unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

THIAGO SILVA FORTE

CARTOGRAFIA DE PAISAGENS COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL DO MUNICÍPIO DE ARARAS-SP

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS

RIO CLARO-SP
2026

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

THIAGO SILVA FORTE

CARTOGRAFIA DE PAISAGENS COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL DO MUNICÍPIO DE ARARAS- SP

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia

Orientador: Profª. Drª. Andréia Medinilha Pancher

Rio Claro - SP
2026

F737c

Forte, Thiago Silva
Cartografia de paisagens como subsídio ao planejamento territorial do município de Araras-SP. / Thiago Silva Forte. -- Rio Claro, 2026
170 p. : tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientadora: Andréia Medinilha Pancher

1. Cartografia. 2. Paisagem. 3. Geoprocessamento. 4. Geossistemas e Riscos Ambientais. 5. Sistemas de Informações Geográficas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

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

THIAGO SILVA FORTE

CARTOGRAFIA DE PAISAGENS COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL DO MUNICÍPIO DE ARARAS-SP

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia

Comissão Examinadora

Profª. Drª. ANDRÉIA MEDINILHA PANCHER
IGCE / UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. CLIBSON ALVES DOS SANTOS
ICN / UNIFAL/Alfenas (MG)

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

Prof. Dr. PAULO HENRIQUE DE SOUZA
ICN / UNIFAL/Alfenas (MG)

Profª. Drª. RENATA VIEIRA DE MELO
ICN / UNIFAL/Alfenas (MG)

Conceito: Aprovado.

Rio Claro (SP), 02 de Junho de 2026.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por ter me permitido sonhar e trilhar este caminho e por ter me sustentado em todo este processo.

Agradeço aos meus familiares pelo apoio.

Agradeço à minha Orientadora Professora Doutora Andreia Medinilha Pancher por este tempo de caminhada e por todo aprendizado, por toda paciência e cuidado com minha trajetória nesta etapa acadêmica.

Agradeço à Letícia Spatti pelo apoio.

Agradeço aos colegas de turma, e ao corpo docente do Programa.

Agradeço ao curso de Geografia da UNIFAL e ao corpo docente em especial aqueles que estiveram no período da minha graduação e me introduziram na ciência geográfica.

Agradeço aos meus colegas de graduação e mestrado da UNIFAL por toda contribuição em minha trajetória acadêmica.

Agradeço à Aline Bastos pelo apoio.

Agradeço ao colega André Luiz Bellini, que foi a pessoa responsável por me introduzir ao geoprocessamento, nada disso seria possível sem sua ajuda.

Agradeço ao programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista.

Agradeço aos meus amigos, pelas motivações, pelo apoio e parceria nesta trajetória, e aos demais colegas e professores pelas contribuições importantes.

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

“Palavras são, na minha nada humilde opinião, nossa inesgotável fonte de magia capazes de formar grandes sofrimentos e de também remediá-los”. (*Alvo Dumbledore- H.P.*)

RESUMO

A relevância dos estudos ambientais na sociedade contemporânea é imposta pela velocidade com que o consumo de massa e a expansão do capital aceleram a degradação dos recursos naturais. Diante deste cenário, o objetivo fundamental desta tese consistiu em realizar um diagnóstico cartográfico ambiental do município de Araras (SP), fundamentado nas premissas da análise integrada da paisagem sob a ótica geossistêmica, visando fornecer subsídios técnicos para a mitigação de impactos ambientais e a otimização dos usos da terra na região. A fundamentação teórica ancora-se na abordagem sistêmica russo-soviética, com procedimentos metodológicos executados em ambiente SIG através do software QGIS 3.34.11. A pesquisa envolveu a elaboração de base cartográfica de variáveis geológicas, geomorfológicas, pedológicas e de uso e ocupação, com base nos preceitos da Cartografia Temática, incluindo também a aplicação de álgebra de mapas para a delimitação de unidades de paisagem, denominadas geócoros. A integração dos dados (compartimentação geomorfológica, pedologia, litologia) resultou na identificação de feições geossistêmicas individuais, as quais foram agrupadas manualmente através do software QGIS em domínios funcionais distintos sobrepondo a estes domínios o Uso e Ocupação da Terra. Observou-se uma dicotomia funcional entre o Domínio das Depressões, que abrange 70% da área municipal e é caracterizado por Latossolos Vermelhos Distróficos, e o Domínio das Planícies Fluviais, composto por Organossolos. Os resultados indicam que, embora a estabilidade geomorfológica das depressões favoreça a monocultura mecanizada da cana-de-açúcar, tal uso gera riscos significativos de compactação do solo. Por outro lado, as áreas de planícies fluviais foram identificadas como geócoros de exclusão agrícola e de preservação hídrica prioritária. O mapeamento final revela as vulnerabilidades do território sob pressão antrópica, validando a Cartografia de Paisagens como aporte teórico metodológico essencial para o planejamento territorial e a gestão municipal.

Palavras-chave: Síntese Cartográfica, Sistemas de informações Geográficas, Geossistemas; Sochava.

ABSTRACT

The relevance of environmental studies in contemporary society is driven by the rate at which mass consumption and capital expansion accelerate the degradation of natural resources. In this context, this study presents an environmental cartographic diagnosis of the municipality of Araras (SP), based on the premises of integrated landscape analysis from a geosystemic perspective. The central objective of this research is to provide technical data for mitigating environmental impacts and optimizing land use in the region. The theoretical framework is anchored in the Russian-Soviet systemic approach, with methodological procedures executed in a GIS environment using QGIS 3.34.11 software. The research involved the development of thematic mapping, including geological, geomorphological, pedological, and land use and cover variables, alongside the application of map algebra to delimit landscape units, termed geochores. Data integration resulted in the identification of individual geosystemic features, grouped into distinct functional domains. A functional dichotomy was observed between the Depression Domain, which covers 70% of the municipal area and is characterized by Dystrophic Red Latosols, and the River Plain Domain, composed of Histosols (Organossolos). The results indicate that while the geomorphological stability of the depressions favors mechanized sugarcane monoculture, such use creates significant risks of soil compaction. Conversely, the river plain areas were identified as geochores for agricultural exclusion and priority water conservation. The final mapping reveals the vulnerabilities of the territory under anthropic pressure, validating Landscape Cartography as an essential theoretical-methodological contribution to territorial planning and municipal management.

Keywords: Cartographic Synthesis, Geographic Information Systems, Geosystems, Sochava.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Organograma Estrutural da Tese.....18
Figura 2- Ordem de geossistemas e subdivisões..... 50
Figura 3- Localização da área de estudo.....63

Figura 4 IFDM 70

Figura 5- Variáveis visuais.....74
Figura 6- Procedimentos metodológicos.....75
Figura 7- Pedologia IAC..... 81
Figura 8- Composição da imagem Bruta.....84
Figura 9- Resolução espectral da parcial da imagem.....86

Figura 10- Unidades de Paisagem do município de Araras/SP dados brutos.....91

Figura 11- Tabela de atributos criada para reclassificação da camada vetorial do zoneamento 94

Figura 12- Locais definidos para o trabalho de campo 100

Figura 13- Equipe em trabalho de campo 101

Figura 14- Triangulação da área de voo 102
Figura 15- Drone utilizado no Campo..... 102

Figura 16- Litoestrutura de Araras-SP..... 105

Figura 17- Mapa Hipsométrico do município de Araras/SP.....109

Figura 18- Distribuição pluviométrica mensal e destaque para o pico de 2020.....111

Figura 19- Séries históricas de temperatura em Araras/SP (2016-2026).....112

Figura 20- Comportamento da umidade relativa do ar no decênio analisado....113

Figura 21- Balanço Hídrico do município de Araras.....116
Figura 22- Compartimentação Geomorfológica do município de Araras/SP.....111

Figura 23- Mapa de Declividade do Município de Araras/SP..... 118

Figura 24- Mapa Pedológico do Município de Araras.....120

Figura 25- Uso e Ocupação da Terra do município de Araras..... 123

Figura 26- Unidades de Paisagens Araras/SP-Geócoro.....126

Figura 27 - Perfil de Latossolo.....128

Figura 28- Mapa- Depressão Indiferenciada sobre Latossolos e culturas diversificadas..... 139

Figura 29- Cultivos em diferentes estágios sobre latossolos..... 140

Figura 30- Depressão Indiferenciada sobre Latossolos e cultura cana-de-açúcar.....141

Figura 31- características da Depressão Indiferenciada sobre latossolos e cultura.....142

Figura 32- Morrarias e colinas intermontanas.....143

Figura 33- Morrarias e colinas intermontanas sobre latossolo vermelho, incidência de formação florestal substrato Serra Geral 143

Figura 34- Morros convexos(a).....144

Figura 35- Morros convexos(b).....144

Figura 36- Planícies Fluviais.....145

Figura 37- Planície fluvial do rio Mogi Guaçu sobre Organossolos Háplicos com incidência de água, substrato depósitos aluvionares holocênicos (A).....145

Figura 38- Planícies fluviais do rio Mogi Guaçu sobre Organossolos Háplicos com incidência de água substrato depósitos aluvionares holocênicos (B).....146

Figura 39- Planície fluviais do rio Mogi Guaçu sobre Organossolos Háplicos com incidência de água substrato depósitos aluvionares holocênicos (C).....147

Figura 40- Planície fluviais do rio Mogi Guaçu sobre Organossolos substrato depósitos aluvionares holocênicos (perfil de solo).....148

Figura 41- Planície fluviais sobre Organossolos Háplicos com incidência de água substrato depósitos aluvionares holocênicos (Reverso).....149

Figura 42- Planície fluviais sobre Organossolos Háplicos com incidência de água substrato depósitos aluvionares holocênicos (D).....150

Figura 43- Vista Aérea da área urbana de Araras.....151

Figura 44- Dualidade no Geossistema urbano 152

Figura 45- Proposta de Zoneamento Ambiental.....154

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Síntese da lógica Booleana aplicada.....95

Quadro 2- Algoritmo em Python para tratamento de inconsistências e análise descritiva.....96

Quadro 3- Prompt para geração do balanço hídrico.....97

Quadro 4- Dados Obtidos do Balanço Hídrico.....98

Quadro 5- Síntese das Unidades de Paisagem – Araras/SP.....127

Quadro 6- Domínio de Depressões indiferenciadas.....129

Quadro 7- Geócoros do Domínio de Morrarias e Colinas.....130

Quadro 8- Geócoros de Planícies Fluviais.....131

Quadro 9- Simbologia do Domínio de Depressões indiferenciadas.....134

Quadro 10- Simbologia dos Geócoros do Domínio de Morrarias e Colinas.....135

Quadro 11- Simbologia dos Geócoros de Planícies Fluviais.....136

Quadro 12- Comparativo entre o diagnóstico e o Plano Diretor de Araras/SP.....158

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características das imagens CBERS 4A..... 85

Tabela 2: Organização das classes de Uso e Ocupação da Terra do município de Araras/SP..... 87

Tabela 3: Síntese Climática de Araras (2016-2026..... 114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CBRN – Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GEOFT – Geotecnologias Aplicadas ao Planejamento e Gestão Territorial

GIS – Geographic Information System (Sistema de Informação Geográfica)

IAC – Instituto Agronômico de Campinas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFDM – Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal

IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IVS – Índice de Vulnerabilidade Social

PEA – População Economicamente Ativa

PIB – Produto Interno Bruto

PMA- Prefeitura Municipal de Araras- SP

QGIS – Quantum Geographic Information System

RGB – Red, Green, Blue (Sistema de cores Vermelho, Verde e Azul)

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

USGS – United States Geological Survey

UTM – Universal Transverse Mercator

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 17
1 CAPÍTULO 1: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 21
1.1 A relevância do Ordenamento Territorial 21
1.2 Cartografia de Paisagens: Premissas teórico-metodológicas através da retomada dos conceitos fundamentais 32
1.3 Abordagem Sistêmica e Geografia Física..... 39
1.4 Geossistemas: uma breve retomada..... 46
1.5 O Hibridismo Geossistêmico e a Complexidade em Araras-SP 51
1.6 Análise geoespacial aplicada aos geossistemas com suporte na Cartografia e nos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)..... 53
2 CAPÍTULO 2: LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDOS: O MUNICÍPIO DE ARARAS/SP 62
3 CAPÍTULO 3: PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 71
3.1 Processamento de dados cartográficos e elaboração de mapas temáticos..... 77
4 CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES 104
4.1 Aspectos da Litoestrutura do município de Araras/SP 104
4.2 Características Geomorfológicas de Araras/SP 107
4.2.1 Aspectos Climáticos 111
4.2.2 Compartimentação geomorfológica 115
4.2.3 Declividade 117
4.3 Aspectos pedológicos do município de Araras/SP 119
4.4 Uso e Cobertura da Terra no município de Araras/SP 121
4.5 Geossistemas de Araras: contribuições metodológicas 124
4.5.1 Domínio de Depressões indiferenciadas 129
4.5.2 Geócoros do Domínio de Morrarias e Colinas 130
4.5.3 Geócoros de Planícies Fluviais 131
4.5.4 Domínio da estabilidade: a Pedogênese dos Latossolos e a aptidão produtiva 132
4.5.5 Domínio da Instabilidade: Os aspectos da drenagem e da erosão 132
4.5.6 Domínio de Depressões indiferenciadas (Análise Complementar) 134
4.5.7 Geócoros do Domínio de Morrarias e Colinas (Análise Complementar) 135

4.5.8 Geócoros de Planícies Fluviais (Análise Complementar) 136
4.5.9 Geócoros do domínio da estabilidade: a Pedogênese dos Latossolos e a aptidão agrícola 137
4.5.10 Geócoros do Domínio da Instabilidade: Os aspectos da drenagem e da erosão..... 138
4.6 Caracterização dos Geossistemas através do trabalho de campo e das imagens de drone 138
4.6.1 Domínio de Depressões Indiferenciadas 138
4.6.2 Morrarias e colinas Intermontanas 142
4.6.3 Planícies Fluviais 145
4.6.4 Área Urbana 150
5 CAPÍTULO 5: PROPOSTA DE ZONEAMENTO: DA DIFERENCIAÇÃO GEOECOLÓGICA AO ZONEAMENTO FUNCIONAL: A BASE GEOSSISTÊMICA DA VULNERABILIDADE 153
5.1 A Gênese do Risco Ambiental 155
5.2 Síntese da Análise Integrada 155
CONSIDERAÇÕES FINAIS 156
REFERÊNCIAS 162

INTRODUÇÃO

A intensificação da crise ambiental contemporânea deriva de um modelo de consumo exploratório, sustentado por um sistema econômico-financeiro que prioriza a exploração predatória dos recursos naturais. Nesse contexto, a ocupação do território, embora muitas vezes aparente desordem, é premeditada por interesses que moldam o espaço geográfico em função do capital. Tal cenário coloca a Geografia, e especificamente a Geografia Física, no centro das discussões científicas, dada a urgência de planejar o uso do território frente às catástrofes ambientais recentes e à perda de nichos ecológicos.

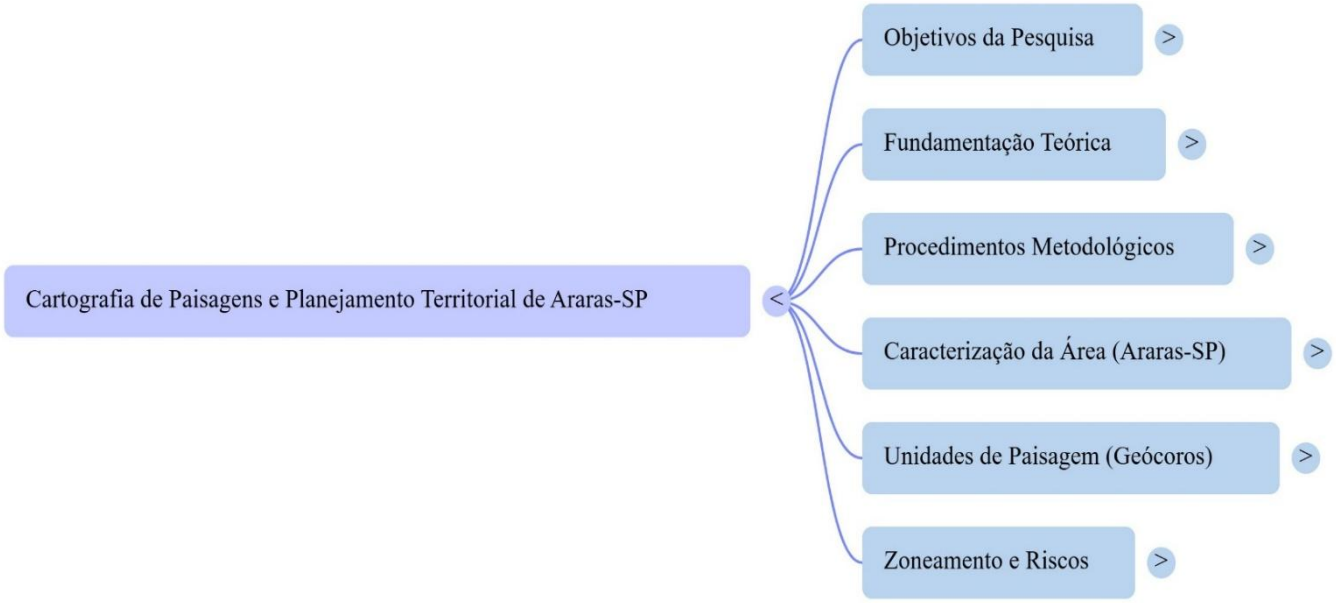
Como os problemas ambientais manifestam-se em territorialidades constituídas por relações de poder, os conflitos ambientais são, essencialmente, conflitos políticos. A ciência exerce papel preponderante na mediação dessas disputas através de diagnósticos, monitoramentos e conhecimentos técnicos que, conforme destaca Suertegaray (2016), colocam-se a serviço da política frente aos desafios socioambientais. Para tanto, a análise dos geossistemas surge como abordagem fundamental para compreender as interações complexas entre componentes naturais e antrópicos.

Fundamentada na concepção de V. B. Sochava (1968), esta tese interpreta a paisagem como um sistema dinâmico, aberto e hierárquico. A aplicação desse método possibilita uma compreensão holística do território, identificando áreas críticas e embasando propostas de mitigação de impactos ambientais. O cerne operacional desta investigação reside na cartografia de paisagens, ferramenta que transcende a representação estática para mapear complexos naturais oriundos das interações entre solo, relevo, hidrografia e vegetação (Cavalcanti, 2018). A Cartografia de Paisagens, ao integrar as variáveis bióticas e abióticas, fornece o suporte necessário para as atividades de planejamento territorial.

Assim, através do desenvolvimento desta pesquisa foi possível realizar uma análise integrada da paisagem para elaborar a carta-síntese dos geossistemas de Araras-SP. A escolha deste recorte espacial justifica-se pela ausência de estudos dessa natureza nessa área. Através de adequações de escala e do suporte de geotecnologias, o diagnóstico cartográfico resultante visa viabilizar a composição de classes de geossistemas como subsídio ao planejamento de usos da terra, permitindo fornecer subsídios para que os tomadores de decisões políticas reconheçam as

contradições da relação sociedade-natureza em um espaço historicamente produzido. A presente Tese se estrutura conforme o fluxograma da figura 1:

Figura 1: Organograma Estrutural da Tese



Fonte: O Autor, 2026.

Justificativa e Hipótese da pesquisa

A presente pesquisa se justifica através da problemática ambiental que se manifesta no território de Araras-SP, fruto das relações dialéticas da dicotomia urbana e rural, constituindo-se num município com forte atuação na agricultura no decorrer do seu tempo histórico.

O mapa de Uso e Ocupação da Terra realizado por Tôsto (2010), revelou que mais de 53% do território de Araras era ocupado pelo cultivo de cana-de-açúcar, e que apenas 15% de sua área possuía cobertura vegetal endógena e remanescentes florestais.

Além disso, foi possível notar através de observações empíricas e de publicações da mídia local, que Araras apresenta um processo de industrialização que gera pressão significativa no meio urbano, poluindo corpos hídricos, gerando desmatamento para ocupação de prédios industriais e acelerando o processo de

verticalização urbana em terrenos propícios a enchentes e sem adequado planejamento prévio.

Essas ações antropogênicas exercem pressão significativa e impactantes no meio ambiente, combinadas de maneira diversificada, transformando os processos que deveriam ser naturais em problemas ambientais, gerando estados ambientais variados.

Desta forma, considerando-se os impactos ambientais gerados pelas atividades antrópicas no município de Araras, busca-se responder a seguintes indagações: Com base na teoria dos geossistemas, com apoio na Cartografia, é possível representar a dinâmica das paisagens no município de Araras? Quais contribuições da abordagem sistêmica para este estudo de caso? e, Como a representação cartográfica dos geossistemas se configura na escala no limite municipal de Araras?

Com base nesses questionamentos, pode-se admitir como **hipótese** que a perspectiva geossistêmica possibilita a compreensão e representação da paisagem por meio da Cartografia, bem como a dinâmica das relações naturais e antrópicas dentro do espaço geográfico da área de interesse, configurando assim as tipologias funcionais de geossistemas no nível de geócoros[1].

OBJETIVOS

Para o desenvolvimento da tese foram estabelecidos os seguintes objetivos:

OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da presente pesquisa foi realizar um diagnóstico cartográfico ambiental do Município de Araras-SP, com premissas engendradas no estudo integrado da paisagem, sob a óptica geossistêmica, por meio do mapeamento geoambiental, servindo de subsídios à elaboração de propostas para amenizar problemas ambientais e para otimizar o uso da terra.

[1]Os geócoros referem-se aos elementos físicos e bióticos que compõem um geossistema em um determinado momento. Eles incluem características como Solos, relevo, vegetação, fauna, clima e hidrografia presentes em uma área específica. (Sotchava, 1968 p.7).

Objetivos Específicos

- Conhecer as características físico-naturais e antrópicas de Araras/SP, visando realizar um diagnóstico ambiental do município;
- Compreender as variáveis temáticas de modo interrelacionado, visando determinar as unidades geossistêmicas da área de estudo;
- Analisar informações básicas e temáticas de modo integrado para embasar o adequado planejamento do Uso e Ocupação da terra de Araras;
- Propor ações mitigadoras dos impactos ambientais, que poderão servir de subsídios ao adequado planejamento municipal.

CAPÍTULO 1
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente capítulo, apresenta-se o embasamento teórico para o desenvolvimento desta pesquisa, destacando-se aspectos fundamentais e conceituais atinentes a temática e direcionando o caminho metodológico, alguns conceitos fundamentais são retomados a partir da dissertação de mestrado do autor.

1.1 A relevância do Ordenamento Territorial

O Ordenamento Territorial e Ambiental possui estreita relação com a Geografia e, mediante acontecimentos hodiernos se faz extremamente necessário em pautas e agendas governamentais. Por Ordenamento Territorial e Ambiental se entende todo o processo de planejamento que vai desde o inventário de recursos (financeiros e ambientais), demandas socioeconômicas e execução de políticas institucionais, bem como a busca por estratégias nas resoluções ou mitigação de conflitos na relação Homem e Natureza. (Dutra *et al*., 2009).

Este campo é complexo pois busca a integração de análises multivariadas que demandam atuações multi e interdisciplinares para se entender muitas vezes apenas um processo. A integração de variáveis na análise de um processo ambiental pode requerer análises de vários níveis e de inúmeras relações de atributos entre si que ainda sofrem intervenções de diferentes intensidades da atividade antrópica. (Sotchava, 1968; Dutra *et al*., 2009; Rodriguez et al., 2013; Morin, 1977; Christofolleti, 2002).

O que é consenso na sociedade atual e na agenda governamental mundial, consolidado pela adoção dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) para serem alcançados pelas nações até 2030, é a urgência na conservação dos ecossistemas e da biodiversidade (NAÇÕES UNIDAS, 2015). Estes objetivos visam, especialmente, garantir padrões de consumo e de produção sustentáveis, adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e seus impactos, além de conservar e proteger a biodiversidade marinha e terrestre (IPBES, 2019; UNFCCC, 2015).

A biodiversidade em escala de detalhe no ordenamento territorial pode ser entendida como o conjunto de populações com maior ou menor variabilidade genética (porcentagem do total de genes relacionados a cada espécie particular), não sendo apenas o número total de espécies, mas também a diversidade genética que caracteriza as populações dessas espécies em determinado território. (Dutra *et al*., 2009).

O Brasil é considerado um dos países que contém uma megadiversidade, ou seja, possui um território de grandes proporções com grande parte da biodiversidade global (Mittermeier *et al*., 1997). Isto se dá por sua localização na zona tropical do planeta e por sua história geológica dentro do continente sul-americano, que ficou isolado por milhões de anos no período terciário até o estabelecimento da ponte terrestre com a América do Norte pelo Istmo do Panamá, resultando em fluxos migratórios de espécies nos dois sentidos (Marshall, 1988). Outro fator importante na especiação continental foi o soerguimento da Cordilheira dos Andes que propiciou o surgimento e evolução de vários ambientes e diferentes níveis de isolamento, culminando no surgimento de grande número de novas espécies no continente (Hoorn *et al*., 2010).

Para Rodriguez *et al.* (2013, p. 36), há um amplo espectro de definições de meio ambiente, cujo embasamento depende do viés filosófico e do prisma disciplinar de onde se origina sua definição, a seguir são apresentadas algumas definições:

- ✓ A visão biológica considera como meio ambiente todo o conjunto e condições que afetam o desenvolvimento a vida e o desenvolvimento dos organismos, ou seja, o meio físico, químico, abiótico e biótico. Esta visão não menciona o ser humano como parte desse meio. (Rodriguez et al., 2013).
- ✓ A visão antropocêntrica: considera que os fatores biológicos (físicos, químicos, abióticos e bióticos) afetam as diversas formas de vida inclusive a do ser humano, onde o Homem é o centro destas relações entre sujeito e objeto. (Suertegaray, 2004).
- ✓ O meio ambiente como espaço: é considerado a partir das relações recíprocas e complexas de trocas entre a sociedade e a natureza, levando em conta a dimensão espaço-temporal. Esta definição corrobora a visão geográfica, se utilizando da principal categoria de análise da Geografia. (Rodriguez *et al.,* 2013).

- ✓ O meio ambiente como representação social: é considerado como local determinado ou percebido, onde os elementos naturais estão em interação. Estas interações implicam relações e criações culturais, tecnológica e processos históricos sociais de transformação do meio natural. (Noguera, 2004).
- ✓ O meio ambiente a partir de uma perspectiva global: é apresentado como o meio global (abarcando o entorno natural), onde são considerados os objetos, artefatos da civilização e o conjunto de todos os fenômenos sociais e culturais que agem na formação dos indivíduos e grupos humanos. Desta forma, na perspectiva humana, o ambiente não é apenas biofísico, mas também social e econômico, sem dicotomias determinísticas, mas as inter-relações. (Sosa, 1995).
- ✓ O meio ambiente a partir da perspectiva da Ecologia Humana: abarca a noção de Ambiente Total, que é constituído por vários níveis, dentre eles, o ambiente pessoal, os padrões de comportamento e estado biofísico do ser humano, onde todas a variáveis do processo de socialização humanas estão envolvidas (econômicas, psicológicas, saúde física, profissional, demográfica, culturais). (Sotchava, 1968; Dutra *et al*., 2009; Rodriguez et al., 2013; Morin, 1977; Crhistofolleti, 2002).

Para este trabalho, corroboramos com a visão do meio ambiente como um megassistema. Este conceito de meio ambiente tem como base teórica o materialismo histórico-dialético, pois está pautado na metodologia da abordagem sistêmica. (Sotchava, 1968; Mateo, 2007; Crhistofoletti, 2002).

Para Rodriguez et al. (2013), o paradigma ambiental do megassistema está pautado no materialismo histórico-dialético, pois responde à organização sistêmica do mundo material e imaterial, compreendendo meio ambiente como um objeto de estudos. Este conceito é holístico em sua natureza, porque permite a análise da complexidade e o caos como propriedades inerentes dos sistemas e possibilita a articulação entre dados qualitativos e quantitativos, além de interdisciplinaridades e colaborações na construção de ferramentas para análises e planejamento territorial. (Sotchava, 1968; Dutra *et al*., 2009; Rodriguez et al., 2013; Morin, 1977).

Neste sentido, a caraterização do materialismo histórico-dialético na visão do megassistema se determina pela produção material e imaterial das relações

reciprocas e contraditórias entre sociedade e natureza e não somente por meio da interação do homem com o meio. O termo “meio” é empregado para definir o entorno, ou seja, o conjunto de condições naturais nas quais as sociedades humanas desenvolvem suas atividades; desta forma, o conceito de “meio” exprime o resultado das relações entre sujeito e objeto. (Sotchava, 1968; Dutra *et al*., 2009; Rodriguez et al., 2013; Morin, 1977; Christofoletti, 2002).

O conceito de espaço geográfico a partir da visão sistêmica, o considera como funcional, complexo e dinâmico de base estruturalista. Desta forma o espaço geográfico envolve tanto os componentes físicos como os sociais, recursos físicos, a força de trabalho, o capital e as informações como um todo complexo dinâmico e mutável. No espaço geográfico se manifestam configurações complexas e articuladas onde se combinam os diferentes sistemas ambientais e contradições. (Rodriguez et al., 2013).

Na perspectiva desta tese, concebemos o conceito de espaço geográfico como o conceito central da Geografia. No decorrer da história, este mesmo foi elaborado e concebido de diversas maneiras, no entanto, consideramos para este trabalho, o conceito de espaço geográfico em Milton Santos (1996, p. 63), que o considera um sistema composto por conjunto indissociável de sistemas e objetos onde:

> é formado por um conjunto indissociável, solidário e contraditório, de sistemas de objetos e sistemas de ações, não considerados isoladamente, mas como um quadro único na qual a história se dá. No começo era a natureza selvagem, formada por objetos naturais, que ao longo da história vão sendo substituídos por objetos fabricados, objetos técnicos, mecanizados e, depois cibernéticos fazendo com que a natureza artificial tenda a funcionar como uma máquina.

Desta maneira, esta conceituação revela a inter-relação entre sociedade e natureza. Para Suertegaray (2001), Santos (1996) ao considerar uma natureza tecnificada, artificial à luz do meio técnico científico informacional, nos permite pensar a natureza não como natural resultante de uma auto-organização, mas fruto das relações antrópicas com o meio.

