações, bem como os topônimos dos principais rios. Através da ferramenta “Slope”, utilizando o mesmo MDE, pode-se chegar ao mapa de declividade.

A bibliografia e cartografia já existentes permitiram chegar aos levantamentos de solo e litologia, bem como à climatologia. Deve-se frisar que a escala de detalhamento disponível não é minuciosa, no entanto considera-se como válida e capaz de contribuir com o planejamento para a escala da bacia do Rio Alambari. As fontes para cada elemento foram: Litologia, escala original 1:1.000.000 (CPRM, 2009); Pedologia e Erosividade, escala original 1:500.000 (Rossi, Nalon e Kanashiro, 2022); Precipitação (ANA, 2025). Utilizou-se ainda o mapa de unidades do relevo do IBGE (2006), escala original 1:5.000.000.

O mapa de cobertura e uso da terra foi obtido através do MapBiomas, coleção Cobertura 10m, série temporal para o ano de 2022. Trata-se de uma coleção em estágio de desenvolvimento beta, tendo sido feito teste próprio de acurácia neste trabalho, chegando a resultados satisfatórios. O projeto MapBiomas, estabelecido em 2015 por meio de uma iniciativa colaborativa envolvendo universidades, organizações não governamentais e startups de tecnologia, realiza o mapeamento anual da cobertura e do uso da terra em toda a extensão do território brasileiro, disponibilizando os resultados cartográficos de forma gratuita. Esse mapeamento fundamenta-se na classificação de um extenso histórico de imagens multiespectrais abrangendo o período de 1985 até o presente, utilizando dados dos sensores da missão Landsat (MAPBIOMAS, 2025).

As imagens, adquiridas por meio de satélites, fotografias aéreas ou scanners aerotransportados, constituem formas indiretas de obtenção de informação espacial. Armazenadas sob a forma de matrizes, cada elemento imagético, conhecido como pixel,

contém um valor que é proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela porção da superfície terrestre correspondente (Camara, et, al., 2001, p. 2-10). A classificação das imagens para se chegar ao mapa de cobertura e uso é feita pela plataforma MapBiomas por meio do método supervisionado, onde os operadores abastecem um algoritmo com informações amostrais de correspondência das imagens com os devidos usos.

Esse método comporta um grau de erro, devendo-se fazer testes de acurácia. Oliveira e Arraut (2024) avaliaram a acurácia global das coleções MapBiomas para o estado de São Paulo como em torno de 90%, demonstrando boa qualidade. Neste trabalho realizou-se um teste de acurácia para o mapa de cobertura e uso comparando os dados do MapBiomas com imagens de satélite Sentinel-2, chegando-se a uma taxa de acurácia global de 87%. Utilizou-se a metodologia proposta por Olofsson *et al* (2014).

Foi feita uma subdivisão da área de estudo em unidades, visando ampliar o potencial analítico. A divisão da paisagem em unidades homogêneas é um problema extenso na Geografia, tendo sido oferecidas diversas interpretações e metodologias. Considerou-se que um excelente procedimento inicial é “a determinação de limites naturais com base na interpretação de dados temáticos. Para isso, é preciso dispor de um conjunto de dados temáticos diversos (geologia, clima, solos, drenagem, altitude, vegetação etc.)” (Cavalcanti, 2018, p 22). Os trabalhos tipicamente partem de recortes tais como bacias hidrográficas, unidades de conservação, municípios, entre outros. Sobre esse recorte as unidades de paisagem são identificadas e cartografadas na forma de mosaico, seguindo critérios interpretativos variados, os quais podem privilegiar um ou outro aspecto. Geomorfologia, vegetação e uso do solo são, em geral, os elementos decisivos.

Conforme Sampaio e Augustin (2014), diversas metodologias podem ser empregadas na realização do mapeamento geomorfológico, sendo a escolha da abordagem metodológica dependente dos objetivos específicos da pesquisa. Os autores enfatizam a importância de buscar a delimitação de unidades geomorfológicas por meio de técnicas quantitativas que possibilitem a comparação com outras áreas de estudo, argumentando que o mapeamento geomorfológico não deve se restringir a critérios qualitativos e subjetivos.

Neste trabalho, com base na observação em campo e cartográfica, avaliou-se que o fator hipsométrico era o que melhor estabelecia classes para as unidades de análise, respeitando as feições do relevo e as dinâmicas ambientais entre os componentes da paisagem. As faixas

altitudinais foram divididas com o método de quebras naturais de Jenks, conforme o histograma a seguir:

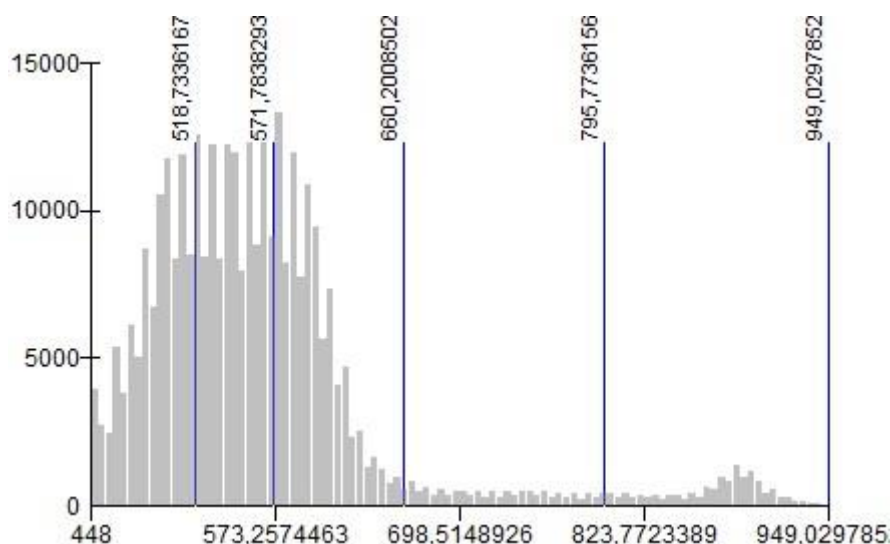


Figura 5: Histograma de classes hipsométricas.

O mapa de unidades segundo as faixas altitudinais recebeu ainda o tratamento do método de sombreamento de relevo, através da ferramenta HillShade, a partir do Modelo Digital de Elevação, de forma a deixar mais evidentes os contornos das feições.

Na etapa de Análise Ambiental, o principal instrumento metodológico do presente trabalho tem como base as proposições de Ross (1994) para a construção de um modelo de fragilidade ambiental. Segundo Spörl e Ross (2004, p. 48), “a grande contribuição dos modelos de fragilidade ambiental é proporcionar uma maior agilidade no processo de tomada de decisões, servindo de subsídio para a gestão territorial de maneira planejada e sustentável, evitando problemas de ocupação desordenada”.

No presente trabalho optou-se por utilizar os valores obtidos por Martines (2005) em consulta a especialistas para sua dissertação de mestrado sobre área no município de Itirapina (SP). Considerou-se que as características ambientais são similares, tratando-se nos de áreas de cuevas basálticas no contato entre Depressão Periférica e Planalto Ocidental Paulista. Os valores foram adaptados tendo em vista algumas designações de classes diferentes, mas mantendo características ambientais equivalentes.

Para a aplicação do conceito de inferência geográfica, procedeu-se à conversão de todos os Planos de Informação (PIs) vetoriais para o formato matricial, visando associar valores numéricos às células das matrizes. Essa transformação possibilitou a realização de operações de álgebra de mapas, mediante cálculos aritméticos, culminando na integração dos dados em um modelo de síntese. A execução da álgebra de mapas requer que todos os PIs estejam representados como modelos numéricos. Consequentemente, tornou-se necessário converter os PIs temáticos vetoriais, cujos atributos são expressos qualitativamente em classes temáticas, para uma representação quantitativa por meio de um processo de padronização em valores numéricos (Martines, Machado e Toppa, 2020), conforme a figura 6. A nomenclatura de solos podzólicos vermelho-amarelos foi atualizada para argissolos vermelho-amarelos nos resultados.

Tema	Sigla	Valor
Solos	terra roxa estrutura	1,33
	latossolo roxo	2,08
	latossolo vermelho escuro	2,33
	solos hidromórficos	2,58
	latossolo vermelho amarelo	3,00
	podzólico vermelho amarelo	3,83
	solos litólicos	4,17
	Areia quartzosa	5,00
Declividades	0 a 5	1,11
	5 a 12	2,11
	12 a 20	3,22
	30 a 47	4,22
	47 a 90	5,00

Tema	Sigla	Valor
Geologia	intrusivas basálticas	1,28
	arenitos e arenitos conglomeráticos	3,63
	arenitos, siltitos e folhelhos	3,75
	areias, argilhas e cascalhos	5,00
Usos	Mata	1,00
	Reflorestamento	2,21
	Capoeira	2,29
	Campo antrópico	3,29
	Cultivos de Ciclo Longo	3,43
	Cultivos de Ciclo Curto	4,29
	Solo Exposto	5,00

Figura 6: Valores atribuídos às variáveis ambientais (Martines, Machado e Toppa, 2020, p. 116).

A Análise Hierárquica Ponderada (AHP) permitiu determinar a importância relativa dos fatores Declividade, Geologia, Solos e Usos. Nesse método, os diversos fatores que exercem influência sobre a decisão são confrontados em pares. Para cada par, atribui-se um critério de importância relativa, seguindo uma escala previamente estabelecida. O processo envolve a comparação sistemática dos objetos dois a dois, alternando a ordem de apresentação para formar um julgamento sobre o peso relativo de cada par de fatores. Aqui também se optou por seguir os valores atribuídos no estudo de Martines (2005):

$$MR = 0,461538 (MCUT) + 0,230769 (MP) + 0,230769 (MD) + 0,076923 (MG)$$

Sendo que: MR = Modelo numérico resultante; MCUT = Modelo numérico da Cobertura e Uso da Terra; MP - Modelo numérico da Pedologia; MD = Modelo numérico da Declividade; MG = Modelo numérico da Geologia

Foram definidas 5 classes de fragilidade, utilizando-se o método de Quebras Naturais de Jenks. Os valores de classes foram substituídos por uma designação qualitativa, para facilitar a interpretação, sendo a fragilidade classificada em: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. A divisão de classes pode ser vista no histograma a seguir:

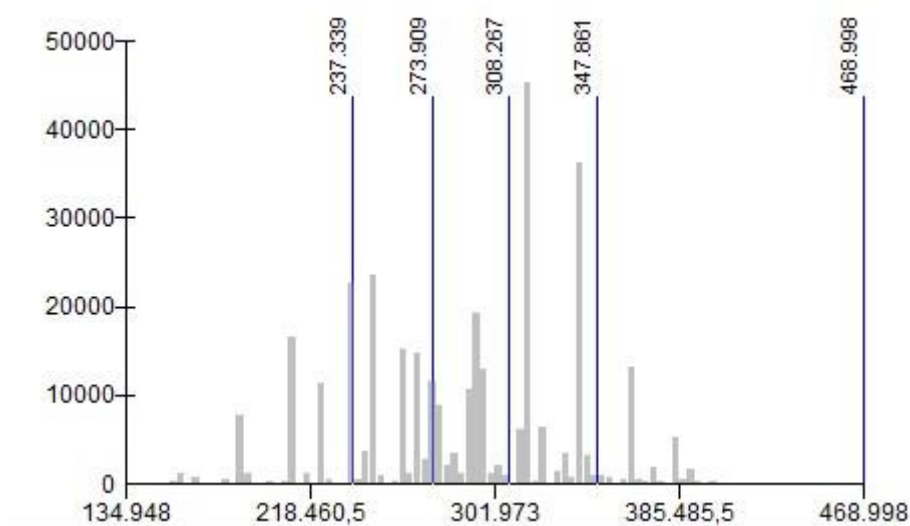


Figura 7: Histograma de classes de fragilidade (.10⁵).

Os procedimentos foram realizados no software ArcGis 10.5, utilizando-se as ferramentas “Vector to Raster” e “Reclassify”, para atribuir dados matriciais aos mapas de base. O mapa de fragilidade foi obtido pela ferramenta “Raster Calculator”, fazendo a correlação entre os mapas de base. Foi feito um recorte do mapa de fragilidade para cada faixa altitudinal, calculando-se a participação de cada classe para cada unidade a partir dos dados da tabela de atributos.

Segundo Trombeta e Leal (2016), ao planejador são necessárias sensibilidade e coerência para garantir o equilíbrio ambiental diante da exploração antrópica e dos componentes da natureza. Para alcançar esses objetivos lançou-se mão de uma matriz de análise SWOT, feita com a participação de pesquisadores e membros de uma ONG atuante na área ambiental na região de Botucatu.

A matriz SWOT identifica fatores internos e externos que beneficiam ou prejudicam os objetivos de uma organização (Fernandes, 2012). Tendo como base o mapa de fragilidade ambiental foram definidos objetivos de conservação para a Bacia do Alambari, com os participantes elencando os fatores de acordo com seus conhecimentos e visões de mundo. A matriz possibilitou que fossem feitas avaliações de cenários envolvendo a conservação da Bacia do Alambari, e que se recomendassem alguns caminhos mais eficazes para a conservação ambiental e diminuição da fragilidade.

Como metodologia complementar ao trabalho, foi realizada, ainda uma Análise de qualidade da água: a análise foi efetuada a partir do uso de medidores multiparâmetros portáteis (AK103, AK 83 e AK 87) disponíveis no Laboratório de Estudos do Quaternário, sendo a coleta realizada em pontos considerados estratégicos tendo em vista características ambientais da ocupação, áreas de cultivo agrícola, área urbana e aspectos visíveis de possível contaminação a partir de coloração e odor verificados em trabalhos de campo. A maior parte dos parâmetros foi obtida já no momento das coletas em campo, como temperatura, pH, condutividade e oxigênio dissolvido (OD). A análise e interpretação desses parâmetros foram feitas baseando-se na metodologia desses autores, bem como de Piasentin (2009), Queiroz (2003) e das resoluções do CONAMA. Foram coletadas 05 amostras ao longo do Rio Alambari, no dia 06 de junho de 2024, com pontos especializados na média bacia.

4. Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Alambari localiza-se nos municípios de Botucatu, Bofete e Anhembi (SP), com seu curso percorrendo dois compartimentos geomorfológicos distintos, o Planalto Ocidental Paulista e a Depressão Periférica. Possui nascentes do reverso da Cuesta de Botucatu e cursos que seguem para o front, atingindo um patamar mais rebaixado e desaguando no rio Tietê. A área de bacia é de aproximadamente 302,10 ha, e o eixo principal mede 36,8 km. Destacam-se o Rio Alambari, como rio principal, além do Ribeirão Anhumas e do Córrego da Fazenda Nova América, sendo topônimos reconhecidos pela população local.

A seguir, na figura 8, tem-se o mapa topográfico da Bacia do Alambari:

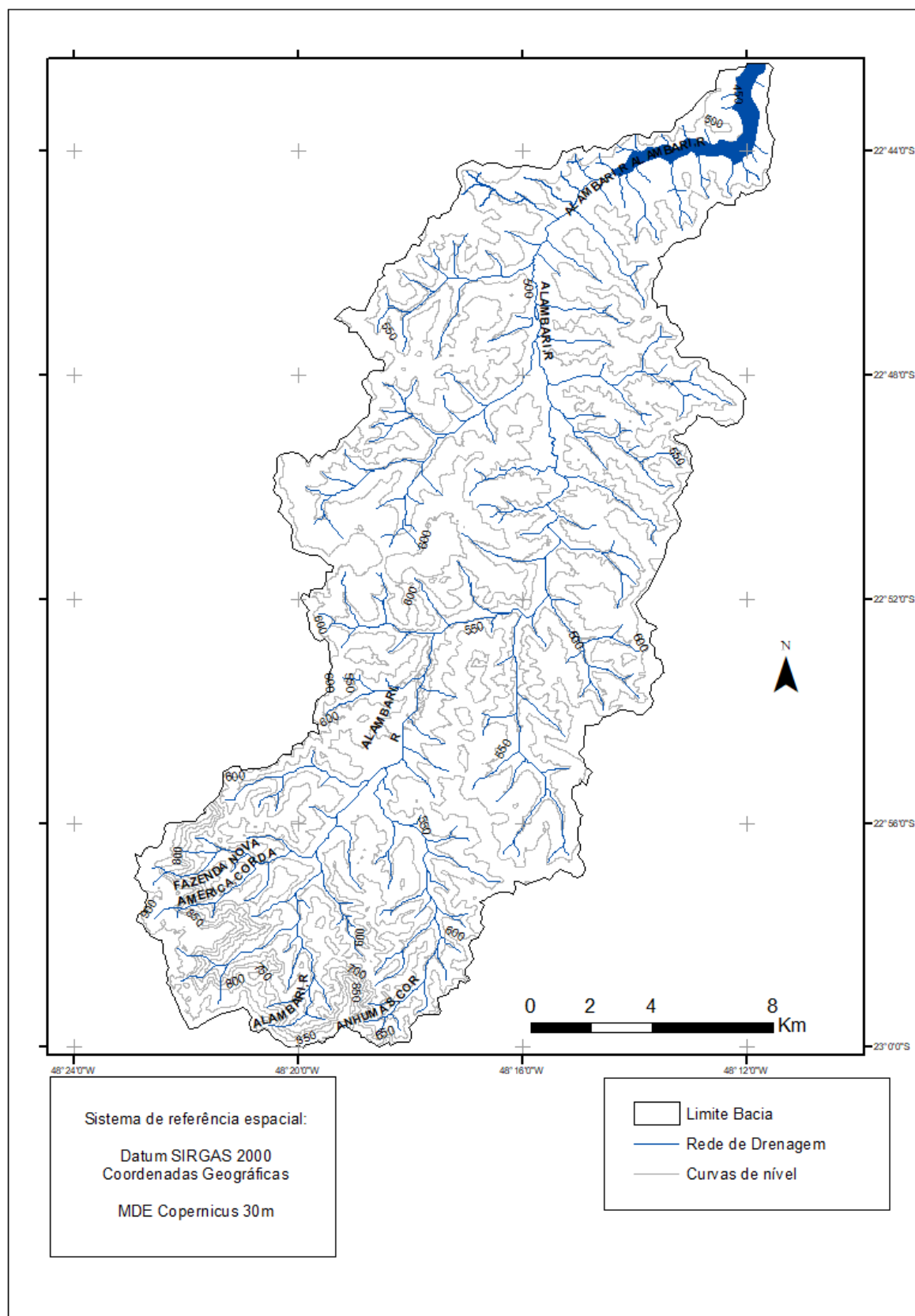


Figura 8: Mapa topográfico da Bacia do Alambari.

As linhas gerais da topografia e rede de drenagem podem ser observadas no mapa acima, sendo que subsequentemente serão analisados cada um dos elementos da paisagem.

4.1. Litologia

A área de estudo situa-se na porção oeste da Bacia do Paraná, em um contexto geológico majoritariamente mesozoico, e, em menor grau, permiano. A estratigrafia local é caracterizada, em sua camada mais inferior, pela sedimentação Passa Dois, com depósitos predominantemente pelíticos e estruturas sedimentares ligadas à ação de marés na Formação Teresina. A sequência imediatamente superior consiste no Grupo São Bento, constituído por rochas que evidenciam uma transição de ambientes deposicionais continentais, de flúvio-eólico a eólico, representadas pelas Formações Pirambóia e Botucatu, respectivamente. Adicionalmente, a região foi marcada por intensa atividade magmática intrusiva e extrusiva, associada à Formação Serra Geral, no período Cretáceo. No estrato pós-derramamento, constitui-se o Grupo Bauru, representado pela Formação Marília (Sanchez, 2023; Milani et al., 2007; CPRM, 2006).