Suertegaray (2001), propõe a ideia de um espaço geográfico uno e múltiplo aberto a múltiplas conexões e dinâmicas. Esta ideia de espaço geográfico nos abre a possibilidade de pensarmos ele em diferentes categorias de análise, a partir do Território, da paisagem, da região, e que cada uma dessas categorias está contida

em outras. Isto vai de encontro com o pensamento de Milton Santos (1996) sobre a Totalidade.

Santos (1996), em seu livro “A Natureza do Espaço”, no capítulo 4, discorre sobre a noção de Espaço Geográfico através do conceito de Totalidade. Este conceito é importantíssimo para aproximação da Geografia Humana com a Geografia Física, na quebra das dicotomias científicas que comprometem a integridade da Ciência Geográfica, principalmente no que concerne aos estudos dos Geossistemas.

Segundo o autor, a Totalidade é um conceito dos mais fecundos que a filosofia clássica nos legou. A ideia de Totalidade é a de que todas as coisas presentes no universo formam uma unidade. Cada coisa ou objeto, nada mais é que parte da unidade, do Todo, mas a totalidade não é uma simples soma das partes. As partes que formam a Totalidade não bastam para explicá-la, mas a Totalidade é quem explica as partes. Cada parte se configura de forma diferente em tempos diferentes. Qualquer movimento de transformação da Totalidade resulta em uma variável diferente do estado original e vão se subdividindo concomitantemente em partes diferentes a partir de cada evento de transformação:

> As partes que formam a Totalidade não bastam para explicá-la. Ao contrário, é a Totalidade que explica as partes. A Totalidade B, ou seja, o resultado do movimento de transformação da Totalidade A, divide-se novamente em partes. As partes correspondentes à Totalidade B já não são as mesmas partes correspondentes à Totalidade A. São diferentes. As partes de A (a1 a 2 a 3 ... a n) deixam de existir na totalidade B; é a Totalidade B, e apenas ela, que explica suas próprias partes, as partes de B (b1 b2 b3 ... bn). E não são as partes a1 a2 a3 ... que se transformam em b1 b2 b3 ..., mas a totalidade A que se transforma em totalidade B. (Santos, 1996, p. 74).

Desta forma, podemos conceber que uma sociedade é mutável e se caracteriza de formas diferentes ao decorrer do tempo e que a Totalidade é a realidade em sua integridade, ou seja, a Totalidade é o conjunto dos estados de objetos, fatos e situações existentes em movimento e relações mútuas. Filosoficamente este conceito espacial se aproxima muito do conceito de geossistemas, pois pressupõe uma relação dialética entre espaço geográfico, natureza e sociedade. Onde cada ação, ou input (entrada) de energia ou matéria altera o estado original de um sistema formando um novo sistema que faz parte da totalidade, mas que se difere do seu estado anterior, compondo um mosaico. (Santos, 1996; Sotchava, 1968).

O espaço geográfico, em sua estrutura, é uma totalidade indivisível, cujas partes estão interconectadas reagindo a fluxos constantes, guardando sua

diversidade, em que cada elemento de uma análise, seja ele o território, a região, o lugar, combinam de forma particular suas variáveis internas o que nos possibilita análises específicas. (Santos, 1996; Camargo, 2009).

Assim, o espaço geográfico em sua totalidade é uma propriedade fundamental das configurações espaciais e territoriais, sendo formado por estruturas que compreendem: formas, funções e processos. Este é concebido por Santos (1996), como um conjunto indissociável de sistemas e objetos; sistemas de ações que se manifestam no tempo histórico, de forma contraditória em uma dialética concreta, material.

Corroboramos com Santos (1985; 1996) em “Espaço e Método”, compreendendo o Espaço Geográfico como uma instância social que contém e é contido pelas diversas instâncias (sistemas), sejam econômicas, políticas, culturais, ideológicas. O espaço não deve ser formado a partir desta concepção, somente pelos objetos geográficos e o conjunto da natureza.

Compreendemos que o Espaço Geográfico é por essência Social, sendo o conjunto dos objetos geográficos, suas instâncias materiais e imateriais mais o conjunto da sociedade, onde cada fração da natureza abriga uma fração da sociedade em seu tempo histórico, resultando nas configurações espaciais, ou seja na organização espacial, que é composta a cada momento por um mosaico de subespaços que cobre a superfície cujo desenho (forma) é fornecido pelo curso da história (eventos), onde a escala geométrica passa a ser condicionada por uma outra dimensão espacial, o Tempo, outra característica importante no entendimento dos geossistemas. (Santos, 1996; Sotchava, 1968).

O ordenamento da sociedade, hoje mais do que nunca, passa pela interferência direta na organização espacial, onde as formas geográficas são reestruturadas de acordo com os interesses dos Planejadores a partir da inserção do território específico em uma ordem mundial. Desta forma, o planejamento deixa de ser uma concepção de análise puramente econômica tornando-se ideológica pois se remete a manipulação das formas da paisagem geográfica usando-as para o controle da reprodução do capital. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

O ordenamento territorial, sob essa ótica, configura-se como um desdobramento ideológico que se materializa nas formas espaciais e se consolida mediante as relações de poder exercidas sobre o espaço. Nesta pesquisa, o geossistema representa a base objetiva do diagnóstico, fundamentada em

componentes invariantes como o arcabouço litoestrutural da Bacia do Paraná e a compartimentação geomorfológica da Depressão Periférica. Entretanto, a materialização desses sistemas físicos no espaço geográfico processa-se por intermédio do território, definido aqui como uma construção social pautada por dinâmicas de poder e apropriação.

Distanciando-se da síntese paisagística subjetiva da escola francesa, a aplicação da teoria de Sochava fundamenta o mapeamento de geócoros com foco na objetividade e na aplicabilidade prática. No contexto de Araras, a configuração destas unidades geossistêmicas não se limita a expor uma divisão entre o social e o natural, mas revela sua mútua dependência funcional. O território, portanto, deixa de ser um agente passivo para atuar como estância central que condiciona as dinâmicas e as transições observadas no suporte físico.

O papel do planejamento territorial na organização espacial representa a articulação de como o poder se viabiliza em torno de interesses de organizações privadas juntamente com os interesses estatais. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

Santos (2003) identifica três grandes fases históricas do planejamento territorial global, delimitando as suas diferenças básicas. Na primeira fase, os processos de descolonização reforçaram a inserção do mercado e de suas vantagens. A segunda fase, por sua vez, é marcada pelo desenvolvimento de monopólios na sua forma transnacional, estando diretamente relacionada com a ampliação da penetração e da reprodução do capital. Nesse sentido, o autor delimita a importância das revoluções técnicas e científicas associadas à difusão das ideias através da propagação da mídia e da propaganda, possibilitando o advento dessa fase que se expande para além da produção, exigindo que a população dê a sua colaboração através do consumo.

A terceira fase, ocorre ao mesmo tempo por todo o Terceiro mundo, através da ampliação do consumo de bens e serviços, dando continuidade à antiga estrutura que gerou fome e miséria, pois é mantida a grande taxa de acumulação e de desigualdade social. Para compreender a inserção do Brasil nos modelos de ordenamento territorial global, precisamos primeiro entender como as relações de ordem local, em uma economia capitalista, se dão com o mecanismo da divisão Internacional do trabalho que dimensiona cada região do Globo. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

O desenvolvimento capitalista se deu por cinco períodos técnicos que se sucedem no tempo, em que cada etapa equivale a uma sucessão de sistemas que se modernizam, resultando no que hoje conhecemos como meio-técnico-científico-informacional:

- O período do comércio em grande escala no fim do século XV até mais ou menos 1650;
- O período manufatureiro de 1650 até 1750;
- O período da revolução industrial de 1750 até 1870;
- O período industrial de 1870 até 1945;
- O atual período tecnológico.

Dentre os vários avanços, podemos citar as estradas de ferro, navios a vapor, portos modernizados, a aviação, a evolução científica em áreas essenciais como o aumento da expectativa média de vida do ser humano. Todas essas transformações dinamizam a organização do espaço geográfico a partir da inserção de novas técnicas nos territórios. Desta forma, emergem novas demandas sociais de acordo com cada tempo histórico, que se adaptam ou se sobrepõem à realidade espacial local, formando uma rede organizada onde, um novo objeto com o tempo se torna um componente inserido na realidade social local. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

No caso brasileiro, dois períodos são fundamentais para a compreensão da expansão do meio técnico na paisagem e no ordenamento territorial constante do espaço: o período industrial, de 1870 até 1945 e o tecnológico, iniciando em 1945, passando pela efetivação da economia globalizada juntamente com a evolução tecnológica da informática nos anos 1970 até os dias atuais. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

É importante para o desenvolvimento do planejamento territorial no Brasil, o processo de integração a partir da mecanização do território mediante a instalação de usinas de açúcar e mais tarde da navegação a vapor e estradas de ferro no século XIX. O processo de industrialização que se ampliou no século XIX elimina distanciamentos regionais a partir da criação de redes de integração, que se justificam com o surgimento de um grande mercado. Desta forma, surgem cidades, estradas, portos e outros sistemas de engenharia como o rodoviarismo, que redimensionam a

ordenação territorial e a organização do espaço geográfico brasileiro. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

A técnica constitui então, um meio de intervenção que reconfigura a organização espacial e seu ordenamento, criando modelos de intervenção no território. Desta forma o planejamento assume uma postura de distribuir e manipular modelos técnicos pelo espaço, gerando assim concentrações cada vez mais intensas sob a justificativa do ideal do desenvolvimento, culminando no processo de acumulação e reprodução do capital. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

Planejar é pensar no futuro ou o que se deseja alcançar; o ato de planejar é inerente aos indivíduos. O planejamento pode ser sistemático para determinar o estágio em que se está, e onde se quer chegar; desta forma pode-se escolher qual a melhor maneira de alcançar os objetivos traçados. O ato de planejar é um processo contínuo que envolve a coleta, organização e análise sistemática de informações por meio de procedimentos e métodos. Sendo assim também é um processo cognitivo voltado a pensar com antecedência o que se deseja alcançar e como atingir o objetivo. (Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

O planejamento ambiental é um processo racional no qual se projeta os instrumentos de controle baseados em uma concepção técnico-científica. A concepção técnico-científica é composta por um conjunto de instrumentos e requer participação de setores da sociedade que são necessários para viabilizar a implementação de ações e processos de gestão e de desempenho. Portanto, o processo de planejamento ambiental envolve a tomada de decisões a partir de uma agenda político territorial que abarcam concessões, permissões, subsídios, créditos e financiamentos. Neste sentido, o ponto de partida do planejamento ambiental deve ser o espaço físico ambiental com base no meio natural. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

O planejamento ambiental emergiu nos últimos 40 anos e possui uma intrínseca relação com outras categorias de planejamento, por ter um caráter de base pela natureza do seu objeto que é o meio ambiente, ou seja, o planejamento ambiental é a base de todos os outros tipos de planejamento. Desta forma, compreendemos que os sistemas ambientais estão intimamente associados com os procedimentos de planejamento ambiental. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

Ao se pensar os assentamentos humanos e as organizações sociais produtivas econômicas, deve-se pensar também as formas e a intensidade as quais se dão os usos dos territórios. O processo cognitivo do planejamento é constituído pela organização e coleta de informações, análises e reflexões sobre as potencialidades e limitações dos sistemas ambientais de um determinado recorte territorial. Esse procedimento serve de base para definição de metas, objetivos e elaboração de estratégias de uso e manutenção de atividades e projetos no espaço geográfico. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

Portanto, o planejamento ambiental pode ser compreendido em três esferas: político administrativa, que envolve um conjunto de procedimentos administrativos e de tomadas de decisões que levam a forma como é utilizada, ou transformam-se os recursos e serviços ambientais; técnica, que conduz os estudos técnicos necessários para a implementação de procedimentos, sejam administrativos, de informação e operacional em relação ao planejamento ambiental; científica, a qual assegura o conhecimento sobre a propriedade dos sistemas ambientais. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

É possível classificar diferentes tipos de planejamento, a partir da perspectiva administrativa:

- O planejamento obrigatório, onde as decisões do processo de planejamento devem ser obrigatórias para todos os setores incluindo setores públicos e estatais;

- O planejamento coordenado, que é constituído pelas decisões realizadas por meio de negociações entre entidades territoriais internas;

- O planejamento induzido, onde as decisões são implementadas a partir de instrumentos e políticas econômicas sociais;

- O planejamento de consenso, onde se tenta implementar decisões por consenso usando ferramentas sociais como projetos educativos, propagandas de conscientização dentre outras. (Dutra *et al*., 2009).

Nenhuma dessas perspectivas deve ser vista isoladamente, pois, o conjunto sistemático de diferentes visões do planejamento ambiental, são necessários para o sucesso das abordagens no processo de tomada de decisão acerca de um objeto de estudos. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

A política ambiental exerce um importante papel para a conservação dos sistemas ambientais a partir da perspectiva da sustentabilidade. É definida como

instrumento jurídico e institucional, que consiste em um conjunto de princípios doutrinários que formam as demandas sociais, governamentais e a regulamentação da utilização, do controle, da proteção e da conservação dos sistemas ambientais. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

A política ambiental tem um caráter essencialmente ligado às esferas dos poderes políticos, ou seja, das instituições estatais. Essas políticas devem ter um carácter intrassetorial, transversal, que inclua todas as esferas e setores da atividade socioeconômica das sociedades humanas. Desta forma, as políticas ambientais detêm requisitos fundamentais que são a negociação e acordos entre agentes econômicos e atores sociais, isto porque possui um caráter complexo multidimensional e multissetorial. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

As políticas ambientais devem conter em seu cerne o objetivo de eliminar ou minimizar a ocorrência de conflitos e impactos ambientais negativos. Os conflitos ambientais, são a causa de desacordos e discórdias e até mesmo de guerras. Eles surgem dos diferentes tipos de uso e formas de apropriação do espaço, que geralmente são utilizados por semelhantes. Os conflitos surgem quando esses usos alteram as características dos sistemas ambientais, e são refletidos na economia e na sociedade, afetando a distribuição dos recursos naturais. Esses conflitos ocorrem devido às diferenças e desigualdades espaciais e temporais, no acesso, no uso e na ocupação, e na apropriação que os seres humanos fazem dos serviços e recursos ambientais. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*., 2009).

A mercantilização gera a exploração exacerbada dos recursos naturais, o que leva a perda de nichos ecológicos e a tragédias ambientais consideráveis. Desta forma, o Estado, juntamente com a sociedade civil organizada, deve pensar e aplicar o uso racional dos espaços e dos serviços ambientais visando a sustentabilidade dos sistemas ambientais e dos sistemas econômicos para as presentes e futuras gerações. Portanto, é necessário criar modelos de gestão territorial pautados em políticas ambientais de desenvolvimento que visem a preservação dos sistemas ambientais embasados na perspectiva da racionalidade ambiental que é o conjunto de práticas e interesses sociais articulados e organizados. (Santos, 1996; Rodriguez et al., 2013; Dutra *et al*. 2009).

A natureza tecnificada, mencionada por Santos (1996) e discutida por Suertegaray (2001), encontra na cartografia contemporânea meios de representação

que vão além da estática. Moura (2011), destaca que o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e a modelagem da paisagem permitem que o espaço geográfico seja analisado em sua multidimensionalidade, integrando o tempo histórico e a dinâmica social como variáveis componentes da configuração espacial técnica.

Ao considerar as esferas técnica e científica do planejamento, A autora defende que o ordenamento territorial deve se pautar em levantamentos detalhados da paisagem, utilizando o geoprocessamento não apenas como ferramenta de inventário, mas como um meio de garantir a participação social e a transparência nas políticas de gestão do território. O planejamento da paisagem deve ser um processo colaborativo e dinâmico, onde a tecnologia de geoprocessamento serve de suporte para a simulação de cenários e para a tomada de decisão em sistemas complexos.

A compreensão do espaço geográfico como uma totalidade, conforme exposto neste capítulo, demanda uma linguagem cartográfica capaz de ler o território em múltiplos níveis de organização. Se o planejamento ambiental deve se pautar pela racionalidade e pela análise de sistemas complexos, a abordagem geossistêmica surge como o arcabouço metodológico fundamental para essa leitura. A seguir, serão abordados os fundamentos da Cartografia de Paisagens, buscando compreender como o mapeamento de geossistemas fornece a base estrutural para o diagnóstico ambiental e para a espacialização das vulnerabilidades discutidas até aqui.

1.2 Cartografia de Paisagens: Premissas teórico-metodológicas através da retomada dos conceitos fundamentais

Na dissertação de mestrado intitulada “Diagnóstico Ambiental e Cartografia de Geossistemas como Subsídio ao Planejamento Territorial de Divisa Nova-Minas Gerais”, o presente autor desta Tese faz um recorte teórico-histórico/conceitual mais aprofundado sobre as principais premissas e embasamentos que difundiram a abordagem sistêmica na Geografia Física, apoiado na Ciência das Paisagens e na formulação do conceito de Geossistemas, o qual utilizou como método principal de trabalho, corroborando com a abordagem russo-soviética de Sotchava. (Forte, 2021).

Desta forma, o presente capítulo tem como objetivo retomar os principais conceitos gerais que permeiam a teoria dos geossistemas de Sotchava de forma suscinta. Desse modo, para maior aprofundamento teórico/técnico sobre essa

temática, recomenda-se a leitura da citada dissertação, e ademais das referências abordadas nos dois estudos.

A evolução e constituição da espécie humana organizada como dominante no sistema planetário foram viabilizadas principalmente pelo modo como se deu sua interação com a natureza. Essa relação profícua resultou no desenvolvimento de técnicas de transformação do espaço geográfico ao longo do tempo, surgidas a partir das mais diversas necessidades de organização social.

A paisagem, como categoria de análise na ciência geográfica, é um dos conceitos mais complexos devido às diversas interpretações e questões metodológicas e epistemológicas envolvidas. Esse conceito é notoriamente polissêmico, carregando múltiplos significados, que variam conforme o contexto de sua aplicação e a perspectiva do observador.

> O processo de desenvolvimento tecnológico e as mudanças de hábitos e costumes aliados às crescentes necessidades humanas por consumo de produtos diversos, em busca de maior conforto, menor esforço, melhor alimentação, mais prazer e lazer, impõe maior necessidade de apropriação de recursos naturais, ora para extrair essências nativas, ora para minerar, cultivar e/ou criar. Esse processo dinâmico e intenso obriga à expansão das áreas de cultivo, de criação e de mineração, bem como exige maior capacidade produtiva dos lugares. Esses são os fatores motores que proporcionaram arranjos e rearranjos espaciais dos territórios. (ROSS, 2006, p. 60).

A paisagem, como conceito, é objeto de estudo não apenas da Geografia, mas também de outras ciências como Arquitetura, Ecologia e Biologia. Além disso, é tema de músicos, poetas, pintores e fotógrafos, ocupando um lugar de destaque na cultura e no cotidiano da sociedade desde períodos históricos, compondo um arcabouço de linguagens, símbolos e significados. (Forte, 2021).

Para a Geografia, a Paisagem é um conceito-chave que fornece à ciência geográfica sua unidade e identidade. A evolução do conceito de paisagem e o fato de ser objeto de estudo da Geografia viabilizaram a disciplina como ciência; assim, a paisagem está indubitavelmente no centro da pesquisa geográfica, caracterizando-se como objeto central da Geografia, reunindo concepções multifacetadas e complexas (Lang et al., 2009; Forte, 2021).

O termo paisagem foi introduzido na Geografia como conceito por A. Hommeyer em meados do século XIX, sendo amplamente difundido no meio acadêmico desde então. O cerne da discussão do conceito está relacionado à

distinção entre a heterogeneidade e homogeneidade das formas que caracterizam um setor da superfície terrestre (Passos, 2006).

Etimologicamente, a palavra paisagem deriva do latim “*pagus*”, que significa país ou setor territorial. Para os povos de origem anglo-saxônica, a origem do termo paisagem (landscape, landschaft) está associada ao termo “*land*” e refere-se a um espaço territorial delimitado. Em ambas as expressões, o conceito está fortemente vinculado à questão espacial (Figueiró, 1997; Passos, 2006).

Os primeiros esboços paisagísticos estão presentes na descrição do mundo conhecido até então, através do dimensionamento e localização amparados pelo desenvolvimento da matemática e da geometria (Carvalho et al., 2002).

Antes da Renascença, as paisagens foram representadas em duas fases distintas. A primeira refere-se às pinturas da antiguidade, onde o foco central era a figura humana, e a paisagem servia apenas como pano de fundo para a exposição do corpo. Nesse período, Passos (2006) destaca a falta de objetividade e materialidade nas representações gráficas, que não obedeciam a critérios precisos e rigorosos no arranjo dos objetos.

Para Claudino *et al.* (2015, p. 114):

> Ainda que a paisagem tenha, em termos do mundo letrado, surgido na teologia medieval, e, posteriormente, na estética naturalista do romantismo, sua importância se reacendeu nos derradeiros anos finais do século XX. O mundo visível - e objetivo - passa a ser também percebido. O que, em realidade, já acontecia no período do romantismo, uma vez que a paisagem era sinônimo de pintura, logo de dinâmica subjetiva do pensar e conhecer humano.

Cronologicamente, a Paisagem foi sendo apresentada como uma visão subjetiva e idealizada do espaço territorial habitado pelo homem, sendo que posteriormente viria a se tornar uma representação mais objetiva de uma dada realidade observada adquirindo o seu caráter polissêmico (Carvalho *et al.*, 2002).

> O que, em realidade, já acontecia no período do romantismo, uma vez que a paisagem era sinônimo de pintura, logo de dinâmica subjetiva do pensar e conhecer humano. Um mundo, então, que se transportava para quadros de toda ordem técnica, representando toda potencialidade subjetiva e sentimental da vida-, que então se contemplava através das cores e formas -, a paisagem através dos quadros ganhava sentido através da percepção. (Claudino *et al.*, 2015, p. 114).

Na segunda fase, as representações paisagísticas se resumiam nas pinturas cristãs, as quais tendiam a deixar o antropocentrismo de lado nas obras, sendo a prática antropocentrista considerada pela igreja como injuria ao criador. Desta forma, neste período é dada maior ênfase para objetos naturais mesmo que sua simbologia fugisse de sua imagem real, ou seja, mesmo que fossem distorcidos, assim lhes atribuindo uma conotação religiosa. (Figueiró, 1997).

As sociedades históricas, como a egípcia, possuem um papel importante no tocante as paisagens, que vão desde as representações até mesmo a gestão das mesmas em prol de suas atividades produtivas; além disso, a integração da cultura grega com a egípcia marcou a paisagem cultural de sua época caracterizada pelas construções de templos e esculturas que retratavam a natureza. (Carvalho *et al.,* 2002).

As representações paisagísticas estiveram presentes na sociedade egípcia por meio das obras de arte e arquitetura, onde os edifícios, principalmente aqueles destinados à cultos religiosos, eram decorados com cenas e preocupações da vida diária. (Forte, 2021; Figueiró, 1997).

Dentre as preocupações científicas, a matemática e a geometria foram desenvolvidas e utilizadas nas construções e medições das terras afetadas pelas cheias do Nilo, trazendo os princípios de mensuração espacial. Outra importante representação paisagística diz respeito à organização do calendário anual, dividido pelas observações feitas nas mudanças da paisagem culminando nas estações do ano (365 dias), sendo cheia, inverno e verão, auxiliando nas técnicas de cultivo agrícola. (Forte, 2021; Figueiró, 1997).

A representação paisagística em jardins de forma artística é um dos meios de expressão mais constantes do meio ambiente humano. No Oriente, as paisagens foram incorporadas nas civilizações de acordo com cada desenvolvimento histórico e com a ampliação e avanço da escrita e dos conhecimentos matemáticos, geométricos e arquitetônicos bem como a astronomia e a medicina, perpetuando as características e culturas das civilizações. A característica marcante da presença do Budismo nas ornamentações principalmente as chinesas e japonesas, satisfazem a subjetividade da contemplação da natureza, a paz e o conforto espiritual. (Lang *et al.*, 2009; Forte, 2021).

No período do renascimento, o racionalismo é a maior influência na ressignificação das representações paisagísticas que ocorrem juntamente com a

ressignificação dos jardins, em uma transição dos meios de apreciação. Estes jardins eram planejados para a contemplação cênica, tendo como público frequente, principalmente intelectuais e acadêmicos. (Figueiró 1997).

A integração dos jardins com as edificações urbanas e sua ornamentação, irão caracterizar fundamentalmente a Paisagem concreta. Desta forma, a pintura e os jardins irão delinear trajetórias diferentes para a construção do conceito de paisagens. Enquanto os jardins serão incorporados ao aspecto urbano e concreto, as pinturas assumem o papel de representações simbólicas das realidades e de idealizações do imaginário de seu autor. (Carvalho *et al.*, 2002).

A reinterpretação do conceito de paisagem no final da Idade Média fruto das mudanças nas condições históricas marcam uma forma importante de se enxergar as relações do homem com seu entorno. Outrora o que significava o conjunto formado pelo terreno e as relações políticas expressas neste espaço, tomam forma notoriamente de uma separação entre o terreno e seus habitantes, a natureza e a sociedade. (Forte, 2021).

Em meados dos anos 1430, a contribuição da escola holandesa na região de Flandres e do sul da Alemanha, se manifesta na representação fidedigna das paisagens nas pinturas, possibilitando a separação profunda entre sujeito e objeto. Desta maneira, as artes são evocadas como instrumentos de comunicação ao olhar humano, a cena estática, inserindo a ideia de percepção e subjetividade na interpretação estética da Paisagem o que não ocorria em outras épocas, concomitantemente com o desaparecimento progressivo dos mitos e das representações fantasiosas do mundo real. (Figueiró, 1997).

A configuração espacial da propriedade privada da terra e as cidades marcam a transição do feudalismo para o capitalismo como afirma Figueiró (1997, p. 43):

> O caminho do racionalismo vai forçando a substituição da paisagem idealizada pela paisagem concreta, cuja territorialidade assume importância secundária diante da perspectiva de “unidade” que ela pressupõe. A ideia de paisagem vai se afirmando cada vez mais como um mosaico de elementos naturais e não-naturais, passíveis de serem captados pelos sentidos humanos. Em detrimento disto sua componente espacial-territorial vai se perdendo progressivamente, até ser resgatada novamente pela escola alemã.

No século XIX, na Alemanha, emergem as primeiras concepções científicas de Paisagem. O alemão Alexander Von Humboldt é considerado o precursor dessas

ideias, tendo como um dos seus principais focos de estudo as paisagens relacionadas à vegetação, que, em sua perspectiva, seriam a forma mais significativa de caracterizar os aspectos espaciais.

Inserida na base da linguagem popular, antes mesmo de a Geografia a reconhecer como objeto de estudo, a palavra “Paisagem” era utilizada cotidianamente pelas pessoas como algo comum. Assim, alcançou progresso através da Geografia Alemã como objeto de conhecimento da teoria científica, sendo definida cientificamente em 1807 por Humboldt como “caráter total de uma região ou terra” (Lang et al., 2009; Baldin, 2021).

O romantismo e seus ideais na Alemanha influenciaram na construção da concepção de Paisagem enquanto totalidade, a Naturphilosophie, uma visão holística integradora, que resgata o subjetivismo e a unidade entre o homem e a natureza (Carvalho et al., 2002).

Humboldt considerava que o caráter de uma paisagem deriva da simultaneidade de ideias e sentimentos. A noção estética e artística de paisagens é intrínseca à sua obra. No entanto, influenciado por Goethe, Humboldt baseia seu método na observação e na morfologia das paisagens. Dessa forma, surge a Landschaft como um conceito que se diferencia do significado de paisagem em outras línguas; sendo assim, as acepções sobre o vocábulo variam de acordo com a língua e cultura em que é empregado. (Cavalcanti, 2010).

A Landschaft (em alemão) possui um significado mais complexo que as acepções latinas do vocábulo Paisagem, pois suas origens estão ligadas ao renascimento, concepções filosóficas pretéritas e às artes plásticas. Ela se refere a uma associação entre sítios e seus habitantes ou a uma associação morfológica e cultural. (Cavalcanti, 2010).

Para Holzer[2] (1999, p. 152) a *Landschaft*:

> Talvez tenha surgido de “Land *schaffen”*, ou seja, criar a terra, produzir a terra. Esta palavra transmutada em “Landscape*”* chegou à Geografia norte-americana pelas mãos de Sauer que, cuidadosamente, enfatizava que seu sentido continua sendo o mesmo: o de formatar (*land shape*) a terra, implicando numa associação das formas físicas e culturais.

[2]HOLZER, Werther. **Paisagem Imaginário e Identidade: alternativas para o estudo geográfico.** In: ROSENDAHL, Zeny & CORRÊA, Roberto Lobato (orgs). *Manifestações da Cultura no Espaço*. Rio de Janeiro: Eduerj, 1999. 248p. p.149-168 (Série Geografia Cultural).

O termo “landschaft” não possui um equivalente direto em outras línguas, abrangendo um conjunto de significados e visões de mundo que conferem ao conceito diversas interpretações. Na concepção da escola alemã, a paisagem engloba um complexo natural integral, que inclui a interação entre o ser humano e a natureza, bem como as transformações resultantes dessa relação (Castro, 2006).

O sufixo “schaft” do termo “landschaft”, no conceito de Paisagem de Humboldt, expressa a ideia de conectividade e cooperação entre as formas da matéria presentes na superfície terrestre. Assim, estabelece-se um axioma do conceito de Paisagem, onde “em cada ponto da superfície terrestre coexistem elementos (substâncias geográficas) em múltiplas e ordenadas relações e interações recíprocas”. Dessa forma, cria-se uma evidência por meio de uma hipóstase, ou seja, a atribuição de existência concreta e objetiva a uma realidade fictícia da mente humana (Lang et al., 2009, p. 21).

No final do século XIX, Ratzel desenvolveu seus trabalhos na linha do racionalismo e do positivismo ambiental, estudando as relações e causas que interagem na natureza, originando a corrente da “landschaftskunde”, uma ciência da Paisagem vista sob a perspectiva territorial (Moura et al., 2010).

O século XX trouxe para o meio acadêmico a ideia de análise da interação entre os elementos da Paisagem. Sigrifid Passarge (1913) foi o primeiro autor a escrever um livro dedicado à Paisagem (“Grundlagen der landschaftskunde”), considerando as interações entre o clima e a vegetação na destruição e conservação das formas; sua obra resultou na origem do ramo de estudos denominado Geografia das Paisagens. (Cavalcanti, 2010).

Carl Troll acrescentou o conceito de Paisagem às abordagens contemporâneas da Ecologia. As ideias de Troll deram origem à Geoecologia e à Ecologia das Paisagens, centradas nos estudos dos aspectos funcionais. Conceitos importantes foram introduzidos por ele, como a noção de que o ecótopo seria uma extensão do biótopo, corroborando com a totalidade geográfica das paisagens, traçando assim um caminho para o que seria posteriormente entendido como Geossistemas. (Cavalcanti, 2010).

Os estudos sobre paisagem na ex-URSS desempenharam um papel preponderante na evolução epistêmica, com semelhanças à escola alemã, tendo como pilar a contribuição do edafólogo Dokoutchaev no final do século XX. A noção

de Complexo Natural Territorial apoiou a fundamentação da pedologia como um ramo da ciência. (Cavalcanti, 2010).

As escolas moscovitas, ligadas à Morfologia da Paisagem, apresentaram uma abordagem da paisagem mais próxima da Física e da Matemática. Grigoriev, no início dos anos 1930, propôs equilibrar os fluxos de matéria e energia que influenciam o Complexo Natural Territorial. Solncev e Isachenko, teóricos da Morfologia da Paisagem, mostraram grande interesse nesses estudos, pois poderiam levar ao estudo dinâmico da Paisagem. O Geossistema, visto por essa lógica, é definido por combinações de massas e energias, e o conjunto da Paisagem é considerado a expressão de diferentes combinações (Moura et al., 2010, p.182).

Para Cavalcanti (2018), a Geografia russo-soviética difundiu o conceito de morfologia da Paisagem com o estudo da composição, forma e arranjo espacial das paisagens, associado à ideia de evolução dinâmica dessa unidade de análise.

As contribuições anglo-saxônicas são importantes para o desenvolvimento dos estudos das paisagens, cuja teoria do Holismo, presente nos trabalhos de Smuts, foi fundamental para a compreensão do conceito de integração da paisagem (Forte, 2021).

Dessa maneira, podemos citar também as contribuições de Bertalanffy com a Teoria Geral de Sistemas (TGS), que proporcionou à Geografia novos olhares epistêmicos a partir dessa abordagem. Inserida na concepção de Ecossistema estabelecida por Tansley em 1937, a TGS foi adotada pela Geografia, desenvolvida na ex-União Soviética e nos demais países da Europa Ocidental, originando o método denominado Geossistema. Este método foi elaborado pelo então soviético Sotchava em 1962 e utiliza os princípios sistêmicos e a noção de paisagem, onde os Geossistemas são fenômenos naturais que englobam fatores econômicos e sociais das paisagens alteradas pelo ser humano (Moura et al., 2010, p.183).

Segundo Marques Neto (2008), na Geografia sistêmica existe uma tendência conceitual que coloca o conceito de Paisagem acima do de geossistemas, onde frequentemente são discutidos de maneira associada ou até mesmo como se fossem a mesma categoria de análise. No entanto, pode-se deduzir que a paisagem é a concretização de um geossistema por meio das interações de seus componentes no espaço geográfico.

1.3 Abordagem Sistêmica e Geografia Física

Desde os primórdios, a humanidade busca compreender e atribuir significado às suas interações com o meio ambiente em que vive, incluindo sua origem, estrutura e funcionamento. Segundo Christofoletti (2002), essa predisposição está intimamente ligada à visão de mundo predominante em cada civilização ao longo da história. Ulmann (2002) afirma que o pensamento sistêmico remonta a 2500 a.C., sendo historicamente atribuído às civilizações mesopotâmicas.

Esse pensamento está profundamente relacionado ao fato de que, historicamente, os seres humanos têm a necessidade de entender e planejar as variáveis ambientais, o que Ulmann (2002) denomina “um esforço para prever o futuro”. É crucial destacar que os eventos ambientais representam riscos para a sobrevivência humana e suas atividades, e ao longo da história foram responsáveis por alterar e determinar o modo de vida das populações. Com base nessa premissa, a necessidade de planejar o ambiente surge das visões de mundo das civilizações ao longo do tempo e do espaço.

As visões de mundo e as interações humanas com a natureza apresentam variações significativas, dependendo do período histórico e do local onde ocorrem. Essas variações são predominantes e não excludentes, pois em uma escala de valor, podem influenciar tanto as decisões e comportamentos individuais quanto o de grupos sociais (Christofoletti, 2002).

Essas visões de mundo e de ciência também estão associadas ao conhecimento religioso, que predominou durante a Idade Média. Esse ponto de vista se baseia na ideia de um mundo criado por Deus, fundamentado em uma natureza pura e perfeita. Essa natureza estaria à disposição do homem, e os desastres e catástrofes ambientais seriam vistos como punições divinas pelas ações humanas (Forte, 2021).

A nova abordagem permitiu o surgimento de interdisciplinaridades entre ramos das ciências que antes eram isolados. Ampliando-se a visão geral, abrangendo mais aspectos da realidade e trazendo uma noção de interdependência entre as ciências.

> O resultado foi a elaboração da teoria Matemática dos Sistemas, que permite estudar qualquer possível regime, estrutura ou estado em qualquer sistema. Ao mesmo tempo, o enfoque sistêmico tem o caráter de uma concepção metodológica, elaborada sobre a base da estruturação dos princípios filosóficos dialético-materialista. (Rodriguez *et al.*, 2007, p. 41).

As premissas teórico metodológicas que são precursoras dos estudos geossistemicos estão fundamentadas nos trabalhos de Bertalanffy (1968) sobre a Teoria Geral dos Sistemas. Segundo a compreensão do autor esta é uma ciência lógico-matemática-formal que pode ser aplicada a campos diversos, desde a biologia, a estatística, a teoria dos seguros de vida, ou seja, uma ciência da “totalidade”.

Para Bertalanffy (1968), os avanços da tecnologia moderna destacaram a necessidade de uma reorientação abrangente da ciência, envolvendo desde a física subatômica até a história. A TGS surgiu como uma alternativa à visão mecanicista em diversos campos do conhecimento. Na psicologia, por exemplo, ela desafia a abordagem de estímulo-resposta. Nas ciências sociais, ajuda a compreender as complexidades e propriedades dos sistemas socioculturais. Além disso, a TGS também contribui para a elaboração do pensamento histórico.

De acordo com Bertalanffy (1968), os sistemas são definidos como complexos de elementos em interação. O autor utiliza frequentemente aspectos matemáticos para fundamentar a teoria, destacando que o objetivo da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) é formular princípios aplicáveis a todos os sistemas, independentemente da natureza de seus elementos e das forças entre eles. Ele argumenta que, embora a teoria tenha uma base matemática, pode ser aplicada a qualquer ciência que considere “todos organizados”. Para o autor, as interrelações devem ser consideradas, não rejeitando a visão mecanicista newtoniana, mas partindo do princípio da relação entre as partes, o todo e o ambiente. Essa abordagem introduz a ideia de complexidade.

A noção de complexidade contribui não apenas para as ciências naturais, mas também é relevante para as ciências sociais, incluindo áreas políticas, governamentais e empresariais. A abordagem de Bertalanffy possui características de uma disciplina lógico-matemática, sendo a TGS vista como uma ciência geral da totalidade, onde o aspecto organizacional metodológico é importante para as ciências em geral (Ulmann, 2002).

Bertalanffy (1968) estabelece que essa teoria promove a integração na educação científica, permitindo que diferentes áreas do conhecimento se complementem para entender uma realidade ou sistema, refutando a especialização e fragmentação das ciências. Ao analisar um sistema, é necessário ter uma visão global para compreender as interrelações entre os componentes.

A Teoria Geral dos Sistemas visa estabelecer princípios universais aplicáveis a sistemas em geral, independentemente da natureza dos elementos que os compõem ou das forças que atuam entre eles. A teoria propõe uma ciência geral da totalidade, definindo um sistema como um “conjunto de elementos em interação”.

Segundo Bertalanffy (1968), a definição inicial de sistemas pode parecer vaga, mas a partir dela foram desenvolvidos conceitos importantes, como:

- Totalidade: O todo é mais que a soma das partes.
- Auto-regulação: Relacionada às interações internas do sistema.
- Hierarquia: Os membros individuais são sistemas de um nível inferior.
- Finalidade: Objetivo ou propósito do sistema.

A definição de sistema, conforme Bertalanffy (1968), também pode ser entendida como um conjunto de elementos interrelacionados entre si e com o ambiente, sendo interdependentes e em movimento por um objetivo. Com base em Ulmann (2002), os sistemas podem ser classificados como:

- Abstratos: Ordenam um conjunto de ideias interdependentes.
- Físicos: Materializam elementos tangíveis.
- Deterministas: Resultados exatos e sem erros.
- Probabilistas: Operam em condições prováveis, admitindo uma margem de erro.
- Fechados: Não trocam informações ou energia com o ambiente, aumentando a entropia (conceito refutado por alguns autores que defendem que todos os sistemas trocam energia com o ambiente).

Bertalanffy (1968) apresentou a noção de sistema como um complexo de elementos em interação ou um conjunto de componentes em estado de interação, utilizando os termos sistema, totalidade e organização como sinônimos.

A Teoria Geral dos Sistemas (TGS) propõe uma transição do campo metafísico da ciência para uma aplicação mais prática. Desta forma, conduz a uma integração na educação científica, ou seja, a TGS permite que as áreas do conhecimento se complementem para o entendimento de uma dada realidade ou sistema, refutando a especialização e fragmentação das ciências uma vez que ao analisar um sistema, é necessário ter um olhar global para se entender as interrelações entre os componentes. (Forte, 2021; Santos, 2021; Amorin 2001).

A partir das concepções de Bertalanffy, houve avanços significativos nos estudos dos sistemas. Edgar Morin (1977) foi um dos principais críticos da Teoria Geral dos Sistemas, argumentando que Bertalanffy não aprofundou a essência do que realmente é um sistema.

Para Perez Filho *et al*. (2018, p. 415):

> Outro autor fundamental nas discussões sobre Teoria Geral dos Sistemas foi Morin (1977), que define sistema como sendo a inter-relação de elementos que constituem uma entidade ou unidade global, organizada. Segundo o autor, tal concepção comporta três características principais: elementos, unidade constituída por estes elementos em inter-relação e a organização.

Morin (1977) reconhece a importância dos estudos de Bertalanffy, mas destaca a necessidade de um avanço epistemológico na incorporação da noção de sistemas como método de interpretação da realidade.

Edgar Morin (1977) promove o que pode ser considerado um avanço epistemológico nas reflexões acerca da TGS. Para o autor (1977, p. 101), os sistemas possuem uma dinâmica de manifestações recíprocas de ordem e desordem atuando no processo de organização. Deste modo, o ponto central de suas reflexões é o entendimento de que os sistemas trazem a ideia de organização. Assim, o termo “organização” na formulação de Morin, é a palavra-chave para o entendimento do funcionamento de um sistema, diferentemente de Bertalanffy, onde os sistemas eram entendidos de forma linear.

De acordo com Morin (1977), a Teoria Geral dos Sistemas, apesar de inovadora, não aprofundou seu próprio fundamento e não refletiu sobre o conceito de sistema, sugerindo que o trabalho preliminar ainda precisa ser feito: examinar a ideia de sistema. O autor argumenta que, embora a TGS tenha sido inovadora ao propor uma visão holística e interconectada dos sistemas, ela falhou em aprofundar a compreensão do conceito de sistema em si.

Edgar Morin (1977), enfatiza a necessidade de compreender as relações dinâmicas e interdependentes entre as partes de um sistema e a totalidade resultante dessas interações. O autor assevera que a Teoria Geral dos Sistemas (TGS) não aborda adequadamente essa complexidade intrínseca, limitando-se a uma visão mais simplificada.

Enquanto Ludwig von Bertalanffy propõe que “o todo é mais que a soma das partes”, Morin critica a falta de uma abordagem mais profunda sobre como essas

partes interagem para formar o todo. Ele sugere que a TGS tende a simplificar excessivamente essas interações complexas, não capturando a verdadeira essência da totalidade. (Morin, 1977).

Morin (1977) destaca a importância de uma epistemologia que incorpore a incerteza e a imprevisibilidade. Ele acredita que a Teoria Geral dos Sistemas não aborda suficientemente esses aspectos, argumentando que a ciência deve reconhecer e integrar a incerteza como parte fundamental da compreensão dos sistemas.

Através de sua obra, “O método: Natureza da Natureza”, o autor ainda defende uma abordagem interdisciplinar para o estudo dos sistemas, combinando insights de diferentes campos do conhecimento. Ele acredita que, embora a TGS tenha dado passos nessa direção, ainda não conseguiu integrar completamente as diversas disciplinas necessárias para uma compreensão holística dos sistemas. (Morin, 1977).

Morin (1977) propõe que a realidade deve ser entendida como um tecido de eventos, ações, interações, retroações, determinações e acasos. Também, propõe o paradigma da complexidade como uma alternativa ao paradigma cartesiano, que tradicionalmente separa e simplifica os fenômenos para estudá-los. O paradigma da complexidade, por outro lado, busca integrar e compreender a totalidade dos fenômenos em sua complexidade inerente. (Morin, 1977; Santos, 2021).

Para Perez Filho *et al*. (2017, p. 414), corroborando sobre a análise da complexidade da interação entre sistemas, destaca que:

> Tal visão supera a concepção do pensamento de universo mecânico, na qual a realidade é vista de maneira estática e harmônica, tendo a partir desta o homem como elemento ativo, participativo e capaz de influenciar transformações em fenômenos e processos naturais nas diferentes escalas de tempo, estabelecendo diferentes organizações espaciais.

Edgar Morin (1977) propõe o anel tetralógico, cuja ideia central é a relevância das interações no funcionamento de um sistema, sua complexidade e interdependência, onde quatro elementos essenciais atuam mutuamente: ordem, organização, interações/encontros e desordem. A organização e a ordem se desenvolvem uma em relação à outra, sendo inconcebíveis sem as interações, e quanto mais se desenvolvem, mais essa relação se torna complexa, tornando-se também dependente da desordem.

> Ao considerar os apontamentos de Morin (1977), nem a descrição e nem a explicação de um sistema pode ser efetuada ao nível das partes, como entidades isoladas, ligadas apenas por ações e reações. A decomposição analítica em elementos decompõe também o mesmo, cujas regras de composição não são aditivas, mas transformadoras. Assim para este autor, a inter-relação que liga o somatório das partes ao todo, é recíproca, ou seja, a descrição (explicação) das partes depende do todo, que depende das partes, e é no circuito Partes ↔ Todo que se forma a descrição ou explicação. (Perez Filho *et al*. 2017, p. 415).

A Geografia, em seu processo evolutivo, conheceu avanços epistemológicos expressivos. O complexo Ambiental, como cerne da discussão da Geografia Física, liderou a reflexão analítica sobre a natureza e sua relação com os componentes socioeconômicos no que tange a organização socioespacial/temporal. (Marques Neto, 2008; Santos, 2021).

De acordo com Gregory (1992), a incorporação da abordagem sistêmica na Geografia Física se deu no período de 1935 a 1971, contando com um marco importante que foi a publicação do livro “Physical Geograprhy: A Systems approach”, de Richard J. Chorley e Bárbara A. Kennedy. O crescimento exponencial da abordagem sistêmica dentro da Geografia se concretiza de forma efervescente entre 1965 e 1975.

Para Perez Filho *et al.* (2018, p. 414):

> A Teoria Geral dos Sistemas, apresentada por Bertalanffy (1973) com aplicações em termodinâmica e biologia, foi introduzida na Geografia a partir da Geomorfologia por Strahler (1950), ao afirmar que um rio ajustado seja descrito como sistema aberto em estado constante. Hack (1960), ao expor as bases da teoria do equilíbrio dinâmico, utilizou a ideia de sistemas abertos, entretanto Chorley (1962) sistematizou e mostrou as necessidades da abordagem sistêmica na Geomorfologia. Coube também à Howard (1965) a tentativa de analisar a dinâmica e o estudo do equilíbrio dos sistemas geomorfológicos.

Outro conceito importante para a ciência de forma geral, mas principalmente para Geografia Física é o conceito de ecossistema, que foi introduzido pelo ecólogo A. G. Tansley na década de 1930, desempenhando um papel fundamental ao conectar o pensamento sistêmico à ciência geográfica. Segundo Stoddart (1967b, p. 523), a contribuição de Tansley propiciou a expansão do campo da ecologia para além da Biologia, dando origem à Ecologia da Paisagem.

Neste contexto, que permeiam as discussões por volta da década de 1960, abarcam esse novo prisma conceitual com enfoque em uma visão mais dinâmica e de interação dos elementos naturais; o meio ambiente passa ser analisado como um

sistema natural, com interconexões complexas e relacionado com os sistemas antrópicos (socioeconômicos). Desta forma, surge o conceito de geossistemas.

Inicialmente discutido na escola russa de Geografia, apresentado por Sotchava (1960), o conceito de geossistemas diz respeito as formações naturais que repercutem a dinâmica dos fluxos de matéria e energia de sistemas abertos, formando um modelo global de compreensão da paisagem considerando a ação antrópica como interferências isonômicas, e agentes ativos na evolução das paisagens. (Sotchava, 1971).

1.4 Geossistemas: uma breve retomada

O conceito de geossistemas de Sotchava (1962) é revolucionário no que tange ao momento de sua formulação, se comparado ao que já havia sido produzido em termos de Ciência das paisagens. Este conceito colabora para consolidar a abordagem sistêmica, enquanto método na Geografia. A contribuição mais significativa para a ciência geográfica, foi a incorporação da abordagem sistêmica[3] nos estudos das paisagens, trazendo a discussão de integração entre os sistemas naturais como unidades espaciais e totais e afirmando que sua organização é inerente à natureza e a superfície do globo terrestre. (Rodriguez, 2019).

Para Rodriguez *et al*. (2007, p. 24-23):

> A partir dos anos de 1970, com a consolidação da concepção ambiental, viu-se a necessidade de integrar as correntes espacial (geográfica) e funcional (ecológica) ao estudar a Paisagem. O aparecimento do conceito de geossistema, proposto por Sotchava, no final dos anos 1960, que pressupõe interpretar a paisagem e todo seu instrumento teórico acumulado por mais de 100 anos de estudo desde uma visão sistêmica, foi um passo importante para integrar a dimensão espacial com a funcional.

A partir de então, novos conceitos foram sendo incorporados nas análises de paisagens, como os conceitos de trocas de energia e matéria, entropia e quantificação. Desta forma, Sotchava (1977) buscava incorporar nas pesquisas, a resolução de problemas complexos relacionando diretamente a Geografia Física com a Geografia Humana.

[3] Para mais informações acerca da temática, vide Forte 2021, p. 44 no tópico sobre abordagem sistêmica na Geografia Física.

O russo aborda de forma crítica e dialética o espaço geográfico em sua obra. Sotchava (1977) não era adepto de uma fragmentação da ciência geográfica por compreender que a ação antrópica impacta diretamente os sistemas naturais e que a ciência geográfica se ocupa das relações do Homem com a natureza. Mesmo os geossistemas sendo fenômenos naturais, a ação antrópica influencia diretamente sua estrutura e características individuais.

Os geossistemas na perspectiva de Sotchava (1962), são sistemas naturais complexos que compreendem uma interação dinâmica entre os componentes bióticos (fauna e flora) e abióticos (geologia, pedologia, geomorfologia, hidrografia) e suas interações mútuas ao longo do tempo. Sotchava (1977), entende os geossistemas como uma classe de sistemas abertos, dinâmicos e hierarquicamente organizados.

A abordagem geossistêmica na ótica de Sotchava (1962), fundamenta-se na interligação entre os elementos naturais e as atividades humanas, sendo crucial a compreensão dos sistemas naturais como um todo integrado onde os processos naturais e antrópicos estão interconectados e exercem influência uns aos outros. Desta forma, a abordagem geossistêmica busca analisar não apenas os componentes individuais isoladamente, mas também as interações e relações entre eles considerando a dinâmica e a complexidade dos sistemas naturais.

Neste sentido e de forma holística, Sotchava (1962) destaca a importância de considerar os geossistemas como sistemas vivos e em constante evolução, sendo que qualquer mudança em um dos componentes pode gerar um efeito em cascata em todo o sistema. Portanto, uma análise multi e interdisciplinar é necessária para uma completa compreensão da dinâmica dos sistemas para se interpretar as relações de causas e efeitos. A visão holística dos geossistemas prioriza a interconexão e a interdependência dos elementos naturais e antrópicos em um sistema complexo.

> Um geossistema pode ser definido como o espaço terrestre de todas as dimensões, onde todos os componentes individuais da natureza encontram-se em uma relação sistêmica uns com os outros e, como integridade determinada, interatuam com a esfera cósmica e com a sociedade humana. (Sotchava, 1978, p.11, tradução nossa).

Sotchava aplica três propriedades fundamentais que compõem os princípios axiomáticos de sua teoria nas análises dos geossistemas que são: a estrutura, a dinâmica e a evolução. E a espacialidade dos geossistemas se estabelece a partir de três escalas: a planetária, a regional e topológica. (Rodriguez, 2019).

No nível planetário encontra-se o subcontinente e seu grupo de domínios ou faixas; já no nível regional se tem o domínio, o grupo de província, e a província que se subdivide em macrogeócoro (distrito), topogeócoro (região); e, em nível local se tem o mesogeócoro (localidade, grupo de comarcas), microgeócoros (comarcas), areal heterogêneo-elementar e o geócoro elementar. (Sotchava, 1977).

É importante salientar que a organização espacial de um geossistema em suas subdivisões escalares, tornam um objeto de estudos único. É quase improvável que dentro de um mosaico de geossistemas, a mesma organização e composição irá se repetir ao longo do espaço geográfico, e mesmo que isso aconteça, os múltiplos usos da terra, ou detalhes importantes como amplitudes térmicas ou indicies de pluviosidade, irão tornar aquele geossistema único. (Sotchava,1977; Rodriguez, 2019; Cavalcanti, 2010; Santos, 2021).

Os geossistemas então, se organizam não somente nos substratos horizontais como solos e vegetações, mas também em perspectiva vertical (hidrosfera, atmosfera), o que chamamos de geocomponentes, e esses geocomponentes é que vão diferenciar as estruturas espaciais dos geossistemas. (Sotchava,1977; Rodriguez, 2019; Cavalcanti, 2010; Santos, 2021).

A estrutura material de um geossistema, diz respeito ao conjunto de elementos ou substâncias sejam elas químicas ou biológicas que o compõem, e está diretamente relacionada com a estrutura temporal desse geossistema, ou seja, com as mudanças e transformações que os elementos sofreram/passaram ao longo do tempo, como processos pedológicos e ou geomorfológicos destacando-se os intemperismos, dentre outros. (Sotchava,1977; Rodriguez, 2019; Cavalcanti, 2010; Santos, 2021).

Segundo Cavalcanti (2010), a divisão taxonômica das paisagens pode ser agrupada em dois conjuntos metodológicos: a regionalização e a tipologia. A regionalização diz respeito a diferenciação de áreas por hierarquia. Nesta hierarquização, são feitas subdivisões menores até se chegar a uma área elementar, ou seja, indivisível e forma a base de todo o sistema, que tem o planeta como a maior hierarquia.

Para Sotchava (1978), o macrogeócoro é semelhante a noção de landschaft, termo referente à paisagem na interpretação de Humboldt. Desta forma, para a teoria geossistêmica, a paisagem pode ser entendida como uma área homogênea em sua história de origem, ou seja, com os mesmos geocomponentes (mesmo fundamento geológico, mesmo relevo e clima geral, condições hidrotermais) e o mesmo conjunto

de condições lógicas. Para cada área homogênea que pode ser identificada, pode se rotular como indivíduo geográfico, e a tipologia se dá quando se tem indivíduos com características semelhantes, onde pode-se empregar a comparação dos tipos de paisagens locais. Portanto, os geossistemas são fundamentados no princípio regional-tipológico.

Sotchava (1978) classifica os geossistemas em duas fileiras, sendo a fileira tipológica a dos geômeros, e a regional a dos geócoros. Para conceber aos estudos dos geossistemas ele utiliza uma classificação que estabelece e inclui duas categorias de sistematização: os geômeros ou áreas naturais homogêneas, e os geócoros ou a combinação complexa de geômeros, formando unidades individuais heterogêneas. (Rodriguez, 2019; Forte, 2021).

Esse princípio é o que Marques Neto *et al.* (2014) denomina como princípio bilateral:

> Na fileira dos geômeros, os níveis superiores são congregados nos tipos de meio natural, marcando a passagem para os níveis regionais dispostos segundo a seguinte hierarquia espacialmente decrescente: classe de geomas, subclasse de geomas, grupo de geomas. Os níveis locais são emanados na passagem para os geomas, classes de fácies e subunidades associadas (grupo de fácies, fácies, até o geômero elementar ou biogeocenose). Na fileira dos geócoros, os níveis superiores são dados pelas zonas e grupos de regiões físico-geográficas. A região físico-geográfica propriamente dita marca a passagem do nível planetário para o regional, e as chamadas províncias do nível regional para o local (macrogeócoro). A partir do macrogeócoro, aparecem os topogeócoros, mesogeócoros, microgeócoros e nanogeócoros compondo as unidades espacialmente inferiores. (Marques Neto et al., 2014, p. 322-323).

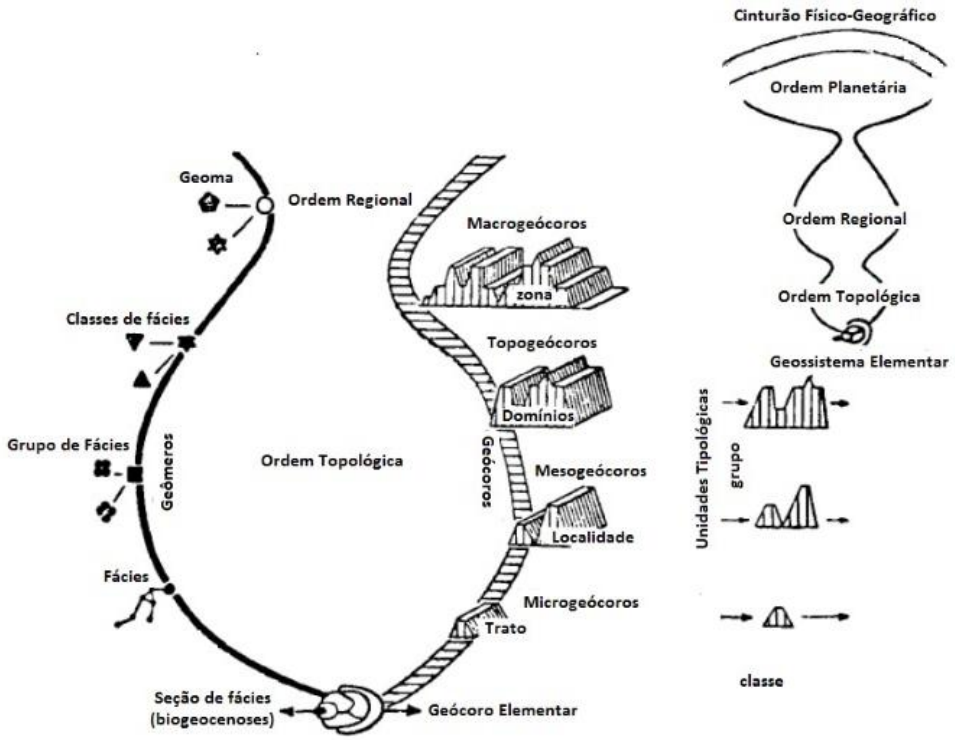
Os geócoros referem-se aos elementos físicos e bióticos que compõem um geossistema em um determinado momento. Eles incluem características como pedologia, relevo, vegetação, fauna, clima e hidrografia presentes em uma área específica. Os geócoros são fundamentais para a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, influenciando diretamente a distribuição das espécies, os processos ecológicos e as interações entre os componentes naturais. (Sotchava,1977; Rodriguez, 2019; Cavalcanti, 2010; Santos, 2021).

Os geócoros são formados por geômeros, que se cruzam territorialmente, em um conjunto de totalidade estrutura/dinâmica/funcional, ou seja, são áreas heterogêneas. Os geócoros formam uma fileira hierárquica composta de geossistemas subordinados, porém integrados (micro, meso e macrogeócoro, região,

distrito, províncias e outros). (Sotchava,1977; Rodriguez, 2019; Cavalcanti, 2010; Santos, 2021).

O Geômero (área natural homogênea) elementar é o espaço homogêneo mínimo sobre o qual se estabelecem todos os componentes de um dado geossistema. A fácie, é o menor táxon do geômero e, se reúne segundo o princípio de generalização em grupos e classes de fácies, em geomas e depois em categorias maiores que em seu conjunto formam a fileira dos geômeros. (Sotchava,1977; Rodriguez, 2019; Cavalcanti, 2010; Santos, 2021). (figura 2).

Figura 2: Ordem de geossistemas e subdivisões



Fonte: Sochava (1971); Tradução livre de Amorin (2016)

Sotchava é o principal formulador e precursor da teoria geossistêmica e do termo, entretanto no Brasil há duas vertentes epistemológicas vigentes, sendo uma delas a corrente Russa com embasamento em Sotchava (1962), e a outra vertente a Francesa embasada em Bertrand (1971).

As duas vertentes divergem entre si quanto a sua concepção conceitual e a sua delimitação. Enquanto para Bertrand (1971) os Geossistemas são definidos como uma categoria concreta do espaço sendo composto pela ação humana, para Sotchava (1977) os Geossistemas prescreveriam o objeto de estudos da Geografia Física,

sendo constituído de relações recíprocas dos elementos naturais, podendo ser modificados através da intervenção antrópica. Bertrand (1971) destaca que a ação antrópica faz parte dos Geossistemas. (Amorin, 2011).

Com base em Perez (2007, p. 336):

> Com os níveis de antropização da atualidade, os Geossistemas e os Sistemas Antrópicos não podem ser estudados de maneira isolada, mas de forma integrada, pois mesmo os Geossistemas e os Sistemas Antrópicos apresentam leis e dinâmicas próprias. Ambos mantêm um funcionamento parcialmente independente, e um funcionamento dependente um do outro, ou seja, mesmo a natureza apresentando suas leis e dinâmica própria, esta pode sofrer alterações em decorrência da ação antrópica, como, por exemplo, alterações nos níveis pluviométricos e alterações na temperatura, como consequência do desmatamento. Do mesmo modo os Sistemas Antrópicos sofrem interferência das leis da natureza, como, por exemplo, a restrição na produção de energia hidráulica no Brasil, entre os anos de 2001 e 2002, em decorrência das estiagens que diminuíram o nível de armazenamento de água nas barragens.