A seguir, na figura 9, tem-se o mapa litológico da Bacia do Alambari:

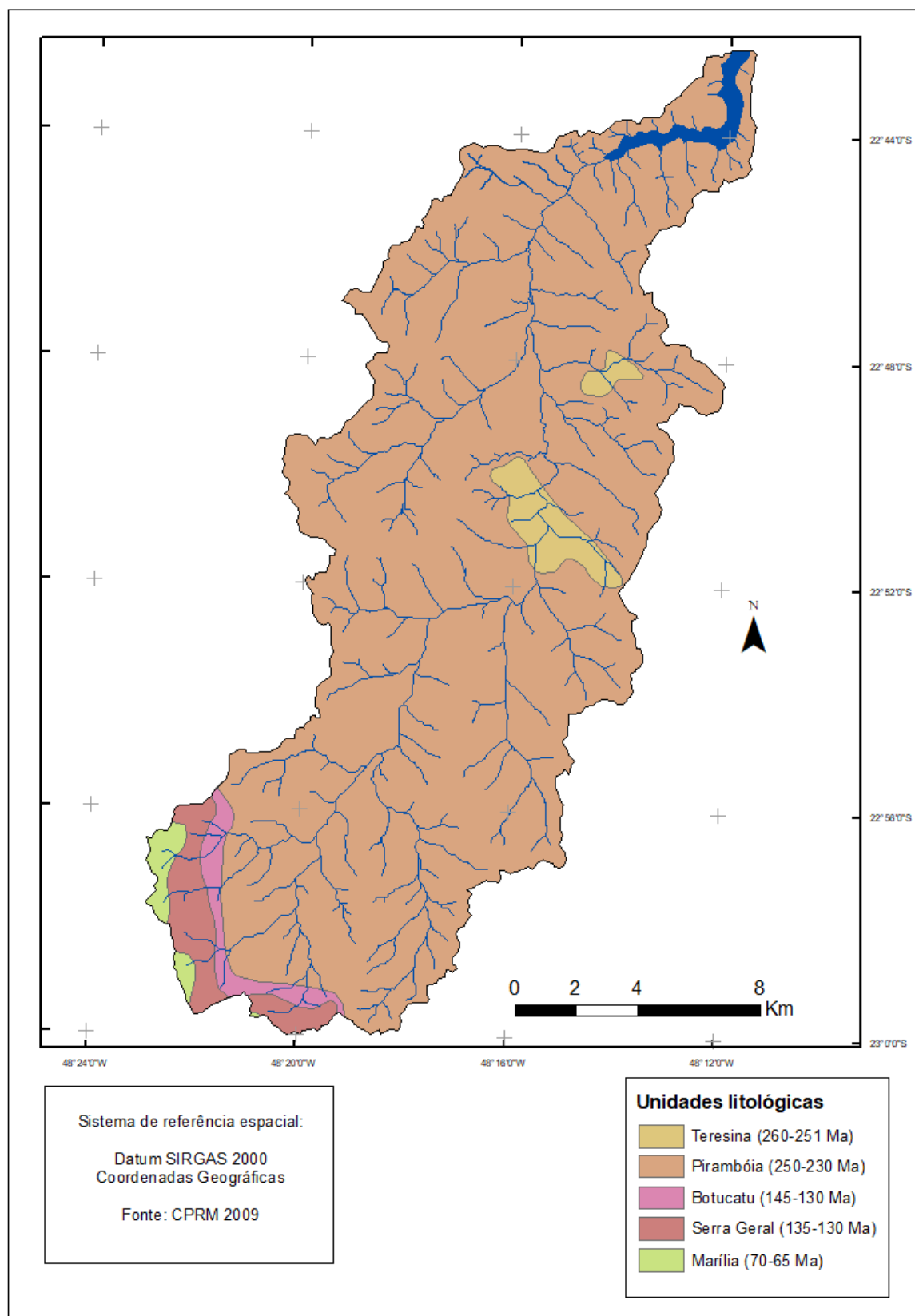


Figura 9: Mapa litológico da Bacia do Alambari.

Com uma espessura que varia entre 280 e 330 metros na borda leste da Bacia do Paraná (Coletta, 2023), a Formação Teresina, de idade Permiano Superior e originada em ambiente marinho raso, apresenta uma litologia marcada pela alternância de argilitos e folhelhos cinza claros com siltitos e arenitos muito finos, exibindo folhelhos cinza escuro na base e calcários oolíticos e coquinas no topo (SCHNEIDER et al., 1974). Seus solos de alteração preservam estruturas reliquias, enquanto a superfície é coberta por depósitos coluvionares silte-argilosos de pequena espessura (CETESB, 1985).

Conforme Perrota et al. (2005), a Formação Piramboia é definida por arenitos médios a finos, de origem continental fluvial e eólica em ambiente árido, com coloração variando entre esbranquiçada, avermelhada e alaranjada, exibindo estratificação cruzada e laminação cruzada. O solo resultante da alteração e a camada superficial preservam as características estruturais, composicionais e granulométricas das rochas areníticas originais (CETESB, 1985). É importante notar que tanto a Formação Teresina quanto a Formação Piramboia são substratos para os terrenos erodidos da Depressão Periférica (Andrade, 2022).



Figura 10: Formação Piramboia, contato entre arenito e siltito (Sanchez, 2023, p.13).

A Formação Botucatu, sobreposta à Formação Piramboia, é composta por arenitos médios a finos, de coloração rósea e idade Jurássico-Cretáceo, exibindo estratificação cruzada típica de ambientes desérticos (Milani et al., 2007). Esses arenitos são remanescentes de um extenso deserto climático que persistiu até o período do vulcanismo basáltico. O solo de alteração apresenta similaridades com a formação original, enquanto os solos superficiais são constituídos por areia fina com baixas proporções de silte e argila, notáveis por sua elevada porosidade e permeabilidade (CETESB, 1985). Em decorrência de sua alta vulnerabilidade à erosão, os arenitos da Formação Botucatu ocorrem em uma faixa estreita associada à frente de cuesta no município (Andrade, 2022).



Figura 11: Arenito Botucatu, estratificação cruzada (Sanchez, 2023, p.34).

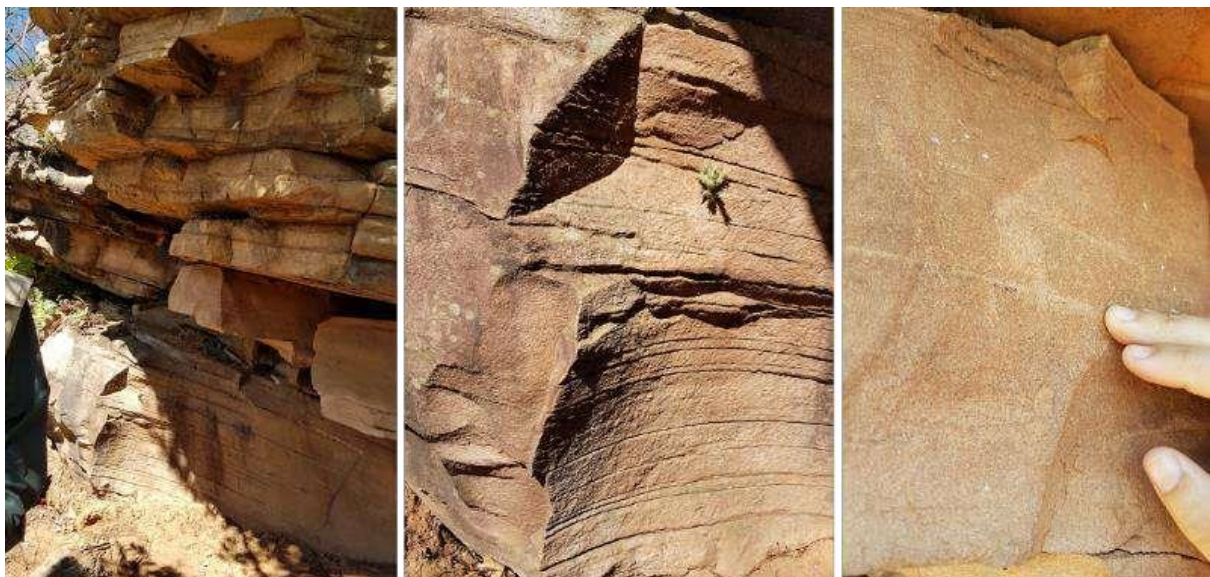


Figura 12: Arenito Botucatu silicificado (Sanchez, 2023, p.34).

A Formação Serra Geral, datada do Jurássico-Cretáceo, é constituída por derrames basálticos resultantes de vulcanismo fissural e por arenitos intertrapeados (Milani et al., 2007). A presença de estratos de arenitos interdigitados com os derrames magmáticos indica a continuidade dos processos de deposição eólica da Formação Botucatu durante o período vulcânico, resultando em camadas irregulares e descontínuas de basaltos e arenitos silicificados (Facincani, 2000; Aguilar e Cunha, 2015). As rochas vulcânicas predominantes (95% do volume) são basalto, andesito basáltico e andesito, com menor ocorrência de riodacito e riolito (5% do volume). Ao longo de sua extensão e estratigrafia, o grupo vulcânico apresenta camadas de arenito silicificado intercaladas entre os derrames de basalto, sendo interpretado por Hartmann (2014) como um conjunto de mais de 100 derrames em cada seção, equivalentes a campos de derrames. A Formação Serra Geral recobre uma vasta área, tanto a leste da linha de ruptura da cuesta, nos terrenos da Depressão Periférica, quanto a oeste, nas áreas do reverso cuestiforme (Andrade, 2022).



Figura 13: Contato de basalto da Formação Serra Geral e arenito Botucatu (Sanchez, 2023, p.48).

A Formação Marília - Membro Echaporã, pertencente ao Grupo Bauru, originou-se a partir da deposição de extensos lençóis de areia, ambiente propício à formação de calcretes freáticos e pedogenéticos (Milani et al., 2007). Sua composição litológica inclui arenitos imaturos e conglomeráticos, apresentando um espesso conglomerado basal constituído por seixos de basalto, siltitos e argilitos, com coloração variando de esbranquiçada a avermelhada. Os solos resultantes da alteração dessa formação preservam traços das estruturas sedimentares originais e exibem baixa resistência à erosão. Em contraste, os solos superficiais caracterizam-se por serem predominantemente arenosos e alcançarem consideráveis profundidades (CETESB, 1985).

As unidades estratigráficas mais recentes, datadas do Quaternário, são representadas por coberturas detrítico-lateríticas, depósitos coluvionares e corpos de tálus, além de depósitos aluvionares associados aos cursos d'água que atravessam a região (Sanchez, 2023). Evidências sugerem a predominância de climas tropicais úmidos na área desde o Neógeno, possivelmente com variações em suas características ao longo do tempo. O relevo atual reflete a influência desses climas, caracterizado por formas geralmente suavizadas, extensos mantos de alteração e a evolução laterítica dos solos, com a formação de crostas e carapaças limoníticas, bauxíticas ou de outros hidrolisados devido à concentração iluvial (Almeida, 1964).

4.2. Geomorfologia

A Bacia do Rio Alambari se situa na Bacia Sedimentar do Paraná, abrangendo duas unidades morfoesculturais, seguindo o mapa geomorfológico de Ross e Gouveia (2022, p. 729). Possui nascentes no Planalto Ocidental Paulista, na subdivisão do Planalto Residual de Botucatu, e sua foz chega ao rio Tietê, na Depressão Periférica Paulista. No mapeamento de Ross e Gouveia as Cuestas não ganham compartimento próprio sendo uma faixa de encontro entre esses dois compartimentos morfológicos

da história geológica regional, a rede hidrográfica, sobreposta à antiga bacia sedimentar, esculpe profundamente as estruturas regionais, removendo as camadas periféricas de maneira mais rápida por meio da ação intensiva de rios subsequentes. Isso resulta no início de um processo generalizado de desnudação marginal, delineando extensas linhas de cuestras com uma conformação geralmente concêntrica (Ab'Saber, 1949).

Portanto, a circundenudação que deu origem às Cuestas Paulistas foi um processo que ocorre em bacias sedimentares sinclinais após fases de epirogênese, ocorrendo intenso processo erosivo nas bordas em longas faixas semi-circulares. O front atual corresponde ao momento desse processo, tendo recuado ao longo do tempo geológico, fato que é evidenciado pelos morros-testemunhos, formações com litologia mais resistente que se evidenciam na paisagem algumas centenas de metros distante do front. Sendo Cuestas um nome popular, Ab'Saber propõe que o termo técnico mais correto seria escarpas de circundenudação (*Idem*).

Na figura 4, verifica-se toda a extensão do processo de circundenudação, como esquematizado para a Bacia do Paraná por Ab'Saber, sendo a Cuesta de Botucatu uma feição bem demarcada na margem leste, enquanto ocorre também uma margem oeste, percorrendo os estados de Mato Grosso do Sul e Mato Grosso:

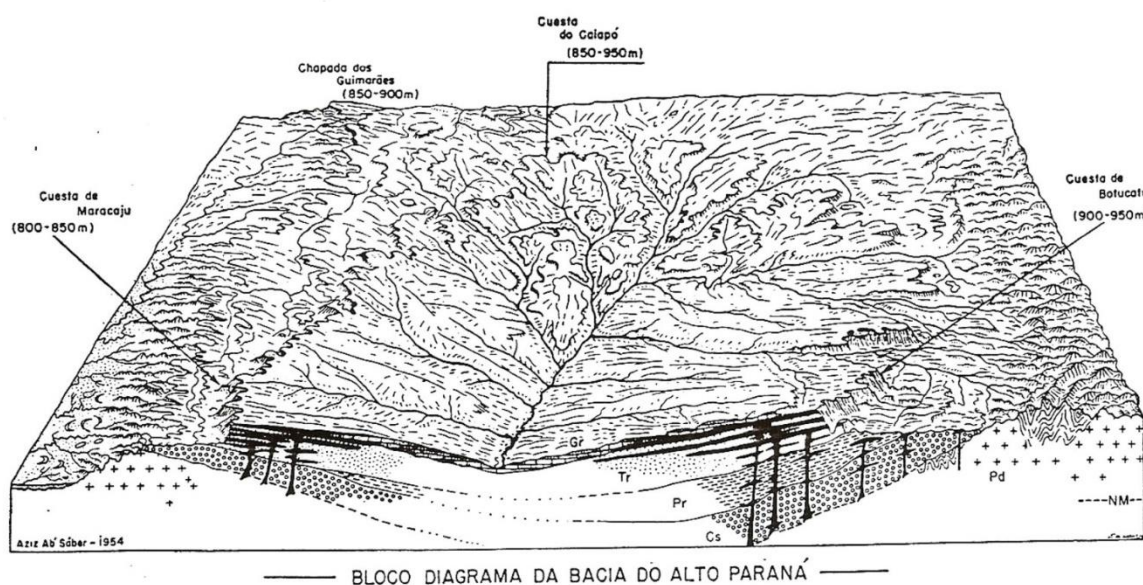


Figura 15: Bloco diagrama da Bacia do Alto Paraná (Ab'Saber, 1956, p. 17).

Em sua análise do relevo paulista, Almeida (1964) descreve duas unidades de relevo presentes na área de estudo. A primeira, denominada "Cuestas Basálticas", caracteriza-se por um mergulho regional para noroeste e pela sucessão de escarpas de bordas elevadas e festonadas, resultando em um relevo acidentado com altitudes que variam entre 420/520/540 metros nas baixas dos rios e 1000 a 1200 metros nos pontos culminantes.

A segunda unidade abordada é a Depressão Periférica, subdividida em zonas. Especificamente, a Zona do Médio Tietê, localizada no reverso da cuesta basáltica, apresenta um relevo mais erodido devido à drenagem do rio Tietê e seus afluentes, manifestando-se por colinas baixas, vales jovens e vertentes de perfil convexo (Almeida, 1964).

Adicionalmente, Almeida (1964) detalha a frente da cuesta, onde a intercalação de derrames basálticos da Formação Serra Geral e arenitos da Formação Botucatu promove a formação de degraus nas vertentes, com altitudes geralmente compreendidas entre 600 e pouco mais de 900 metros.

Em uma análise ampla, a gênese e a evolução da Depressão Periférica são processos complexos, resultantes da interação entre fatores tectônicos/estruturais e variações climáticas. Corroborando essa perspectiva, Facincani (2000), em sua investigação sobre as estruturas neotectônicas na região das Cuestas Basálticas e da Depressão Periférica entre Rio Claro, São Carlos e Piracicaba (SP), propõe a ocorrência de dois eventos tectônicos distintos. Um evento distensivo pré-atual é associado à deposição de coberturas terciárias, enquanto um evento transcorrente atual, relacionado à rotação da Placa Sul-Americana para oeste, teria afetado depósitos coluvionares modernos, manifestando-se na presença de facetas triangulares e trapezoidais, *shutter ridges*, capturas e cotovelos de drenagem, bem como na assimetria de vales e terraços.

Em um estudo na região de São Pedro (SP), Pinheiro e Queiroz Neto (2015) também enfatizam a influência do controle tectônico na configuração do relevo das Cuestas e da Depressão Periférica, além dos processos de circundesnudação. Os autores destacam as características geométricas da Serra Geral (Cuestas) e o padrão retilíneo das drenagens como evidências desse controle. Em sua análise da relação entre a gênese das formas de relevo e o regime neotectônico atuante desde o Neogeno na região da Serra de São Pedro e do baixo curso do Rio Piracicaba (SP), Pinheiro e Queiroz Neto (2015) argumentam que a configuração do relevo é moldada pelas diferenças litológicas regionais e pela influência de estruturas tectônicas, que condicionam principalmente a rede de drenagem. A atividade neotectônica é

identificada em áreas onde falhamentos truncam depósitos quaternários, em deformidades nos perfis longitudinais de canais fluviais, na formação e degradação de trechos de terraços fluviais na margem direita do Rio Piracicaba e em movimentos lentos de ascensão e subsidência de blocos (Souza, Andrade e Lupinacci, 2020).

Na análise de Pinheiro (2014), a tectônica cenozoica exerce um controle sobre o relevo principalmente por meio da formação de linhas estruturais, que servem como zonas preferenciais para o escoamento da água, alteração das rochas e dissecação do terreno. Segundo o autor, movimentos como basculamentos, ascensões e subsidências de grandes áreas ocorrem de forma pontual e com intensidade limitada na escala de análise local. Também é importante notar que os grandes rios consequentes do estado de São Paulo que se estabeleceram de forma transversal, em alinhamentos tectônicos antigos, se super-impondo às Cuestas, estabelecendo algumas entradas, feições de percées, como a do Rio Tietê em Barra Bonita, na região de Botucatu (Ab' Saber, 1956; Almeida, 1964).

Andrade (2022) corrobora a importância do fator de contato entre litologias heterogêneas para o processo de erosão, o qual tem grande influência na modelagem do terreno. A erosão mais acelerada da camada inferior, de arenitos, retira a sustentação da camada superior, derrames basálticos

Destaca-se ainda o controle dos relevos da Depressão Periférica e do reverso da Cuesta na forma de pulsos climáticos do Quaternário, dando origem a colinas dissecadas e terraços fluviais (Souza e Perez Filho, 2018). Chega-se na atualidade a uma influência antropogênica, destacando-se formação de sulcos e voçorocas, que ganham expressão máxima antes do início de adoção de práticas conservacionistas a partir da década de 1960 (Pinton, 2016).

A seguir, nas figuras 16 e 17, tem-se os mapas geomorfológico e hipsométrico da Bacia do Alambari:

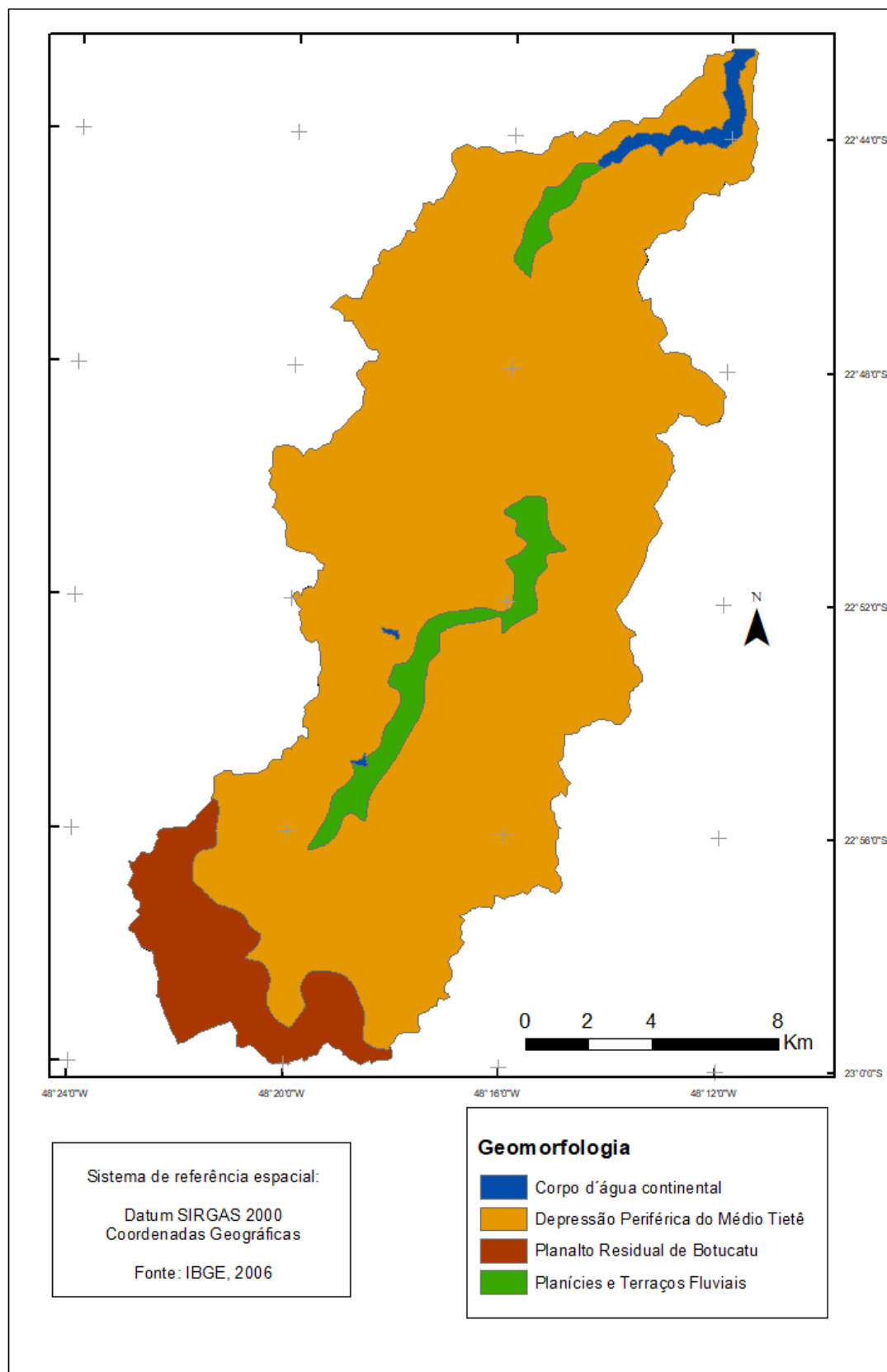


Figura 16: Mapa Geomorfológico da Bacia do Alambari.