Os Geossistemas, assim como na teoria de Morin (1977) acerca dos eventos de caos no universo que busca sempre se reorganizar, estão em constante busca por estabilização e equilíbrio, se reestrururando sempre que há uma intervenção humana que cause mudanças em sua composição.

A proposta de Sotchava (1962, 1971, 1977) busca compreender a paisagem a partir da análise dos geossistemas, onde cada categoria determinada em um local compõe um mosaico maior. Portanto, compreender suas conexões é a chave para sua interpretação, ou seja, é imperativo não se ater somente à morfologia das paisagens e suas subdivisões, mas analisar de forma global, suas conexões e sua estrutura funcional.

1.5 O Hibridismo Geossistêmico e a Complexidade em Araras-SP

A complexidade inerente à análise geográfica contemporânea exige uma superação paradigmática que transcenda a fragmentação entre os meios físico e antrópico. Em Araras, essa integração não é apenas um exercício teórico, mas uma necessidade imposta pela celeridade com que o avanço do capital e do agronegócio transfigura os sistemas naturais. Adota-se, portanto, o hibridismo metodológico como caminho para unir o rigor técnico do diagnóstico físico-geográfico à crítica social das relações de poder que moldam o território.

A articulação teórica desta pesquisa exige, consequentemente, a superação da dicotomia clássica entre Geografia Física e Geografia Humana. Para atingir esse objetivo, o diagnóstico ambiental aqui proposto fundamenta-se na aproximação epistemológica entre a Teoria dos Geossistemas, de Viktor Sochava, e a concepção de Espaço Geográfico estruturada por Milton Santos. Essa convergência opera sob a égide do materialismo histórico-dialético, revelando que a base natural e a dinâmica social não coexistem de forma isolada, mas integram e tensionam uma mesma realidade espacial.

O elo estrutural entre os dois autores reside no conceito de Totalidade. Em Santos (1996), a Totalidade pressupõe que os elementos do universo formam uma unidade, onde as partes encontram explicação no Todo. Quando a "Totalidade A" sofre um movimento de transformação, ela origina uma "Totalidade B", cujas frações já não são as mesmas do estado original. De forma análoga, Sochava (1962, 1977) postula que o geossistema atua como um sistema complexo e integrado. Qualquer entrada de matéria ou energia, ou qualquer intervenção antrópica, altera o estado original do sistema, desencadeando um efeito em cascata que reestrutura os geocomponentes e compõe um novo mosaico geossistêmico. Para ambos, a transformação de uma parte reconfigura o Todo.

Essa reestruturação contínua é movida por pares dialéticos que balizam a produção e a apropriação do território. O primeiro par evidente é a relação entre sociedade e natureza, que se desdobra na relação entre sujeito e objeto. A natureza deixa de ser um substrato passivo mero palco das ações humanas e passa a ser compreendida como o ambiente onde a sociedade exerce sua técnica. O espaço resultante exprime, portanto, uma síntese dialética, refletindo a produção material e imaterial decorrente das necessidades de cada tempo histórico.

Na ótica Miltoniana, essa totalidade espacial materializa-se na interação contraditória entre sistemas de objetos e sistemas de ações. Transpondo esse raciocínio para a leitura geossistêmica, os sistemas de objetos inserem-se diretamente na base física integrada (Litoestrutura, geomorfologia, dinâmica climática) os geócoros e geômeros, enquanto os sistemas de ações representam a dinâmica socioeconômica e política que subverte, adapta ou exaure as funções originais desse ambiente. O geossistema atua como a base física invariante, mas sua materialização no espaço processa-se por intermédio das ações e das dinâmicas de poder.

É nesse ponto que emerge outro par dialético indispensável à análise: a relação entre espaço e tempo. O tempo não atua aqui apenas como medida cronológica, mas como uma dimensão estrutural incontornável. Em Santos, a sucessão de eventos (o tempo histórico) dita as formas espaciais e a renovação técnica do território. Em Sochava, a dimensão temporal baliza a evolução e a incessante busca por equilíbrio termodinâmico dos geossistemas.

O decurso desse tempo histórico evidencia, por fim, o par dialético da natureza intocada e natureza produzida (ou tecnificada). A conformação espacial relata a transição de um quadro regido exclusivamente pela auto-organização biológica e física para um ambiente pautado pela intencionalidade humana. Com os níveis contemporâneos de antropização, os geossistemas passam a operar sob a lógica do meio técnico-científico-informacional. A mercantilização e a expansão do capital cobram uma exploração exacerbada do meio natural, tensionando a capacidade de suporte dos sistemas físicos e gerando conflitos no acesso e na apropriação dos recursos.

Diferentemente das abordagens que isolam a sociedade como um agente externo de degradação, a teoria dos geossistemas permite interpretar a paisagem como um sistema dinâmico, aberto e hierárquico. A ação humana não é um agente externo, mas um componente interno que altera os fluxos de matéria e energia, gerando novos estados no sistema. Essa premissa converge diretamente com o pensamento complexo de Edgar Morin (1977), integrando-se ao seu conceito de organização recursiva.

Em Araras, essa recursividade manifesta-se de forma clara: a sociedade transfigura o meio para a produção de *commodities* (cana-de-açúcar); esta organização produtiva gera limitações nas unidades geossistêmicas e impactos ambientais, causando fragilidades que, por sua vez, impõem condicionantes e riscos à própria organização social e econômica.

Desse modo, a aproximação entre a abordagem sistêmica de Sochava e a visão estruturalista de Milton Santos fornece o alicerce absoluto para a leitura da paisagem adotada neste trabalho. Ao compreender que os geossistemas lutam constantemente pela estabilização frente às intervenções humanas, e que a organização do espaço obedece a intencionalidades políticas e econômicas, consolida-se a base analítica necessária para o ordenamento territorial. A avaliação da vulnerabilidade ambiental de Araras exige decifrar não apenas a morfologia dos

componentes naturais mapeados nas etapas seguintes, mas as contradições sociais que regem o uso e a apropriação de cada recorte geossistêmico.

1.6 Análise geoespacial aplicada aos geossistemas com suporte na Cartografia e nos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)

As geotecnologias são um conjunto de métodos e técnicas para coleta, processamento, abstração e oferta de dados geográficos com base referenciada, que utilizam ferramentas modernas e digitais. Desta maneira, aliada à Cartografia em tempos hodiernos, se tornam a principal técnica aplicada à análise do espaço geográfico. (Ferreira, 2014; Silva, 2009).

O conceito de geossistemas contém em seu cerne a relação tipológica, a diferenciação taxonômica e hierárquica dos componentes físicos ambientais; neste contexto, a Cartografia se apresenta como instrumento fundamental na representação desses atributos distribuídos no espaço geográfico, ou seja, o mapeamento de geossistemas é a principal ferramenta utilizada pelos geógrafos que trabalham com este conceito. Para tanto, se faz necessário entender algumas conceituações históricas a respeito dos mapas com relação a ciência geográfica. (Ferreira, 2014; Silva,2009).

Ferreira (2014) apresenta uma releitura sobre as escolas tradicionais do pensamento geográfico determinando-as da seguinte forma: a escola da diferenciação espacial, ou como ficou conhecida a escola corológica (descritiva), a ecológica, a da paisagem e a locacional.

A escola da diferenciação areal é aquela que descrevia o caráter variável da superfície terrestre; a escola da paisagem é aquela que surgiu como alternativa a anterior tendo como premissa a paisagem visual e a percepção do espaço. A escola ecológica é a que visa a relação do homem e a natureza encontrando forte influência na Geografia francesa e no determinismo ambiental. A escola locacional, que tem seus fundamentos na geometria, tem como base os objetos distribuídos no espaço e os arranjos espaciais causados pelos fenômenos geográficos, ou seja, esta escola privilegia os padrões matemáticos de fenômenos espaciais. (Ferreira, 2014).

A Cartografia foi desenvolvida através das bases da escola locacional. Para além, é importante salientar que através da Cartografia e das variáveis apresentadas

por ela é que se torna possível espacializar (representar metodologicamente) um fenômeno geográfico e incorrer em uma análise geoespacial. (Ferreira, 2014).

A análise geoespacial é o principal produto que se pode obter inferindo-se as representações presentes em um mapa. É concebida como uma análise quantitativa incorporada pela Geografia e é decorrente da abordagem sistêmica, baseada em um estudo aprofundado dos padrões de pontos, linhas, áreas e superfícies dispostas em mapas e definidos por coordenadas espaciais (Ferreira, 2014).

A análise geoespacial possui grande potencial para pesquisas acadêmicas abrangendo um portfólio infinito de produtos que vão de análises de distribuição populacional, fluxos, arranjos e re-arranjos espaciais, problemas ambientais, entre outros. Sendo assim, a análise geoespacial é uma poderosa ferramenta de interpretação de formas espaciais complexas, se configurando como alicerce nos estudos sobre geossistemas. Entretanto, tem sido interpretada de forma equivocada, sendo considerada apenas como um conjunto de métodos e técnicas quantitativas e estatísticas.

Além disso, tem sido atrelada a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), como se os SIG's fossem o meio pelo qual a Cartografia e a análise geoespacial foram propagados. Entretanto, os Sistemas de Informações Geográficas foram arquitetados a partir de pressupostos e axiomas advindos da escola do pensamento geográfico locacional do século XX. (Ferreira, 2014; Silva, 2009).

Acerca desses equívocos e do que entendemos por geoprocessamento e análise geoespacial, Silva (2009) enfatiza que o geoprocessamento como conceito evolui conforme o crescimento de suas técnicas e métodos, e a classificação de ambientes, o planejamento e gestão destes, são grandes beneficiados por seus métodos e técnicas. Entretanto, a tentativa de definição desta área do conhecimento tem trazido alguns erros epistemológicos.

> Um caso emblemático "desavisado" considera como Geoprocessamento todo o conjunto das Geotecnologias, ou seja, o Sensoriamento Remoto, a Cartografia, os Sistemas de Posicionamento Global (GPS), entre outros ramos. (Silva, 2009, p. 42).

Para Silva (2009), não se deve confundir geoprocessamento com cartografia digital ou com sensoriamento remoto, pois estas duas técnicas estão envolvidas na

qualidade dos dados que são obtidos do espaço geográfico, enquanto o geoprocessamento está direcionado a geração de informação ambiental, potencializada através da geoinclusão, ou seja, a síntese dos produtos gerados pela técnica auxiliada pelos meios tecnológicos.

Silva (2009) enfatiza que há diferença entre dados georreferenciados e as relações geotopológicas; para o autor os interesses comerciais envolvidos na propagação das novas tecnologias estão cada vez mais intensificados e colaboram para uma sucessão de erros, dentre eles a formação de “apertadores de botão”, o que pode contribuir ainda mais para turvar a definição do que é geoprocessamento, o qual o autor define como:

> Um conjunto de conceitos, métodos e técnicas que, atuando sobre bases de dados georreferenciados, por computação eletrônica, propicia a geração de análises e sínteses que consideram, conjugadamente, as propriedades intrínsecas e geotopológicas dos eventos e entidades identificados, criando informação relevante para apoio à decisão quanto aos recursos ambientais. (SILVA, 2009, p. 42).

Neste sentido, o autor coloca o geoprocessamento não como algo simplificado como a exposição, obtenção e manutenção de entrada de dados (neste caso confecção de mapas), mas relacionando-o com o que não deveria ocorrer, que é a perda do senso crítico acerca das informações geradas através de uma análise final dos produtos obtidos. A essa perda, Silva (2009) denomina como nuvem indistinta, de que tudo é Geoprocessamento e que no processo de análise espacial, o essencial é a interpretação daquilo que se está demonstrando com os mapas.

Entretanto, a discussão sobre a autonomia do geoprocessamento frente às técnicas cartográficas evoluiu, na última década, para o paradigma da Ciência da Informação Geográfica (GIScience). Autores como Longley et al. (2015) e Moura (2019) apontam que a síntese mencionada por Silva (2009) transcende hoje a mera integração tecnológica, alcançando o status de Ciência de Dados Espaciais. Nessa perspectiva, o geoprocessamento contemporâneo incorpora algoritmos de Inteligência Artificial Geográfica (GeoAI) e metodologias de Geodesign, permitindo que o diagnóstico geossistêmico não seja apenas um inventário estático, mas uma modelagem dinâmica e prospectiva da paisagem (Janowicz et al., 2020).

Os estudos que utilizam a Paisagem como um elemento de análise na Geografia e que se fundamentam na Cartografia, devem adotar uma abordagem de

Cartografia crítica. Essa abordagem deve ser capaz de integrar todas as contradições presentes na interação do ser humano com a natureza. (Martinelli *et al*., 2001).

A questão ambiental tem se tornado um ponto crucial nas políticas públicas, principalmente devido aos recentes eventos catastróficos. Diante do cenário atual de uso inadequado dos recursos naturais e da exploração do meio ambiente para fins produtivos, é possível afirmar que os desafios ambientais contemporâneos são, na verdade, desafios sociais, uma vez que surgem a partir da interação humana com o meio ambiente. (Martinelli *et al*., 2001; Rodriguez 2013, Marques Neto, 2021)

O mapeamento geoambiental surge como uma tendência aplicável nos estudos das dinâmicas físico-ambientais principalmente aos estudos dos geossistemas. Para Reis et al. (2018), o termo geoambiental foi adotado pela Intenational Union of Geological Sciences (IUGS), criado para denominar a atuação de profissionais de Geociências em meio ambiente, contemplando aplicações de conhecimentos técnicos do meio físico aos diversos mecanismos de gestão ambiental. Ainda Segundo, Aswathanarayana (1995) apud Reis et al. (2018, p. 04):

> O termo “geoambiental” refere-se às porções da litosfera que são afetadas pela ação humana, composta por solos, rochas, fluidos, gases e organismos. Assim, um dos principais objetivos dos estudos geoambientais é o fornecimento de informações integradas sobre as principais características do meio físico e seu comportamento diante das várias formas de uso e ocupação.

Ainda segundo Reis et al. (2018), há vários procedimentos para se analisar uma localidade de forma multitemática, sendo que uma delas é definir as unidades fisiográficas com base no arcabouço geomorfológico da região:

> Existem vários procedimentos de espacialização e individualização de unidades do meio físico, como as técnicas podem ser realizadas por meio da utilização de processos de fotointerpretação sistemáticos de imagens de satélite, pela análise das várias propriedades da rede de drenagem, a partir da homogeneidade e similaridade das unidades da paisagem (Vedovello, 1993) e pela definição de unidades territoriais básicas (Crepani et al., 1996), pela integração de unidades naturais e antropizadas da paisagem, de SR e geoprocessamento. (Reis et al., 2018, p. 16).

Os componentes da paisagem não são desconexos, pois neles operam diversos fatores interligados; ao nos referirmos sobre uma paisagem, é importante defini-la como uma entidade composta pela soma de processos geomorfológicos

(endógenos e exógenos), com suas entradas e saídas de energias, e inter-relacionada com a sociedade produtiva. Desta forma, o relevo pode ser entendido como um sistema aberto, contido de vários subsistemas estruturados por objetos e atributos formando uma unidade (geossistema), por isso se faz importante a compartimentação em unidades fisiográficas para se realizar o estudo. (Oliveira, 2014).

Para Sotchava (1975), a abordagem sistêmica possui papel preponderante na Cartografia temática. O movimento desta frente cartográfica se inicia a partir de 1970, com adoção da abordagem sistêmica em mapas com propósitos especiais. A implementação da abordagem sistêmica na confecção de mapas significou uma evolução para a cartografia até então.

Segundo Amorin (2011), existem quatro tipos diferentes de mapas de paisagens. O primeiro se dá por mapas detalhados de grandes escalas que em termos de geossistemas abarca a classe de Fácies e de Tratos, cujos mapeamentos podem ser realizados na escala de 1:10.000 ou menor, como 1:50.000 por exemplo. O segundo tipo de mapas são os generalizados ou mapas de tratos, de grande escala, abarcando escalas a partir de 1:10:000 até 1:100.000; os mapas do terceiro tipo, de média escala, vão desde 1:100.000 até 1:1.000.000, e dentre suas aplicações estão o mapeamento de localidades e de complexos de Tratos. Já os mapas de pequenas escalas, a partir de 1:1.000.000, são mapas tipológicos de paisagens.

Conforme Amorin (2011, p. 6), para exemplos práticos:

> Deve ser dada maior prioridade para mapas de média escala para a compilação de mapas da paisagem de Estados e países, frequentemente de 1:300.000 a 1:600.000. Considerando as dimensões continentais do território brasileiro (tão grande quanto a antiga União Soviética), um mapa de paisagem singular para amplo uso científico e prático do território brasileiro, a escala sugerida pelos autores é a de 1:1.000.000, assim como o sugerido para a URSS. Para os autores, a escala de mapeamento mais adequada para mapas de média escala é 1:300.000.

A Cartografia de paisagens, de caráter físico-geográfico, se preocupa com a representação de complexos naturais, ou também chamados de geossistemas, que são resultantes de interações entre áreas naturais e a sociedade. (Cavalcanti, 2015; Sotchava, 1977).

Como já apresentado anteriormente, no item 1.4, no resgate sobre a categoria de análise do Espaço Geográfico-Paisagem, esta categoria está intrinsecamente ligada à Geografia, portanto, de modo subsequente, a Cartografia de Paisagens é

inerente ao saber geográfico, pois seu cabedal epistemológico se subsidia na Geografia Física. (Cavalcanti, 2015; Ferreira, 2014; Lang *et al.*, 2009).

Pelo prisma da visão integrada de elementos e processos das paisagens, a Cartografia de Paisagens assume notória importância no reconhecimento da diversidade paisagística de determinado território, o que pode embasar o planejamento territorial em tomadas de decisões importantes subsidiadas no conhecimento dos geossistemas presentes em análise. Desta forma, ela se configura como ferramenta não somente de geógrafos, mas também de outras áreas do conhecimento. (Cavalcanti, 2015; Ferreira, 2014; Lang *et al.*, 2009).

Sendo assim, a Cartografia de paisagens se fundamenta em quatro princípios metodológicos, elencados por Cavalcanti (2015, p. 23):

1. Princípio da síntese natural: abarca o todo do universo, compreendido por partes interatuantes, onde todos os elementos naturais devem ser avaliados conjuntamente;
2. Princípio hierárquico: pressupõe que a organização natural das paisagens assume um arranjo hierarquizado, onde unidades menores se associam para compor unidades maiores, que por sua vez, fornecem um contexto. Para exemplificar estes princípios, Cavalcanti (2015) toma por base os domínios morfoclimáticos de Ab'Saber, reconhecendo os níveis de detalhamento entre domínios e intradomínios e faixas de transições;
3. Princípio regional-tipológico: tem como base o conhecimento da organização natural hierárquica das paisagens, onde estas podem ser representadas individualmente (regiões) e/ ou como categorias (tipos).
4. Princípio temporal: considera que as paisagens não são estáticas, e o fluxo (entrada e saída) de matéria e energia entre os diferentes componentes da natureza aliados a ação antrópica, dão o caráter dinâmico de movimento à paisagem. A paisagem muda ao longo do tempo e as variações sazonais entre ciclos orbitais (lua, sol), afetam diretamente a fisionomia das paisagens.

A Cartografia de Paisagens constitui o suporte metodológico para a investigação e delimitação do espaço, assumindo a função de inventário e diagnóstico das áreas de estudo. Mais do que uma representação estática, essa abordagem permite operacionalizar a compreensão dos complexos naturais que emergem das interações sistêmicas entre solo, relevo, hidrografia e vegetação. Sua base reside no

ordenamento taxonômico de unidades homogêneas, identificando porções do território com potenciais de uso ambiental semelhantes, sempre a partir da integração entre os sistemas naturais e as dinâmicas sociais (Zacharias, 2023).

No contexto do planejamento, essa modalidade cartográfica tem o papel de evidenciar as potencialidades e fragilidades do território. Ao espacializar esses elementos, torna-se viável o ajuste de propostas de intervenção à real capacidade de suporte do meio físico. Assim, o mapeamento consolida-se como subsídio para a criação de indicadores de sustentabilidade que orientam o ordenamento territorial e a formulação de políticas públicas (Zacharias, 2023).

Em uma etapa distinta da fase de inventário, a Cartografia de Síntese volta-se à modelagem, integração e elaboração de prognósticos que auxiliam a tomada de decisão. O mapa síntese, resultado desse processo, não pode ser reduzido a uma sobreposição mecânica de dados ou a um aglomerado visual de informações; ele representa a reconstrução do todo sistêmico. Através da modelagem cartográfica, são atribuídos pesos hierárquicos às variáveis, ponderando a importância de cada fenômeno geográfico na manutenção da dinâmica da paisagem em análise (Zacharias, 2023).

Para Marques Neto (2021, p. 125), um dos resultados essenciais dos estudos dos geossistemas é o mapa tipológico-regional, que representa os geômeros e geócoros pelo princípio bilateral. Porém, é bastante difundida a representação apenas das tipologias, que resulta em um mapa apenas de geômeros. Desta forma, esses mapas ressaltam os aspectos estruturais da paisagem, os quais são essenciais para o planejamento (agricultura, mineração, urbano, recreativo, conservação, preservação etc.). Neste viés, a compartimentação geomorfológica é a base do mapeamento.

A Cartografia de geossistemas e paisagens está intrinsecamente relacionada à sua classificação. Marques Neto (2021, p.130), ao analisar um conjunto de trabalhos eslavos publicados conclui que há uma diversidade de abordagens metodológicas, adaptações, usos de escalas que propiciam possibilidades de aplicações e interdisciplinaridade nos estudos dos geossistemas. Entretanto, existem princípios universais aplicados a Cartografia geossistêmica que são a zonalidade e a azonalidade.

Do ponto de vista técnico operacional, Marques Neto (2021) destaca que existem diversas técnicas que podem ser aplicadas em ambientes SIG’s para a formulação de mapas de geossistemas, sendo as mais empregadas as de

combinação e correlação de variáveis ambientais, que podem variar quanto a formulação, por sobreposição de mapas, álgebra de mapas, técnicas estatísticas e análises multifatoriais. Estes trabalhos, como tendência, possuem aporte fundamental no Sensoriamento Remoto, pelo uso constante de imagens de satélite e radar no reconhecimento de aspectos estruturais e de uso e ocupação.

Desta forma, os mapas de geossistemas e paisagem devem ser elaborados de forma que os limites de suas unidades de mapeamento sejam estabelecidos a partir da relação entre as variáveis ambientais mais relevantes, que normalmente são: relevo (morfologias dominantes, tipos genéticos, aspectos dinâmicos), solos, vegetação, hidrografia (tipicidade de canais, padrões de drenagem, estilos fluviais), base geológica, uso antrópico da terra, e aspectos climáticos. (Marques Neto, 2021, p. 130).

Para Marques Neto (2021), é muito provável que dois pesquisadores responsáveis por mapear os geossistemas de uma determinada área, sob a mesma escala, a mesma metodologia, apresentarão diferentes limites mapeados como resultado, mesmo que com base em mapeamentos mais objetivos, como por exemplo formas e compartimentos geomorfológicos, estes apresentarão incongruências devido à interpretação pessoal dos pesquisadores. Ainda que haja uma padronização metodológica, que seja capaz de diminuir as divergências, os trabalhos serão incumbidos de subjetividades individuais. Isso se deve ao fato de o pesquisador projetar no objeto de pesquisa o pensamento complexo, ideia esta defendida por Edgar Morin (1977).

O mapeamento de geossistemas é uma atividade preponderantemente complexa, pois é um mapeamento multivariável, com repercussão direta nos procedimentos de sua delimitação. Do ponto de vista técnico, na Cartografia de paisagem, os limites dos geossistemas podem se apresentar de forma não abrupta, ou seja, a área de contato entre um geossistema e outro. Desta forma, a dimensão biótica dos geossistemas abarcam o que pode ser chamado de faixas de transição (ecótonos), devido ao arcabouço ecológico oferecido pela natureza naquele determinado local. Esses ecótonos se apresentam em diferentes escalas, estruturas, composição e obedecem a organização própria, semelhantemente como descreve Ab'Saber ao caracterizar os domínios morfoclimáticos da natureza. (Marques Neto, 2021).

Os ecótonos são estruturas fundamentais na dinâmica de um geossistema, pois regulam os fluxos através de mosaicos heterogêneos, podendo apresentar diversidade biológica e taxas de produtividades que contribuem para a integridade de determinado sistema. (Marques Neto, 2021).

Para realização do mapeamento de geossistemas, se faz necessário o levantamento de informações e a criação de um banco de dados que possibilitem o cruzamento de variáveis previamente cartografadas. Esses dados irão compor a análise integrada ambiental a partir de pressupostos teórico-metodológicos dos geossistemas. (Marques Neto, 2021).

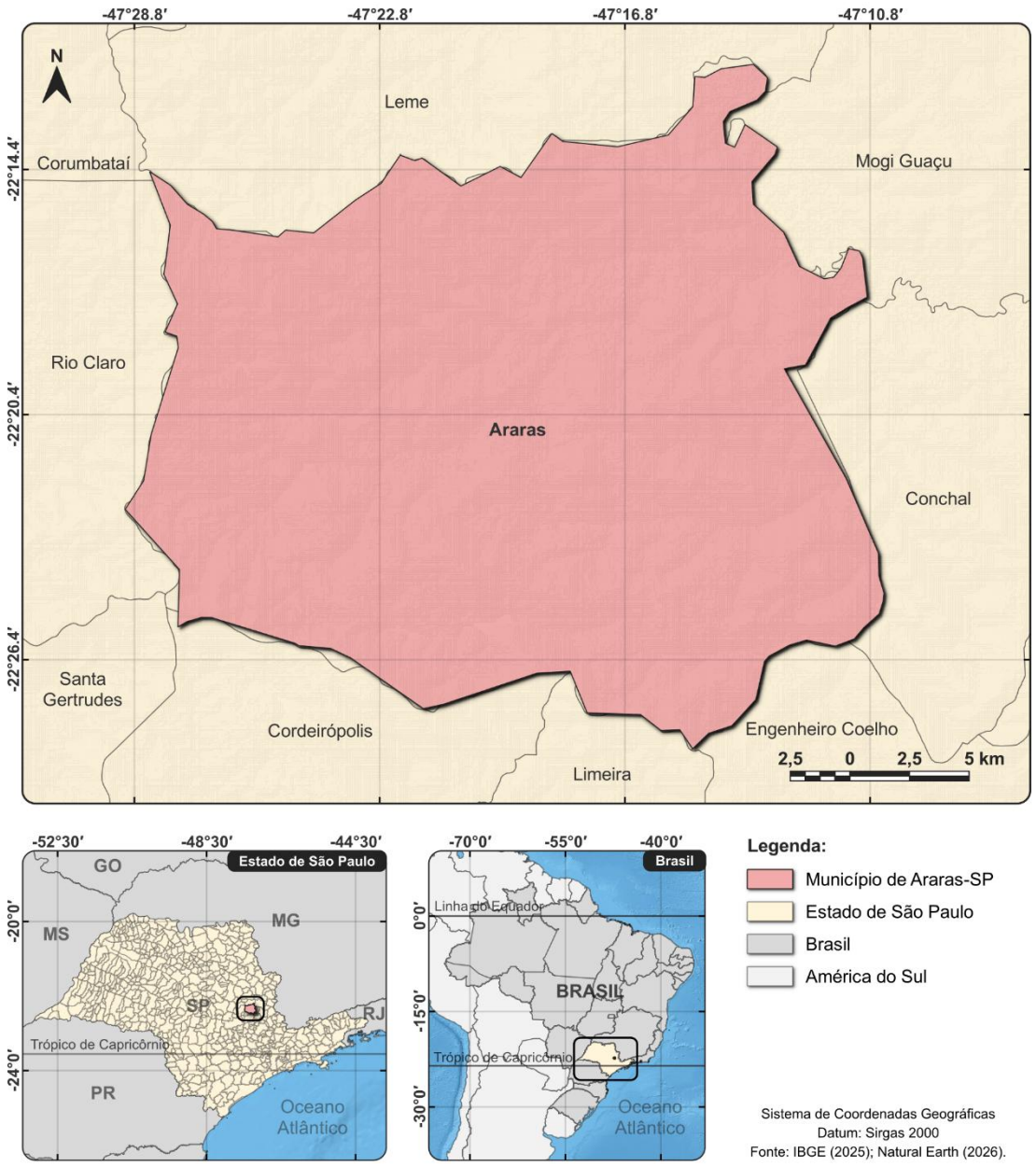
CAPÍTULO 2
LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDOS: O município de Araras/SP

A área de estudos selecionada para esta pesquisa compreende o município de Araras, localizado na porção Centro Oriental do Estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 22º21'28" S e 47º23'06" O (figura 3), distante 171 km a noroeste da capital paulista. O município interiorano tem seus limites territoriais com os municípios de Leme ao Norte, Limeira, Cordeirópolis, Engenheiro Coelho ao Sul, Artur Nogueira, Mogi-Guaçu, Conchal a Leste e Santa Gertrudes, Rio Claro e Corumbataí à Oeste. (Prefeitura Municipal de Araras, 2023).

Segundo dados do IBGE (2022), a população de Araras é de 131.466 pessoas e a área territorial é de 644,831 km², portanto, a densidade demográfica é de 203,88hab./km^2. A média etária de sua população é de 39-44 anos.

As principais vias de acesso são as rodovias Wilson Finardi SP-191, Anhanguera SP- 330 e Gilberto Silva Telles.

Figura 3 – Localização da área de estudo



Fonte: O autor, 2026.

A ocupação do município de Araras teve início em 1818, quando houve o declínio do sistema colonial de sesmarias, abrangendo uma área territorial de uma légua e meia, o equivalente a 10.800 hectares de extensão, entre as bacias hidrográficas do rio Mogi-Guaçu e dos ribeirões Itapura e das Araras; vale salientar que até esse momento, este território pertencia ao município de Limeira. (Prefeitura Municipal de Araras, 2023).

Dessa forma, o povoado se desenvolveu no entorno da capela de Nossa Senhora do Patrocínio das Araras, que foi inaugurada em 15 de agosto de 1862. Em 24 de março de 1871 o povoado que tinha o nome da então padroeira, foi promovido a categoria de vila, já com uma população de 5 mil habitantes. Em 1873 foi elevado a município e em 1879 à categoria de cidade, isto em função da chegada dos trilhos da Companhia Paulista de estradas de Ferro (1877).

No ordenamento territorial brasileiro, torna-se imperativo distinguir a unidade político-administrativa do município da materialidade socioespacial da cidade. Enquanto o primeiro compreende a totalidade da jurisdição territorial sob gestão municipal, a segunda refere-se ao sítio urbano, ou área densamente construída. É relevante notar que a legislação brasileira (Decreto-Lei nº 311/1938) adota um critério puramente administrativo, classificando como 'cidade' toda sede de município, independentemente de sua magnitude demográfica ou densidade técnica. Todavia, sob a ótica da análise funcional e seguindo parâmetros de organismos internacionais (como a ONU) e classificações contemporâneas do IBGE (2017), o limiar de 20.000 habitantes é frequentemente utilizado para caracterizar centros urbanos com maior complexidade e centralidade regional. Essa diferenciação teórica é crucial para a compreensão de municípios que, embora possuam vasta extensão territorial e marcada concentração fundiária em áreas rurais, apresentam um sítio urbano de pequena escala ou descolado da dinâmica produtiva do entorno.

A imigração, assim como a cafeicultura, foram responsáveis por manter o desenvolvimento econômico da cidade, que tinha como principal fonte de escoamento de sua produção a ferrovia, administrada pela Companhia Paulista de Estrada de Ferro, no período de abolição da escravatura. (Museu Municipal de Araras, 2023).

A cafeicultura precedida da cana de açúcar, teve papel fundamental na territorialização e povoamento do município, bem como no desenvolvimento de grandes latifúndios produtivos em sua circunscrição. (Museu Municipal de Araras, 2023). Historicamente, essa monocultura, juntamente com a de cana e de algodão

foram revezando-se na hegemonia do município de Araras, conforme aborda Zambarda (2001), tornando o espaço agrário de Araras muito rico.

O ciclo do café teve seu declínio anunciado com a crise econômica em meados de 1929. Esta crise no setor foi gerada pela queda da bolsa de valores de Nova York, que afetou as exportações de *comodities* (produtos comercializados na bolsa de valores). Deste modo, houve uma reorganização espacial tendendo à agricultura familiar em Araras, a qual estava associada à fragmentação de propriedades rurais (latifúndios), que foram distribuídas para pagar dívidas trabalhistas adquiridas com os prejuízos causados pela queda dos preços do produto em âmbito internacional. (Marques Neto, 2009; Zambarda *et al.,* 2001).

Dessa forma, a monocultura deu lugar à uma diversificação na produção agrícola no território de Araras e os seguintes produtos passaram a ser cultivados: mandioca, algodão, citrus, arroz, milho, feijão, entre outros. Nesse período, vale ressaltar a importância do cultivo de mandioca e das fábricas de farinha no município:

> Da policultura, a mandioca surgia como a cultura mais importante. O que estimulou sua produção, em Araras, principalmente depois de 1932, foi a limitação da importação de trigo no país, sendo a farinha de mandioca misturada à farinha de trigo para a produção de pão. O número de fábricas de produtos de mandioca teve um crescimento contínuo, haja vista que, em 1910, o número destes estabelecimentos era 17, passando, em 1933, para 82 unidades. Araras chegou a ser o terceiro produtor de farinha de mandioca do Estado de São Paulo, e o primeiro na produção de polvilho (CALDEIRA, 1929; DINIZ, 1968). Em 1940, segundo dados extraídos do Censo Agropecuário, sua produção de mandioca e aipim era de 17.328 toneladas, e 31 estabelecimentos processavam 2.213 toneladas de farinha de mandioca. Em 1956, Araras contava, entre amidonarias e fábricas de farinha de raspa e de mesa, com um total de 34 unidades. (Zambarda, 2001, p.70).

A laranja também teve papel importante na diversificação da produção agrícola em Araras, levando o município ao 7° lugar entre os produtores paulistas da fruta na década de 1930, o que posteriormente viria a favorecer a indústria de sucos. (Marques Neto, 2009; Zambarda *et al.,* 2001).

Araras possui uma localização privilegiada dentro do estado de São Paulo (figura 3), o que favoreceu o seu desenvolvimento urbano e o seu processo de industrialização. Levando em consideração as cadeias produtivas e de consumo, pode-se afirmar que o setor primário (agropecuário/extrativista) da economia está subordinado ao setor secundário (setor industrial) e que ambos estão intrinsecamente ligados e são interdependentes em função do abastecimento de insumos. O setor agrícola é abastecido pela indústria, e o fornecimento de matérias primas para a

indústria é proveniente do setor agropecuário, portanto, o desenvolvimento e expansão urbana de Araras está diretamente relacionado com o desenvolvimento da agricultura e com a industrialização que se estabeleceu no município. (Prefeitura Municipal de Araras, 2023).

Como reflexos desses processos, ao longo dos anos foram desencadeados problemas ambientais na área de estudos, se caracterizando de acordo com a ocupação do território. Desta forma, sua complexidade está diretamente ligada com a produção do espaço agrícola e com o processo de urbanização desencadeado pela industrialização.

Para Marques Neto (2009), o processo de industrialização no Brasil segue um padrão de aglomerados industriais que possuem o objetivo de maximizar suas ações dentro de um determinado território. Estes aglomerados são formados com o objetivo de obter vantagens econômicas, políticas e sociais, destacando-se o compartilhamento e acesso a conhecimentos, mão de obra especializada, matérias-primas, equipamentos, tecnologias e escoamento de produção. Portanto, se utilizando de estratégias geográficas, as empresas envolvidas neste processo, obtêm vantagens competitivas locacionais que estão relacionadas às interrelações geradas nesta territorialidade.

A despeito das vantagens estratégicas para a indústria, Araras está integrada espacialmente e economicamente a uma região industrial importante no interior paulista que compreende o eixo Anhanguera/Bandeirantes.

O seu crescimento industrial se concentra entre as décadas de 1940 e 1970, período que compreende uma aceleração da industrialização brasileira, bem como a implementação do modelo da substituição de importações, estabelecendo assim uma concentração técnica da produção. (Marques Neto, 2009; Zambarda *et al.,* 2001).

A evolução econômica de uma localidade está entrelaçada a várias estruturas econômicas que são produtos de diversas e longas histórias. Desta forma, a estrutura econômica local pode ser analisada como uma combinação de fatores e “camadas” da imposição sucessiva de outras economias que se estabeleceram e se dissiparam no decorrer dos anos.

Essas camadas sucessivas podem compreender investimentos e suas variações, novas formas de atividades, que por sua vez, estão envolvidas em um contexto mais amplo, podendo formar camadas sobrepostas, gerando padrões econômicos e especificidades no decorrer dos anos, implicando nos papéis das

economias locais no contexto da divisão espacial do trabalho, em escala nacional e internacional.

> O Brasil integrou-se à nova ordem econômica mundial como um dos países da periferia capitalista mais aptos para receber capital exógeno. País com um grande potencial em recursos naturais e com um elevado contingente populacional, que representava mão-de-obra barata, conseguiu, com incentivos governamentais e com investimentos de capitais internos e externos, desencadear dois grandes surtos industriais, ocorridos entre 1955-1961 e 1968-1974. (Zambarda, 2001, p.8).

Estes *boons* industriais posteriormente causaram um crescimento desordenado e a saturação dos espaços industriais no entorno da capital paulista em função de diversos problemas socioeconômicos. Destes problemas, podemos citar a aglomeração humana, escassez de espaços urbanos, especulação imobiliária, problemas ambientais urbanos como poluição atmosférica, sonora, uso exacerbado e contaminação de solos e recursos hídricos, dentre outros. Esta saturação irá culminar em uma descentralização industrial com foco direcionado para o interior paulista.

Investimentos importantes no setor agroindustrial realizados pelo governo federal em meados da década de 1970 como o PROÁLCOOL, que fortaleceu ainda mais o setor alcooleiro, foram de extrema importância para o setor industrial de Araras, definindo seu papel na economia regional e nacional.

> Neste amplo cenário, o município de Araras não constituiu exceção. Sua economia sempre contou com o respaldo da agricultura e, como consequência, a indústria manteve uma forte relação com esse setor, tanto através de estabelecimentos voltados ao beneficiamento da produção agrícola, quanto da produção de maquinários destinados ao citado setor. A industrialização acelerada das últimas décadas, aliada à sua posição geográfica, insere plenamente Araras na dinâmica da desconcentração/interiorização da indústria paulista, e no padrão de desenvolvimento das áreas mais avançadas do interior. (Zambarda, 2001, p.11).

A cana de açúcar que outrora era tida como produto secundário frente ao café e a policultura, possui papel importante no desenvolvimento de Araras. Sua expansão no território, reflexo da também expansão estadual a partir das décadas de 1930 e 1940 se deu com a criação do Instituto do açúcar e do Álcool (IAA) e, posteriormente, na década de 1950, com as exportações globais. (Marques Neto, 2009; Zambarda *et al.,* 2001).

Desta maneira, o setor canavieiro de Araras se integra à indústria, culminando com a implantação das Usinas São João, Santa Lúcia e Palmeira. Estes fatos

impulsionaram transformações importantes na paisagem do município, que passou a ser composta por grandes edifícios industriais e seus anexos que se aliaram à transformação agrária, retomando assim como em outros tempos, as grandes propriedades de exploração fundiária. (Marques Neto, 2009; Zambarda *et al.,* 2001).

Décadas após estes acontecimentos, os reflexos do capital industrial ainda marcam o território ararense. O espaço agrário não tem a mesma dinâmica da década de 1950, em função do desenvolvimento tecnológico que tornou possível para as usinas se abdicarem cada vez mais da mão de obra humana, substituindo-a por maquinários e tecnologias de produção e logística. As atividades rurais e industriais são forças que ao longo dos anos impactaram e modificaram o meio ambiente de forma muito expressiva, ou seja, o mosaico paisagístico hoje presente no município é herança das ações antrópicas decorrentes destes processos. (Marques Neto, 2009; Zambarda *et al.,* 2001).

A sucessão desses ciclos econômicos demonstra que a configuração atual dos geossistemas de Araras não resulta de processos evolutivos puramente naturais, mas de intervenções antrópicas contínuas e estruturadas. O espaço geográfico local operou ao longo dos séculos como um substrato para a sobreposição de dinâmicas produtivas. Cada período histórico funcionou como um novo aporte de matéria e energia, desorganizando o sistema anterior e forçando a natureza a buscar uma nova estabilidade ambiental.

No primeiro momento, a transição da base natural para o sistema de latifúndios cafeeiros, impulsionada pela expansão ferroviária, exigiu a supressão em larga escala da cobertura vegetal nativa. A crise econômica de 1929, no entanto, provocou uma ruptura estrutural no território onde a fragmentação das propriedades e a introdução da policultura criaram um mosaico paisagístico temporariamente mais heterogêneo. As dinâmicas de infiltração, o escoamento superficial e o manejo dos solos foram alterados para atender a uma diversidade de cultivos, como a mandioca e a fruticultura, exigindo respostas fisiológicas diferentes do meio natural.

Posteriormente, a consolidação do meio técnico e a implementação de políticas estatais de fomento energético impuseram uma reestruturação espacial definitiva. A retomada da hegemonia da cana-de-açúcar, agora submetida à lógica rigorosa da agroindústria, exigiu uma nova reconcentração fundiária. Esse processo alterou significativamente a paisagem. As zonas de transição ecológica foram suprimidas e a

biodiversidade acabou restrita a fragmentos isolados, alterando a capacidade de resiliência ambiental.

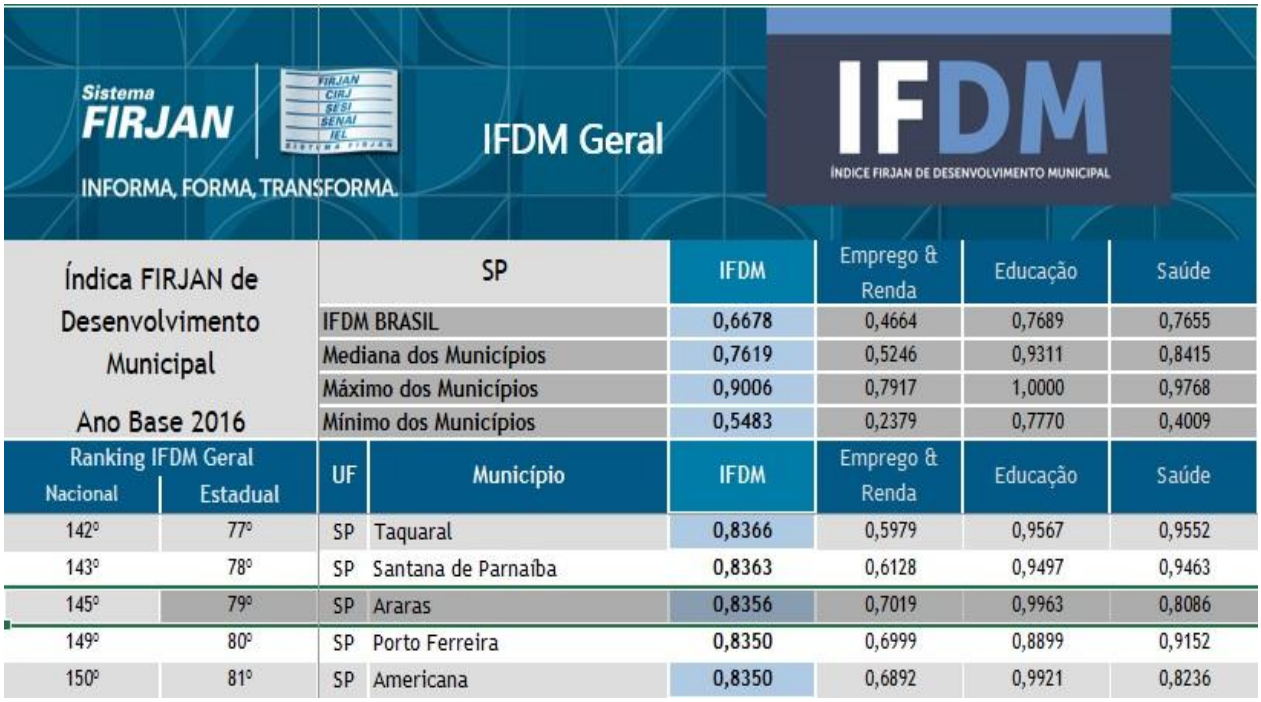
Atualmente, a alta densidade tecnológica, a mecanização pesada e a aplicação contínua de insumos agroquímicos substituíram o trabalho humano manual e passaram a ditar o limite de suporte dos componentes naturais. A vulnerabilidade dos solos à compactação e a exposição dos recursos hídricos refletem o esgotamento dessa capacidade estrutural, desta forma, o geossistema ararense contemporâneo materializa o avanço das forças produtivas sobre o território, portanto, a eficácia do ordenamento territorial e do diagnóstico de vulnerabilidades está condicionada à compreensão das lógicas de capital materializadas no espaço.

Dentre outras características herdadas da dinâmica do território ao longo da história do município, vale ressaltar que a infraestrutura urbana que o constitui também é bastante adequada no que diz respeito a parâmetros de qualidade, sendo composta por 100% de pavimentação e 100% de água tratada e distribuída à 42.820 ligações domiciliares e outras instituições. (Prefeitura Municipal de Araras, 2023).

Araras possui Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), que trata 80% de seus resíduos, o que pode ser compreendido como um minimizador de impactos ambientais, embora a paisagem urbana contraste com os dados apresentados pelo site da prefeitura municipal. (Prefeitura Municipal de Araras, 2023).

O índice FIRJAN, que é um índice que mede o desenvolvimento socioeconômico dos municípios brasileiros com base nos setores de saúde, educação e emprego, classifica Araras na posição 145° no ranking nacional no período entre 2016 e 2018. Este período é importante, porque é anterior ao início da pandemia de Covid-19 (dezembro 2019) que colapsou muitas economias do mundo todo. Segundo este índice, Araras possuía um desenvolvimento moderado, considerado muito bom (figura 4).

Figura 4: IFDM



Sistema FIRJAN
INFORMA, FORMA, TRANSFORMA.

IFDM Geral

IFDM
ÍNDICE FIRJAN DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL

Índica FIRJAN de Desenvolvimento Municipal Ano Base 2016	SP	IFDM	Emprego & Renda	Educação	Saúde
	IFDM BRASIL	0,6678	0,4664	0,7689	0,7655
	Mediana dos Municípios	0,7619	0,5246	0,9311	0,8415
	Máximo dos Municípios	0,9006	0,7917	1,0000	0,9768
	Mínimo dos Municípios	0,5483	0,2379	0,7770	0,4009

Ranking IFDM Geral		UF	Município	IFDM	Emprego & Renda	Educação	Saúde
Nacional	Estadual						
142º	77º	SP	Taquaral	0,8366	0,5979	0,9567	0,9552
143º	78º	SP	Santana de Parnaíba	0,8363	0,6128	0,9497	0,9463
145º	79º	SP	Araras	0,8356	0,7019	0,9963	0,8086
149º	80º	SP	Porto Ferreira	0,8350	0,6999	0,8899	0,9152
150º	81º	SP	Americana	0,8350	0,6892	0,9921	0,8236

Fonte: FIRJAN 2018.

O referido índice posicionava Araras entre os 500 municípios mais bem avaliados do país, dos quais 200 são do Estado de São Paulo, confirmando a posição de destaque econômico do Estado no cenário nacional.

O índice de desenvolvimento sustentável das cidades, que possui indicadores relacionados com os 17 objetivos da ODS (ONU), classifica Araras na posição 546° de 5570 cidades, com uma pontuação de 55,60 em 100 pontos o que a caracteriza com um nível de sustentabilidade médio para o ano de 2024.

Segundo dados do SEADE (2021) o município de Araras obteve um PIB de R$6.942.567.272, com uma renda per capita de R$52.622,71; desses valores 13,2% correspondem ao setor agropecuário, 22,6% a indústria e 61,7% ao setor de serviços, exceto a administração pública.

Quanto a produção industrial do município, predomina a transformação de cana-de-açúcar e seus derivados (Açúcar, Álcool, destilados). Com uma participação pequena nas relações comerciais exteriores em relação a sua região administrativa no Estado de São Paulo (Campinas), com apenas 1,4% do montante total, Araras exportou cerca de $ 201.340.629 em 2022.

CAPÍTULO 3
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O arsenal teórico metodológico que abarca a concepção geossistêmica à luz da escola de pensamento russo-soviética, figura entre as mais importantes concepções metodológicas da Geografia Física. A concepção geossistêmica apresentada por Sotchava (1968), representa um marco no *modus operandi* do pensamento espacial, incorporando além de pressupostos da teoria sistêmica, o pensamento complexo, contribuindo assim para a racionalização científica.

Desse modo, esta pesquisa está pautada neste arcabouço metodológico, portanto, o cabedal epistemológico bibliográfico deste trabalho contém contribuições de obras que permeiam a temática ambiental, dos geossistemas, dos estudos integrados das paisagens, do geoprocessamento, da Cartografia Temática, do Planejamento Territorial, dentre outros temas relevantes.

Para Rodriguez *et al.* (2007, p. 27), a fundamentação teórica e metodológica de qualquer ciência se torna imprescindível para o desenvolvimento de pesquisas científicas. Essa assertiva justifica a fundamentação de um campo conceitual e teórico-metodológico para a ciência das paisagens, pois o conteúdo teórico de qualquer disciplina científica é determinado pelo conjunto de leis e regulamentos de caráter conceitual, possíveis de se estabelecer sobre um determinado objeto de estudo.

> As leis, axiomas e postulados científicos de qualquer ciência constituem a base teórico-conceitual, na qual estão inseridos todos os fundamentos metodológicos, os métodos, os procedimentos técnicos da disciplina, inclusive a função social da mesma e as vias de aplicação prática. (Rodriguez *et al.,* 2007, p. 27).

Os estudos sobre o meio ambiente e as paisagens são multidisciplinares, levando-se em conta que se trata de um vasto campo de pesquisa englobando diversas áreas do conhecimento, o que é passível de uma complementariedade entre diferentes áreas. Este caráter inter e multidisciplinar[4] permite um intercâmbio de

[4] Entende-se por multidisciplinaridade a abordagem de um mesmo assunto por várias disciplinas cada uma com suas especificidades e interdisciplinaridades como o trabalho coletivo entre diversas disciplinas, com o objetivo de produzir vários conteúdos ao tratar-se de um mesmo objeto de pesquisa.

conhecimentos proporcionando o entendimento dos problemas, das transformações, das causas e possíveis soluções por meio da interação escalar.

Desta forma, Rodriguez *et al.* (2007, p. 28) listam os axiomas que são mais comumente aceitos a respeito da teoria da paisagem, dos quais considerando-se o caráter desta pesquisa podemos destacar:

- O axioma sistêmico: onde o mundo em que vivemos é sistêmico, caracterizando-se pela existência de formações inter-relacionadas, em que os diferentes elementos relacionados entre si, formam um todo único e integral que se difere do seu meio, mas se relaciona com ele.
- O axioma hierárquico: o mundo possui uma estrutura hierárquica no qual os sistemas de nível inferior com propriedades comuns isomórficas refletem as propriedades do sistema de nível superior. (Podemos exemplificar aqui os processos e sistemas endógenos e exógenos das composições geomorfológicas).
- O axioma temporal: tudo o que se observa atualmente é fruto do desenvolvimento do fragmento do mundo material que estudamos, sendo só um dado momento no transcurso do desenvolvimento passado e futuro.

A partir dos axiomas podemos também destacar algumas derivações lógicas:

- A substancial: onde os processos geográficos só são compreensíveis em sua manifestação existencial no espaço e no tempo;
- A espacial: todos os fenômenos geográficos estão unidos a certa localidade geográfica que se torna independente dada sua peculiaridade, constituindo base para relações espaciais com localidades vizinhas;
- E o continuum geográfico: todos os fenômenos geográficos e todas as partes da superfície terrestre encontram-se em inter-relação, não se excluindo nenhuma parte que não se inclua nesta especificação. (Rodriguez *et al.* 2007, p. 28).

Assim, esta pesquisa está pautada na abordagem sistêmica, através do conceito de Geossistemas Russo-Soviético de Sotchava.

> Em condições normais deve-se estudar, não os componentes da natureza, mas as conexões entre eles, não se deve restringir à morfologia da paisagem e suas subdivisões, mas de preferência, projetar-se para o estudo de sua dinâmica, estrutura funcional, conexões etc. (Sotchava, 1977, p. 2).

Para tanto, o geossistema de Sotchava é entendido como uma unidade natural dinâmica de qualquer dimensão. Sotchava compreende os espaços ou paisagens

naturais através de um ponto de vista sistêmico, onde o espaço terrestre e todas as suas dimensões e componentes encontram-se em uma relação sistêmica uns com os outros, e como integridade, interatuam com a esfera cósmica e com a sociedade humana (Rodriguez *et al.*, 2019).

Segundo Sotchava (1978, p. 2),

> O capítulo central da Teoria dos Geossistemas é o estudo da dinâmica do meio natural, que abre os caminhos diretos para a compreensão científica da influência do homem sobre a estrutura e funcionamento deles ajudando a descobrir os impactos antropogenéticos sobre natureza.

No campo da Cartografia existem diversas abordagens metodológicas, contudo, neste trabalho a linha de pensamento a qual estão fundamentados os mapeamentos é a linha de pensamento do Paradigma semiológico de base estruturalista, comumente conhecido como Representação Gráfica.

O enfoque semiológico tem por base a evolução da linguística enquanto ciência apresentada por Ferdinand de Suasurre em meados do século XX. Nesse sentido, preocupa-se com os estudos dos sistemas linguísticos a partir de sua estrutura, que é constituída pela psicologia social e pela psicologia geral, na qual ele denomina como semiologia. (Suasurre, 1913 *apud* Zacharias, 2013).

A semiologia gráfica possui como cerne o estudo dos signos presentes na sociedade e em seus sistemas, sendo composta por três níveis a saber: o nível pragmático, o nível sintático e o nível semântico. (Zacharias, 2013).

O desenvolvimento da semiologia teve como objetivo buscar uma linguagem mais simples para representar graficamente dados e contornar a ocorrência de erros na elaboração de mapas. (Rosolém, 2017).

Em 1983, Jacques Bertin (1983), precursor da semiologia gráfica, classifica de forma sistemática o uso de elementos visuais gráficos na representação de dados e suas relações aplicados a gráficos e mapas. Desta forma, ele propõe uma sistematização conforme dimensões espaciais básicas, como ponto, linha e área em um plano cartesiano (X,Y), que denominamos como polígono.

Para Rosolém (2017, p. 04):

> A representação gráfica faz parte do sistema de signos fundamentais, criado pelo homem a partir de suas necessidades, para reter, compreender e comunicar as observações necessárias à sua sobrevivência. Ela se classifica como uma linguagem destinada aos olhos e faz parte do conjunto de signos

> que o homem desenvolveu para se comunicar. Deste modo, a representação gráfica compõe uma linguagem bidimensional, atemporal, destinada a vista, construída a partir das propriedades de ubiquidade da percepção visual e de suas leis. Ela se expressa mediante a construção da imagem e a sua leitura advém de instantes mínimos de percepção.

Acerca da compreensão da imagem gráfica e sua composição, o autor defende que a representação pode ser interpretada sob duas perspectivas:

- Componentes de localização no plano cartesiano, eixos x e y, que relacionam os objetos geográficos na representação;

- Componente qualitativo (z), representado sobre o plano, onde o autor destaca as seguintes variáveis visuais:

- ✓ **Tamanho**: varia entre grande, médio e pequeno, onde o grande é o quadruplo do médio, e o médio é quadruplo do pequeno;
- ✓ **Valor**: é o valor visual, a intensidade, ou variação de tonalidade;
- ✓ **Granulação**: texturas que se diferenciam entre as mais finas e mais grossas, sem alterar a intensidade visual;
- ✓ **Cor**: variabilidade de cores;
- ✓ **Orientação**: os elementos podem se dispor através da direção vertical, oblíqua e horizontal.
- ✓ **Forma**: os elementos podem modular sua forma, ou seja, passar para um círculo, um quadrado, um triângulo, um polígono, dentre outras formas. (figura 5).

Figura 5: Variáveis visuais

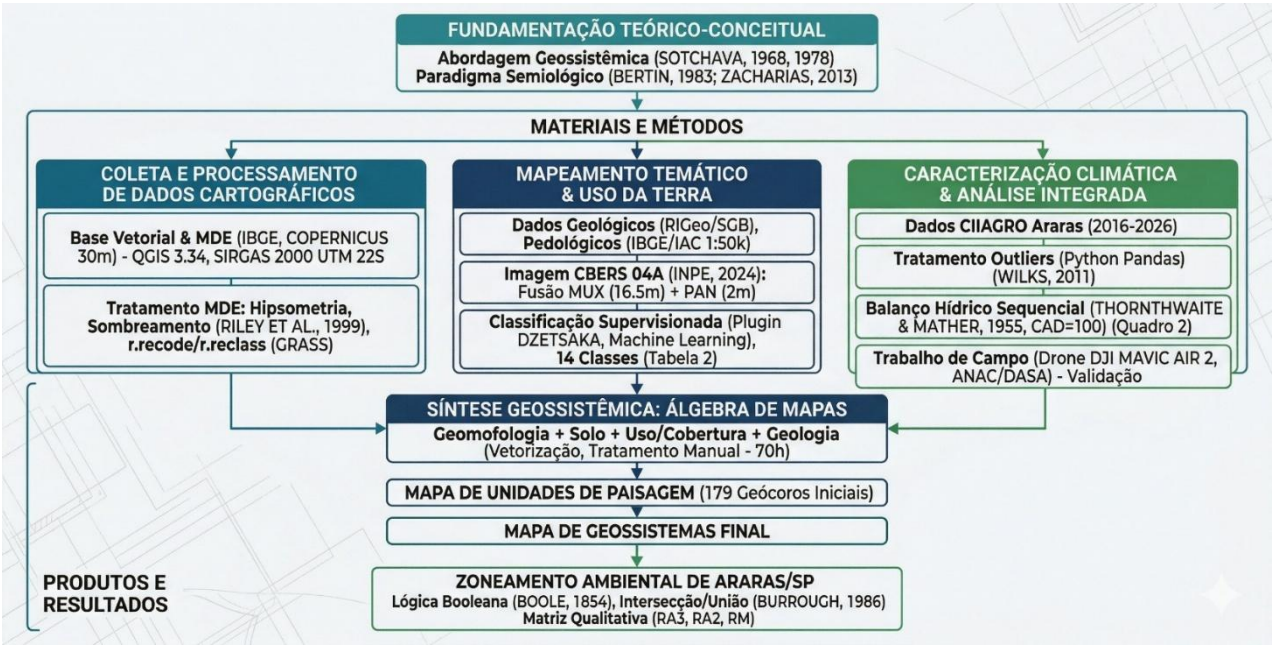
Variáveis Visuais		Propriedade Perceptiva Mais Significativa
Tamanho		**Quantitativa** - manifestação pontual, linear e zonal
Valor		**Ordenada** - manifestação pontual, linear e zonal
Granulação		**Ordenada** - somente manifestação zonal com legenda de até quatro classes
Cor		**Seletiva** - manifestação pontual, linear e zonal
Orientação		**Seletiva** - manifestação pontual e zonal com legenda de até quatro classes
Forma		**Seletiva** - manifestação pontual

Fonte: Rosolém, 2017, adaptado de Bertin, 1973.

Após essas considerações teórico-metodológicas, destaca-se que a pesquisa foi realizada em fases distintas, abrangendo o levantamento bibliográfico, a elaboração de mapas temáticos, a integração das variáveis temáticas e a análise dos

resultados, porém, algumas fases foram realizadas concomitantemente, conforme o embasamento teórico e os dados foram sendo obtidos e/ou elaborados, abaixo segue um fluxograma dos principais procedimentos metodológicos:

Figura 6: Procedimentos metodológicos



Fonte: O autor, 2026

A estrutura metodológica desta pesquisa, sintetizada no fluxograma, organiza-se em etapas interdependentes que partem da fundamentação teórica até a geração dos produtos cartográficos finais.

O arcabouço lógico apoia-se na Abordagem Geossistêmica (Sochava, 1968; 1978) para a compreensão integrada da paisagem e no Paradigma Semiológico (Bertin, 1983; Zacharias, 2013) para as diretrizes de representação gráfica. A partir dessa base conceitual, a fase de materiais e métodos divide-se em três frentes operacionais simultâneas.