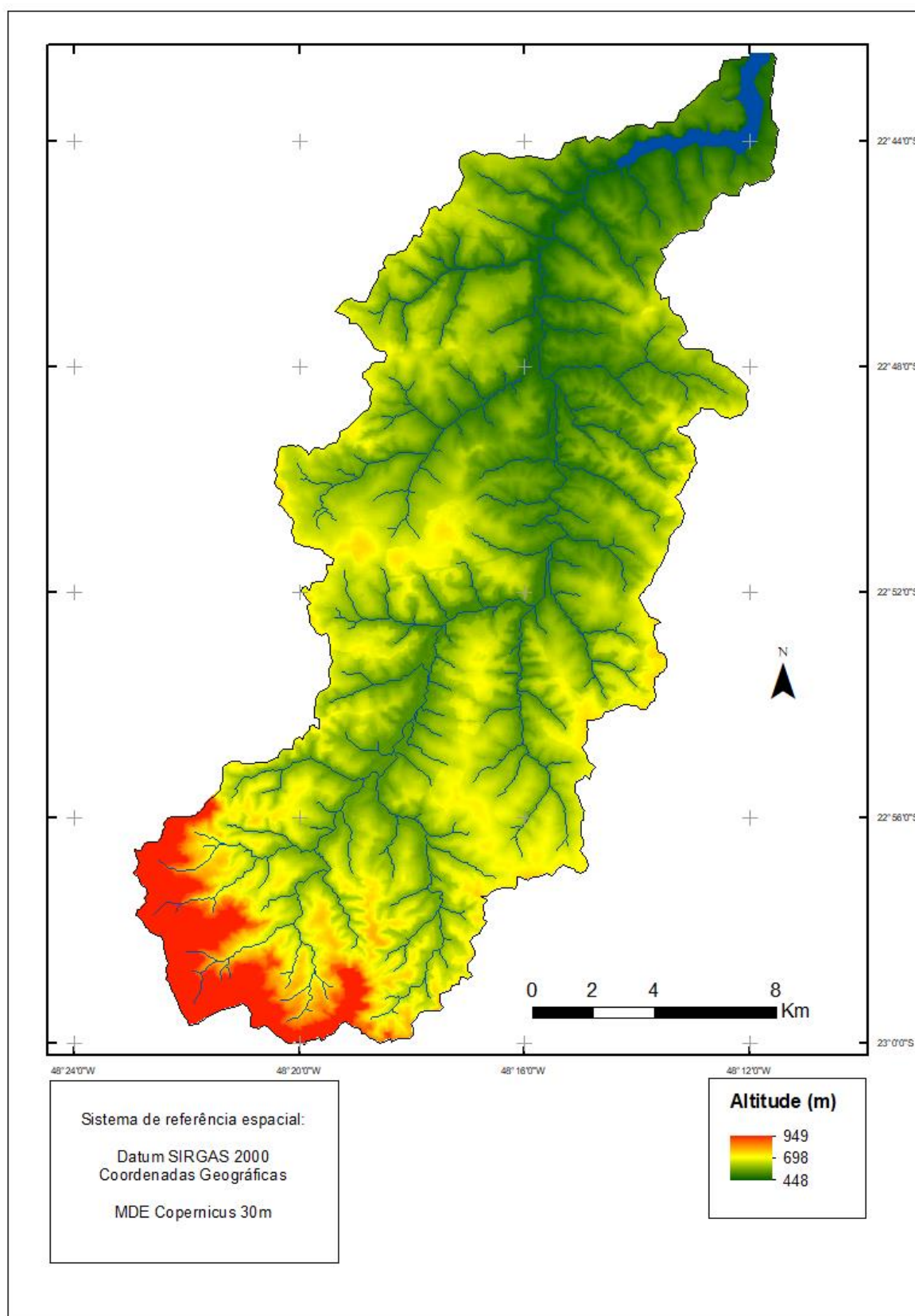


Figura 17: Mapa hipsométrico da Bacia do Alambari.

Como se pode observar nos mapa acima, a drenagem do Rio Alambari ocorre a partir do reverso da Cuesta, no Planalto Ocidental Paulista, atravessando o *front* e chegando às colinas e vales da Depressão Periférica. As cabeceiras do rio Alambari se situam na Formação Serra Geral, exibindo vales encaixados com vertentes íngremes, apresentando declives em torno de 30° com altitudes que variam da faixa de 600 até 900 metros (ver figuras). Essa acentuada inclinação confere aos canais alta competência para erosão e transporte de sedimentos, restringindo o desenvolvimento de planícies de inundação extensas (Luchiari, 1993). O médio e baixo curso desses rios se desenvolvem sobre terrenos da Formação Piramboia, As altitudes variam entre 450 e 600 metros, exibindo colinas e morrotes de topo arredondado e uma densidade de drenagem inferior à observada em áreas adjacentes (*Idem*).

A seguir, na figura 18, tem-se o mapa de declividade da Bacia do Alambari:

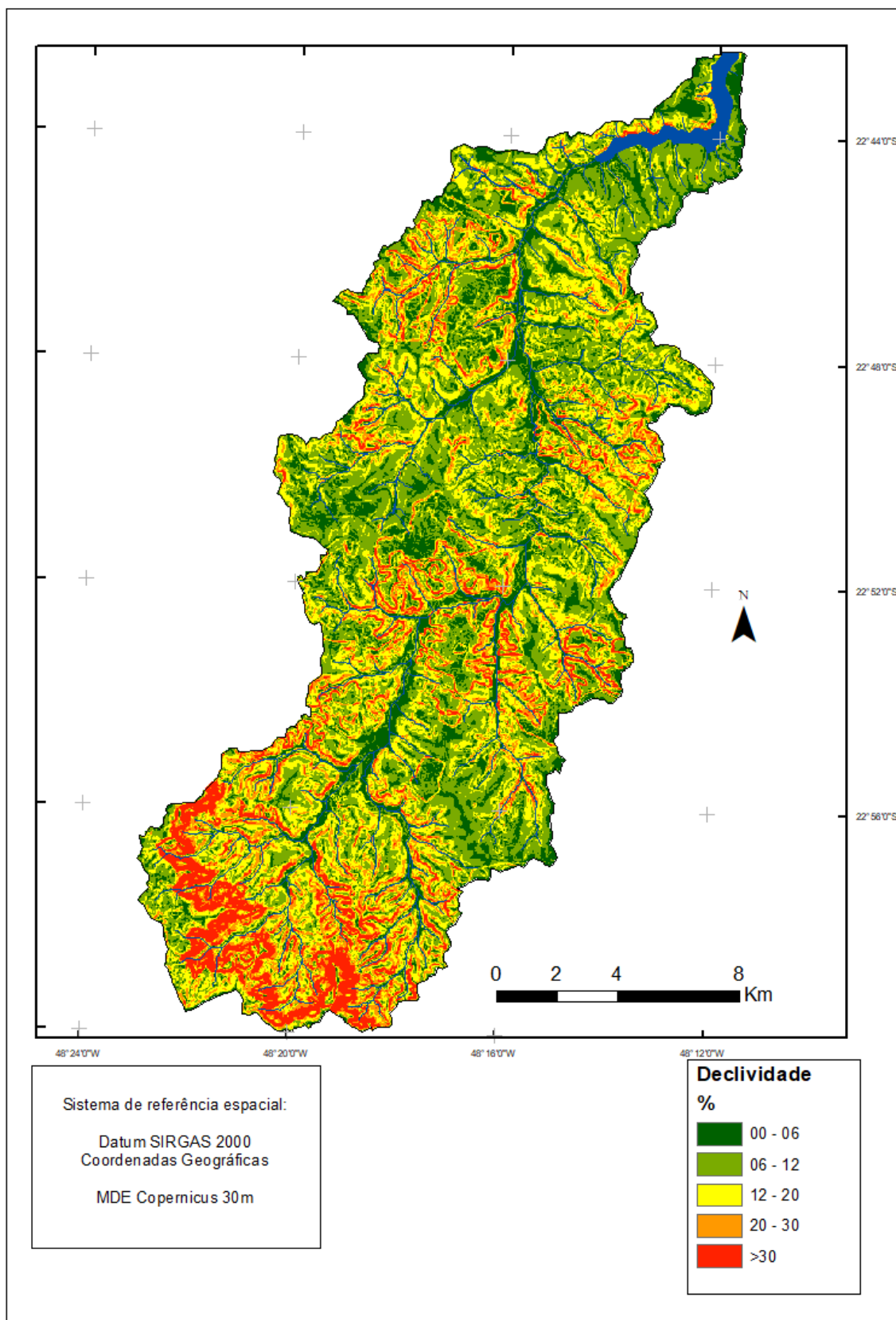


Figura 18: Mapa de declividade da Bacia do Alambari

Com o auxílio do mapa de declividade, fica demonstrado que a drenagem da bacia percorre distintos compartimentos geomorfológicos. O alto curso está presente no reverso e *front* Cuesta, bem como nos depósitos coluvionares de sopé. A elevada declividade fica evidente na linha de ruptura do *front*, conforme o mapa abaixo. O médio e baixo curso se apresentam em relevo de colinas com predomínio de declividades médias e baixas e vales dissecados com trechos de altas declividades. No trecho final, conforme se aproxima do reservatório de Barra Bonita, o relevo apresenta altitudes e declividades mais regulares, com parte das áreas tendendo a um aplainamento.

4.3. Pedologia

A instabilidade estrutural é uma característica predominante dos solos em regiões de clima tropical úmido, com algumas exceções. A rápida desagregação dessas terras sob o impacto da precipitação é notória. Adicionalmente, a subsequente dessecação acelerada após eventos de chuva intensa promove a formação de uma crosta superficial, ocasionando uma significativa redução na taxa de infiltração da água. Tais modificações estruturais tornam-se mais pronunciadas em solos desprovidos de sua cobertura vegetal protetora. A deterioração da estrutura do solo e a consequente diminuição em sua capacidade de absorção de água pluvial estão intrinsecamente ligadas ao seu baixo teor de matéria orgânica. Consequentemente, práticas como o desmatamento e o cultivo intensivo elevam consideravelmente a vulnerabilidade dos solos tropicais à erosão (Lal, 1983).

Os solos das regiões tropicais são frequentemente classificados como lateríticos em virtude da considerável concentração de minerais residuais provenientes do intemperismo, a exemplo do quartzo e dos sesquióxidos, constituintes típicos das lateritas em suas variadas morfologias e denominações, incluindo nódulos, concreções, pisolitos, piçarras, cangas, couraças e carapaças. As *stone lines* também são comumente formadas por esses componentes, além de seixos de diferentes composições. A essas feições e aos solos a elas associados têm sido atribuídas idades avançadas. Tal aspecto contrasta com as formações superficiais das regiões temperadas, cuja gênese está relacionada a materiais frescos da última glaciação quaternária (Espindola, 2010).

Nas áreas não afetadas por glaciações, caracterizadas pela alternância de estações chuvosas e secas, a natureza transportada dos materiais de origem ganhou crescente relevância,

revelando a intrincada complexidade da pedogênese tropical. Mesmo quando o substrato rochoso coincide com o material de origem do solo, a compreensão da pedogênese tropical permanece desafiadora, dada a interação entre a intensidade do intemperismo e o extenso período de pedogênese. A atuação de distintos paleoclimas, manifestada em processos como coluvionamentos, alterações nas composições florística e faunística, eventos neotectônicos e, mais recentemente, as significativas intervenções antrópicas capazes de transformar paisagens em escalas de tempo reduzidas, adicionam camadas de complexidade a essa dinâmica (*Idem*).

No panorama pedológico do estado de São Paulo, conforme a classificação de Santos et al. (2006), destacam-se os Latossolos, caracterizados por um avançado grau de intemperismo, elevada evolução e profundidade considerável, raramente inferior a um metro. Apresentam uma sequência de horizontes A, B e C com limitada diferenciação de subhorizontes, sendo o horizonte B latossólico posicionado imediatamente abaixo de qualquer horizonte A. Adicionalmente, exibem baixa mobilidade de argila e variam em sua drenagem de bem drenados a fortemente drenados.

Os Argissolos, por sua vez, distinguem-se pela presença de um horizonte B textural (Bt), onde se observa um aumento no teor de argila em relação ao horizonte superficial. A transição entre os horizontes A e Bt pode ser clara, abrupta ou gradual. Possuem profundidade variável, drenagem que oscila entre forte e imperfeita, e acidez de forte a moderada. A textura do horizonte A varia de arenosa a argilosa, enquanto o horizonte Bt apresenta textura média a muito argilosa, sempre com um incremento no teor de argila em relação ao horizonte superior (Santos et al., 2006).

Em contraste, os Neossolos são definidos pela constituição de material mineral ou orgânico de pequena espessura. Uma característica distintiva é a ausência de qualquer horizonte B diagnóstico e de alterações significativas em relação ao material de origem. Essa condição resulta da limitada atuação dos processos pedogenéticos, influenciada pelas propriedades do material originário ou por outros fatores de formação, como clima, relevo ou tempo, que podem restringir ou impedir a evolução do solo (*Idem*).

Os Gleissolos são originados predominantemente de sedimentos, estratificados ou não, o quais estão sujeitos a períodos ou condições contínuas de excesso hídrico. Essa característica é comum em áreas adjacentes a cursos d'água e em depósitos colúvio-aluviais sob influência de hidromorfia. O processo de gleização, decorrente desse excesso de umidade, promove a redução e solubilização do ferro, o que se manifesta visualmente através de cores acinzentadas,

azuladas ou esverdeadas, permitindo que as cores neutras dos minerais argilosos se evidenciem ou que ocorra a precipitação de compostos de ferro (*Idem*).

Em relação à área de estudo, na Depressão Periférica, encontram-se Argissolos Vermelho-Amarelos, com menor coesão dos horizontes superficiais associada a horizontes subsuperficiais de menor permeabilidade. Além disso, nessa área também se encontram Latossolos Vermelho-Amarelos de textura média, solos que se caracterizam pela baixa coesão. Gleissolos são encontrados em várzeas encharcadas durante a maior parte do ano, consistindo em solos minerais formados em condição de saturação de água. No setor escarpado predominam os Neossolos Litólicos, caracterizado como rasos e pouco desenvolvidos. O reverso da cuesta apresenta uma faixa de Latossolos Vermelho-Amarelos e, nesse setor, também ocorrem Latossolos Vermelhos, de origem basáltica, com textura média e baixa coesão (Andrade, 2022; IAC, 2014).

A seguir, na figura 19, tem-se o mapa pedológico da Bacia do Alambari:

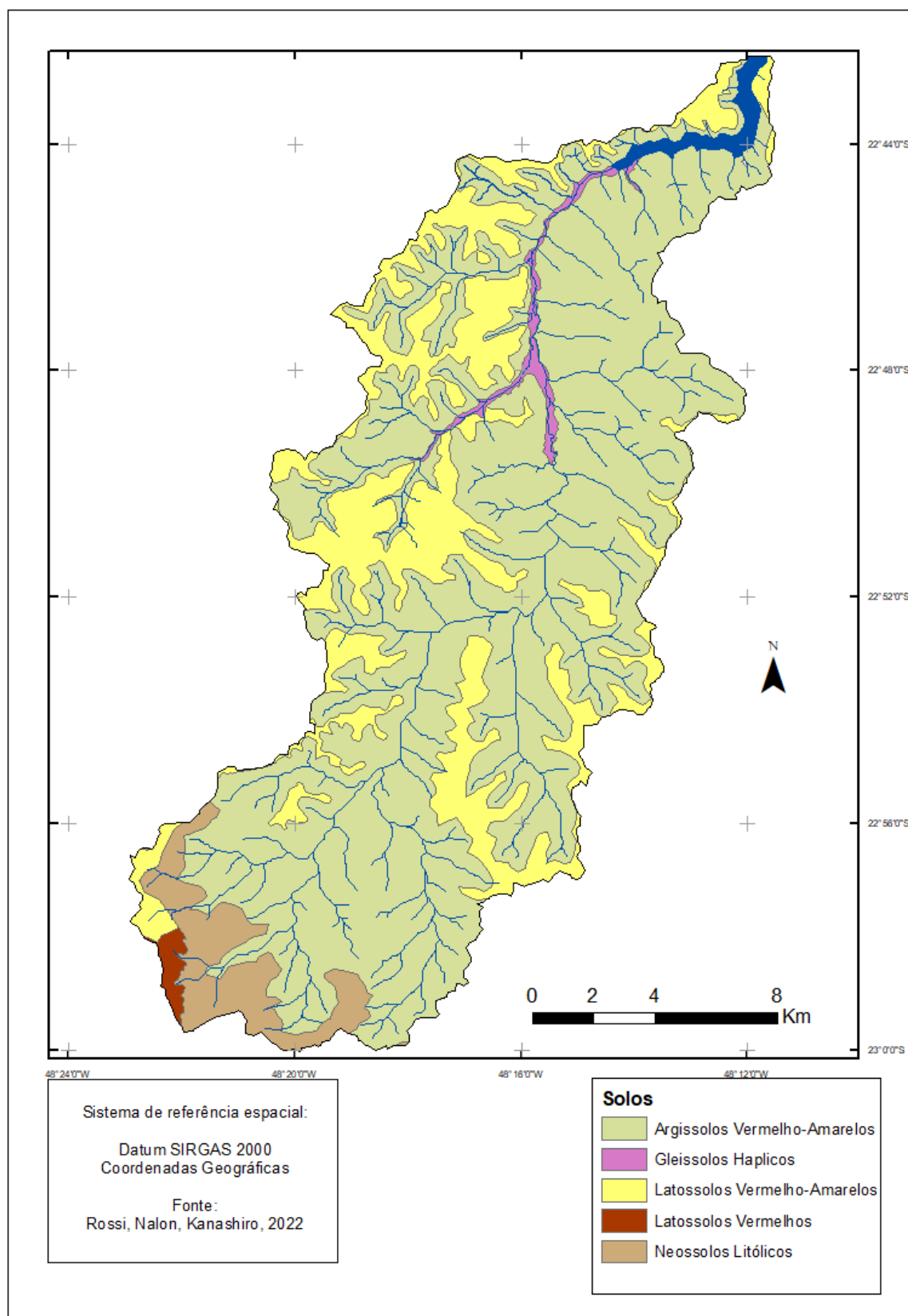


Figura 19: Mapa pedológico da Bacia do Alambari.

Em estudo de Rossi, Nalon e Kanashiro (2022), foram definidas classes de erodibilidade para os solos do Estado de São Paulo. Atribuindo aos solos da área de estudo, tem-se os Argissolos Vermelho-Amarelos com erodibilidade Alta, os Gleissolos Háplicos com erodibilidade Média, os Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos com erodibilidade de Média a Alta, e os Neossolos Litólicos com erodibilidade Muito Alta.

4.4. Clima e Erosividade

As classificações climáticas da região de Botucatu têm mudado ao longo do tempo, refletindo mudanças climáticas regionais e de metodologias de cálculo. Houve uma sequência de classificações indo de Cfa, Temperado quente (mesotérmico), Cwa, Subtropical de inverno seco, até Aw, Savana Tropical, no sistema de Koppen. A classificação mais recente é feita por Franco *et al* (2023), tomando a série histórica de dados da Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Rural Socioeconomia da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) de Botucatu - São Paulo – Brasil (22°54’S, 48°27’O e 786m).

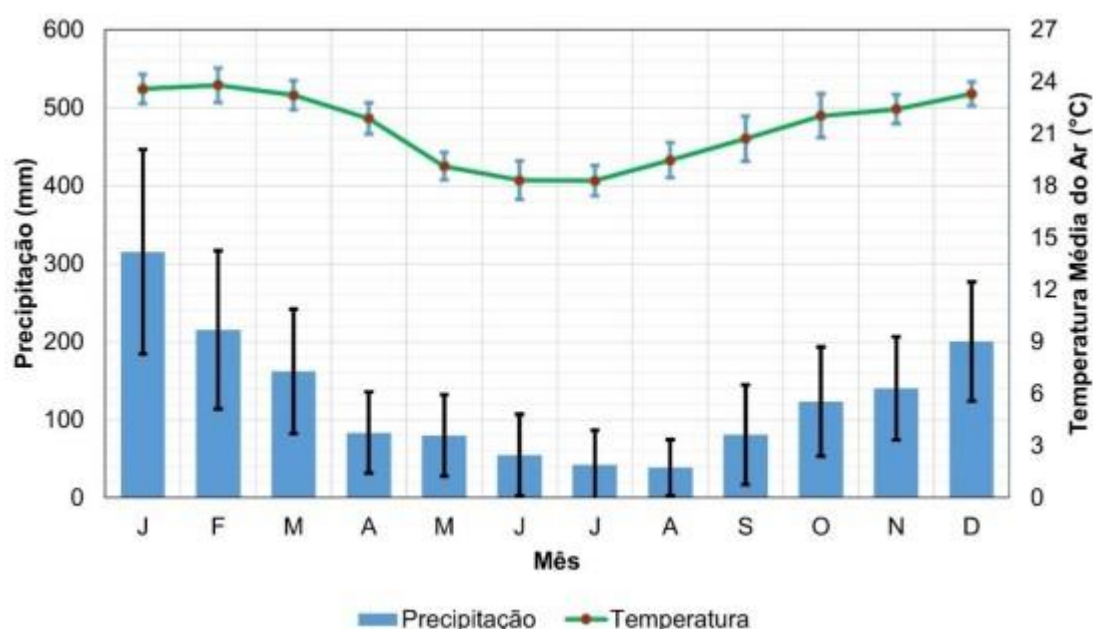


Figura 20: Climograma de Botucatu (Franco et al, 2023, p. 89)

O recorte temporal foi de 1991 a 2020, caracterizando-se um clima Aw, de verões quentes e chuvosos e invernos secos e frios, conforme expresso no climograma.