A primeira frente compreende a coleta e o processamento de dados cartográficos. Foram utilizadas bases vetoriais do IBGE e o Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus, com 30 metros de resolução espacial. O processamento ocorreu no software QGIS 3.34, adotando-se o sistema de referência SIRGAS 2000 UTM 23S. O tratamento do MDE abrangeu a geração de hipsometria e sombreamento (Riley et al., 1999), aplicando algoritmos de reclassificação do complemento GRASS.

A segunda frente concentra-se no mapeamento temático e na classificação do uso da terra. A base física foi estruturada com dados geológicos do RIGeo/SGB, geomorfológicos (IBGE, 2010) e pedológicos do IBGE/IAC na escala de 1:50.000. O mapeamento da cobertura terrestre derivou de imagem do satélite CBERS 04A (INPE, 2024), otimizada por meio da fusão (*pansharpening*) entre as bandas multiespectrais (16,5 m) e pancromática (2 m). A identificação das 14 classes de uso ocorreu via classificação supervisionada por aprendizado de máquina, operacionalizada pelo *plugin* Dzetsaka.

A terceira frente aborda a caracterização climática e a validação empírica. A análise baseou-se nos dados da estação CIIAGRO de Araras, referentes ao decênio 2016-2026. A depuração de dados discrepantes (*outliers*) foi executada em linguagem Python, utilizando a biblioteca Pandas e balizada pela metodologia de Wilks (2011). Posteriormente, elaborou-se o Balanço Hídrico Sequencial (Thornthwaite e Mather, 1955), considerando uma Capacidade de Água Disponível (CAD) de 100 mm. As informações cartográficas foram validadas in loco por meio de trabalho de campo, com suporte de imageamento aéreo realizado por drone (DJI Mavic Air 2), em conformidade com as normas de controle do espaço aéreo (ANAC/DASA).

Os dados gerados nessas três vertentes convergem para a etapa de Síntese Geossistêmica. A integração das variáveis espaciais relativas à geomorfologia, pedologia, uso da terra e geologia foi executada mediante álgebra de mapas. O raster resultante foi vetorizado e submetido a um rigoroso tratamento analítico manual, demandando cerca de 70 horas de processamento. Esse refinamento gerou o Mapa de Unidades de Paisagem, composto inicialmente por 179 geócoros, os quais foram agrupados e sistematizados para a consolidação do Mapa de Geossistemas Final.

A integração dos dados e as análises realizadas traduziu o diagnóstico em produtos voltados ao planejamento, culminando no mapa de Zoneamento Ambiental de Araras/SP. A delimitação das áreas de vulnerabilidade fundamentou-se na Lógica Booleana (Boole, 1854), utilizando operadores espaciais de intersecção e união (Burrough, 1986). O ordenamento do território foi estruturado a partir de uma matriz qualitativa que classifica os ambientes nos domínios funcionais de Risco Muito Alto (RA3), Risco Alto (RA2) e Risco Moderado (RM).

A revisão bibliográfica, componente fundamental para o aprofundamento do conhecimento sobre a temática da pesquisa, foi estruturado através do levantamento

e análise das referências, com base na seguintes palavras-chave: Geossistemas, Cartografia, Paisagem, Geoprocessamento, Planejamento, obtidas das plataformas Google Acadêmico, IBGE, periódicos científicos etc. Além disso, essa etapa foi importante para a caracterização do município de Araras/SP, com base em pesquisas já elaboradas sobre a área de estudo.

Nos itens subsequentes, estão detalhadas as etapas da pesquisa.

3.1 Processamento de dados cartográficos e elaboração de mapas temáticos

Para elaboração dos produtos cartográficos desta pesquisa, foi utilizado o software livre QGIS, versão 3.34.11, adotando-se como escala de análise 1:50.000 e o sistema de coordenadas UTM, referenciado ao datum SIRGAS 2000, Fuso 23S.

Adotou-se, neste trabalho, uma cartografia minimalista na elaboração dos mapas, em conformidade com as convenções cartográficas. Essa opção metodológica, além de assegurar clareza e objetividade, traduz a concepção autoral do pesquisador sobre a representação espacial. O estilo adotado reflete uma escolha consciente, na qual o mapa é entendido não apenas como instrumento científico de comunicação, mas também como expressão da visão do autor acerca da relação entre forma e conteúdo na cartografia. Assim, a estética minimalista constitui parte integrante da identidade científica desta tese, reforçando a coerência entre método, linguagem e interpretação.

Desta forma, a base de recorte vetorial utilizada para o município de Araras, foi o arquivo em formato shapefile obtido junto ao IBGE (2010). Em seguida, foi realizado um tratamento dessa camada no ambiente do software QGIS, no intuito de corrigir erros topológicos; após passar por esse procedimento, foram produzidos resultados mais corretos no Datum do fuso 23S. Todos os dados cartográficos deste trabalho foram obtidos de forma digital em bancos de dados disponibilizados pelos órgãos oficiais. De acordo com a demanda e a especificidade de cada dado, os mesmos passaram por tratamentos descritos a seguir:

a) Mapa Geológico do município de Araras/SP

Para a elaboração do mapa Geológico, foram utilizados dados cartográficos do Estado de São Paulo, obtidos junto ao Repositório Institucional de Geociências

(RIGeo) do Serviço Geológico do Brasil (SGB). Após sua obtenção, foi realizado o recorte espacial para a área de estudos na escala de 1:50.000. Na sequência, foi realizada uma transformação geométrica, o que propiciou a adaptação das informações para a escala utilizada; posteriormente, foi realizada a extração de dados de símbolos categorizados no menu de propriedades da camada vetorial. O passo que se seguiu foi realização da classificação dessas informações para composição da legenda.

b) Mapa Hipsométrico e Compartimentação geomorfológica do município de Araras/SP

Para a elaboração do mapa Hipsométrico, foi realizado tratamento do Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus, com resolução espacial de 30 metros, compreendendo a miscelânea e a composição de mosaico, reprojetando para o sistema plano SIRGAS 2000 UTM, Zona 22S (recorte da área, criação de arquivo texto-txt) com regras para classificação. No processo de elaboração deste mapa, foi realizado o processamento em banda simples falsa cor com valores mínimos e máximos e foi utilizado o sombreamento com variação z no valor 3.0. Esse valor fornece uma correlação mais aproximada das diferenças de altitude no mapa, pois ressalta as nuances do relevo.

Foi escolhido esse Modelo Digital de Elevação, com base em Grohmann (2015), o qual considera este produto como o melhor material gratuito disponível para pesquisas científicas. De modo preliminar, para obter o acesso ao arquivo raster, foi necessário realizar o cadastro no site PANDA. Vale salientar, que o MDE copernicus é derivado do TanDEM-X, projeto pioneiro que utilizou interferometria de RADAR via Satélite para imageamento do planeta.

Outra metodologia importante no mapeamento realizado pelos satélites TanDEM-X foi a mudança de geometria da órbita, permitindo cobrir áreas maiores, evitando gerar vazios nas imagens rasters, como ocorriam com os dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), por exemplo. Esses satélites mapearam na banda X, produzindo MDE’s de 12,5 metros de resolução espacial, representando dados mais detalhados, entretanto, esses dados são privados e seus custos são onerosos.

O MDE copernicus é um projeto da união europeia que utilizou os dados do TanDEM-X gerando um modelo de elevação global de 30 metros de resolução espacial, disponível para utilização pública. Os dados utilizados para este trabalho são do tipo DGED, que significa Defense Gridded Elevation Data, onde os valores aparecem em casas decimais na legenda, ou seja, são dados do tipo Float. Esta tipologia de dados é importante pois evita a discretização de valores obtidos para valores inteiros. No caso da área de estudos desta pesquisa (Araras), que possui um relevo mais plano, os dados em valores decimais demonstram mais fidedignidade à realidade do terreno. Quando os dados são discretizados para valores inteiros, podem ocorrer distorções da representação.

Os procedimentos foram executados também com auxílio do complemento GRASS GIS 7.4.2, que disponibiliza algoritmos específicos como o *r.recode* e o *r.reclass* para as variáveis que são incorporadas, como é o caso da hipsometria. A ferramenta utilizada no software Quantum GIS segue a metodologia de Rilley et al. (1999), onde o índice é calculado pela soma da mudança de elevação (em metros) entre uma célula (pixel) central e as oito células vizinhas numa grade de 3x3.

Para o mapa de compartimentação geomorfológica, foi realizado o download do arquivo vetorial (em shapefile) de Geomorfologia do Brasil do IBGE (2010). Após foi realizado recorte para a área de estudos e posterior classificação por símbolos categorizados para obter a compartimentação. As áreas de planícies fluviais foram delimitadas manualmente seguindo os cursos hídricos, observando a hipsometria e a drenagem.

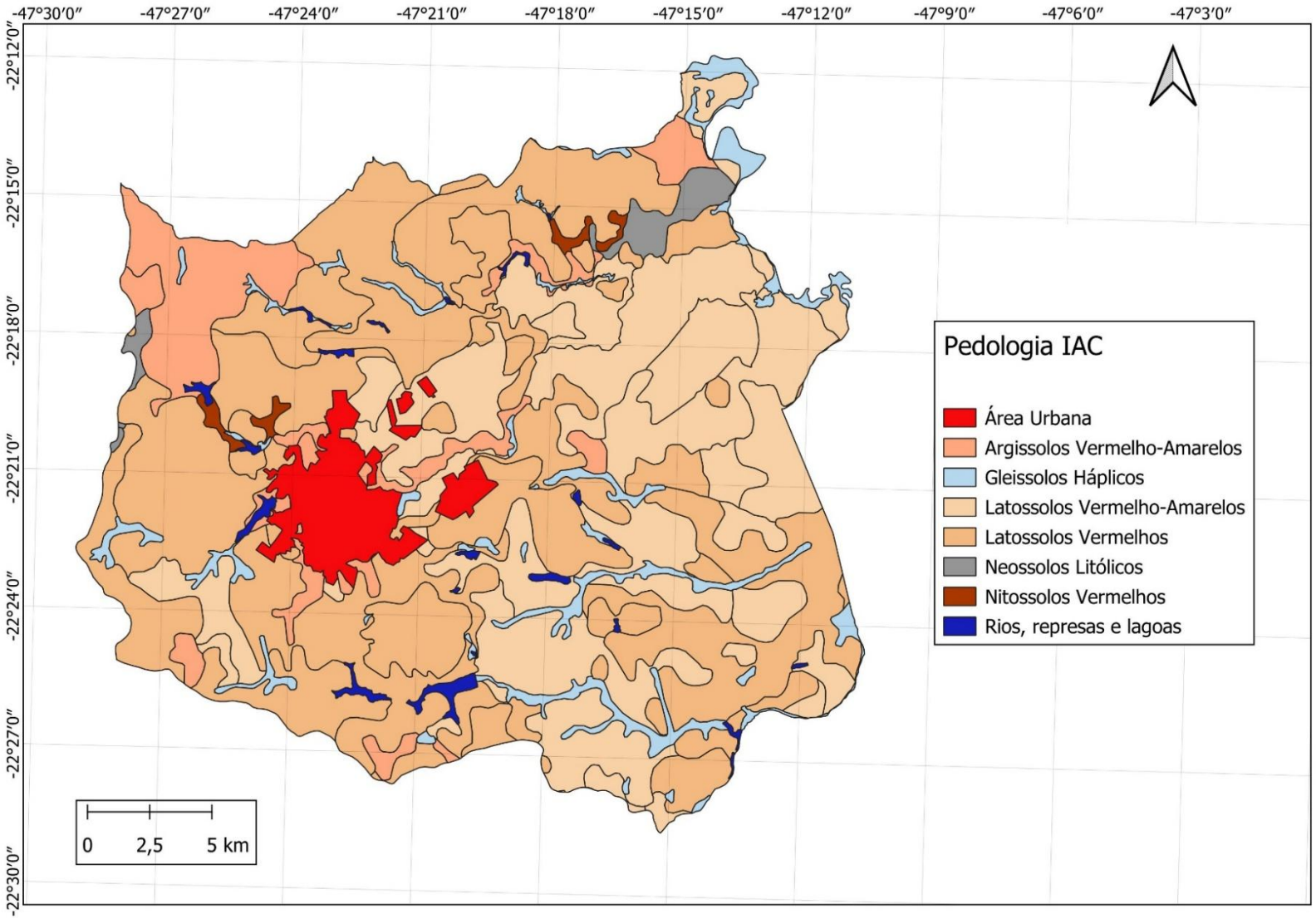
c) Mapa Pedológico do município de Araras/SP

Para a elaboração do mapa Pedológico, foram extraídos dados categorizados da base vetorial do IBGE (2010), demandando o recorte com base no limite do município de Araras/SP. Ademais, foi realizada a classificação por símbolos categorizados para obter a espacialização da Pedologia bem como a composição da legenda. Após, foi realizado o mesmo procedimento com dados obtidos junto ao IAC (Instituto Agronômico de Campinas), em escala de detalhe (1:25.000), buscando comparar e adaptar os dados para esta pesquisa, compondo um mapa resultante com legenda de três níveis. Desta forma, optou-se pela utilização da base pedológica do IBGE (2010) ,que será apresentado na figura 25, com adaptações em detrimento do

mapeamento mais detalhado do IAC (figura 7), visando a manutenção da coerência escalar com as demais variáveis físicas analisadas (Geologia e Geomorfologia) de 1:50.000.

Esta escolha justifica-se pela necessidade de uma generalização cartográfica que evidencie as unidades de solo dominantes (unidades taxonômicas) na área de estudo, facilitando assim a modelagem das unidades de paisagem sem a introdução de ruídos espaciais (linhas e polígonos dispersos) provenientes de escalas incompatíveis entre os planos de informação, o que aumentaria o número de unidades de paisagem inviabilizando a delimitação dos Geossistemas.

Figura 7: Pedologia IAC



Fonte: Instituto Agronômico de Campinas, 2017.

Os níveis categóricos adotados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) são os seguintes: 1º nível categórico (ordens), 2º nível categórico (subordens), 3º nível categórico (grandes grupos), 4º nível categórico (subgrupos), 5º nível categórico (famílias) e o 6º nível categórico (séries), sendo que este último ainda carece de definição de conceitos. Desta forma, para este trabalho foram utilizados os três primeiros níveis, o que também não seria possível caso utilizássemos o mapa do IAC porque ele fornece a opção em um mesmo layout apenas do 1° e 2° nível categórico conforme na figura 7.

Esta escolha se deu por compreendermos que três níveis categóricos atendem a escala do trabalho mesmo de forma generalizada, garantindo compatibilidade com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Outro ponto importante a salientar é que em função dos dados do IBGE serem de cobertura e abrangência nacional e não tão característico de uma localidade, torna a probabilidade de replicar/comparar o mesmo estudo em outras áreas maior, e não restritamente ao estado de São Paulo.

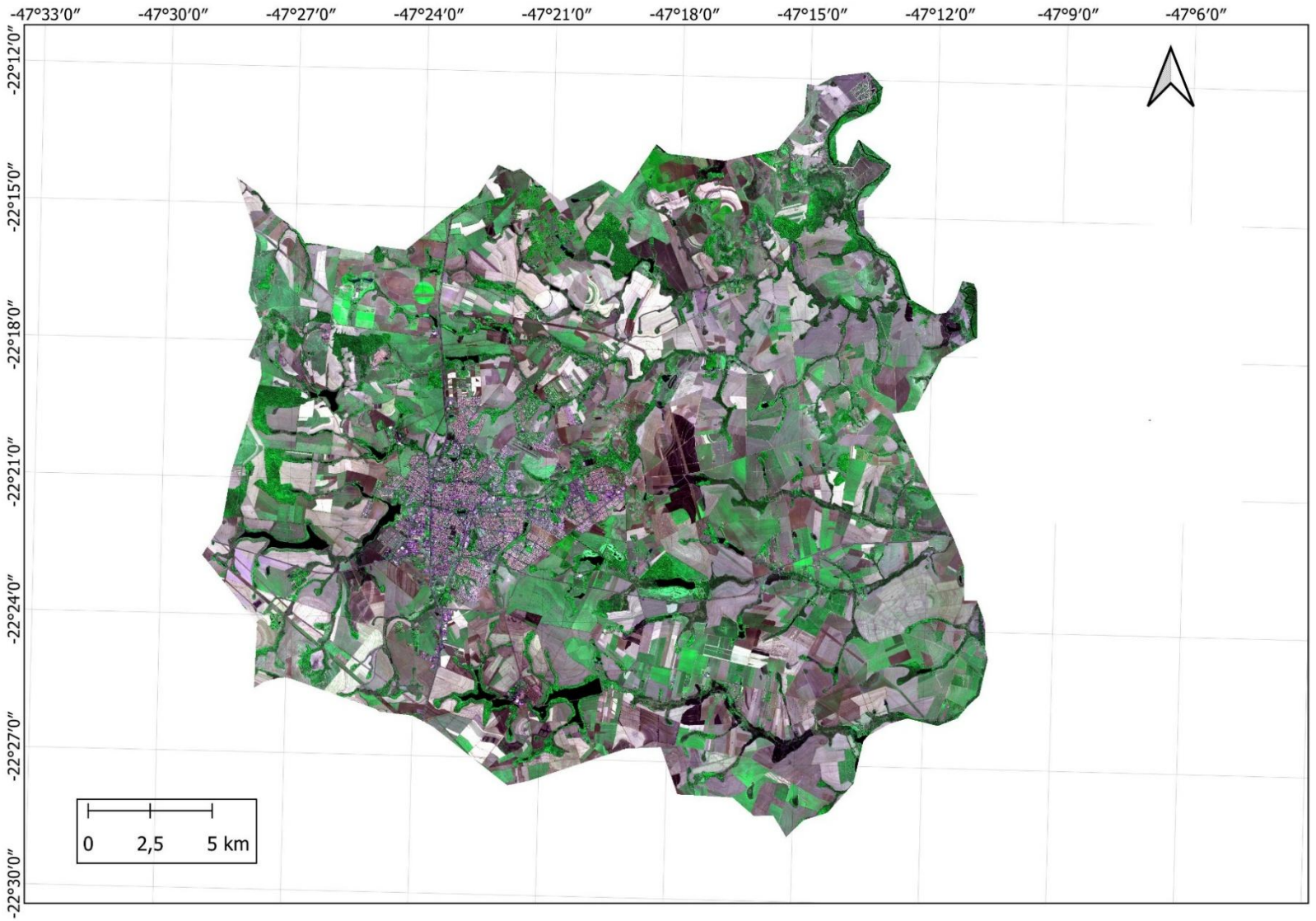
Para a composição da legenda do mapa pedológico, foi realizada a integração de um arquivo XML dentro do QGIS, que contém as classes e cores adequadas para cada processo pedogenético. Esta simbologia se configura como uma rampa de cores apropriadas que foram definidas por convenção para mapeamentos pedológicos no Brasil, contendo os sistemas de cores PANTONE, CMYK e RGB. Esta convenção está presente na segunda edição do manual técnico de Pedologia da parceria entre a EMBRAPA e o IBGE (1979).

d) Mapa de Uso e Ocupação da Terra do município de Araras/SP

O mapa de Uso e Ocupação da Terra foi elaborado a partir do tratamento de 1 imagem de satélite e da classificação supervisionada. Primordialmente, foram realizados procedimentos de recorte da área de estudos através da caixa de ferramentas de processamento, na opção recortar pela camada de máscara. Posteriormente, foi realizado empilhamento das Bandas 1, 2 e 3 e pancromática no menu raster - miscelânea – construir raster virtual, cujo objetivo foi a geração de um arquivo raster com resolução de 2 metros por pixel. Desta forma, foi possível obter a composição colorida, resultando em uma imagem com resolução espacial adequada para este trabalho (figura 8):

O satélite CBERS 04A tem 1.730 kg de massa, com dimensões de 1,8 m X 2,0 m, na base, e 2,6 m de altura. Para funcionar, seu painel solar gera 2,1 kWatts, um pouco menos do que o CBERS-4 (que gera 2,3 kW). O CBERS 04A irá operar em uma altitude de 630 km, aproximadamente, um pouco mais baixa que a órbita do CBERS-4, de 778 km. Sua missão principal é imagear toda a superfície terrestre, por meio de três câmeras ópticas embarcadas no satélite. Duas são brasileiras: a Câmera Imageadora de Campo Largo (WFI) e a Câmera Multiespectral (MUX); a terceira é chinesa, a Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM). (INPE, 2024 s/p)

Figura 8: Composição da imagem Bruta



Fonte: Arquivo próprio, 2025. Elaborado a partir de dados obtidos junto ao INPE 2024

As características das câmeras são informadas na tabela 1:

Tabela 1: Características das imagens CBERS 4A

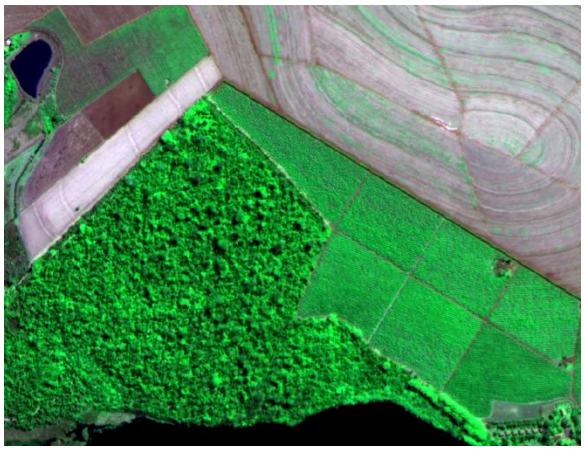
Câmera	**Resolução Espacial**
Mux Brasileira -16,5 metros	95 km
WFI Brasileira - 55 metros	684 km
WPM Chinesa - 8 metros Multiespectral	92 km
Pancromático	2 metros

Fonte: INPE, 2024

A partir desse tratamento prévio da imagem, seguiu-se para os procedimentos de elaboração do mapa de Uso e Ocupação da Terra, com base na classificação supervisionada. A composição da imagem bruta está representada pela figura 8.

Primordialmente, foram realizados procedimentos de recorte da área de estudos através da caixa de ferramentas de processamento, na opção recortar pela camada de máscara. Posteriormente, foi realizado empilhamento das Bandas 1, 2 e 3 e pancromática no menu raster- miscelânea – construir raster virtual, cujo objetivo foi a geração de um arquivo raster com resolução de 2 metros por pixel. Desta forma, foi possível obter a composição colorida, resultando em uma imagem com qualidade adequada para este trabalho. (figura 9). A figura 9 demonstra uma parte da imagem, visando destacar a resolução espectral.

Figura 9: Resolução espectral da parcial da imagem

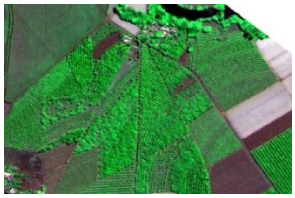
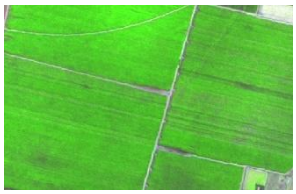


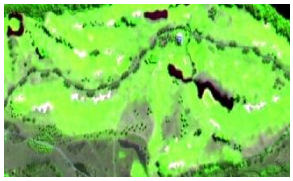
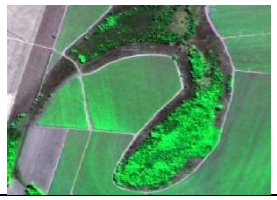
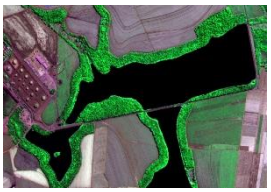
Fonte: Arquivo próprio, 2024. Elaborado a partir de dados obtidos junto ao INPE 2024

Para realização da classificação da imagem de satélite, foi utilizado o plugin Dzetsaka. A ferramenta Dzetsaka é um algoritmo de classificação automatizada baseado em técnicas de aprendizado de máquina, que permite a identificação e categorização dos múltiplos usos da Terra. Desta forma, foram realizadas coletas de amostras para treinamento do algoritmo a partir da criação de polígonos com intuito de delimitar as classes de usos. Apesar de não ter sido estabelecido um número definido de amostras por classes, houve uma variação de 15 a 20 amostras por objeto, porque os alvos se diferenciam enquanto comportamento espectral na imagem, no tamanho da área ocupada e na quantidade de ocorrências. Desta maneira, os procedimentos foram realizados buscando-se o maior número possível de amostras para cada classe.

Nesta etapa foram definidas 14 Classes de Uso e Ocupação da Terra as quais estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2: Organização das classes de Uso e Ocupação da Terra do município de Araras/SP

Classe	Imagem de Satélite	Cor da Classe
Café		
Cana- de Açúcar		
Culturas diversificadas (Arroz, Milho, Mandioca)		
Culturas perenes (fruticulturas)		
Formações florestais		
Mineração		

Pastagens		
Planície de inundação		
Reflorestamento		
Rios		
Soja e Feijão		
Vegetação Rasteira		
Área Urbana		



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

e) Mapa dos Geossistemas do município de Araras/SP

A determinação dos limites dos geossistemas foi realizada através da interpretação dos dados cartográficos e da sobreposição dos mapas na seguinte ordem: Compartimentação geomorfológica + Solo + uso e Cobertura da Terra + Geologia. O mapa de geossistemas foi confeccionado a partir de etapas que consistiram na álgebra dos mapas de compartimentação geomorfológica, litológico e pedológico, combinado com uma metodologia híbrida semi-supervisionada.

Para obter o mapa de geossistemas (geócoros) do município de Araras, denominado nesta pesquisa como mapa de Unidades de Paisagem, foi realizada a rasterização dos vetores (shapefiles) da compartimentação geomorfológica, pedologia e litologia. Para este procedimento, foi necessário criar um campo na tabela de atributos de cada shape para estabelecer pesos para as variáveis, que posteriormente seriam somadas por meio da álgebra de mapas.

Para o mapa Pedológico, que possui apenas três classes, foram atribuídos os pesos 100, 200, 300 para cada tipo de solo conforme exemplo abaixo:

Exemplo: Síntese da Tabela de atributos da Pedologia

Símbolos	Classe	Área km²	Grupo 2	Peso
LVd2	Latossolos	3021,5369	Distróficos	100
LVAd3	Latossolos	2316,2563	Distróficos	200
OXy2	Organosolos	457,94431	Hêmicos	300

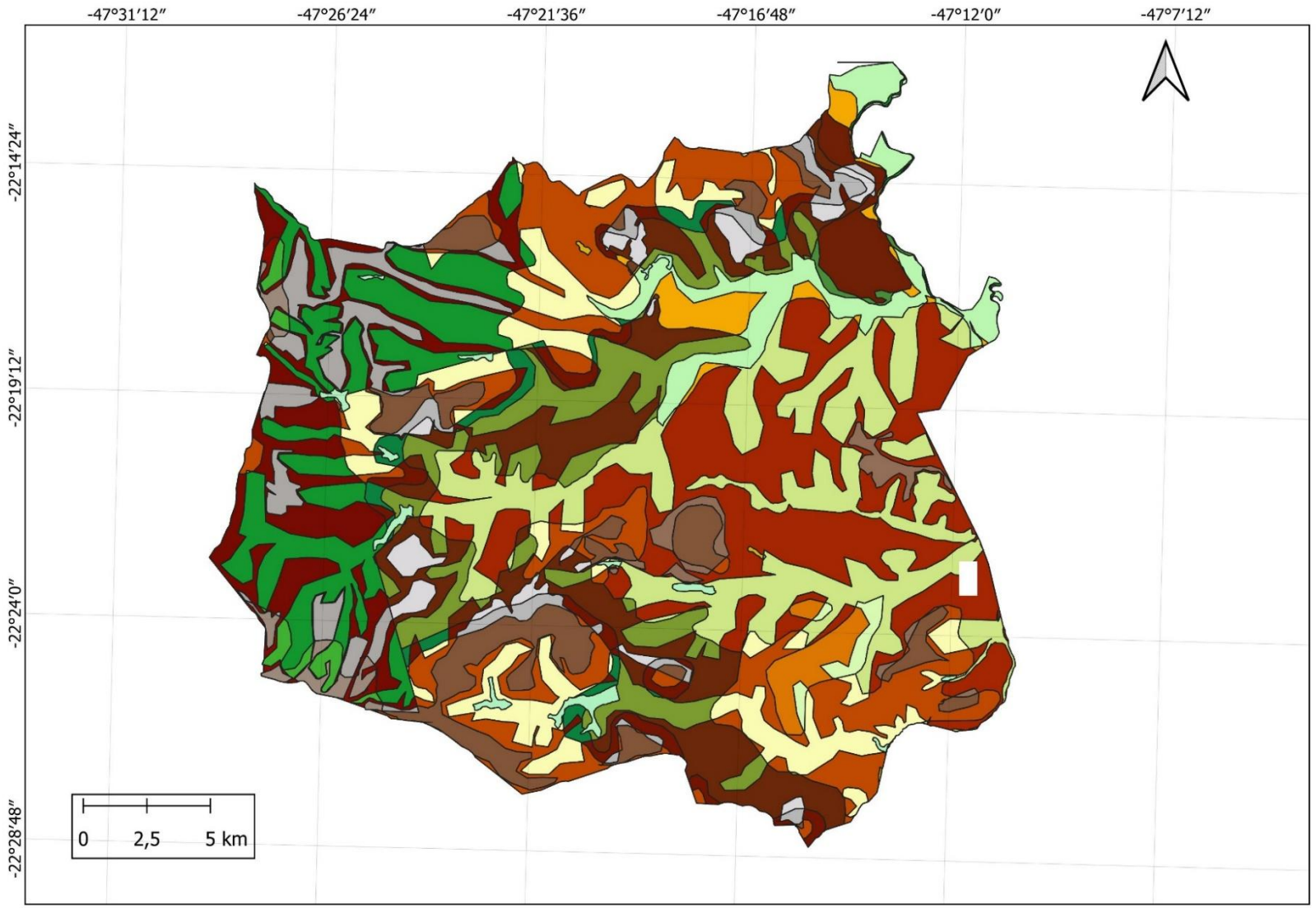
Fonte: Arquivos pessoais, 2025.

Para o mapa de compartimentação geomorfológica foram atribuídos pesos por números primos de forma que os números não se repetissem. Para o mapa de litologia foram atribuídos pesos de 1 a 11, evitando a repetição dos números para evitar somas com valores iguais. Desta forma, após realizar tais procedimentos foi efetuada a

conversão dos vetores em rasters e, posteriormente, foi realizada a álgebra desses rasters através da calculadora raster do software QGIS, os valores da coluna com os pesos foram somados, simulando uma sobreposição.

Foi obtido um produto raster e esse mesmo foi vetorizado resultando em um total de 179 feições, ou seja, 179 geossistemas diferentes, conforme figura 10.

Figura 10: Unidades de Paisagem do município de Araras/SP dados brutos



Fonte: Base vetorial IBGE 2010, elaborado pelo autor, 2025.

Posteriormente, a vetorização do raster foi realizada para que fosse possível o trabalho de tratamento e agrupamento dos dados, que consistiu na etapa de classificação polígono a polígono de forma manual. Esta etapa foi realizada a partir da verificação do uso e ocupação predominante em cada polígono para se obter o mapa final de Unidades de Paisagens; este foi um procedimento minucioso e que demandou tempo considerável, ou seja, cerca de 70 horas de trabalho. Após a classificação, foi obtido o mapa final de Unidades de Paisagem.

f) Mapa de Zoneamento Ambiental do município de Araras/SP

O zoneamento de risco da paisagem de Araras (SP) foi elaborado por meio de uma abordagem de síntese qualitativa, fundamentada na análise integrada da paisagem e na teoria dos geossistemas. O processo seguiu o fluxo operacional descrito a seguir.

Diferente de métodos de ponderação numérica automatizadas, a classificação das zonas de risco foi realizada através de uma lógica booleana e interpretativa diretamente na tabela de atributos.

Proposta originalmente por George Boole (1854), esta lógica opera sobre variáveis binárias (verdadeiro/falso), permitindo que conjuntos de dados geográficos sejam manipulados por meio de operadores relacionais e conectivos lógicos.

No contexto desta pesquisa, a lógica booleana atuou como o mecanismo de decisão para a síntese dos geócoros, onde cada unidade de paisagem foi testada contra critérios diagnósticos pré-estabelecidos. Conforme destaca Burrough (1986), o uso de operadores como intersecção e união possibilita a convergência de múltiplas camadas temáticas para a identificação de áreas que atendam a condições ambientais específicas.

Dessa forma, a definição das classes de risco não decorreu de uma média estatística, mas de uma condição lógica absoluta, da seguinte forma:

- A classe de Risco Muito Alto (RA3), foi isolada pela intersecção lógica entre a unidade geomorfológica de planície e a tipologia pedológica de Organossolos.
- A classe de Risco Alto (RA2) foi estabelecida utilizando-se o operador de união para agrupar compartimentos de Morrarias e Planícies Aluvionares sobre Latossolos,

reconhecendo neles diferentes processos degradacionais, porém com similaridades no grau de risco ambiental.

Com a camada de Geócoros gerada, procedeu-se à organização dos campos que receberiam a classificação de risco e aptidão. A camada vetorial foi duplicada, e foi confeccionada uma tabela no Excel de forma manual. O primeiro estágio consistiu na organização das unidades de paisagem em ambiente de planilha eletrônica (Microsoft Excel).

Foi criada uma coluna denominada ID_CHAVE, que serviu como o identificador único para cada polígono do shapefile original. No Excel, as unidades foram descritas no campo DESC_GEOCORO e classificadas manualmente nos campos ZONA_RISCO e APTIDAO. A planilha foi salva no formato CSV (separado por vírgulas ou pontos e vírgulas), para que houvesse a compatibilidade de leitura e a integridade dos caracteres pelo QGIS.

Com a base vetorial duplicada e a planilha prontas, utilizou-se a ferramenta Adicionar Camada de Texto Delimitado para inserir o arquivo CSV no projeto. Nas Propriedades da Camada do shapefile de Unidades de Paisagem, acessou-se a aba Uniões (Joins). Anteriormente foi estabelecido o ID_CHAVE como o "Campo Alvo" (no shapefile) e o "Campo de União" (no CSV). Desta forma, este campo é o vínculo entre os dados da planilha e os polígonos correspondentes no mapa.

Após a união, os dados importados do Excel foram integrados de forma permanente à estrutura do arquivo vetorial. Posteriormente, através da Calculadora de Campo, os valores das colunas unidas foram copiados para campos permanentes (ZONA_RISCO e APTIDAO) criados na tabela de atributos do shapefile.

Figura 11: Tabela de atributos criada para reclassificação da camada vetorial do zoneamento

Alternar modo de multiedição

			Tabela QGIS ZO_pronta_DESC_GEOCORO	Tabela QGIS ZO_pronta_ZONA_RISCO	Tabela QGIS ZO_pronta_APTIDAO
2	78	78	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
3	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
4	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
5	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
6	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
7	114	114	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
8	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
9	117	117	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
0	117	117	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
1	117	117	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
2	117	117	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
3	117	117	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
4	78	78	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
5	78	78	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
6	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
7	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
8	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
9	78	78	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
0	78	78	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
1	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
2	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
3	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
4	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
5	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
6	78	78	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
7	78	78	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
8	78	78	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
9	78	78	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
0	84	84	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
1	114	114	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2
2	78	78	Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, com incidência de cana de açúcar, substrato depósitos aluvionares	RM	A2

Fonte: Arquivo pessoal, 2025.

Com os atributos devidamente preenchidos, a camada foi reclassificada visualmente por meio da Simbologia Categorizada, utilizando os domínios definidos na matriz (RA2, RA3, RM).

Após o preenchimento de toda a tabela, o mapa ainda apresentava as divisões internas dos geócoros originais. Para obter as manchas contínuas de zoneamento do mapa final, aplicou-se a generalização através da ferramenta de edição de polígonos Mesclar Feições Selecionadas. Atribuiu-se o padrão cromático para representar as classes de riscos: Vermelho (RA3), Laranja (RA2) e Amarelo (RM), além do Preto para a Mancha Urbana.

Quadro 1: Síntese da lógica Booleana aplicada

Compartimento Geomorfológico	Operador Lógico	Pedologia	Condição Booleana	Zona_Risco	Domínio Funcional
Planície Fluvial	**E** (Intersecção)	Organossolo	VERDADEIRO	RA3 (Muito Alto)	Instabilidade estrutural
Morrarias **ou** planícies Aluvionares	**E** (Intersecção)	Latossolo	VERDADEIRO	RA2 (Alto)	Fragilidades agrupadas
Depressão indiferenciada	**E** (Intersecção)	Latossolo vermelho distrófico	VERDADEIRO	RM (Moderado)	Estabilidade Aparente

g) Caracterização climática do município de Araras/SP

Para a caracterização climática do município, foram utilizados dados secundários provenientes da rede de monitoramento do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO), especificamente da estação automatizada instalada no município de Araras/SP. A escolha desta estação ocorreu em função de ser a única estação disponível instalada em Araras. A série temporal analisada compreende o decênio de março de 2016 a março de 2026.

Com Auxílio da Inteligência Artificial Gemini Pro, os dados baixados foram processados para eliminar *outliers* (dados discrepantes) e obter séries estatísticas. Segundo a resolução UNESP n° 13 de abril de 2025, em seu artigo 6°:

> A IA pode ser utilizada nas atividades administrativas, de ensino, pesquisa e extensão da Unesp, desde que observados os princípios estabelecidos nesta Resolução e diretrizes fixadas em normativas específicas... A IA: II - pode ser aplicada na pesquisa para analisar grandes volumes de dados, extrair, reconhecer e identificar padrões complexos, desenvolver modelos e simulações. (Universidade Estadual Paulista, 2025, p. 5).

Após inserir os dados tabulados na IA, foi utilizado o seguinte prompt: “Analise os dados climáticos inseridos e crie um protocolo para tratamento de dados discrepantes”.

Para o tratamento das inconsistências instrumentais detectadas na série da temperatura de 2022, utilizou-se um protocolo de processamento automatizado via linguagem Python. O algoritmo lógico consistiu na identificação de *outliers* fora do

intervalo operacional de 0 °C < 45 °C e sua subsequente substituição pela média climatológica mensal do respectivo período.

Visando uma melhor acurácia e minimizar erros comuns em séries históricas de estações automáticas, os dados brutos foram submetidos a um tratamento estatístico via linguagem de programação Python (biblioteca *Pandas*) através do algoritmo descrito no quadro 2.

Quadro 2: Algoritmo em Python para tratamento de inconsistências e análise descritiva.

```
import pandas as pd
import numpy as np

# 1. Filtro de Consistência Geográfica (Limites para Araras/SP)
def tratar_outliers(valor, media_mes):
    if valor < 0 or valor > 45: # Critério de erro instrumental
        return media_mes
    return valor

# 2. Imputação por Média Climatológica Mensal
df['Temp_Tratada'] = df.apply(lambda x: tratar_outliers(x['Temp'],
media_historica_mes), axis=1)

# 3. Geração de Estatísticas Descritivas
estatisticas = df[['Temp_Tratada', 'Precipitacao']].describe()
print(estatisticas)
```

Fonte: Wilks, 2011.

Foram identificados *outliers* térmicos (anomalias de leitura) no segundo semestre de 2022, os quais foram tratados por meio da técnica de imputação por média climatológica mensal, preservando a consistência da variabilidade interanual sem comprometer a média aritmética da série (WILKS, 2011).

Após esses procedimentos, foi pedido à IA que gerasse o balanço hídrico com base na metodologia de Thornthwaite *et. al* (1955), bem como gerar gráficos isolados para pluviometria, média de temperatura e média de umidade do ar. A IA retornou um código python para gerar o balanço, evidenciado no quadro 3.

Quadro 3: Prompt para geração do balanço hídrico.

```
# Cálculo do Balanço Hídrico Sequencial (Thornthwaite & Mather, CAD=100)
# Para cada intervalo de tempo:
# Se (P - ETP) >= 0:
#    Armazenamento = min(CAD, Arm_anterior + (P - ETP))
#    Excedente = (Arm_anterior + (P - ETP)) - CAD (se > 0)
# Senão:
#    Armazenamento = Arm_anterior * exp((P - ETP) / CAD)
#    Déficit = ETP - (P + (Arm_anterior - Armazenamento))
```

Fonte: Mather et.al, 1955.

A análise da dinâmica hídrica de Araras foi realizada por meio do modelo de Balanço Hídrico Climatológico Sequencial, proposto por Thornthwaite e Mather (1955). Este método permite quantificar a disponibilidade de água no solo e os períodos de excedente ou déficit hídrico.

Variáveis Utilizadas:

- Precipitação (P): Dados mensais acumulados da estação CIIAGRO Araras.
- Temperatura Média (T)**:** Utilizada para o cálculo da Evapotranspiração Potencial (ETP).
- Capacidade de Água Disponível (CAD)**:** Fixada em 100 mm, valor representativo para os Latossolos e Argissolos predominantes no município sob manejo agrícola e pastagens.

Etapas do Processamento:

O processamento foi executado via algoritmo em linguagem Python, seguindo as etapas lógicas sequenciais:

1. Diferença (P - ETP): Identificação mensal da entrada e saída de água.
2. Armazenamento (ARM): Cálculo da reserva de água no solo.

- Quando P > ETP: o solo recarrega até atingir o limite da CAD.
- Quando P < ETP: o solo perde água conforme uma curva exponencial de depleção.

3. Evapotranspiração Real (ETR): Quantidade real de água que retorna à atmosfera, limitada pela disponibilidade hídrica no solo.

4. Deficiência Hídrica (DEF): Diferença entre o que a atmosfera demanda (ETP) e o que o geossistema conseguiu fornecer (ETR).
5. Excedente Hídrico (EXC): Volume de água que excede a CAD, ficando disponível para o escoamento superficial e recarga de aquíferos.

Os dados obtidos pós processamento estão apresentados no quadro 4.

Quadro 4: Dados Obtidos do Balanço Hídrico.

Ano	Precipitação (P)	ETP (mm)	Déficit (DEF)	Excedente (EXC)
2017	1.182,08 mm	1.192,57 mm	142,73 mm	156,28 mm
2018	1.267,91 mm	1.199,65 mm	101,41 mm	192,32 mm
2019	1.182,21 mm	1.217,20 mm	153,09 mm	145,06 mm
2020	1.546,47 mm	1.208,81 mm	64,54 mm	382,28 mm
2021	1.426,25 mm	1.199,92 mm	21,65 mm	218,16 mm
2022	1.426,84 mm	1.202,85 mm	128,22 mm	373,31 mm
2023	1.416,52 mm	1.235,66 mm	104,55 mm	304,29 mm
2024	1.231,09 mm	1.197,74 mm	173,57 mm	187,62 mm
2025	1.451,81 mm	1.190,22 mm	60,26 mm	331,15 mm

Fonte: CIIAGRO, 2026.

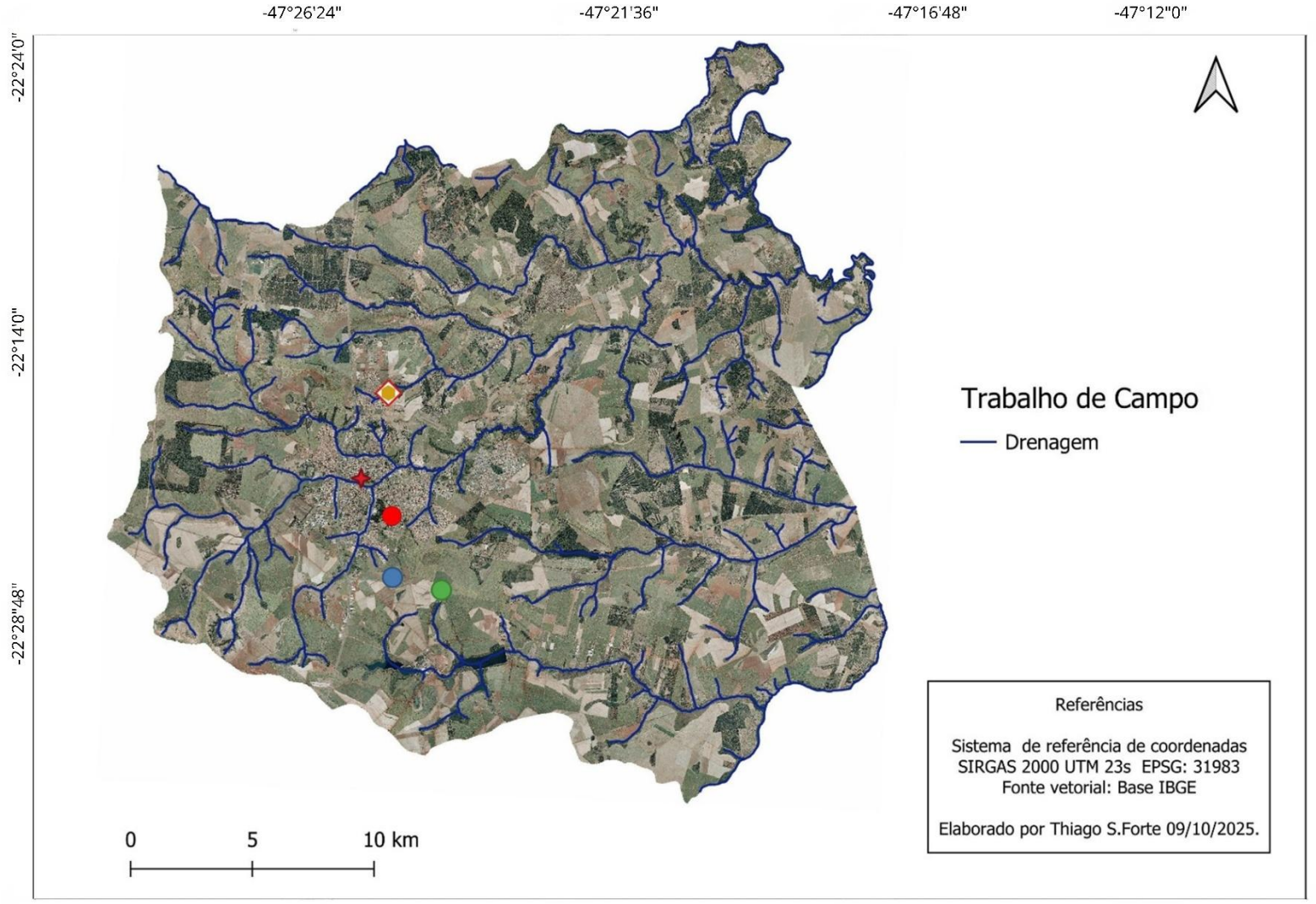
Em conformidade com a **Resolução Unesp nº 13/2025**, o tratamento estatístico e a codificação do modelo de balanço hídrico foram realizados com o suporte de ferramentas de Inteligência Artificial para otimização algorítmica. A validação técnica dos limites geográficos e a interpretação dos resultados ficaram a cargo do autor, garantindo o rigor científico do diagnóstico ambiental.

h) Trabalho de campo

Para verificar e validar as informações mapeadas, foi realizado trabalho de campo no dia 18 de outubro de 2025. O IGCE - UNESP de Rio Claro disponibilizou o transporte e o Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental (DGPA) forneceu um drone para a obtenção de imagens de vários setores do espaço geográfico de Araras.

Previamente, foi realizado o planejamento de campo, estabelecendo-se rotas e áreas representativas de pelo menos um tipo de cada geossistema mapeado (figura 12). Para nos guiar nos trajetos, a Socióloga e professora de Geografia da SEDUC-SP (Secretaria de Educação), Carolina Gomes, nos acompanhou. A professora Carolina foi fundamental para este campo, pois ela conhece os acessos pela zona rural do município, por ser também atleta amadora de ciclismo. (figura 13).

Figura 12: Locais definidos para o trabalho de campo



Fonte: O Autor, 2026

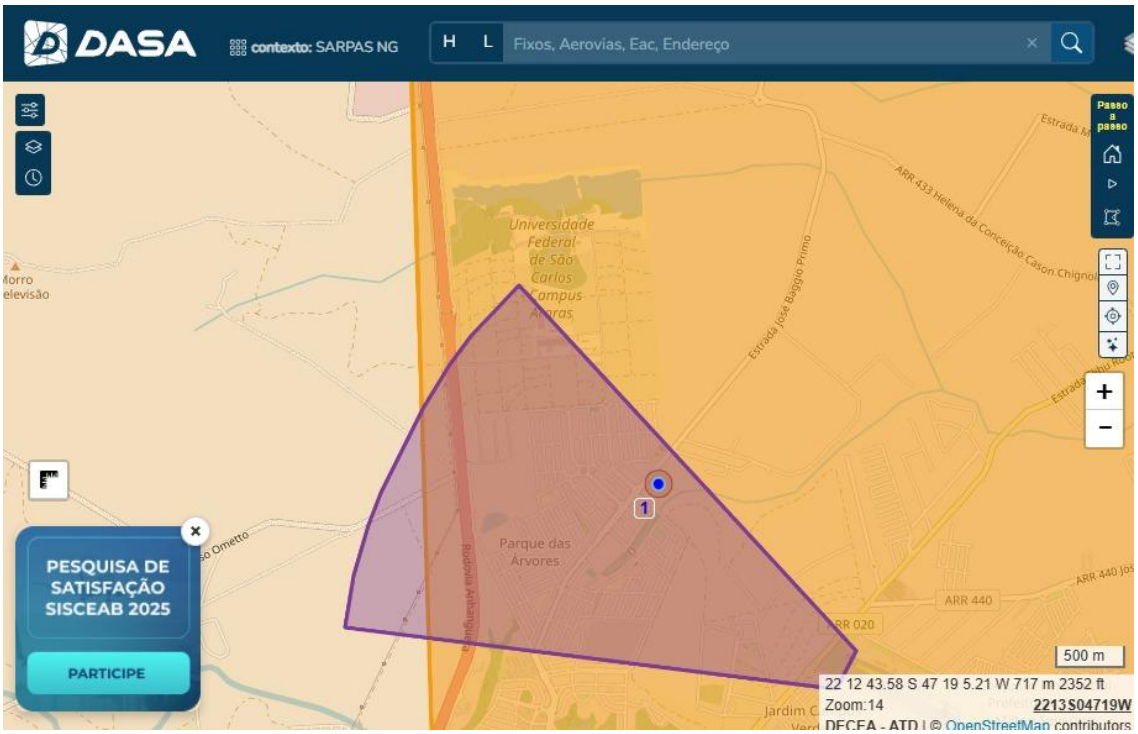
Figura 13: Equipe em trabalho de campo



Fonte: o Autor, 2025.

Para o manuseio do drone, foi convidado o mestrando do PPGG Gabriel Alexandre Renó Rodrigues. Primeiramente, foi estabelecido um plano de voo (figura 19); em seguida, foi solicitada a autorização à ANAC, pois há restrições em determinadas áreas, principalmente na área urbana e próximo ao aeroporto municipal. Além disso, mesmo inativo para voos comerciais, alguns aviões de pequeno porte operam na área, principalmente, para monitorar a atividade agrícola.

Figura 14: Triangulação da área de voo



Fonte: Drone Airspace Safety Application (DASA), 2025.

O modelo do drone utilizado foi o DJI MAVIC AIR 2 DRDJI016 Enterprise Advanced, conforme figura 16. Esse equipamento é operado remotamente através de um joystick com tela Led e controles avançados de navegação.

Figura 15: Drone utilizado no Campo



Fonte: o Autor, 2025.

A aplicação dos procedimentos descritos neste capítulo resultou em um conjunto de dados que serão apresentados no capítulo 5, desta forma, buscamos não

limitar a análise do levantamento cartográfico e do trabalho de campo à uma mera descrição, mas à promoção de uma síntese crítica acerca do território de Araras.

CAPÍTULO 4
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos através do desenvolvimento desta pesquisa, destacando-se os aspectos fisico-naturais e antrópicos do município de Araras e a análise integrada das variáveis temáticas. Essas etapas foram fundamentais para a elaboração do mapa de geossistemas com vistas ao adequado planejamento do território.

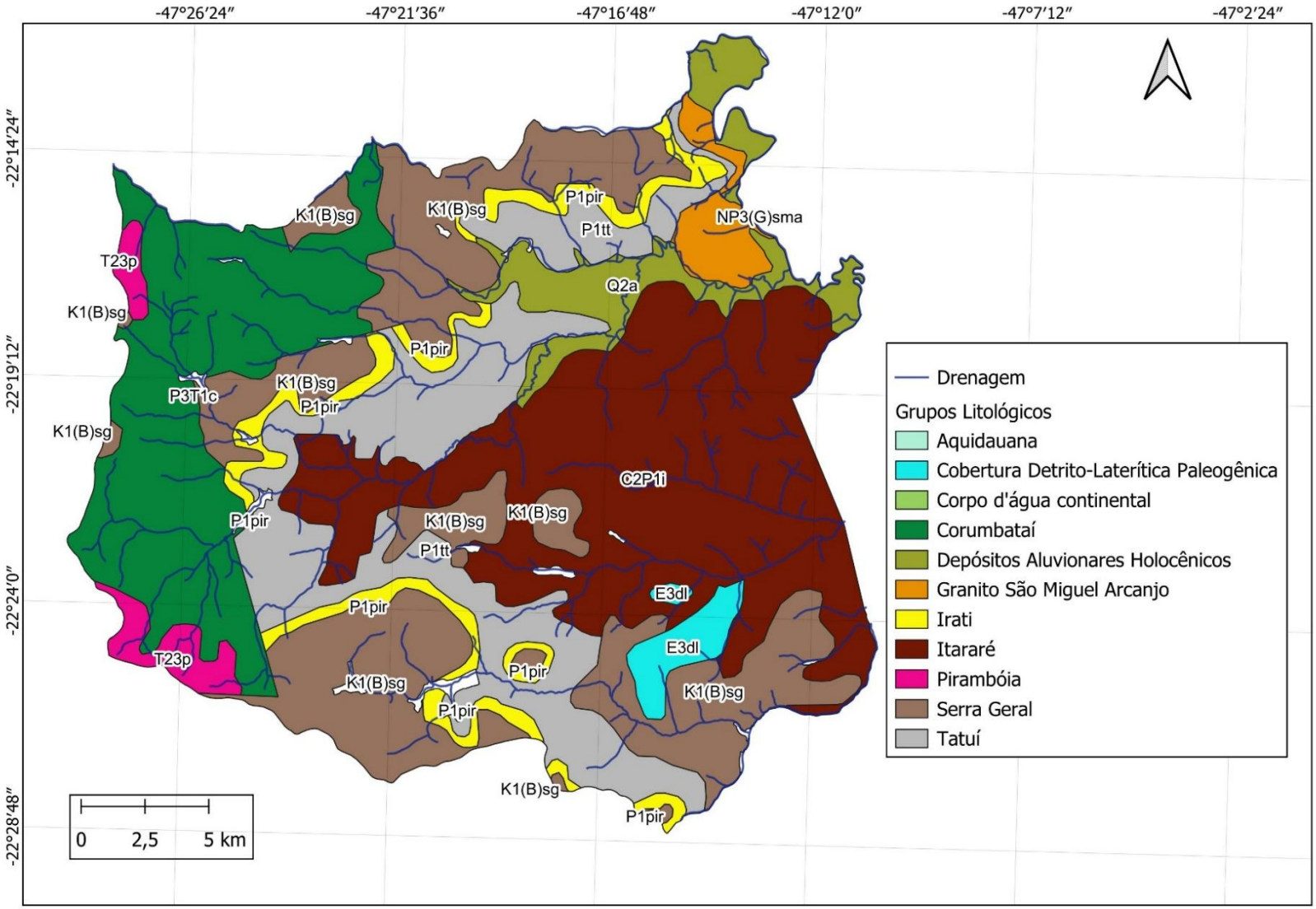
4.1 Aspectos da Litoestrutura do município de Araras/SP

A base litoestrutural de uma área assume um papel crucial na definição e classificação no mapeamento de unidades geossistêmicas. A base litoestrutural é responsável pelos processos de erosão diferencial e pelo controle morfotectônico e, em algumas circunstâncias, pode determinar os limites de um geossistema. (Marques Neto, 2021).

Para Souza *et al.* (2005), a Geologia de Araras está inserida no contexto da Bacia do Paraná, sendo constituída por formações desde o Paleozóico até o Cenozóico. (figura 17).

> A geologia da Quadrícula de Araras (SP) está inserida na Supersequência Gondwana I, a qual inclui formações do Carbonífero, do Permiano e do eo-Triássico; na Supersequência Gondwana III (Formação Serra Geral, soleiras de diabásio), além de formações do Terciário e depósitos aluvionares. (Souza *et al.* 2005, p. 3).

Figura 16: Litoestrutura de Araras-SP



Fonte: IBGE 2010

Com base no mapa da figura 16, verifica-se que Araras está inserida no domínio morfotectônico da Bacia do Paraná, uma sinéclise interior. A área abrange as seguintes formações litoestruturais:

- ✓ Q2a-Depósitos aluvionares: constituído de depósitos nas margens, fundos de canais e planícies de inundação; além de materiais arenosos, cascalheiras, siltes, argilas e, localmente turfas, resultantes dos processos de erosão, transporte e deposição. (CPRM, 2006).
- ✓ K1Bsg-Serra Geral: a Formação Serra Geral é resultado de intenso magmatismo fissural, representado na forma de uma espessa cobertura de lavas, com cerca de 1.500 metros de espessura junto ao depocentro da bacia, associado a uma extensa rede de diques e múltiplos níveis de soleiras. São constituídos principalmente por basaltos tholeiíticos e andesi-basaltos tholeiíticos, com augita e pigeonita, perfazendo aproximadamente 90% do volume total das rochas extrusivas. Subordinadamente ocorrem andesitos tholeiíticos, riodacitos e riolitos:

> As rochas basálticas são compostas por fenocristais de augita, plagioclásio, pigeonita, alguma titanomagnetita e rara olivina, em matriz composta por estes mesmos minerais. As rochas intermediárias contêm fenocristais de augita, plagioclásio, pigeonita e titanomagnetita em matriz de plagioclásio, augita, pigeonita, titanomagnetita, ilmenita e quartzo. As rochas ácidas apresentam fenocristais de plagioclásio, que podem perfazer até 30% do volume da rocha, além de outros de augita, pigeonita e titanomagnetita em matriz de quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio, piroxênios, titanomagnetita e ilmenita. (CPRM, 2006, p. 168).

- ✓ T23p-Formação Piramboia: constituída, em essência, por arenitos médios e finos com cores esbranquiçadas, avermelhadas e alaranjadas, com geometria lenticular bem desenvolvida. (CPRM, 2006).
- ✓ NP3Gsa-Granito São Miguel Arcanjo: Intrusivas Básicas tabulares – Soleiras diabásicas. (CPRM, 2006, Souza et al., 2005).
- ✓ P1pr-Formação Tatuí: formada por depósitos marinhos com estratificação plano-paralela, predominando siltitos, arenitos finos em parte concrecionados, calcários, sílex; cor vermelha arroxeada na parte inferior e esverdeada na parte superior. (CPRM, 2006, Souza etal. 2005).
- ✓ C2p1i-Formação itararé: esse Grupo, em conjunto com a Formação Aquidauana (C2P1a), representa a porção basal transgressiva da super sequência Gondwana I, de idade carbonífera-eotriássica, com sedimentação glácio-marinha. O grupo compreende depósitos glaciais, continentais, glacio-marinhos, fluviais, deltaicos,

lacustres e marinhos, compreendendo principalmente arenitos de granulação variada, imaturos, passando a arcóseos; conglomerados, diamictitos, filitos, siltitos, folhelhos e ritmitos. (CPRM, 2006, Souza et al., 2005).

- ✓ A base litológica do município de Araras, interpretada como o componente invariante do geossistema segundo a concepção de Sotchava, apresenta um arranjo complexo típico da borda da Bacia do Paraná, marcado pelo intenso magmatismo da Formação Serra Geral (Juro-Cretáceo) sobre as sequências sedimentares permianas.

O mapa Geológico (Figura 16) evidencia um padrão de intrusões de sills e diques de diabásio (Fm. Serra Geral) que cortam as rochas sedimentares siltico-argilosas da Formação Corumbataí e os siltitos arenosos das Formações Tatuí e Irati. Este dualismo litológico exerce controle direto sobre a morfogênese regional: as rochas intrusivas básicas, mais resistentes ao intemperismo físico-químico, sustentam os topos e rupturas de declive, enquanto as fácies sedimentares foram dissecadas para formar as rampas coluvionares suaves.

Para esta pesquisa, o interesse crucial é a unidade de Depósitos Aluvionares Holocênicos, mapeada ao longo da rede de drenagem. Constituída por sedimentos clásticos inconsolidados e material orgânico em ambiente de sedimentação recente, esta unidade forma o substrato físico sobre o qual evoluem os Organossolos Háplicos. A baixa coesão litológica destes depósitos, associada à sua posição na cota altimétrica basal, confere a este subsistema uma elevada vulnerabilidade à erosão mecânica fluvial, processo exacerbado pelas alterações hidrodinâmicas impostas pelos usos da terra nas vertentes adjacentes.