O clima exerce um papel fundamental como fonte de energia para o desenvolvimento dos processos morfopedológicos, influenciando diretamente a dinâmica de desgaste e acúmulo que modelam a paisagem tanto em escala geológica quanto na perspectiva da ação humana. Essa influência é particularmente notável nos processos de erosão hídrica e nos movimentos de massa (Rossi, Nalon e Kanashiro, 2022). O Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (2009) aponta a intensidade da chuva como o fator pluviométrico mais relevante para a análise da erosividade, no entanto, a escassez de dados de intensidade direciona as investigações para a utilização de informações de precipitação média mensal e anual no cálculo do índice de erosão.

A erosão hídrica, conforme Bazzano, Eltz e Cassol (2007), manifesta-se como o resultado da interação dinâmica entre a força erosiva da chuva e a resistência que o solo oferece a esse processo. A capacidade da chuva de provocar erosão é denominada erosividade. Nesse contexto, Wischmeier (1959) estabeleceu que o índice de erosividade, que quantifica a relação entre a intensidade e a energia cinética da chuva, demonstra uma significativa correlação com a quantidade de solo perdido devido à erosão.

A seguir, na figura 21, tem-se o mapa de erosividade e isoietas do Estado de SP:

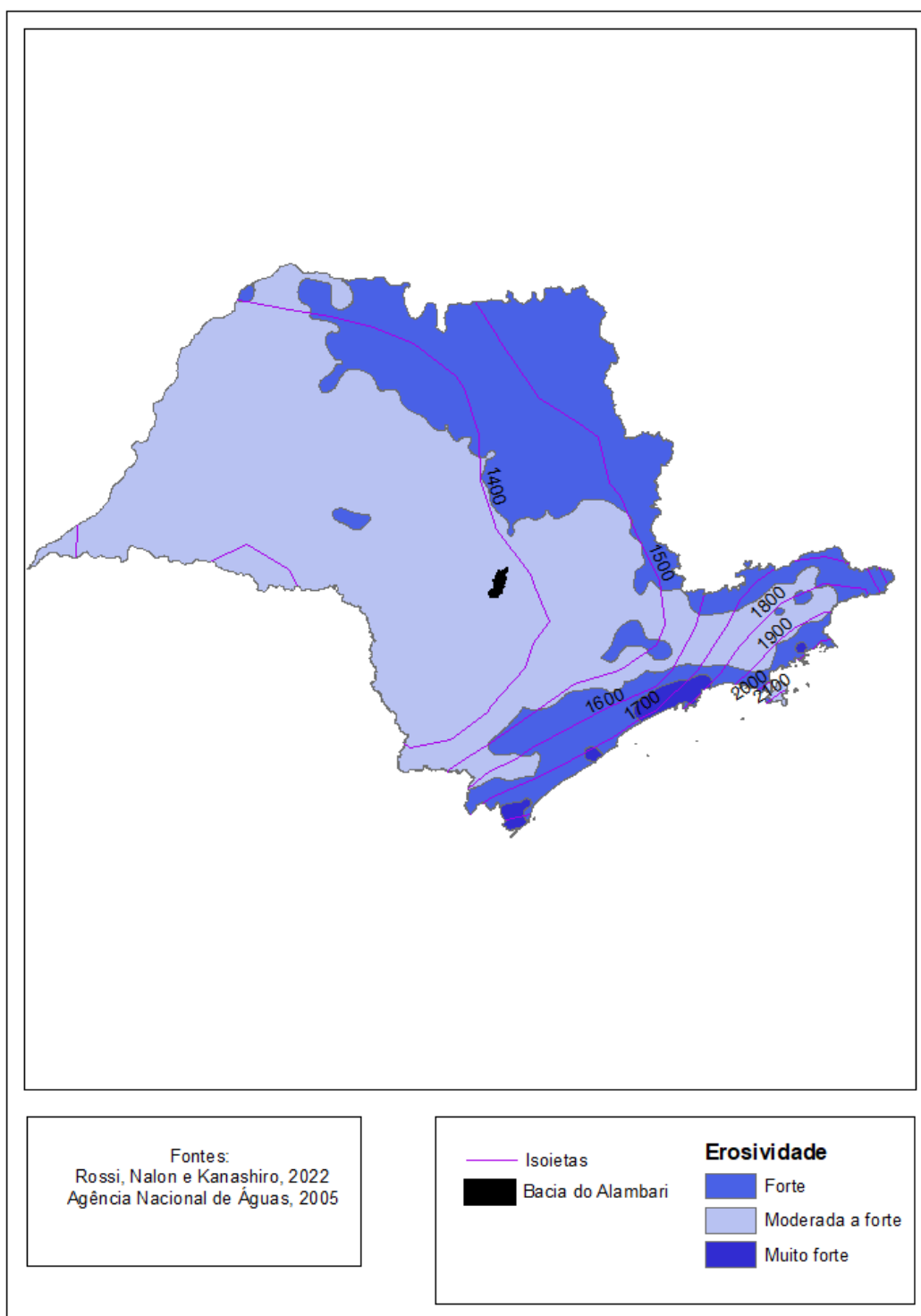


Figura 21: Mapa de erosividade e isoietas do Estado de SP.

Rossi, Nalon e Kanashiro (2022) atribuíram classes de Erosividade para o Estado de São Paulo. Para a área de estudo, a Erosividade é Moderada a forte. Corrobora com esse entendimento o valor de pluviosidade em Isoietas calculadas pela Agência Nacional de Águas, sendo que a área de estudo está compreendida na curva de 1400mm.

4.5. Hidrografia

A bacia do Rio Alambari é uma sub-bacia do Baixo Médio Tietê, pertencendo à UGRHI 10 – Sorocaba/Médio Tietê. A área do Médio Tietê circunscreve o trecho do rio Tietê desde a saída do Reservatório de Pirapora até a barragem de Barra Bonita, com extensão de 367 km, compreendendo uma área de drenagem de, aproximadamente, 6.830 km². Seus principais afluentes são os rios Jundiaí, Capivari e Piracicaba, na margem direita, e o rio Sorocaba, na margem esquerda (CBH-SMT, 2023).

De acordo com o relatório de situação do Comitê de Bacia Hidrográfica Sorocaba e Médio Tietê, quanto à disponibilidade hídrica:

A estimativa de disponibilidade per capita da UGRHI 10 diminui de forma inversamente proporcional à estimativa de crescimento populacional e, desde 2018, a disponibilidade hídrica per capita esteve abaixo de 1.700 m³/hab/ano, valor este classificado pela UNESCO (2003) como situação de estresse hídrico. Nos últimos anos, a disponibilidade hídrica tem diminuído em torno de 1% ao ano. Já as vazões outorgadas estão crescendo em proporção maior que a diminuição de disponibilidade, acumulando um crescimento de 86,9% entre 2017 a 2022, equivalente a 13,3% ao ano (CBH-SMT, 2023, p. 30).

Ainda de acordo com esse relatório, quanto ao abastecimento urbano na UGRHI 10:

Os valores relacionados ao abastecimento urbano de água na bacia estão satisfatórios e apresentam uma tendência de aumento no índice de atendimento, em consonância com a meta a ser perseguida pelo Comitê que é universalização do acesso a água tratada (rural e urbana). Entretanto, a redução de perdas e o uso racional da água são ações de fundamental importância para que a eficiência da distribuição dos recursos hídricos seja aumentada (Idem, p. 32).

Quanto ao esgotamento sanitário:

A situação do esgotamento sanitário na UGRHI 10 é regular considerando os valores para a porcentagem de esgoto coletado, esgoto tratado e a eficiência do sistema de esgotamento. Quando se utiliza o indicador de coleta e tratabilidade de Esgotos da população urbana do município (ICTEM), nota-se que na sub-bacia do Baixo Médio Tietê, Botucatu possui o melhor desempenho, mesmo sendo o mais populoso, e Anhembi, Porangaba e Torre de Pedra possuem situação regular. Como resposta aos

impactos analisados é necessário que existam altas proporções de efluente coletado e tratado. A meta para a bacia é de chegar em 100% do esgoto doméstico urbano até 2027. Os dados fornecidos para a análise da situação da bacia mostram que 89,7% do efluente gerado é coletado e 82,7% é tratado (Idem, p. 33).

Em relação às vazões subterrâneas:

é importante destacar que a relação com as reservas explotáveis passa de situação “boa” a “atenção” em 2020 e assim permaneceu em 2022. Além disso, é preciso considerar que, em áreas rurais onde o uso de água é, usualmente, proveniente de fontes subterrâneas, existe uma subestimativa nos dados de outorga, tanto devido à falta de regularização por parte dos usuários clandestinos, quanto pela dificuldade em se realizar fiscalizações intensivas em toda a extensão da UGRHI (Idem, p.30).

Quanto às águas subterrâneas destaca-se a presença de grande área do Sistema Aquífero Guarani na UGRHI 10. Na bacia do Rio Alambari, incluem-se áreas de recarga desse aquífero.

O Aquífero Guarani constitui-se de sedimentos arenosos da Formação Pirambóia em sua base e do arenito Botucatu no topo, sendo confinado por derrames basálticos da Formação Serra Geral. As zonas de afloramento dessas formações sedimentares representam as principais áreas de recarga do aquífero, localizadas predominantemente em suas bordas. A infiltração de água constitui uma taxa de recarga natural anual estimada em 160 km³/ano (Filizola, Boulet e Gomes, 2003).

Na maior parte da bacia, as camadas do Aquífero Guarani encontram-se em diferentes profundidades, com afloramentos superficiais relativamente contínuos nas bordas leste e oeste. O volume de água aproveitável estimado para o aquífero é de 40 km³/ano. A qualidade geral das águas do Aquífero Guarani é considerada excelente, possibilitando seu uso para diversas finalidades em grande parte de sua extensão. Atualmente, a extração de água do aquífero destina-se principalmente ao abastecimento público de numerosas cidades de médio e grande porte, por meio de poços de profundidades variáveis (Carneiro, 2007).

A vulnerabilidade das águas subterrâneas à poluição antropogênica se concentra nas zonas de recarga. Essas áreas, caracterizadas por afloramentos basálticos intensamente fraturados e de baixa espessura, representam os principais pontos de infiltração de contaminantes. A discrepância entre o número estimado de poços em operação e aqueles formalmente outorgados no estado explicita uma notória ausência de fiscalização na exploração desse recurso hídrico subterrâneo (FFLORESTAL, 2011).

4.6. Cobertura vegetal original

A vegetação natural que ocorre na área de estudo é composta pelas fitofisionomias Floresta Estacional Semidecidual (Mata Atlântica), Cerradão (ecótono entre Mata Atlântica e Cerrado), Cerrado Típico e Mata Ciliar, com predomínio das duas primeiras (Carrega, et al., 2015). A Floresta Estacional Semidecidual encontra-se preservada em área significativa, principalmente no setor escarpado da bacia. As demais fisionomias ocorrem em pequenos fragmentos, principalmente na Depressão Periférica, em meio a matriz agrícola e de silvicultura.

Análise da FFLORESTAL (2011) aponta que as principais perturbações nos remanescentes de vegetação nativa na região são predominantemente de origem antrópica. Dentre essas interferências, destacam-se o acesso de gado bovino e equino às áreas florestais, a introdução e disseminação de espécies exóticas da flora, com ênfase nas gramíneas e em árvores de comportamento invasor como *Tecoma stans* (ipê-de-jardim) e espécies do gênero *Pinus* spp., além da expansão urbana, notadamente através da implantação de loteamentos.

Em tese de doutorado sobre a Bacia do Alambari na década de 1990, Luchiari (1993) descrevia a cobertura vegetal original tendo sido substituída, majoritariamente, por pastagens destinadas à pecuária de corte, compostas pela *Brachiaria*. Além disso, ganhava importância a implantação da silvicultura, principalmente com espécies de eucalipto. As culturas anuais eram descritas como porções de terra isoladas entre as pastagens, muitas vezes exploradas sob o sistema de arrendamento ou parceria.

5. Resultados e discussão

Uma primeira necessidade analítica para os resultados foi a subdivisão da bacia em unidades menores, buscando um critério de homogeneidade. Na primeira seção desse item são discutidos brevemente os critérios de escolha e apresentado o resultado. Numa segunda seção são discutidos e apresentados os dados de cobertura e uso da terra, os quais são variáveis-chave para determinar a fragilidade ambiental. Foram trabalhados dados da plataforma MapBiomas, e fez-se uma breve contextualização da evolução histórica regional. Apresentam-se ainda os pontos observados em campo, e faz-se uma correlação entre cobertura e uso e as unidades de análise. A seguir, chega-se ao que se pode considerar os principais resultados da pesquisa, em que é apresentado o mapa de fragilidade ambiental, é feita uma análise por unidade, e é feita uma discussão integradora dos principais problemas ambientais observados. As últimas duas seções desse item se debruçam sobre medidas conservacionistas e mitigatórias, fazendo-se recomendações para a gestão da bacia com o auxílio de metodologia participativa.

5.1. Unidades de análise

Com base nas características geomorfológicas, torna-se possível uma divisão da bacia em unidades, para que as análises subsequentes possam ser particularizadas. Cassetti (2005) postula que as unidades geomorfológicas constituem um instrumento fundamental para a análise dos atributos que singularizam a paisagem e para a compreensão dos processos evolutivos do relevo, oferecendo suporte para uma apropriação territorial planejada. Observa-se uma interdependência entre as características do relevo e os padrões de uso e cobertura da terra, favorecendo ou dificultando determinadas atividades econômicas, bem como impondo características em relação à conservação ambiental (Furtado, 2023).

A investigação das características do relevo revela-se crucial na delimitação de áreas para diversas análises, abrangendo estudos pedológicos, de erosão, de mecanização agrícola, de viabilidade para construção de barramentos, de planejamento de infraestruturas de acesso e eletrificação rural, bem como na seleção de terrenos adequados a diferentes modalidades de cultivo (Barros, *et al.*, 2011). A configuração topográfica presente em uma dada região constitui um fator condicionante significativo, influenciando a dinâmica da drenagem superficial e subterrânea sendo que as variações altimétricas representam a manifestação do relevo na superfície terrestre. Em consonância, Strahler (1952) propõe a construção de curvas

hipsométricas como um método eficaz para a análise do relevo, visando representar a distribuição altitudinal do material em relação a uma unidade geométrica de referência, tipicamente uma bacia hidrográfica.

Propõe-se aqui a divisão da Bacia do Alambari em 5 unidades levando em conta faixas altimétricas, as quais foram atribuídas pelo método de Quebras Naturais de Jenks. Avaliou-se, empiricamente, que as classes se prestam de forma adequada a compartimentar as análises de cobertura e uso da terra e da fragilidade ambiental.

A seguir, na figura 22, tem-se o mapa de unidades da Bacia do Alambari:

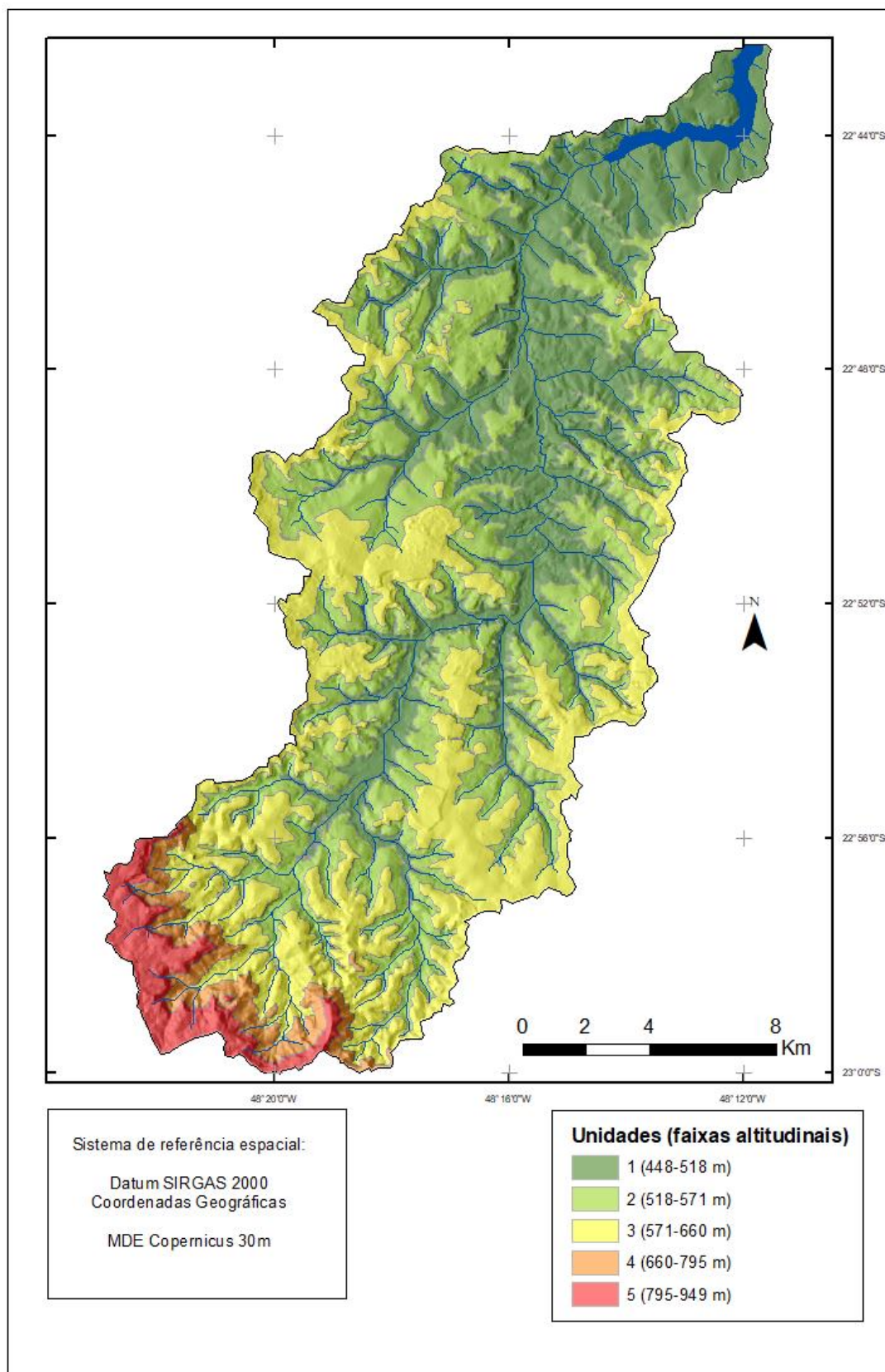


Figura 22: Mapa de unidades da Bacia do Alambari.

A unidade 1 compreende as altitudes mais baixas, faixa de 448-518m de altitude, consistindo em vales principais e baixas encostas da Depressão Periférica.. A unidade 2 (518-571m) compreende as colinas da Depressão Periférica. A unidade 3 (571-660m) compreende os pediplanos dissecados e morros residuais. A unidade 4 (660-795m) compreende a escarpa da Cuesta. A unidade 5 (795-949m) compreende o reverso e escarpa da cuesta. A fotografia abaixo, tirada em campo, ilustra a paisagem segundo a proposta de divisão por faixas altitudinais.



Figura 23: Fotografia da Bacia do Alambari e unidades altitudinais.

A foto revela o ponto de vista aproximadamente no sentido NE-SO, demonstrando a transição mais nítida do relevo representada pela escarpa, bem como o relevo ondulado do setor da Depressão Periférica.

5.2. Cobertura e uso da terra

Fazendo um retrospecto histórico mais amplo em relação ao uso da terra, no século XIX em toda a região predominava a cultura de subsistência, com grande destaque para o cultivo do

milho, além da criação de aves e porcos. As áreas naturais mantiveram-se bastante conservadas, servindo de território de caça e ocasionalmente para abertura de uma nova roça. A partir do fim do século XIX ganha força a produção comercial cafeeira, concentrada em fazendas ricas beneficiadas por latossolos vermelhos, que ocorriam em manchas no reverso da cuesta. Nas demais áreas, a cultura de subsistência foi sendo gradualmente substituída pela pecuária, ocorrendo um declínio das formas tradicionais de sociabilidade e produção (Piza, 2015; Candido, 2023 [1964]).

Segundo Bezerra et al. (2009), o padrão de uso do solo a partir da década de 1920 na região ignorou sua capacidade de suporte, levando ao seu empobrecimento e à consequente queda da atividade agrícola. Essa degradação resultou em um dos mais severos cenários de impacto ambiental no estado de São Paulo, caracterizado pela perda das camadas superficiais do solo, pela intensificação da erosão linear (com a formação de inúmeros sulcos, ravinas e voçorocas) e, como consequência, pelo assoreamento generalizado dos cursos d'água. A pecuária extensiva substituiu a agricultura, o que, naquele momento, contribuiu para a estabilização dos processos erosivos devido à nova cobertura vegetal (gramíneas) e à implementação de técnicas de contenção, como terraceamento e revegetação.

No período atual se observa as pastagens como o uso predominante da região, com a criação extensiva. As maiores culturas instaladas na região estão divididas em plantação florestal e laranja, consideradas as grandes dinamizadoras da substituição de paisagens na região, em função da presença de grandes empresas de produtos agroflorestais e de exportação de suco concentrado de laranja. (Carrega, *et al.*, 2015). Além disso, observam-se em proporções significativas as culturas de café e cana-de-açúcar (Traficante, *et al.*, 2017).

A seguir, na figura 24, tem-se o mapa de cobertura e uso da terra da Bacia do Alambari:

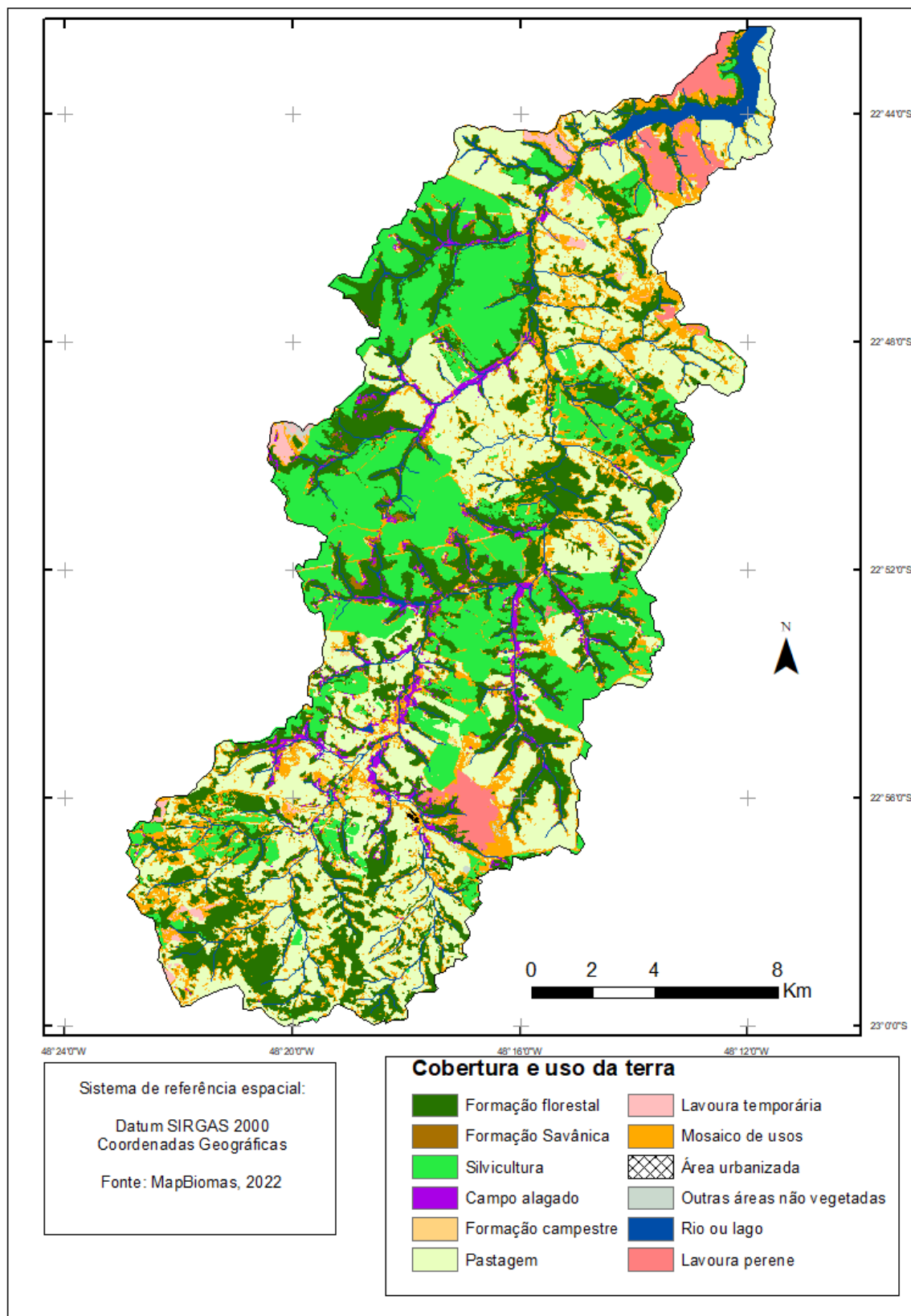


Figura 24: Mapa de cobertura e uso da terra para a Bacia do Alambari.

No mapa atual de cobertura e uso da terra para a Bacia do Alambari, aparece o predomínio de pastagens, que se estabelecem tanto na alta, como média e baixas bacias. Muitas dessas pastagens estão visivelmente degradadas. As formações florestais incluem a Floresta Estacional Semidecidual, Mata Ciliar e as áreas mais densas do Cerradão. Estes mantiveram-se preservados em grande medida graças à dificuldade de cultivo e mecanização em áreas de alta declividade, notadamente o setor de escarpas e os vales entalhados. As formações savânicas compreendem o Cerrado *stricto sensu*, ocorrendo em poucos fragmentos e estando pouco preservados. As formações campestres são residuais.

A silvicultura ocorre principalmente na média bacia, reflexo do estabelecimento de grandes indústrias da madeira e celulose que conseguiram cultivar o solo da área em substituição a pastagens degradadas, adotando um modelo agressivo de compra de terras e arrendamentos. A agricultura ocupa proporção menor, sendo encontrados além de grãos de ciclos anuais, também cultivos perenes, principalmente na baixa bacia. Os mosaicos de uso são definidos como áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura. Nas imagens de satélite para a presente análise observou-se a dominância de pastagens nessa composição. A classe Campos alagados se identifica com áreas de várzeas. Identifica-se um pequeno núcleo de urbanização, na forma de um bairro rural. As outras áreas não vegetadas se apresentam como áreas de solo exposto ao longo de toda a série temporal.

Tabela 2

Cobertura e uso da terra	Unidade 1 (%)	Unidade 2 (%)	Unidade 3 (%)	Unidade 4 (%)	Unidade 5 (%)	BACIA TOTAL (%)
Formação florestal	28,30	29,23	12,71	34,59	32,27	24,53
Formação savânica	1,45	1,71	0,68	0,07	0,29	1,25
Silvicultura	8,11	24,54	39,47	2,41	6,85	22,60
Campo alagado	6,09	2,05	0,61	0,00	0,27	2,74
Formação campestre	0,13	0,29	0,30	0,00	0,00	0,23
Pastagem	30,49	30,05	31,18	39,41	33,02	30,84
Lavoura temporária	0,58	0,61	0,60	0,00	4,88	0,76
Mosaico de usos	17,36	10,81	11,28	23,34	22,18	13,66
Área urbanizada	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02
Outras áreas não vegetadas	0,00	0,10	0,35	0,04	0,05	0,14
Rio ou lago	2,47	0,02	0,00	0,00	0,10	0,76
Lavoura perene	4,99	0,53	2,79	0,00	0,00	2,48
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

A tabela 2 correlaciona a cobertura e uso da terra com as faixas altitudinais. Observa-se que a classe Formação florestal se encontra em grande quantidade ao longo de toda a Bacia, sendo em maior proporção na Unidade 4 e menor na Unidade 3. Isso se justifica pela predominância de relevo escarpado na Unidade 4, no qual as altas declividades evitaram a supressão da vegetação nativa, enquanto a Unidade 3 se presta muito bem para a introdução de mecanização. A Formação savânica tem alguma relevância nas Unidades 1 e 2, terras baixas da bacia, sendo residual no setor escarpado. A Silvicultura encontra-se distribuída bastante desigualmente, sendo a classe mais presente da Unidade 3 e a terceira da Unidade 2. Isso reflete a ocupação das colinas da Depressão Periférica pelo cultivo de eucaliptos. A Classe Campo alagado está mais frequente na Unidade 1, mais próxima ao nível de base da bacia. As pastagens encontram-se em grande proporção, sendo bem distribuídas entre todas as unidades. Merece destaque a presença como maior classe de uso na Unidade 4, disputando o relevo declivoso com as formações florestais. As lavouras temporárias têm maior presença na Unidade 5, no reverso da Cuesta, sendo residual nas demais unidades. As lavouras perenes têm maior significância na Unidade 1, devido, principalmente, ao cultivo de citrus na baixa bacia.

Foi realizado trabalho de campo, buscando-se pontos amostrais na alta, média e baixa bacia, tendo-se feito o planejamento traçando eixos e pontos no Google Earth. O trabalho de campo visou validar as informações obtidas por fontes secundárias, além das informações trabalhadas com imagens de satélite. Considera-se que essas incursões foram essenciais para a pesquisa, tendo sido realizado extenso registro fotográfico.

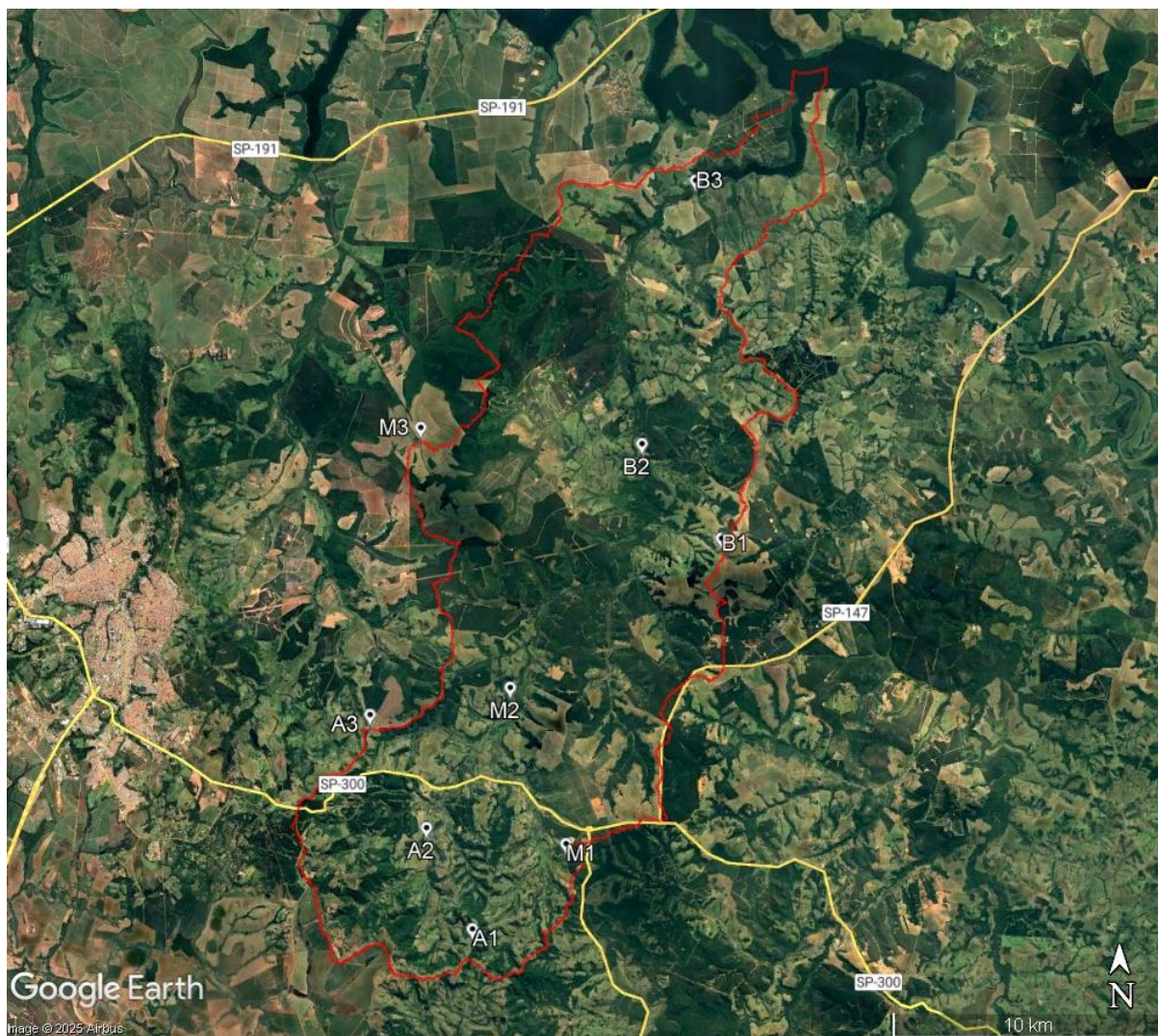


Figura 25 - Pontos de Registros de Campo.

O trabalho de campo pautou-se por verificar a coerência das informações levantadas por mapas e imagens de satélite, além de aprofundar o conhecimento com a visualização da associação de classes de cobertura e uso com o relevo e o solo. Os registros fotográficos a seguir são exemplos significativos da alta, média e baixa bacia.



Figura 26: Fotografia ponto A1.

No ponto A1 pode-se observar a presença de pastagens até a linha de ruptura da cuesta, além da presença de vegetação preserva no setor escarpado. As pastagens são a feição paisagística dominante ao longo da bacia.



Figura 27: Fotografia ponto M3

No ponto M3 observa-se plantação de eucaliptos jovens. As diferentes fases do cultivo puderam ser observados. O manejo é feito por empresas especializadas, no entanto ocorrem problemas, em especial no período entre colheita e replantio, quando há grandes áreas de solo exposto, além do tráfego de maquinários, representando grande potencial erosivo.



Figura 28: Fotografia ponto B2.

No ponto B2 pode-se observar o cultivo de citrus. Esse plantio é tradicional e tem importância econômica elevada, concentrando-se na baixa bacia. Problemas de adoecimento dos pomares, no entanto, são comumente relatados, o que incide numa tendência de substituição por outros usos.

Os registros em campo corroboraram a classificação de cobertura vegetal e uso da terra, permitindo que se identificassem grandes áreas de pastagens, muitas das quais em relevos de declividade média e alta, com sinais de erosão. As áreas de silvicultura foram identificadas como predominantemente de eucaliptos, cultivos geridos por grandes empresas do setor, que compram ou arrendam boa parte das terras que antes encontravam-se subempregadas, predominantemente com pastagens degradadas. Minoritariamente, encontram-se também silviculturas de pinus e seringueiras. Áreas de cultivo agrícola são minoritárias, como indicado

no mapa. Consistem, em uma parte, de cultivos perenes, nomeadamente a citricultura. As culturas anuais contam com milho e soja, além de pequenos cultivos de mandioca.

5.3. Análise de fragilidade ambiental

Com base no referencial teórico da Ecodinâmica de Tricart, Ross (1994) propôs uma metodologia operacional para a análise de unidades de paisagem. Essa abordagem culmina em um produto de síntese que explicita os distintos níveis de fragilidade ambiental, derivados das características intrínsecas do ambiente. A metodologia da "fragilidade empírica" assenta-se no princípio de que a configuração paisagística emerge da dinâmica inerente de seus elementos físicos e bióticos, além da ação antrópica. Sua implementação prática depende de levantamentos primários de relevo, solo, geologia, clima, uso da terra e cobertura vegetal, entre outros atributos ambientais, os quais são examinados de maneira integrada (Ross et al., 2005). A "fragilidade empírica" consiste, portanto, na investigação dos graus de sensibilidade das unidades ambientais frente à dinâmica natural das variáveis físico-bióticas e à dinâmica das atividades antrópicas, resultando em um zoneamento cartográfico que delimita áreas com condicionantes ambientais semelhantes (Schneider, 2011).

A estabilidade ou instabilidade das unidades de paisagem natural, especificamente em relação à resistência ao processo natural de erosão, é definida através de uma análise integrada que considera a rocha, o solo, o relevo, a vegetação e o clima. Essa metodologia resulta em uma avaliação da fragilidade de cada unidade ambiental, baseando-se em dados coletados de diversos temas, como geologia, geomorfologia, vegetação, solos e clima. Cada unidade territorial básica recebe um valor final derivado da média aritmética dos valores individuais, conforme uma equação empírica que busca representar sua posição na escala de fragilidade. A Fragilidade Potencial quantifica o cruzamento entre os dados de litologia, solos, declividade e clima. A Fragilidade Emergente quantifica o cruzamento da Fragilidade Potencial com o uso e cobertura da terra (Ross, 1994).

Um dos aspectos centrais na aplicação da álgebra de mapas é a conversão das classes temáticas qualitativas em valores quantitativos. É necessário definir um valor adequado para cada dado qualitativo de acordo com o objetivo pretendido. Essa avaliação é crucial, pois afeta diretamente os resultados finais e as decisões subsequentes. Portanto, a participação ativa do pesquisador na padronização do modelo é essencial para a obtenção de um produto final que

represente fielmente o fenômeno estudado. É possível realizar-se uma consulta a especialistas para a determinação de um ranking (valor numérico ordenado) atribuído as variáveis que compõem os Mapas Temáticos. (Martines, 2005). Também Spörl (2007) utiliza-se da participação de especialistas, que através de seus conhecimentos propões valores para a fragilidade empírica de cada item em cada classe. Neste trabalho, adaptaram-se os valores de ponderação atribuídos por Martines, Machado e Toppa (2020). Os autores chegaram aos valores através da média de valores atribuído por especialistas consultados.

As tabelas 3, 4, 5 e 6 expressam os valores de ponderação para cada uma das classes:

Tabela 3

Classes de Declividade	Ponderação
0-6%	1,11
6-12%	2,11
12-20%	3,22
20-30%	4,22
>30%	5,00

Tabela 4

Classes de Litologia	Ponderação
Formação Botucatu	3,75
Formação Marília	3,63
Formação Piramboia	3,63
Formação Serra Geral	1,28
Formação Teresina	3,75

Tabela 5

Classes de Pedologia	Ponderação
Argissolos Vermelho-Amarelos	3,83
Gleissolos Hápicos	2,58
Latossolos Vermelho-Amarelos	3,00

Latossolos Vermelhos	2,33
Neossolos Litólicos	4,17

Tabela 6

Classe de cobertura e uso da terra	Ponderação
Formação florestal	1,00
Formação savânica	2,29
Formação campestre	2,29
Campo alagado	2,29
Pastagem	3,29
Lavoura temporária	4,29
Lavoura perene	3,43
Silvicultura	2,21
Mosaico de usos	3,29
Área urbanizada	5,00
Outras áreas não vegetadas	5,00
Rio e lago	1,00

Considera-se que o mapa de fragilidade é o principal componente da análise ambiental, permitindo uma análise quali-quantitativa, que permite extrapolar os estudos de casos de problemas e desequilíbrios encontrados pontualmente, constituindo um modelo para toda a bacia. A análise com base em áreas de fragilidade espacializadas na paisagem pode embasar recomendações de mudanças ou incentivos à tipos de práticas e usos da terra.

Para auxiliar no suporte à decisão é utilizada a metodologia do Processo Hierárquico Analítico proposta por Saaty (2008). Dessa maneira é possível estruturar problemas heterogêneos de maneira hierárquica, utilizando critérios quantitativos e qualitativos. “Neste procedimento, os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados dois-a-dois, e um critério de importância relativa é atribuído ao relacionamento entre estes fatores” (Camara, *et. al.*, 2001, p. 9-28).

Na tabela 7, tem-se os fatores aplicados às variáveis segundo a AHP, adaptado de Martines, Machado e Toppa (2020):

Tabela 7

Variável	Fator
Declividade	0,230
Litologia	0,076
Pedologia	0,230
Cobertura e uso da terra	0,461

Segundo Spörl (2001, p. 13), “as alterações causadas no ambiente pela ação humana afetam cada vez mais a funcionalidade do sistema causando graves processos degenerativos em primeira instância no ambiente natural, e depois, a prazos mais longos à própria sociedade”. Os modelos empíricos de Fragilidade aparecem “como um mecanismo dinâmico de planejamento e de gerenciamento no uso e ocupação do espaço, permitindo a obtenção de resultados rápidos e proporcionando uma maior agilidade no processo de tomada de decisões.” (*Idem*, p. 150).

A proposta da fragilidade ambiental de Ross (1994) se mostra adequada como ferramenta de diagnóstico ambiental. O mapa de fragilidade para a Bacia do Alambari, obtido através de álgebra de mapas a partir dos dados de uso da terra, declividade, litologia e pedologia, serve como ferramenta para o planejamento territorial levando-se em conta que as decisões de uso do solo podem se mostrar acertadas ou equivocadas diante de objetivos conservacionistas. Deve-se fazer a ressalva que trata-se de informações de cunho estimativo, de aplicação regionalizada.

A seguir, na figura 29, tem-se o mapa de fragilidade ambiental da Bacia do Alambari:

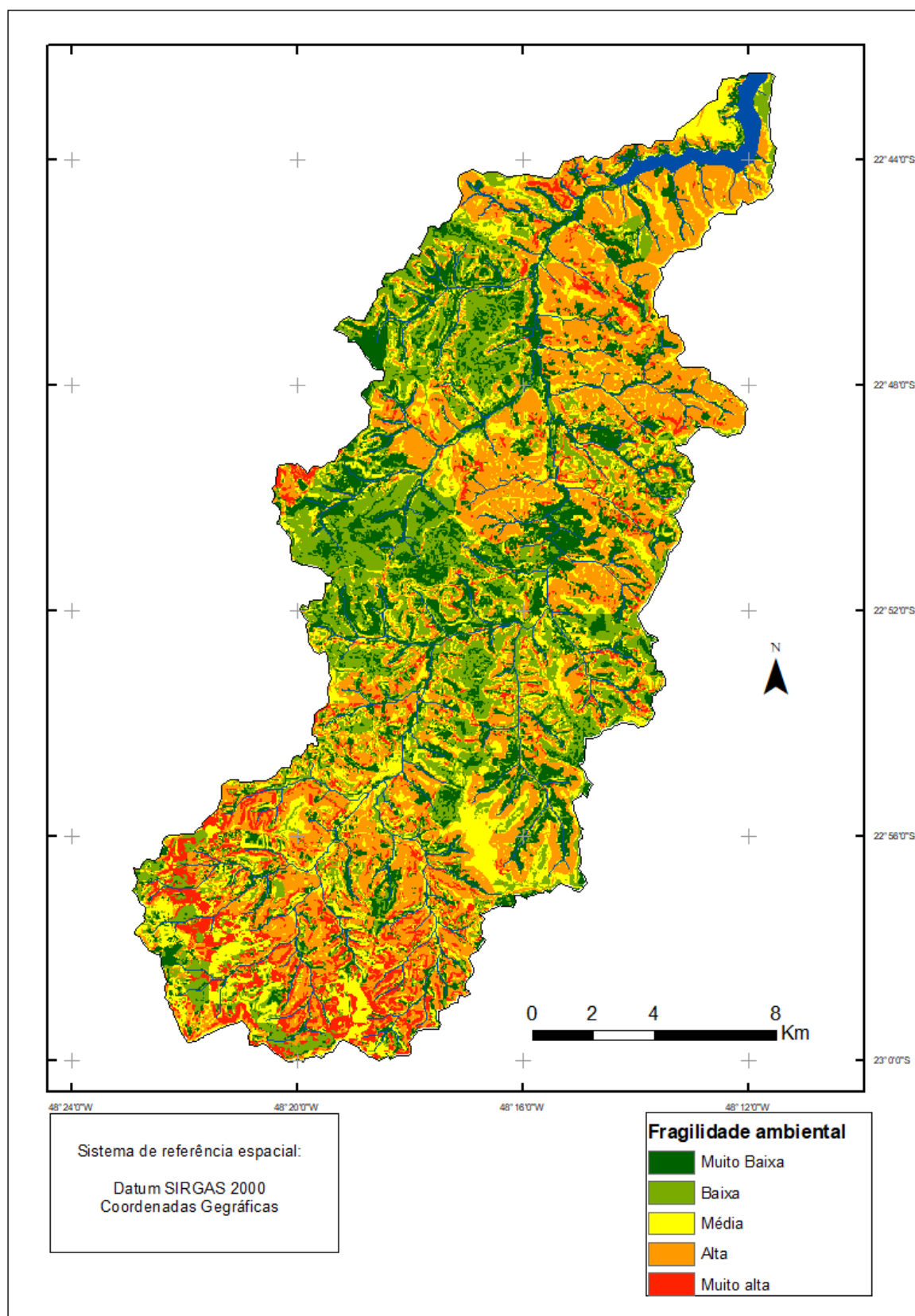


Figura 29: Mapa de fragilidade ambiental para a Bacia do Alambari.

Na Bacia do Alambari, as áreas de fragilidade muito baixa correspondem a 21,23% do total; as áreas de fragilidade baixa somam 22,44%; fragilidade média 18,97%; fragilidade alta 31,39%; fragilidade muito alta 7,58%. Sobrepondo o mapa de unidades de paisagem ao mapa de fragilidade, chegou-se à proporção de cada classe de fragilidade para cada unidade. Isso permitiu uma caracterização analítica das principais condicionantes da fragilidade ambiental em cada unidade. Os gráficos a seguir facilitam a visualização para cada Unidade.

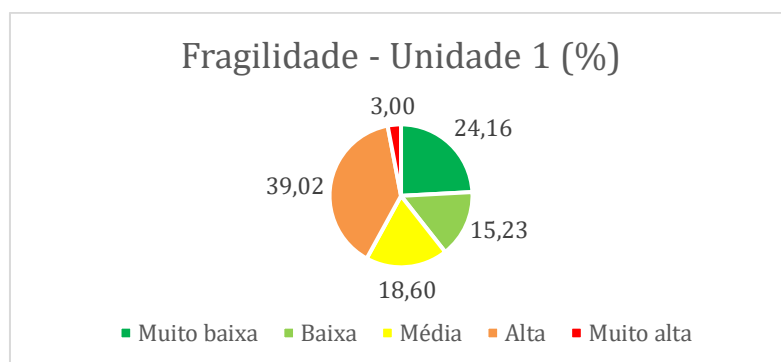


Figura 30: Gráfico de fragilidade para a Unidade 1

A Unidade 1 apresenta aproximadamente 39% de fragilidade muito baixa ou baixa. A fragilidade alta totaliza também valor próximo a 39%. O principal causador dos valores baixos de fragilidade é a presença de formações florestais preservadas nos vales fluviais, bem como de Mata Ciliar nas margens dos rios. Isso revela um fator de relevância das Áreas de Preservação Permanente. A fragilidade alta, por sua vez, é principalmente função da presença de lavouras perenes (cítrus, principalmente) em argissolos vermelho-amarelos.

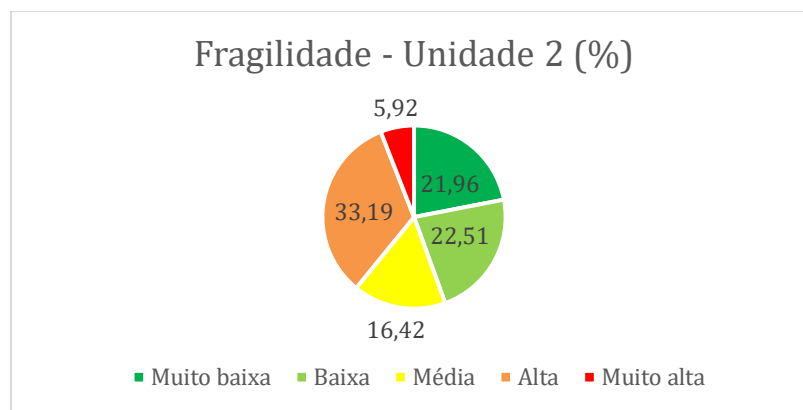


Figura 31: Gráfico de fragilidade para a Unidade 2

A Unidade 2, composta principalmente por baixas altitudes em relevo de colinas suaves, se destaca com aproximadamente 44% de fragilidade dividida entre muito baixa ou baixa, e 33% de fragilidade alta. Possuidora de predomínio de baixas declividades, o principal condicionante foi o uso da terra, com as áreas de pastagem tendendo para a fragilidade alta e a silvicultura tendendo para baixa. É importante destacar que nessa área, de modo geral, a silvicultura é feita com manejo adequado, enquanto as pastagens estão em grande medida degradadas.

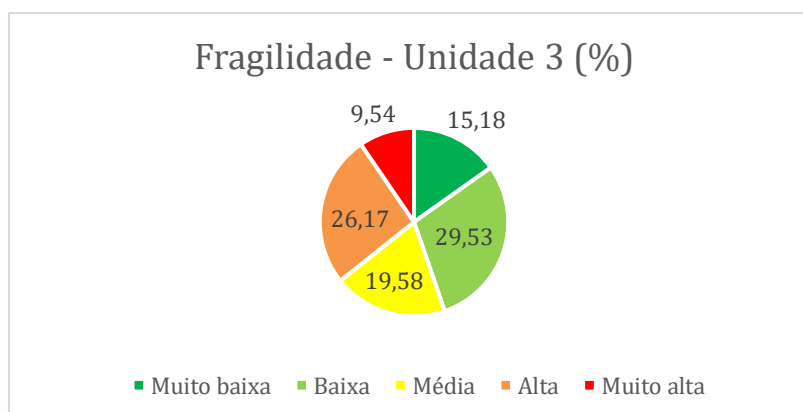


Figura 32: Gráfico de fragilidade para a Unidade 3.

A Unidade 3 apresenta características de declividade e uso da terra bastante similares à Unidade 2. Os fatores resultam em fragilidade baixa ou muito baixa de 45%, e fragilidade alta de 26%. Aqui também ocorre a influência de pastagens e silvicultura, ocorrendo, no entanto,

maior presença de latossolos vermelho-amarelos, o que diminui um pouco a fragilidade ambiental.

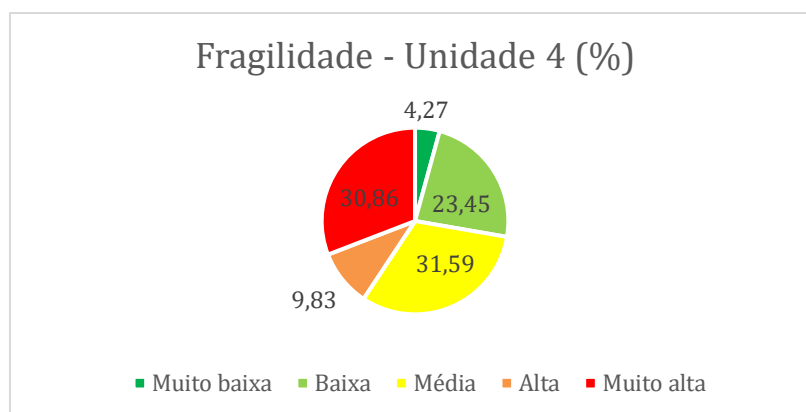


Figura 33: Gráfico de fragilidade para a Unidade 4.

A Unidade 4 apresenta como principais condicionantes a presença de altas declividades e neossolos litólicos. Quando associados à conservação de formações florestais, esses fatores resultam em fragilidade média ou baixa. Já as áreas de encostas ocupadas por pastagens são responsáveis pela proporção de quase 31% de fragilidade muito alta. É nesse setor que a erosão em sulcos é mais visível, seguindo principalmente linhas de pisoteio de gado.

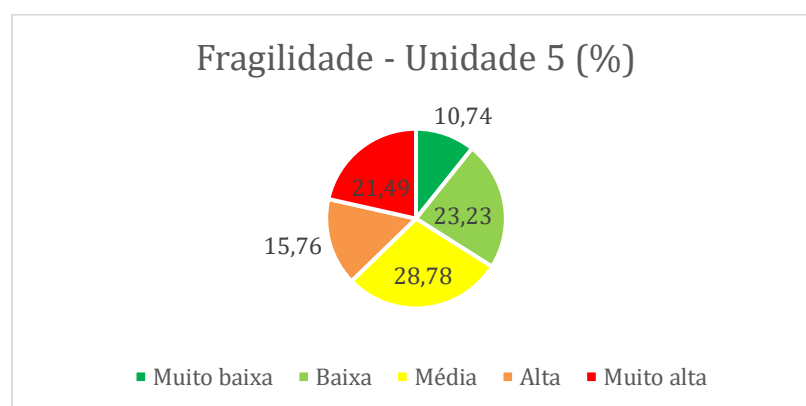


Figura 34: Gráfico de fragilidade para a Unidade 5.

A Unidade 5 compreende o reverso da cuesta, até a sua linha de ruptura. Há bastante distribuição entre as classes de fragilidade, com predomínio de valores médios. Nesse setor

o uso da terra é principalmente dividido entre lavouras temporárias e pastagens. Na proximidade com a linha de ruptura predominam neossolos litólicos, o que exige maiores medidas de conservação para minorar a fragilidade. Em acordo com esse entendimento, o município de Botucatu estabeleceu em lei uma faixa de proteção de 250 m em relação ao *front* da cuesta.

Um panorama geral pode ser observado no gráfico abaixo, onde tem-se a área de cada classe de fragilidade dividida por unidade. Reforça-se que, embora as Unidades 1 e 2 apresentem parcela significativa de fragilidades baixa e muito baixa, também somam grandes áreas de fragilidade alta.

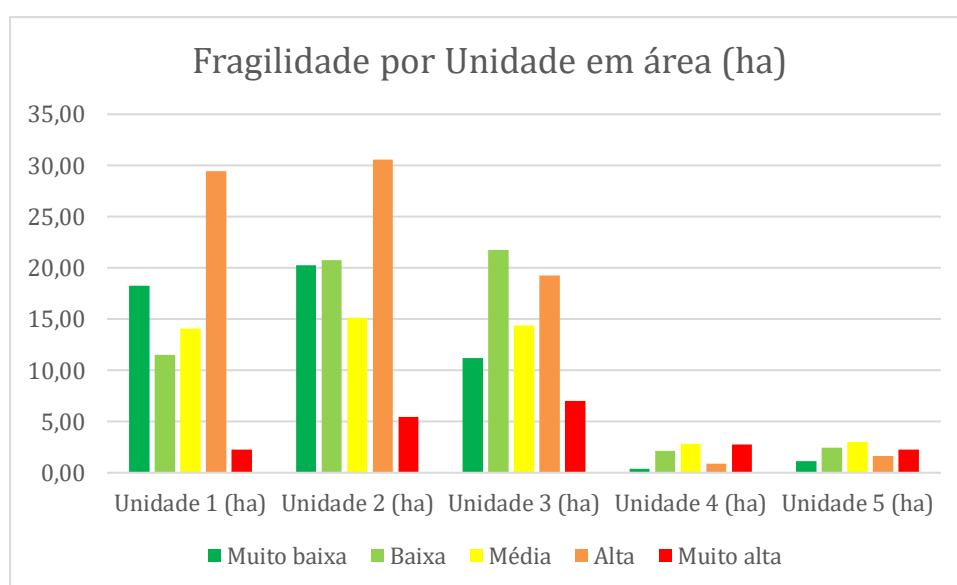


Figura 35 Gráfico de fragilidade por unidade em área

Por meio da análise de imagens de satélite e trabalho de campo, foram detectados alguns exemplos de graves desequilíbrio do sistema ambiental, ilustrando consequências dos maus usos e ausência de planejamento em relação às características de fragilidade de cada área. Nas figuras a seguir, ficam evidentes a presença de erosão em sulcos e ravinas, voçorocas e assoreamento de leito. Esses desequilíbrios ambientais estão localizados em diferentes Unidades da Bacia do Alambari, mostrando que a ação de planejamento para a conservação deve levar em conta todo sistema ambiental, e não só ações pontuais em locais específicos.



Figura 36: Imagem de satélite com processos erosivos intensos na Bacia do Alambari.

Conforme Stevaux e Labutresse (2017), a supressão da vegetação nativa em uma bacia hidrográfica e sua conversão para outros usos da terra, como agricultura, pastagem ou urbanização, induz instabilidade no sistema ambiental, frequentemente intensificando os processos erosivos e elevando o aporte de sedimentos à rede de drenagem. Esse processo desencadeia um ciclo de retroalimentação positiva: a remoção da camada superficial do solo expõe horizontes inferiores com menor permeabilidade, o que progressivamente diminui a infiltração da água, intensifica o escoamento superficial e, consequentemente, acelera a erosão. A transferência de sedimentos ao longo do sistema fluvial desencadeia uma série de impactos significativos. O assoreamento dos canais de menor ordem representa uma resposta comum às alterações na bacia, resultando na perda substancial da capacidade do canal, no aumento expressivo da relação largura/profundidade e no fluxo predominante de água pela zona hiporreica. Adicionalmente, o incremento da carga suspensa nos rios eleva os custos ou inviabiliza o aproveitamento da água fluvial para o abastecimento.



Figura 37: Fotografia de processo de assoreamento no Rio Alambari.



Figura 38: Fotografia de vossoroca na Bacia do Alambari.

Nas fotografias acima foram feitas observações em campo dos desequilíbrios ambientais, resultados graves de processos erosivos. Observa-se o sobre acúmulo de sedimentos no leito e margens do Rio Alambari, tendo as referida consequências como o prejuízo do aproveitamento dos recursos hídricos para o abastecimento, além da alterarem a

dinâmica hidrológica natural. As voçorocas são fontes desses sedimentos, além de impedirem o uso da terra, seja para atividades econômicas ou conservação ambiental. Foram identificados 5 focos de voçorocamento ao longo da bacia. Reforça-se que o principal conjugador desses problemas ambientais está nas atividades antrópicas inadequadas para as características do sistema ambiental. Na Bacia do Alambari ganha destaque o manejo inadequado de pastagens em áreas de alta declividade, nascentes e margens de rios.

A supressão de vegetação em áreas de elevada declividade, além de margens de rios e nascentes se configura como grande potencializadora do desequilíbrio que resulta em erosão acelerada e assoreamento de leitos. A legislação atual já determina a proteção da maioria dessas áreas, sendo necessário um trabalho maior tanto de promoção da adesão por parte dos proprietários de terras, quanto da fiscalização de más condutas. A quantificação da fragilidade ambiental e a sua cartografia podem auxiliar na formulação de estratégias para melhor gestão ambiental da Bacia do Alambari, esforço que deve envolver segmentos da sociedade civil, produtores e poder público.

5.4. Análise de qualidade da água

Como complemento à avaliação ambiental, foi realizada uma análise de qualidade da água. As propriedades da água encontrada na natureza são determinadas por seus atributos físicos, químicos e biológicos. Essas características são adquiridas por meio dos diversos ciclos naturais, como os hidrológicos, geológicos e bioquímicos. Dessa forma, o estado da água de uma fonte natural é um reflexo das atividades que ocorrem na bacia hidrográfica, a qual serve como unidade de planejamento na gestão dos recursos hídricos. Consequentemente, a disponibilidade e a qualidade da água dependem de fatores ambientais, como o clima, o relevo, o tipo de solo e a vegetação circundante. Além disso, aspectos sociais também são cruciais, notadamente a forma como a interferência humana nas relações do meio, por exemplo, através do descarte incorreto de lixo, do lançamento de efluentes domésticos e industriais sem o devido tratamento, do uso do solo e da utilização excessiva de agroquímicos, afeta esses recursos (Galvan *et al.* 2020).

As coletas foram realizadas em 5 pontos na média bacia, nos locais indicados na tabela 8:

Tabela 8

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Coordenadas :	22°57'26"S	22°56'35"S	22°56'10"S	22°55'07"S	22°54'23"S
	48°20'06"W	48°19'45" W	48°19'17" W	48°18'31" W	48°18'01" W
Altitude (m):	539	526	522	513	507

A tabela 9 revela os valores obtidos para cada parâmetro em cada ponto:

Tabela 9

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Unidade
Temperatura	16,4	16,4	17,2	18,4	17,1	°C
Oxigênio Dissolvido	6,38	8,5	7,37	6,82	6,33	mg/L
Condutividade Elétrica	108	245	268	383	159,6	µS/cm3
Sólidos Totais (TDS)	54,3	122	134	192	79,9	mg/L
pH	7,97	8,13	9,14	9,13	9,73	

A Temperatura é um dos parâmetros físicos mais relevantes em ecossistemas aquáticos. Sua importância reside no fato de que ela regula diretamente a velocidade das reações metabólicas oxidativas essenciais, como a respiração, e afeta a solubilidade dos gases presentes na água. O lançamento de resíduos industriais ou grandes quantidades de matéria orgânica provoca um aumento na temperatura da água e, simultaneamente, uma queda no nível de oxigênio, o que acarreta mudanças em todo o ecossistema aquático (Garcia, *et al*, 2020). Os valores encontrados não apresentam problemas, seguindo as indicações do CONAMA (Res. 357/2005)

O Oxigênio Dissolvido (OD) é uma variável crucial, visto que a maior parte da vida aquática necessita dele para a respiração. Em corpos d'água contaminados por esgoto, a concentração de OD é baixa porque ele é consumido durante a decomposição da matéria orgânica (Garcia, *et al*, 2020). Os valores encontrados são acima de 6,0mg/L, situando-se na faixa ideal para água limpa, adequada à vida aquática e ao abastecimento, segundo o CONAMA (2005).

A presença excessiva de sólidos totais pode indicar o assoreamento dos leitos dos rios. Os níveis desses sólidos mostram uma relação direta com a concentração de fósforo total, indicando que uma maior concentração de fósforo está associada a mais sólidos totais (Garcia, *et al*, 2020). Os valores verificados se mantiveram em conformidade com o limite legal estabelecido de 500 mg/L.

A condutividade elétrica está diretamente ligada à quantidade de íons dissolvidos em um corpo d'água; quanto maior for a concentração iônica, maior será o valor da condutividade. Embora a legislação nacional não estabeleça limites aceitáveis para a condutividade e, por isso, ela não seja usada no cálculo do Índice de Qualidade de Águas, algumas regiões ou países definiram tetos. Esses limites costumam variar, por exemplo, de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}^3$ a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}^3$, sendo este o patamar máximo antes que o ambiente seja classificado como salino e inadequado para sustentar a vida aquática (Garcia, *et al*, 2020). Os valores encontrados se situam bem abaixo dessas faixas.

No que se refere ao pH, valores altos geralmente indicam a presença de carbonatos e bicarbonatos, sendo que longos períodos de seca podem contribuir para a sua elevação. O pH exerce uma influência direta sobre a sustentabilidade da vida aquática. Além disso, seu controle em águas destinadas ao abastecimento é fundamental, pois afeta a eficiência dos processos de tratamento e pode acelerar a corrosão de infraestruturas (Garcia, *et al*, 2020). Os valores encontrados se situam na faixa aceitável segundo o CONAMA (2005), sendo, no entanto, os valores acima de 9,0 indicativos de um início processo de eutrofização.

De maneira geral a análise de qualidade da água demonstra boas condições na Bacia do Rio Alambari, com a ressalva de que um estudo mais sistemático dedicado a esse item se faz necessário.

5.5. Medidas conservacionistas e mitigatórias

As bacias hidrográficas, enquanto unidades de planejamento ambiental, exibem uma vulnerabilidade natural, resultante da interação de suas características intrínsecas, como topografia, tipologia do solo, geologia e cobertura vegetal. Ao incorporar fatores externos de origem antrópica, a exemplo do uso da terra, torna-se viável uma análise quali-quantitativa sobre o nível de fragilidade ambiental. Tais análises fornecem subsídios cruciais para a

formulação de estratégias futuras voltadas à conservação dos recursos naturais (Costa et al., 2015).

Tendo sido identificada a fragilidade da Bacia do Alambari para os processos erosivos, uma das maneiras de mitigação consiste na recuperação e ampliação de área de vegetação natural. Segundo Guerra e Jorge (2017) “os benefícios protetores ou estabilizadores da vegetação arbórea vão desde o reforço e contenção mecânica pelas raízes e caules até a modificação da hidrologia da encosta, como resultado da extração de umidade do solo pela evapotranspiração”.

Está presente na Bacia do Alambari um setor pertencente à Área de Proteção Ambiental Corumbataí-Botucatu-Tejupá, recentemente desmembrada em APA Cuesta Guarani no perímetro Botucatu. De acordo com o plano de manejo da AP

A Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí, Botucatu e Tejupá foi criada em 1983, através do Decreto Estadual n.º 20.960, tendo como intuito proteger, dentre outros elementos, atributos como as Cuestas Basálticas, Morros Testemunhos das feições geomorfológicas locais, exemplares significativos da flora e fauna regional, o Aquífero Guarani e o Patrimônio Cultural da região. Além disso, cabe ressaltar que, a APA Corumbataí, Botucatu e Tejupá, perímetro Botucatu, tem definida e delimitada em seu decreto de criação a Zona de Vida Silvestre. Além de sua demarcação, ela compreende também todos os remanescentes da flora e da fauna existentes na APA e as áreas definidas como de preservação permanente pelo Código Florestal. Na Zona de Vida Silvestre não é permitida nenhuma atividade degradadora ou potencialmente causadora de degradação ambiental. (FFLORESTAL, 2011, p. 4)

A presença da APA reforça a importância dos atributos ambientais da Bacia do Alambari, além de conferir ferramentas de gestão para a preservação e conservação. De acordo com o diagnóstico ambiental presente no plano de manejo (*Idem*), foram observados graves conflitos de uso nas margens e nascentes de rios, com presença de pastagens e lavouras. São necessárias ações de restauração da mata ciliar e observação de contínuo monitoramento da cobertura e uso da terra. As recomendações do plano de manejo incluem o zoneamento ambiental para disciplinar o uso do solo, além do desenvolvimento de estudos para o turismo sustentável, levando em conta os patrimônios natural e histórico-cultural.

A presença de zona de afloramento do Aquífero Guarani também reforça a necessidade de gestão ambiental efetiva na Bacia do Alambari. Estudo de Uchôa *et al.*, (2024) revelou que a exploração de água subterrânea no Brasil já está sendo feita em níveis acima do sustentável

em muitas regiões. Particularmente sensíveis são as zonas de recarga dos aquíferos, sendo necessário o planejamento de uso e ocupação para evitar sobre-exploração e contaminação (Manziona, Soldera e Wendland, 2017).

Apesar das dificuldades inerentes ao seu processo de adoção, a perspectiva da conservação ambiental conta já com décadas de desenvolvimento de práticas e referenciais teóricos, além de já ter atingido a conscientização do grande público. O ambiente e seus impactos se mostram cotidianamente na vida das pessoas estando a nossa interdependência com os sistemas ambientais evidente em tempos de mudança climática global. O preço e disponibilidade de alimentos impõe essa realidade nas compras básicas das famílias.

De acordo com Padilha Neto *et al.* (2024, p. 12):

Atualmente, um dos grandes desafios da Agricultura Convencional (AC), bem como, Agricultura Familiar (AF), é a produção de alimentos aliada a uma perspectiva de conservação ambiental, de modo que o produtor possa produzir, tendo clara percepção da responsabilidade de seu trabalho, com a sustentabilidade ambiental.

A agroecologia aparece como uma possibilidade de produção sustentável de alimentos. Sob a perspectiva de um conjunto de práticas agrícolas, a agroecologia propõe abordagens que visam o aprimoramento dos sistemas produtivos por meio da otimização de processos naturais. Essa perspectiva preconiza a criação de interações e sinergias biológicas favoráveis entre os elementos constituintes dos agroecossistemas, a minimização da utilização de insumos externos sintéticos e tóxicos, e a incorporação de processos ecológicos e serviços ecossistêmicos no desenvolvimento e na implementação de práticas agrícolas mais sustentáveis e ecologicamente equilibradas (Gliessman, 1990).

A agroecologia configura-se como a integração de pesquisa, educação, ação e processos de mudança que promovem a sustentabilidade em todas as dimensões do sistema alimentar: ecológica, econômica e social. Caracteriza-se por sua natureza transdisciplinar, valorizando diversas formas de conhecimento e experiências com o objetivo de transformar o sistema alimentar vigente. Adicionalmente, possui um caráter participativo, demandando o engajamento de múltiplos atores, desde produtores rurais até consumidores. Sua orientação para a ação manifesta-se na confrontação de estruturas econômicas e políticas do sistema alimentar atual por meio de estruturas sociais e ações políticas alternativas. A abordagem

agroecológica fundamenta-se no pensamento ecológico, o qual requer uma compreensão holística da sustentabilidade dos sistemas alimentares em diferentes escalas (Gliessman, 2018).

De acordo com Caporal (2008), a transição agroecológica consiste no processo de evolução rumo a sistemas agrícolas que sejam mais sustentáveis, equitativos e fundamentados em práticas agroecológicas. Esse processo pode envolver a substituição de métodos agrícolas convencionais por abordagens agroecológicas, a integração de saberes locais e o envolvimento ativo dos agricultores e das comunidades no planejamento e na gestão dos sistemas produtivos. A transição agroecológica visa harmonizar a produção agrícola com a conservação da biodiversidade e a promoção da justiça social e econômica, ao mesmo tempo em que colabora para a atenuação das mudanças climáticas e o desenvolvimento de uma agricultura com maior capacidade de adaptação.

Como exemplos de práticas conservacionistas na agricultura, pode-se destacar a rotação de culturas, a consorciação de culturas, a utilização de adubos orgânicos, uso de curvas de nível e terraceamento, plantio direto, sistemas agroflorestais, e a seleção de culturas adequadas para cada tipo solo (Guerra e Jorge, 2017; Lal, 1983). Essas práticas visam melhorar a qualidade do solo, ao mesmo tempo em que evitam a erosão e o uso agrotóxicos, além de beneficiar a biodiversidade.

Além da produção de alimentos, outras atividades presentes na Bacia do Alambari podem ser feitas de maneira conservacionista. Lima e Zakia (1998, p. 54) defendem a silvicultura de acordo com os princípios do Manejo Florestal Sustentável, o qual além da produção florestal economicamente viável, “deve incluir a conservação de todos os demais produtos e benefícios proporcionados pela floresta, incluindo valores ecológicos e sociais.” Ainda de acordo com os autores, deve ser feito o planejamento e o monitoramento das condições hídricas e do solo, bem como os projetos devem contemplar faixas de vegetação natural. Outra prática conservativa envolve o uso de sistema silvopastoril, consorciando o uso da terra entre silvicultura e gado de maneira a gerar sinergias e mitigar impactos negativos (Lima, 1993).

O turismo sustentável, por sua vez, pode ser um aliado do conservacionismo, entendendo a natureza e a cultura local enquanto um patrimônio. Por isso utiliza-se de estratégias educacionais e interpretativas da paisagem, contribuindo para o sentido de pertencimento e proteção (Barbosa et al., 2014).



Figura 39: Fotografia da vista geral da Bacia do Alambari.

A fotografia acima mostra o ponto de vista da alta bacia para a baixa, revelando o valor cênico da paisagem, possibilitando o fortalecimento do turismo sustentável.

A alteração de cobertura e uso da terra, em especial em áreas de fragilidade alta e muito alta, tem o potencial de conciliar a conservação dos recursos naturais (marcadamente o solo e a água), com os melhores aproveitamentos econômicos. O respeito às áreas de proteção ambiental tem potencial de reduzir a fragilidade da bacia em todas as unidades de análise. Nas áreas produtivas, a diminuição da fragilidade pode ser feita com o devido planejamento e monitoramento de usos.

5.6. Matriz SWOT

A gestão ambiental requer planejamento estratégico para atingir a qualidade ambiental desejada. Para isso, deve levar em consideração a participação e engajamento da sociedade através de suas diferentes esferas, incluindo o poder público, empresas privadas e ONGs (Botelho e Silva, 2004). A participação é um mecanismo consolidado nos Comitês de Bacias Hidrográficas, mas não deve se restringir a eles. Ações participativas são desejáveis em todas as áreas em que possam mobilizar gestores e comunidade de forma a contribuir com a capacitação e a educação ambiental (Barbosa e Carpi Junior, 2021).

A matriz SWOT se situa dentre as metodologias mais eficientes para a participação na gestão de bacias. A matriz SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) traduzida

como FOFA (Forças, Oportunidades, Fraquezas, Ameaças) consiste em uma ferramenta de planejamento estratégico desenvolvida entre as décadas de 1950 e 1960 nos E.U.A. por acadêmicos da área de negócios. A matriz se popularizou e é amplamente utilizada até a atualidade por sua maneira simples de dispor os fatores envolvidos em tomadas de decisão e projeção de cenários os quais se apresentam a qualquer organização. Sua aplicação ultrapassou as organizações empresariais, sendo utilizada por organizações da sociedade civil em temáticas diversas, entre elas a gestão ambiental (Pinto Filho e Cunha, 2022).

A matriz divide os fatores entre o ambiente interno à organização e o ambiente externo. Revela como ela percebe suas características intrínsecas no aspecto positivo (Forças), as quais podem auxiliar consistentemente seu desempenho, e, no aspecto negativo, (Fraquezas), as quais dificultam substancialmente seu desempenho. Pelo ambiente externo, a matriz demonstra como a organização percebe os aspectos positivos que pode aproveitar para seus objetivos (Oportunidades) e aspectos negativos, que podem pôr em risco seus objetivos se não forem combatidos (Ameaças) (Fernandes, 2012).

A mesa de discussão da Matriz SWOT foi realizada na ONG Giramundo, a qual se dedica a projetos de conservação ambiental, promoção da agroecologia e promoção de conhecimentos na área ambiental. Reuniu membros da ONG e acadêmicos da área das ciências ambientais, sendo realizada no dia 17 de março de 2025.

Primeiramente foi realizada uma exposição sobre as características da paisagem da Bacia do Rio Alambari e seus problemas ambientais, tendo como base a análise de fragilidade ambiental. A exposição serviu como preparação para o segundo momento da reunião, em que os participantes adicionaram seus conhecimentos e visões de mundo, chegando a um planejamento estratégico para a diminuição da fragilidade ambiental da bacia. Os objetivos se alinham às perspectivas de sustentabilidade e conservação ambiental, valorizando uma transição agroecológica. A matriz SWOT está sintetizada na tabela a seguir:

Tabela 8

Ambiente Interno	
Forças	Fraquezas
Relevo de alta declividade com preservação de vegetação originária	Grande intensidade de erosão dos solos

Área de recarga do Aquífero Guarani	Grande área de pastos mal manejados
Área de Proteção Ambiental e fragmentos preservados	Predominância do modelo de monocultivo com uso intensivo de agrotóxicos
Ecótono entre cerrado e mata atlântica	Desarticulação entre os diversos atores e o setor público
Organizações capacitadas para a mobilização no setor ambiental	Morosidade e dificuldade de implementação de projetos conservacionistas
Grande número de pequenas propriedades	Ausência de equipe da Defesa Civil para combate à incêndios florestais
Ambiente Externo	
Oportunidades	Ameaças
Articulação entre produtores, gestores e sociedade civil	Mudanças climáticas com aumento de eventos de incêndios e chuvas intensas
Compliance empresarial	Avanço do modelo de monocultivo e do arrendamento de terras
Captação de recursos para conservação do Aquífero Guarani e para restauração de fragmentos florestais	Avanço do discurso insensível ou contrário à temática ambiental
Turismo sustentável	Turismo predatório
Educação ambiental crítica, extensão rural e movimento neo-rural	Especulação imobiliária

Como pode ser observado na tabela 8, dentre as forças se destacam algumas características naturais que atuam como impedimento da devastação. O relevo de alta declividade e os fragmentos florestais preservados se mostram protetores contra o avanço de processos erosivos, além de manter a biodiversidade. No sentido da biodiversidade também se destaca a presença de ecótono entre dois biomas, a Mata Atlântica e o Cerrado. A presença de área de recarga do aquífero Guarani se destaca como uma mobilizadora de territórios de proteção, fato atestado com a demarcação de Área de Proteção Ambiental. No âmbito social, se destacam a presença de pequenos proprietários e ONGs capazes de defender os interesses ambientais

Em relação às fraquezas, se destaca o estado ambiental deteriorado, herança de práticas agropecuárias não conservativas. Isso se reflete em perda de solo e baixa produtividade. O

modelo que visa seguir a exploração econômica sem planejamento ambiental continua com a monocultura intensiva em fertilizantes químicos e agrotóxicos. Embora haja vontade de segmentos sociais, ainda predomina a desarticulação e a morosidade quando se propõe práticas conservacionistas, sendo pouco eficientes diante da hegemonia da agricultura convencional. Uma defasagem da capacidade de ação do poder público é demonstrada pela ausência de equipe dedicada ao combate de incêndios florestais.

Considera-se que há oportunidade para reverter a desarticulação entre produtores, poder público e sociedade civil visto que a consciência dos problemas ambientais e dos riscos envolvidos está cada vez mais premente. Nesse sentido, cada espaço no campo de debate da sustentabilidade é um potencial realizador de mudanças. Em Botucatu destaca-se a presença do Conselho Municipal do Meio Ambiente (COMDEMA). Destacam-se também as discussões travadas no Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê (CBH-SMT). A oportunidade para captação de recursos para a conservação se mostra como grande oportunidade, haja visto a relevância dos atributos da paisagem da região. Nesse sentido podem colaborar as empresas privadas com seus mecanismos de *compliance*, além de fundos públicos como o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO). Ainda se beneficiando dos atributos paisagísticos, o turismo sustentável ganha cada vez mais força na região, com grande potencial para crescimento econômico. Por fim, o engajamento e a ação educativa voltados para a causa da sustentabilidade se mostram como dinamizadores de sujeitos capazes de efetivar a participação e a luta política.

Como principal ameaça tem-se um fator estrutural das mudanças climáticas globais. Na região já estão evidentes o aumento do número e da intensidade de incêndios florestais, bem como de eventos de precipitação atípica. Isso constitui uma realidade praticamente irreversível de aumento de riscos e de fragilidade, para a qual deve-se preparar. Em reação às demandas ambientais, aparece como ameaça um reforço do modelo exploratório hegemônico, bem como uma agressividade discursiva contra a sustentabilidade. Dentre os interesses econômicos curto-prazistas se destacam o mercado imobiliário e o turismo predatórios. Além disso os incentivos econômicos vão no sentido da monocultura, com pouco investimento em alternativas.

Analisando a matriz, percebe-se um equilíbrio entre Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças. Isso indica que a bacia hidrográfica tem tanto características sólidas para os objetivos de sustentabilidade e oportunidades para avançar neste sentido, quanto características bastante consistentes de fragilidade ambiental, e ameaças que reforçariam esse problema. O

cenário, portanto, é bastante incerto. Trata-se de um jogo aberto em que a ação política dos atores e as opções econômicas e de modelo de desenvolvimento podem fazer a balança pender tanto para um lado quanto para o outro.

Em um cenário positivo, em que as oportunidades são aproveitadas de forma a valorizar as forças e minorar as fraquezas, a Bacia do Alambari poderia contar com recursos para efetivar a restauração de vegetação nativa, bem como fiscalizar a manutenção das áreas de proteção. O desenvolvimento econômico teria na transição agroecológica e no turismo sustentável seus maiores dinamizadores. Já em um cenário negativo, as ameaças seriam incisivas na ampliação de fraquezas, comprometendo a sustentabilidade da Bacia do Alambari. Os processos erosivos e demais impactos ambientais tenderiam a ocorrer em maior proporção e intensidade à medida que ganhos econômicos imediatos se impusessem frente a um planejamento ambiental estratégico. A tendência seria, nos médio e longo prazos, tanto prejuízos ambientais quanto econômicos.

Reforça-se a necessidade de que um posicionamento mais pronunciado do poder público seja tomado, respeitando as legislações existentes e propondo novas ações, decididas com participação democrática da sociedade civil. Um modelo de sustentabilidade pode ser benéfico tanto ambientalmente quanto economicamente, exigindo, no entanto, grande capacidade de coordenação e qualificação dos atores e processos.

A análise de fragilidade ambiental conjuga-se com a projeção de cenários de maneira a indicar o principal fator de mudança no planejamento ambiental, que é a cobertura e uso da terra. Tendo-se como objetivo a conservação dos recursos, principalmente solo e água, articulados com o melhor aproveitamento econômico, as ações devem priorizar a manutenção e ampliação de cobertura vegetal nativa em áreas de proteção ambiental já estabelecidas legalmente. Além disso, as áreas produtivas podem adotar medidas visando a sustentabilidade, de acordo com uma racionalidade que otimiza a produção mas leva em conta as necessidades das gerações futuras.

6. Considerações Finais

A Bacia do Alambari mostrou-se um objeto de estudo valioso diante de suas características paisagísticas e ambientais. As nascentes no reverso da Cuesta, a descida do *front*, a Depressão Periférica com suas colinas e vales, e a chegada ao Rio Tietê, no reservatório da represa de Barra Bonita, demonstram uma bacia complexa. A dinâmica geomorfológica regional é consagrada como objeto de estudo clássico na Geografia brasileira, revelando dinâmicas entre processos endógenos e exógenos, com diferentes litologias e processos de deposição e dissecação. A vegetação nativa também revela uma riqueza, com a variabilidade de um ecótono entre Mata Atlântica e Cerrado.

O uso da terra passou por diversas fases, destacando-se, inicialmente a cultura de subsistência e o cultivo comercial de café, chegando atualmente ao predomínio de pastagens e silvicultura de eucaliptos. As relações ambientais geralmente não foram privilegiadas no planejamento, encontrando-se formas de desequilíbrio. A erosão do solo se mostra como problema grave, impondo uma condição subótima tanto do ponto de vista ambiental como econômico.

O processo de pesquisa partiu da experiência em campo, para depois buscar referenciais na Geografia e Ciências Ambientais. A abordagem sistêmica se mostrou importante, permitindo integrar os elementos da paisagem e avaliar dinâmicas ambientais, ao invés de fazer um retrato estagnado. Dentre todas as referências, o trabalho se apoiou mais nas contribuições de Tricart (1977) e Ross (1994), sem deixar de levar em conta atualizações e modernizações feitas por debates teóricos e metodológicos mais recentes.

Do ponto de vista metodológico, as técnicas de geoprocessamento e imagens de satélite permitiram com que o trabalho chegasse a uma modelagem da fragilidade ambiental empírica, num processo quali-quantitativo que é capaz de revelar dinâmicas e contribuir para o planejamento. Procurou-se discutir os problemas ambientais com a contribuição de uma gama de referências, destacando-se os problemas de erosão em meio tropical.

Corroborando com a análise feita com Sistemas de Informação Geográfica, em campo foram observadas muitas áreas de pastagens degradadas, principalmente em relevo declivoso, podendo ser o destaque negativo da relação entre produção econômica e sistema ambiental. A presença cada vez mais significativa da silvicultura exige manejo e monitoramento

constantes, principalmente em relação à capacidade hídrica. Em termos de produtividade e manejo do solo, no entanto, as plantações de eucalipto se mostraram mais eficientes.

A discussão de conservação ambiental foi feita em conjunto com uma metodologia participativa, levando a uma identificação de cenários possíveis para o planejamento ambiental. Considera-se que o modelo convencional de monocultivo e foco unidimensional na esfera econômica constituem e aprofundam desequilíbrios ambientais, sendo contraproducentes nos médio e longo prazos. A busca por conservação inclui a adoção de sistemas agroecológicos, além de áreas de proteção e a captação de recursos para projetos conservativos junto às empresas privadas e setor público. A educação ambiental e a mobilização da sociedade civil se mostram como fatores importantíssimos.

Do ponto de vista dos resultados se destacam a cartografia de cobertura e uso da terra e o mapa de fragilidade. Quanto as classes de cobertura e uso, a participação relativa na área total da Bacia é de: Pastagem 30,84%; Formação florestal 24,53%; Silvicultura 22,60%; Mosaico de usos (predomínio de pastagens) 13,66%; Campo alagado 2,74%; Lavoura perene 2,48%; Formação savânica 1,25%; Lavoura temporária 0,76%; Demais classes 1,15%.

Em relação às classes de fragilidade, as áreas de Fragilidade Alta são 31,39%; Fragilidade Baixa 22,44%; Fragilidade Muito Baixa 21,23%; Fragilidade Média 18,97%; Fragilidade Muito Alta 7,58%. Dentre as unidades geomorfológicas, as Unidades 4 e 5, na alta bacia, apresentam o pior quadro. As Unidades da média e baixa bacia, 1,2 e 3, apresentam um quadro melhor, havendo, no entanto, mesmo nestas, presença significativa de Fragilidade Alta.

As recomendações incluem a fiscalização, manutenção e recuperação de áreas de proteção, incluindo as APPs de rios, de declividade, da linha de ruptura da cuesta, e APA Cuesta. Recomenda-se uma radical revisão do manejo de pastagens, bem como a efetivação de parâmetros de monitoramento para a pecuária e silvicultura. A utilização de agrotóxicos em área de recarga do Aquífero Guarani deve ser revista, além de medidas de monitoramento dos corpos hídricos. As medidas positivas de cultivo agroecológico e manutenção da biodiversidade devem ser reforçadas integrando os gestores públicos, pequenos proprietários, grandes empresas e ambientalistas. Alia-se a isso a perspectiva do turismo sustentável.

Avaliou-se que as referências teóricas, metodologias e discussão bibliográfica permitiram com que o trabalho atingisse seus objetivos. A ressalva deve ser feita em relação a escala de dados disponíveis para análise, principalmente em relação ao solo, sendo necessários

levantamentos em maior nível de detalhe para apurar a modelagem dos impactos de cobertura e uso da terra sobre os sistemas ambientais.

7. Referências

- AB'SABER, Aziz Nacib. A terra paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 23, p. 5-37, 1956.
- AB'SÁBER, Aziz Nacib. Regiões de circundesnudação pós-cretácea, no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 1, p. 3-21, 1949.
- AGUILAR, R. L.; CUNHA, C. M. L. Análise morfoestrutural de um setor da Serra da Atalaia, Analândia/Corumbataí (SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**. V. 8, n. 5, p. 1410-1434. 2015.
- ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Revista do Instituto Geológico, São Paulo**, v. 39, n. 3, p. 9-75, 1964.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Catálogo de Metadados: Isoietas. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c7c9289c-0bea-463d-a941-e252078bcd8d>>. Acesso em: janeiro 2025.
- ANDRADE, Rafael Vilela. **Processos erosivos no relevo de cuevas** : a influência antrópica e a legislação ambiental no município de Botucatu (SP). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2022.
- BARBOSA, Denilton da Silva, et al. As contradições do ecoturismo: o caso da Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí-Botucatu-Tejupá. **Revista Turismo & Desenvolvimento**, v. 2, n. 21/22, p. 269-277, 2014.
- BARBOSA, Flávia Darre; CARPI JUNIOR, Salvador. Mapeamento ambiental participativo na bacia hidrográfica do Turvo/Grande-SP: participação, gestão e educação ambiental. In: SOUTO, Raquel Dezidério; MENEZES, Paulo Márcio Leal de; FERNANDES, Manoel do Couto (Orgs.). **Mapeamento participativo e cartografia social: aspectos conceituais e trajetórias de pesquisa**. Rio de Janeiro: Raquel Dezidério Souto, 2021, p. 92-117.
- BARROS, Bruna Soares Xavier de *et al.* Análise multivariada aplicada em bacias hidrográficas no município de Botucatu-SP. **Irriga**, v. 16, n. 3, p. 351-351, 2011.
- BAZZANO, Marcos Gabriel Peñalva; ELTZ, Flávio Luiz Foletto; CASSOL, Elemar Antonino. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1205-1217, 2007.
- BERTALANFFY, Ludwig von. **Teoria geral dos sistemas** Tradução de Francisco M. Guimarães. 3. ed. Petrópolis: Vozes, 2008.
- BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, pp. 141 - 152, 2004.
- BERTRAND, Georges; BERTRAND, Claude. **Uma geografia transversal e de travessias**: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades. Maringá: Massoni, 2009.
- BEZERRA, Maria Ângela et al. Análise geoambiental da região de Marília, SP: suscetibilidade a processos erosivos frente ao histórico de ocupação da área. **Geosciences= Geociências**, v. 28, n. 4, p. 425-440, 2009.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 155-191, 2004.

CAMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à ciência da geoinformação**. INPE, São José dos Campos, 2001.

CANDIDO, Antonio. **Os parceiros do rio Bonito**. São Paulo: Todavia, 2023.

CAPORAL, Francisco Roberto. **Agroecologia: uma nova ciência para apoiar a transição a agriculturas mais sustentáveis**. Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

CARNEIRO, Celso Dal Ré. Viagem virtual ao Aquífero Guarani: Formações Pirambóia e Botucatu, Bacia do Paraná. **Terrae Didática**, v. 3, n. 1, p. 50-73, 2007.

CARREGA, Ellen Fittipaldi Brasília et al. Diagnóstico de potencialidade das unidades ambientais na bacia do Rio Capivara, Botucatu-SP. **Caminhos da Geografia**, v 16, n. 53, p 01 -14, 2015.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: 2005. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~santos/Geomorfologia_Geologia/Geomorfologia_ValterCasseti.pdf>. Acesso em dezembro 2024.

CAVALCANTI, L.C.S; CORREA, L.B.C.. Geossistemas e Geografia no Brasil. **R. Bras. Geogr.**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 2, p. 3-33, jul./dez. 2016

CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. Oficina de Textos, 2018.

CBH-SMT. **Relatório de Situação 2023**. 2023. Disponível em: <<https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/events/CBH-SMT/14518/relatorio-de-situao2023-2022-final.pdf>>. Acesso em: novembro, 2024.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Diagnóstico da Área de Proteção Ambiental de Botucatu**. CETESB: 1985. 105p

CHÁVEZ, Eduardo Salinas; PUEBLA, Adonis Maikel Ramón; TROMBETA, Letícia Roberta Amaro. La cartografía de los paisajes y los sistemas de información geográfica: aspectos conceptuales y metodológicos. **Cartografia Biogeográfica e da Paisagem**, p. 37, 2019.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. A análise de bacias hidrográficas. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, p. 102-127, 1980.

COLETTA, Rafaela Casonatto Della. **Análise de fácies sedimentares e quimioestratigrafia da Formação Teresina, Grupo Passa Dois, em Taguaí-SP e Joaquim Távora-PR**. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Geologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2023.

CONAMA, **Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 de mar. de 2005, Seção 1, p. 58-63.

CORRÊA, Edvania Aparecida; MORAES, Isabel Cristina; PINTO, Sérgio dos Anjos Ferreira. Estimativa da erodibilidade e tolerância de perdas de solo na região do centro leste paulista. **Geosciences= Geociências**, v. 34, n. 4, p. 848-860, 2015.

COSTA, C.W; PIGA, F.G; MORAES, M.C.P; DORICI, M; SAGUINETTO, E.C; LOLLO, J.A; MOSCHINI, L.E; LORANDI, R; OLIVEIRA, L.J. **Fragilidade ambiental e escassez hídrica em bacias hidrográficas**: manancial do Rio das Araras – Araras, SP. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.20, n.4, p. 946-958, 2015.

CPRM. Companhia De Pesquisa De Recursos Minerais. **Mapa geodiversidade**: subsídios ao plano de desenvolvimento e proteção ambiental da área de afloramento do Aquífero Guarani no estado de São Paulo (versão preliminar). Brasília, 2013. Disponível em: < <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17366>>. Acesso em 31 maio 2022.

CREPANI, Edison et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, 2001.

CUNHA, Luis Henrique; COELHO, Maria Celia Nunes. Política e gestão ambiental. In: CUNHA, Sandra Batista; GUERRA, Antonio José Teixeira. **A questão ambiental: diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, v. 3, p. 43-76, 2003.

CUNHA, Nelson, Oliveira da. **Análise Multitemporal da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego da Porteira no Município de Aquidauana**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Pioneiros, Brasil, 2021.

ESPINDOLA, Carlos Roberto. A pedologia e a evolução das paisagens. **Revista do Instituto Geológico (Descontinuada)**, v. 31, n. 1-2, p. 67-92, 2010.

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

FEIOCK, Ronald C.; STREAM, Christopher. Environmental protection versus economic development: A false trade-off?. **Public administration review**, v. 61, n. 3, p. 313-321, 2001.

FERNANDES, Djair Roberto. Uma visão sobre a análise da Matriz SWOT como ferramenta para elaboração da estratégia. **Revista de Ciências Jurídicas e Empresariais**, v. 13, n. 2, 2012.

FFLORESTAL. Fundação Florestal do Estado de São Paulo. **Plano de Manejo da APA Corumbataí, Botucatu e Tejuapá – Perímetro Botucatu**. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente, 2011.

FILIZOLA, Heloisa F.; BOULET, René; GOMES, Marco Antonio Ferreira. Processos erosivos lineares em áreas de recarga do Aquífero Guarani. **Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo: Avanços e Desafios**, [s. l.], p. 1–19, 2003.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de textos, 2008.

FRANCO, José Rafael et al. Atualização da normal climatológica e classificação climática de Köppen para o município de Botucatu-SP. **Irriga**, v. 28, n. 1, p. 77-92, 2023.

FURTADO, Adriano César. **Fragilidade ambiental da alta bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte (Goiás) e conflitos pelo uso da água**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Goiás, 2023.

GALVAN, Kelli Andreiza et al. Análise ambiental macroscópica e a qualidade da água de nascentes na bacia do Rio São Domingos/SC, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 165-176, 2020.

GARCIA, Joice Machado et al. Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. **Sociedade & Natureza**, v. 30, p. 228-254, 2020.

GLIESSMAN, S. R. Agroecology: researching the ecological basis for sustainable agriculture. In: GLIESSMAN, S. R. (Ed.). **Agroecology**, v. 78. Springer, New York, 1990.

GLIESSMAN, S. R. Defining Agroecology. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 42, n. 6, p. 599-600, 2018.

GREGORY, K. J. **A Natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1992. 367p.

GUERRA, Antonio José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. Oficina de Textos, 2017.

HARTMANN, Léo Afraneo. A história natural do Grupo Serra Geral desde o Cretáceo até o Recente. **Ciência e Natura**, v. 36, p. 173-182, 2014.

IAC. Instituto Agronômico de Campinas. **Solos do Estado de São Paulo**. 2014. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/solosp>>. Acesso em dezembro 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Portal Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em janeiro 2025.

KAWAKUBO, Fernando Shinji et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 12, n. 16, p. 2203-2210, 2005.

LAL, Ratan. Soil erosion in the humid tropics with particular reference to agricultural land development and soil management. **Proceedings of the Hamburg Symposium in Hydrology of Humid Tropical Regions with Particular Reference to the Hydrological Effects of Agriculture and Forestry Practice**, 1983.

LIMA, E. C. **Planejamento ambiental como subsídio para gestão ambiental da bacia de drenagem do açude Paulo Sarasate Varjota-Ceará**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, Tese de doutorado em Geografia, 2012.

LIMA, E. R. V. Análise espacial e sistemas de informação geográfica na Geografia. **Revista Equador**, v. 4, p. 29-47, 2015.

LIMA, Ernane Cortez; SILVA, Edson Vicente da. Estudos geossistêmicos aplicados à bacias hidrográficas. **Revista Equador**, v. 4, n. 4, p. 03-20, 2015.

LIMA, Walter de Paula. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: EdUSP, 1993.

LIMA, Walter de Paula; ZAKIA, M. J. B. Indicadores hidrológicos em áreas florestais. **Série técnica IPEF**, v. 12, n. 31, p. 53-63, 1998.

LUCHIARI, Ailton. **Procedimentos de tratamento da informação geográfica**: aplicação de técnicas de geoprocessamento como subsídio à análise de processos denudacionais. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 1993.

MANZIONE, R. L. KNOTTERS, M.; HEUVELINK, G.B.M; VON-ASMUTH, J.R; CAMARA, G. Transfer function-noise modeling and spatial interpolation to evaluate the risk of extreme (shallow) water table levels in the Brazilian Cerrado. **Hydrogeology Journal**, v. 18, p. 1927-1938, 2010.

MANZIONE, Rodrigo Lilla; SOLDERA, Bruna Camargo; WENDLAND, Edson Cesar. Groundwater system response at sites with different agricultural land uses: case of the Guarani Aquifer outcrop area, Brotas/SP-Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 62, n. 1, p. 28-35, 2017.

MAPBIOMAS. **MapBiomass General “Handbook”**: Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Collection 9 Version 1. 2024b. Disponível em: < <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/08/ATBD-Collection-9-v2.docx.pdf>>. Acesso em: janeiro 2025.

MARQUES NETO, Roberto. A abordagem sistêmica e os estudos geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Geografia (Londrina)**, v. 17, n. 2, p. 67-86, 2008.

MARTINELLI, Marcello. Cartografia ambiental: uma cartografia diferente?. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 7, p. 61-80, 1994.

MARTINES, Marcos Roberto. **Inferências geográficas**: o processo analítico hierárquico e o modelo booleano ponderativo aplicados no diagnóstico da estabilidade ambiental do município de Itirapina. Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade de São Paulo, 2005.

MARTINES, Marcos Roberto; MACHADO, Reinaldo Paul Pérez, TOPPA, Rogério Hartung. Uso de inferência geográfica aplicada ao diagnóstico ambiental como subsídio para a tomada de decisão. In: HAYASHI, Carmino; SARDINHA, Diego de Souza; PAMPLIN, Paulo Augusto Zaitune (Orgs.). **Ciências Ambientais: Diagnósticos Ambientais**. Alfenas: Carmino Hayashi, 2020. Disponível em: <<https://www.unifal-mg.edu.br/ppgca/wp-content/uploads/sites/188/2021/04/02.-Ciencias-Ambientais-Diagnosticos-Ambientais.pdf>>. Acesso em: janeiro 2025.

MCGURN, Patrick; MCKAY, Bernard. Nature and agriculture: a future of divergence or convergence?. In: **Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy**. Royal Irish Academy, 2020. p. 83-90.

MIKLÓS, László et al. **Landscape as a Geosystem**. Springer International Publishing, 2019.

MILANI, E. J., HENRIQUE, J., MELO, G., SOUZA, P. A. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências - Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 265–287, 2007.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Geosistemas**: A história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.

NEVES, Carlos Eduardo das et al. A importância dos geossistemas na pesquisa geográfica: uma análise a partir da correlação com o ecossistema. **Sociedade & Natureza**, v. 26, p. 271-285, 2014.

NEVES, Carlos Eduardo das; PASSOS, Messias Modesto dos. A geografia física integradora de Georges Bertrand: o geossistema pelas vias da paisagem e do ambiente. **Revista da ANPEGE**, v. 18, n. 36, 2022.

OLIVEIRA, Diego Alves de; AUGUSTIN, Cristina Helena Ribeiro Rocha; FONSECA, Braúlio Magalhães. Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Pandeiros-MG. **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento**, v. 1, p. 6253-6262, 2017.

OLIVEIRA, Nadinne Fernandes de; ARRAUT, Eduardo Moraes. Evolution of MapBiomass Collections’ Accuracy for the Highly Fragmented São Paulo landscape Evolution of MapBiomass

Collections' Accuracy for the Highly Fragmented São Paulo landscape. **Rev. Bras. Cartogr**, v. 76, 2024.

OLIVEIRA, Regina Célia de. **Zoneamento ambiental como subsídio para o planejamento de uso e ocupação do solo do município de Corumbataí-SP**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2014.

OLOFSSON, Pontus et al. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote sensing of Environment**, v. 148, p. 42-57, 2014.

PADILHA NETO, A. de S. et al. Agricultura familiar e os desafios da transição agroecológica: uma análise a partir da matriz SWOT 3.0. In: **Agricultura Órgano-Biológica: Desafios e Perspectivas Atuais** (Coletânea Interdisciplinar). São Paulo: Editora Científica Digital, 2024, p. 9-42.

PERROTTA, Mônica Mazzini et al. Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1: 750.000. **Programa Geologia do Brasil-PGB, CPRM, São Paulo**, 2005.

PIASENTIN, A. M. **Índice de Qualidade da Água - IQA da bacia contribuinte do Reservatório Tanque Grande, Município de Guarulhos, SP**. 2009. 165 f. Dissertação (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2009.

PINHEIRO, Marcos Roberto; QUEIROZ NETO, José Pereira de. Reflexões sobre a gênese da Serra Geral e da Depressão Periférica Paulista: O exemplo da região da Serra de São Pedro e do Baixo Piracicaba, SP. **Revista do Instituto Geológico (Descontinuada)**, v. 35, n. 1, p. 47-59, 2014.

PINTO FILHO, Jorge Luís de Oliveira; CUNHA, Lucio. Gestão dos recursos hídricos: diretrizes de aperfeiçoamento para o Conselho da Região Hidrográfica do Centro de Portugal e para o Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró/RN no Brasil. **Agua y Territorio/Water and Landscape**, n. 20, p. 57-71, 2022.

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

QUEIROZ, A. M. **Caracterização limnológica do lagamar do Cauípe – Planície Costeira do município de Caucaia – CE**. 2003. 204 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza: 2003.

PIZA, João Fernando Blasi de Toledo. **Nos sertões de Botucatu: arquitetura e território das sesmarias pioneiras às grandes instalações cafeeiras 1830-1930**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2015.

REIS JUNIOR, Dante Flávio da Costa. História de um pensamento geográfico: Georges Bertrand. **Geografia**, v. 32, n. 2, p. 363-390, 2007a.

REIS JUNIOR, Dante Flávio da Costa; HUBSCHMAN, Jacques. Pensamento geossistêmico oriental (voz e reverberação). **Geografia**, v. 32, n. 3, p. 555-569, 2007b.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo et al. Análise da paisagem como base para uma estratégia de organização geoambiental: Corumbataí (SP). **Geografia**, p. 88-129, 1995.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente Da; CAVALCANTI, Agostinho de Paula Brito. **Geocologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Edições UFC: Fortaleza, 2017.

ROSS, J. L. S. Bacia hidrográfica: unidade de análise integrada. In: MORATO, R. G.; KAWAKUBO, F. S.; GALVANI, E.; ROSS, J. L. S. (Org.). **Análise Integrada em bacias hidrográficas**: estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo. São Paulo: FFLCH/USP, p.27-43. 2019.

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

ROSS, J. L. S.; GOUVEIA, I. C.M.C.. A taxonomia do relevo e a cartografia geomorfológica regional. **Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira**, p.705-736, 2022.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do departamento de geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994.

ROSSI, M.; NALON, M. A.; KANASHIRO, M. M. 2022. **Atlas de suscetibilidades dos solos do estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Ambientais, V.1. 99p. (inclui Mapas), 2022

SAATY, Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International journal of services sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira; AUGUSTIN, Cristina Helena Ribeiro Rocha. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 15, n. 1, p.47-60, jan. 2014.

SANCHEZ, Erika Schumacher. **Serra de Botucatu**: análise da estrutura do trapp basáltico e suas implicações de natureza geológico-geotécnica. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 2023.

SANTOS, H.G *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SANTOS, J. O. Relação entre Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Social na Susceptibilidade aos Riscos. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, mai./ago. 2015.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental**: teoria e prática. ed.Oficina de Textos–São Paulo, v. 184, 2007.

SCHIER, Raul Alfredo. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. **R. RA'E GA, Curitiba**, n. 7, p. 79-85, 2003.

SCHINEIDER, Vailson. **Mapeamento geomorfológico e zoneamento ambiental de fragilidade na Bacia Hidrográfica do Rio Barra Seca – Espírito Santo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

SCHNEIDER, R.L et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: **Congresso brasileiro de Geologia**. 1974. p. 41-65.

SILVA, Edson Vicente da. Geomorfologia aplicada ao planejamento ambiental: sua importância na elaboração dos planos diretores municipais. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 4, 2018.

SNYTKO, Valerian A.; SEMENOV, Yurii M. The study of geosystem structure, development and functioning in Siberia. **Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego**, p. 141-150, 2008.

SOARES, Idevan Gusmão; OLIVEIRA, Regina Célia de. Uma discussão teórico-metodológica sobre fragilidade ambiental. **Anais do Evento em Comemoração aos 20 anos do Programa De Pós-Graduação Em Geografia (IG-Unicamp)**, v. 1, n. 1, p. 150-165, 2023.

- SOCHAVA, Viktor B. Geography and ecology. **Soviet Geography**, v. 12, n. 5, p. 277-293, 1971.
- SOCHAVA, Viktor B. O estudo de Geossistemas. **Métodos em Questão**. São Paulo: USP/ IG, n. 16, 1977.
- SOTCHAVA, V. B. An introduction to the theory of geosystems. **Rússia: Editorial Nauka, Novosibirsk**, 1978.
- SOUZA, André de Oliveira; PEREZ FILHO, Archimedes. Processos, ambientes deposicionais e geocronologias das coberturas superficiais sobre aplainamentos neogênicos e terraços fluviais na bacia do Ribeirão Araquá, Depressão Periférica Paulista. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 1, 2018.
- SOUZA, Tissiana Almeida; ANDRADE, Rafael Vilela; LUPINACCI, Cenira Maria. Análise geomorfológica da transição cuestas-Depressão Periférica: a alta bacia do Rio Passa Cinco (SP) como estudo de caso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 02, p. 465-486, 2020.
- SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. 165f. Dissertação de Mestrado em Geografia Física – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo, 2001.
- SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. Tese de Doutorado em Geografia Física – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo, 2007.
- SPÖRL, Christiane; CASTRO, Emiliano; LUCHIARI, Aílton. Aplicação de redes neurais artificiais na construção de modelos de fragilidade ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 21, p. 113-135, 2011.
- STEVAUX, José Cândido; LATRUBESSE, Edgardo Manuel. **Geomorfologia fluvial**. Oficina de Textos, 2017.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric analysis (area-altitude) of erosional topography. **Geol Soc Am Bull**, v. 63, p. 117-142, 1952.
- TAVEIRA, Bruna Daniela de Araújo. **Hidrogeografia e gestão de bacias**. InterSaberes, 2018.
- TONELLO, Kelly Cristina et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, v. 30, p. 849-857, 2006.
- TRAFICANTE, Daniela Polizeli et al. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Capivara, Botucatu-SP. **Energia na agricultura**, v. 32, n. 1, p. 88-95, 2017.
- TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Secretaria de Planejamento da Presidência da República, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria Técnica, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1977.
- TRICART, Jean; CAILLEUX, André. **Introduction to Climatic Geomorphology**. Londres: Longman, 1972.
- TROMBETA, Letícia Roberta; LEAL, Antonio Cezar. Planejamento ambiental e geoecologia das paisagens: contribuições para a bacia hidrográfica do córrego Guaíçarinha, município de Álvares Machado, São Paulo, Brasil. **Formação (Online)**, v. 3, n. 23, 2016.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia:** ciência e aplicação. Ed. Universidade UFRGS, 2 ed., 2001.

VITTE, Antonio Carlos. A construção da geomorfologia no Brasil. **Revista brasileira de geomorfologia**, 2011.

WANG, Dongdong et al. Characterisation of soil erosion and overland flow on vegetation-growing slopes in fragile ecological regions: A review. **Journal of environmental management**, v. 285, p. 112165, 2021.

WISCHMEIER, Walter H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 23, n. 3, p. 246-249, 1959.