4.2 Características Geomorfológicas de Araras/SP

Para Marques Neto (2021), o relevo figura entre os elementos invariantes de um geossistema. De acordo com o autor, a diferenciação elementar de compartimentos geomorfológicos diferentes pode ser a base fundamental para classificação de geossistemas regionais. Outrora, o material transportado pelos rios ou retidos em canais de forma residual, demonstra como os processos operaram nas

vertentes em articulação com as paisagens. Desta forma, a paisagem dissecada pelos rios forma depósitos nas planícies fluviais e em forma de carga de fundo.

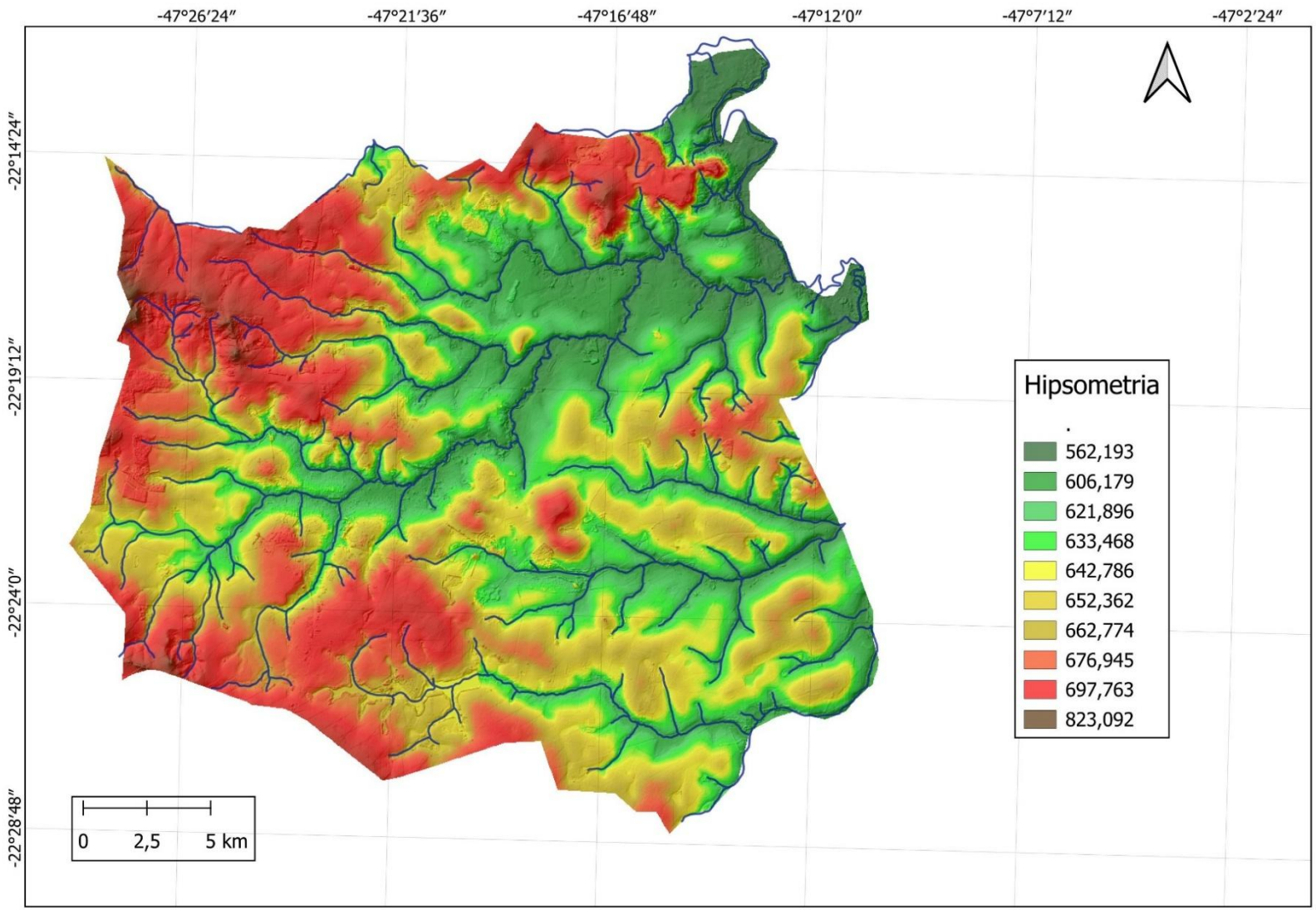
Brierley et al. (2005) apud Marques Neto (2022), apresenta a concepção metodológica versada nos termos dos estilos fluviais, que classifica segmentos de rios que apresentam características geomorfológicas e hidrodinâmicas próprias, onde há três classes distintas de estilo fluvial:

1. Confinado - Áreas de forte controle estrutural com traçado do rio acompanhando o alinhamento do vale;
2. Parcialmente confinado - Vales com planícies descontínuas irregulares;
3. Não confinado - Vales mais largos, com planícies contínuas e bem desenvolvidas.

> Cada um dos estilos fluviais supraexpostos mostra diferentes interações entre o rio e a paisagem. O estilo 1, confinado, ocorre em contextos de forte controle tectonoestrutural, dissecados por canais caracterizados por incisão vertical pronunciada, normalmente com correntes de considerável energia e baixa estocagem sedimentar. Em condição de vale parcialmente confinado, pressupõe-se uma maior evolução lateral da paisagem, com um relevo que tende a um maior rebaixamento e a uma diminuição de energia, aqui notada pelas zonas de acumulação que se formam. Os vales abertos, de estilo não confinados, caracterizam paisagens já mais rebaixadas, tendendo a uma topografia mais monótona e uma transferência de matéria e energia das vertentes para o canal em menor intensidade, o que resulta em morfologias agradacionais mais expressivas. (Marques Neto, 2022, p. 159).

Desta forma, O relevo de Araras se apresenta com características predominantes do item 3 - não confinado, com planícies contínuas e bem desenvolvidas. As maiores elevações são predominantes na porção Noroeste, além da Sudoeste e Norte.

Figura 17: Mapa Hipsométrico do município de Araras/SP



Fonte: IBGE, 2010.

O mapa de Hipsometria é importante, pois fornece informações sobre a variação de altitude do relevo do território de interesse. A amplitude altimétrica está diretamente relacionada com o aprofundamento da dissecação do relevo de determinada área. Quanto maior a amplitude, maior a incidência de energia potencial, onde as águas pluviais adquirem maior energia cinética em seu percurso rumo as partes mais baixas. (Crepani *et al.,* 1996).

Com relação ao relevo de Araras, o mapa da figura 17 evidencia que este não apresenta considerável amplitude altimétrica, pois a cota mínima é de 562,2 metros e a máxima é de 823,1 metros de altitude, portanto, a amplitude máxima é de 260,9 metros de altitude. Para Christofoletti (1963), o município de Araras está localizado próximo da borda ocidental da Depressão Periférica Paulista. Ab'Saber (1969, p.1) caracteriza a Depressão Periférica Paulista como um compartimento geomorfológico, originado por processo denudacional, que é um processo glibtogenético de desbastamento, arrastamento das formas de relevo mais salientes pelo efeito conjugado de diferentes agentes erosivos.

> Procurando redefinir o termo circundesnudação como expressão geomorfológica, a fim de poder aplicá-lo ao estudo do relevo brasileiro, devemos dizer que entendemos por tal fenômeno o processo de formação de patamares de erosão, deprimidos e periféricos, na borda de bacias sedimentares. Trata-se de um velho conceito usado pelos geógrafos franceses para exprimir, em termos de Geomorfologia, o conjunto de fenômenos de desnudação periférica que se verificam, após fases de epirogênese positiva, nas bordas de sinclinais entulhadas. (Ab'Saber, 1949, p. 72).

A Depressão Periférica pode ser dividida em três zonas: Zona do médio Tietê, Zona do Mogi-Guaçu, e Zona do Paranapanema. (Bernadelli, 2019). Neste contexto, o relevo da área de estudos se encontra na Zona do Mogi-Guaçu, caracterizado por Almeida (1964, p. 61) da seguinte maneira:

> O relevo predominante na zona é o de campos extremamente uniformes, com vales amplos, poucos profundos, abrigando cursos d'água em cujas margens são frequentes pequenas planícies aluviais arenosas, bem como alguns terraços. As variadas litologias do Grupo tubarão quase nada se refletem nesse relevo suave, cuja monotonia só é rompida, em alguns lugares, pela presença de morros de modesta altura, indicando sítios de maiores intrusões de diabásio. (Almeida, 1964, p. 61).

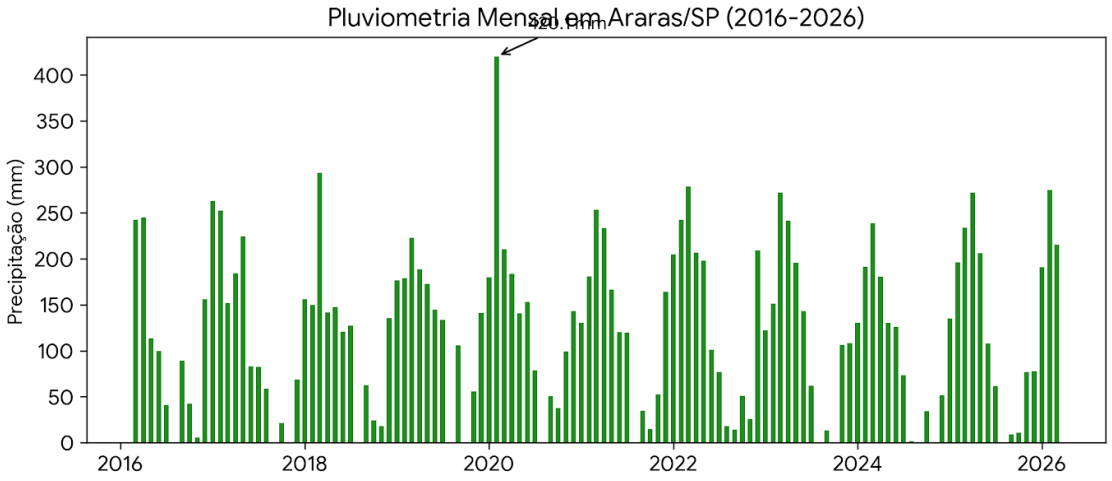
Assim, verifica-se que a configuração do relevo no município de Araras é fruto das características apresentadas, bem como da ação climática, que será abordada no item subsequente.

4.2.1 Aspectos Climáticos

O regime pluviométrico de Araras reflete a tipologia climática Tropical de Altitude (*Cwa/Cfa*), caracterizada por uma acentuada sazonalidade. No período de 2016 a 2026, a média de precipitação para o trimestre de verão (dezembro, janeiro e fevereiro foi de 169,7 mm, enquanto o período do inverno apresentou médias de 70,2 mm.

Sob a ótica da teoria do geossistêmica (Sotchava, 1978), a paisagem de Araras opera em um equilíbrio dinâmico, que é periodicamente testado por eventos isolados de energia hídrica que destoam da média geral. Houve um evento pluviométrico em fevereiro de 2020, que registrou um acumulado excepcional de 420,1 mm. Este evento representa um marco na série analisada, pois seu volume, superior ao dobro da média mensal esperada, atuou como um agente de aceleração dos processos morfodinâmicos, aumentando o transporte de sedimentos nas vertentes de maior declividade. Vale salientar, que os dados climáticos apresentados não fizeram parte das camadas temáticas para a elaboração do mapa síntese, tendo sido fundamentalmente utilizados para a compreensão teórica do funcionamento termodinâmico dos geossistemas. (figura 18).

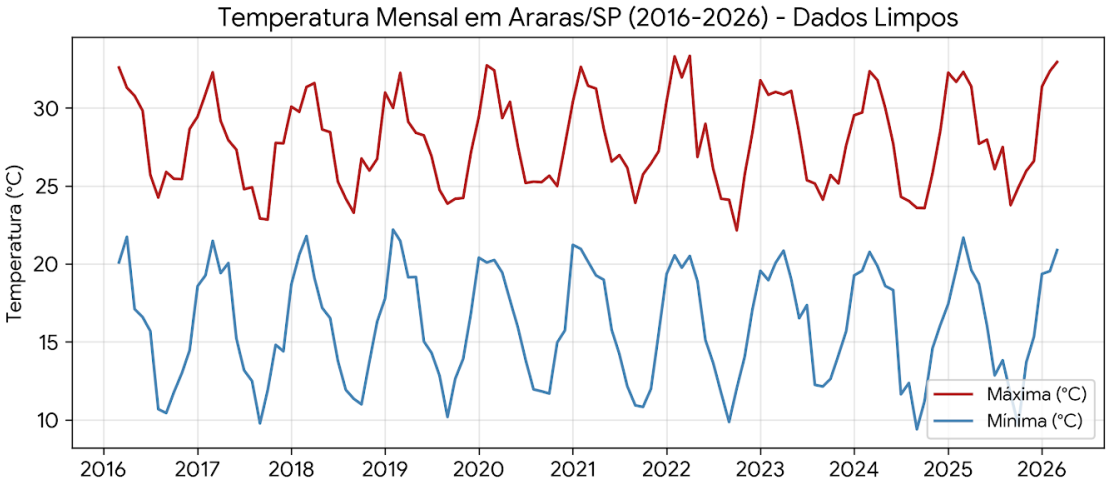
Figura 18: Distribuição pluviométrica mensal e destaque para o pico de 2020



Fonte: CIIAGRO, 2026.

Em relação as variações térmicas, as médias corrigidas de temperatura máxima e mínima, de 27,8 °C e 16,1 °C, respectivamente, indicam uma estabilidade que mascara picos de estresse hídrico. (figura 19).

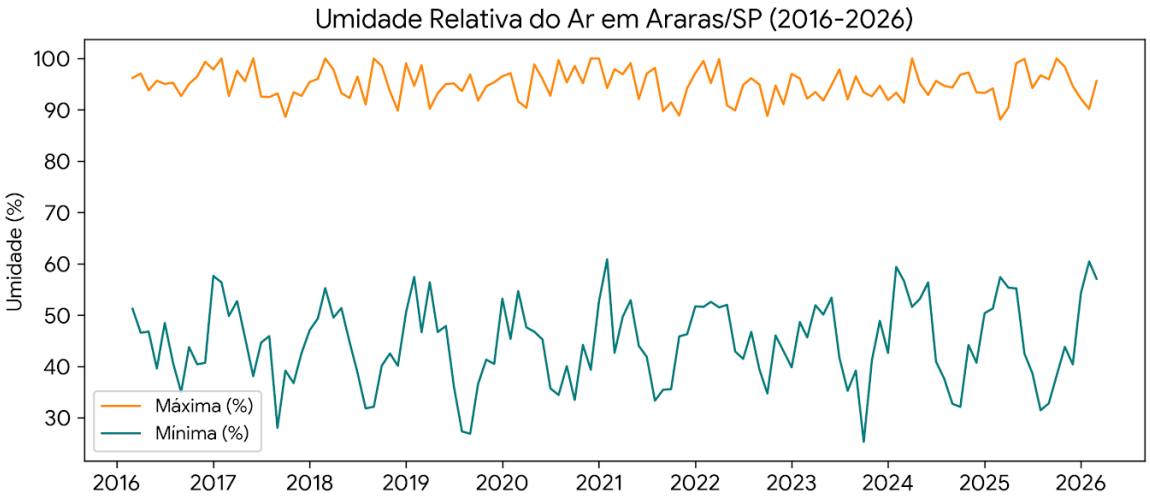
Figura 19: Séries históricas de temperatura em Araras/SP (2016-2026)



Fonte: CIIAGRO, 2026.

Com relação a umidade relativa do ar, a queda sistemática em períodos de estiagem, frequentemente atingindo valores inferiores a 40%, configura um cenário de vulnerabilidade para as unidades de paisagens locais, favorecendo a degradação da biomassa e a ocorrência de focos de incêndio em áreas de transição entre o uso agrícola e os remanescentes naturais. No ano de 2024, ano marcado por estresse hídrico, ocorreram vários focos de incêndio no município, pois o clima seco daquele ano favoreceu a ocorrência de sinistros. (figura 20).

Figura 20: Comportamento da umidade relativa do ar no decênio analisado

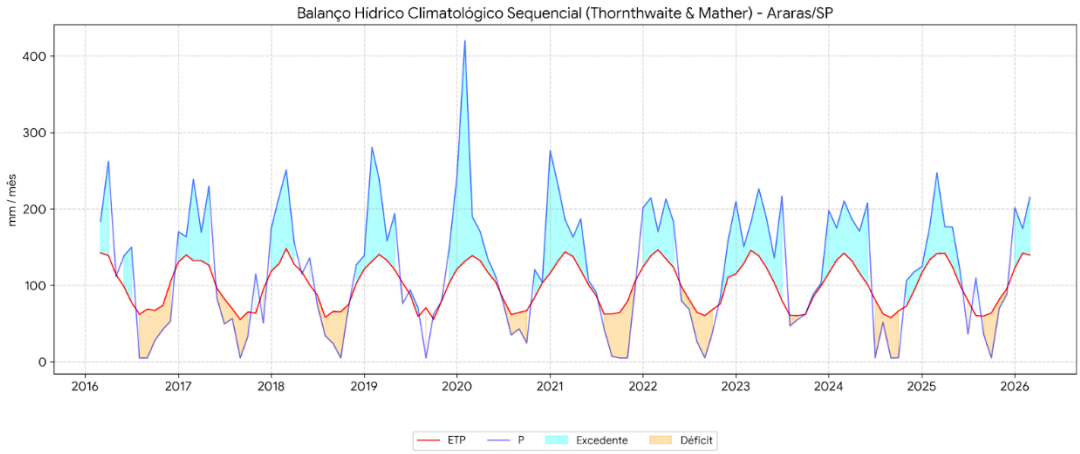


Fonte: CIIAGRO, 2026.

A configuração climática de Araras é atrelada à sua compartimentação morfopedológica, que estabelece as trocas de matérias e energia entre os subsistemas, e embasam a formulação de diretrizes para o planejamento territorial e a definição de áreas de risco ambiental.

O balanço hídrico revela que houve um excedente hídrico em 2020 com um acumulado médio de 382,28mm. O mês de fevereiro representou um evento isolado na média histórica que influenciou diretamente neste acumulado. Neste cenário, a dinâmica da paisagem indica uma morfogênese acelerada. O escoamento superficial ganha competência erosiva, atuando como o principal agente modelador no relevo do município. A saturação do solo indica que nesse período não houve apenas recarga do nível freático o que impactou na disponibilidade hídrica, mas também intensificou o transporte de sedimentos. (figura 21).

Figura 21: Balanço Hídrico do município de Araras



Fonte: CIIAGRO, 2026.

O ano de 2024 se apresentou como uma desordem atípica da dinâmica hídrica na série temporal, com um déficit acumulado de 173,57mm. Este estresse hídrico prolongado, indica que houve uma retração na atividade biológica para este período. A evapotranspiração real, limitada pela baixa reserva de água no solo (CAD 100 mm), induz o geossistema a um estado de dormência e dessecação da biomassa, especialmente nos fragmentos de vegetação nativa de remanescentes.

Este déficit não é apenas um dado climatológico, mas um fator de vulnerabilidade ambiental. A redução da umidade nos geossistemas de Araras durante este período eleva drasticamente o risco de incêndios e a degradação de solos expostos. A análise demonstra que a resiliência da paisagem local é testada pela severidade desses períodos secos, que exigem estratégias de manejo e conservação mais robustas para mitigar a perda de biodiversidade e a erosão eólica.

Tabela 3: Síntese Climática de Araras (2016-2026)

Variável	Valor/Padrão Observado
Precipitação Máxima Mensal	420,1 mm (Fev/2020)
Média Mensal (Verão)	≈169,7 mm
Média Mensal (Inverno)	≈70,2 mm
Temperatura Máxima Corrigida	27,8◦C (Média da série)

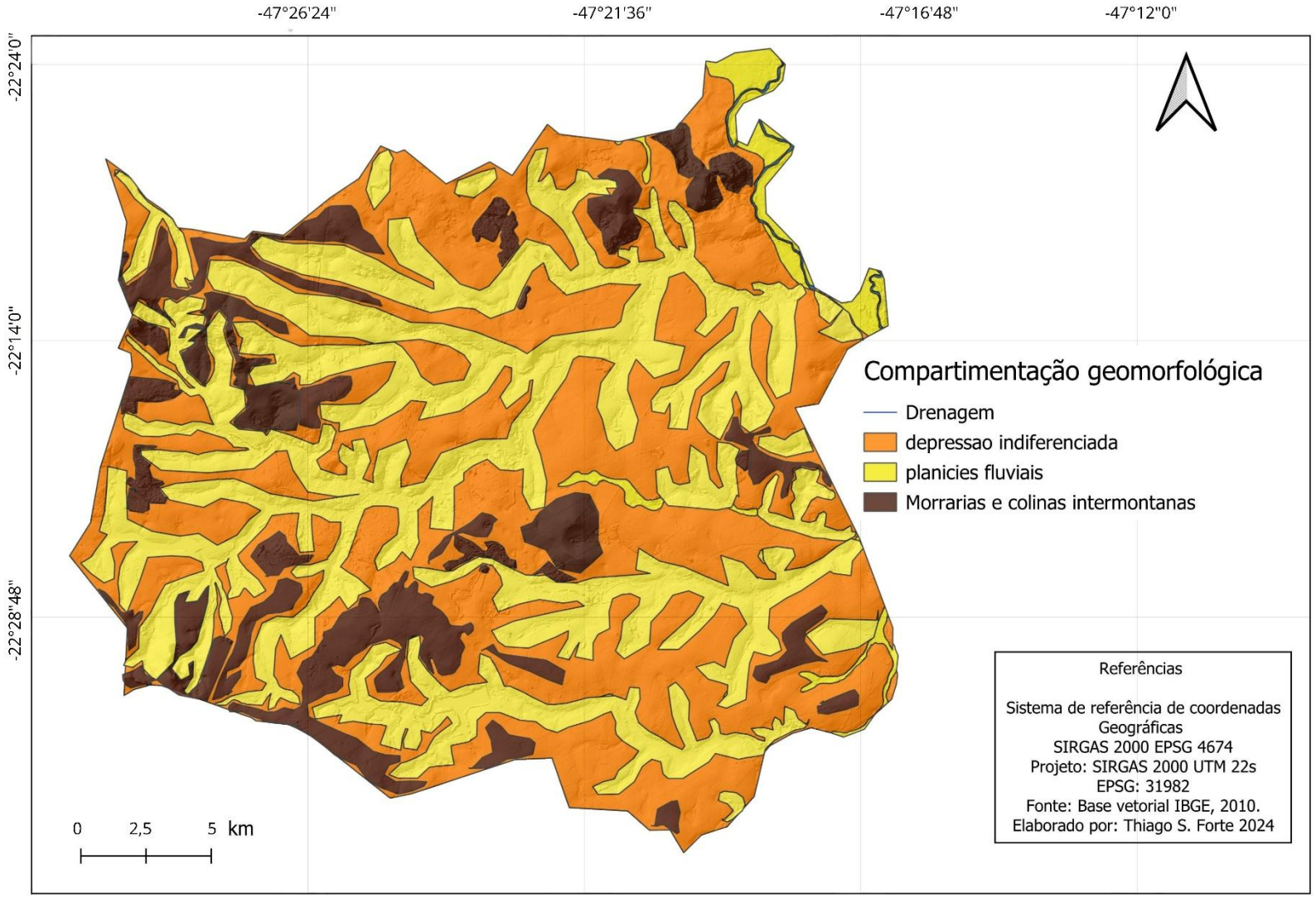
Fonte: O Autor, 2026.

Segundo Monteiro (1973), as massas de ar que atuam nessa unidade geomorfológica são: massa polar atlântica (mPa), massa tropical atlântica (mTa), massa equatorial continental (mEc) e massa tropical continental (mTc):

4.2.2 Compartimentação geomorfológica

A compartimentação geomorfológica de Araras apresenta domínio da depressão indiferenciada, com algumas colinas. Desta forma, o relevo favorece o cultivo de monoculturas por facilitar o trânsito de insumos e maquinários agrícolas. (Figura 22).

Figura 22: Compartimentação Geomorfológica do município de Araras/SP



Elaboração: Forte, 2023. Fonte: IBGE, 2010.

A compreensão da evolução geomorfológica e da dinâmica superficial no município de Araras perpassa, necessariamente, pela análise dos estados de equilíbrio e ruptura do meio físico, sintetizados na teoria da Bio-rexestasia de Erhart (1956). Segundo esta formulação, a paisagem alterna-se entre períodos de Biostasia e rexestasia, conceitos que fundamentam a análise ecodinâmica proposta por Tricart (1977) para a classificação da estabilidade dos meios.

Nos períodos de Biostasia, a presença de uma cobertura vegetal densa e contínua atua como um agente regulador do sistema, minimizando o escoamento superficial direto e privilegiando a infiltração. Sob tais condições, a morfogênese (processos erosivos) é suplantada pela pedogênese (formação de solos), resultando no desenvolvimento de perfis pedológicos profundos como os Latossolos identificados nesta pesquisa sobre o substrato da Formação Serra Geral.

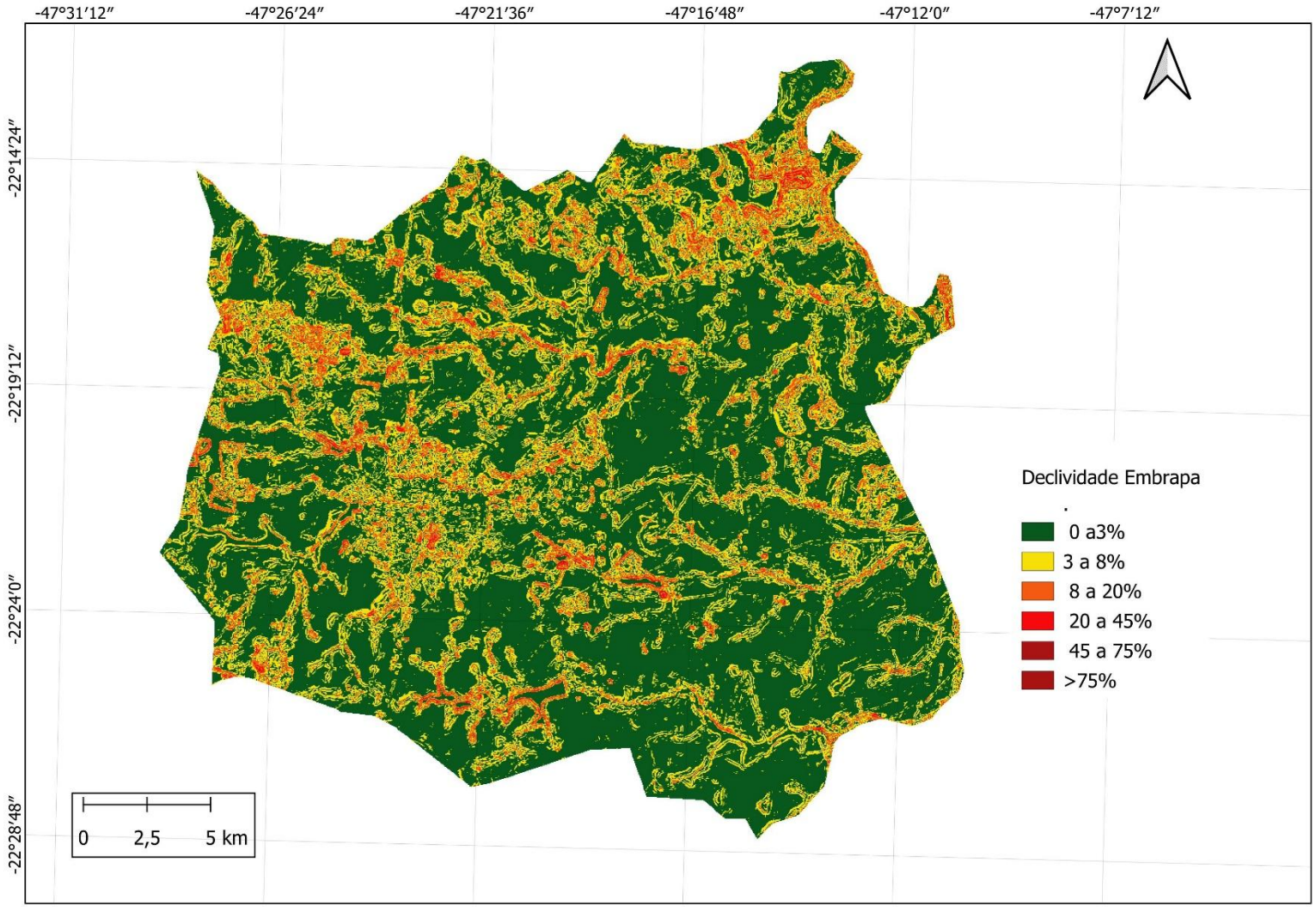
Em contrapartida, os episódios de rexestasia caracterizam-se pela ruptura desse equilíbrio biológico, frequentemente associada a mudanças climáticas ou, contemporaneamente, à intervenção antrópica desordenada. Com a degradação da cobertura vegetal, a energia das chuvas incide diretamente sobre o solo, deflagrando processos de erosão mecânica e transporte de material detrítico.

No cenário de Araras, a análise do mapa clinográfico revela que a intensidade desses processos é potencializada pela declividade, onde o gradiente topográfico acelera a transferência de sedimentos e a dissecação do relevo, transformando meios outrora estáveis em unidades de instabilidade ecodinâmica (Tricart, 1977).

4.2.3 Declividade

O predomínio das classes de declividade Plana (0-3%) e suave ondulada (3-8%) confere à região alta aptidão à mecanização agrícola intensiva. Esta configuração topográfica gera rampas de escoamento longas e contínuas nos interflúvios. A rede de drenagem, marcada pelas faixas de declividade ondulada (8-20%) encontra-se encaixada neste modelo suave. Este cenário geomorfológico facilita a convergência de fluxos superficiais difusos em direção aos talvegues. (figura 23).

Figura 23: Mapa de Declividade do Município de Araras/SP



Elaboração: Forte, 2023. Fonte: IBGE, 2010.

A ausência de rugosidades severas (escarpas/montanhas), resultou na supressão quase total da vegetação original, transferindo para os Organossolos de fundo de vale a função final de receptores de toda a carga sedimentar mobilizada nas vertentes de baixa declividade.

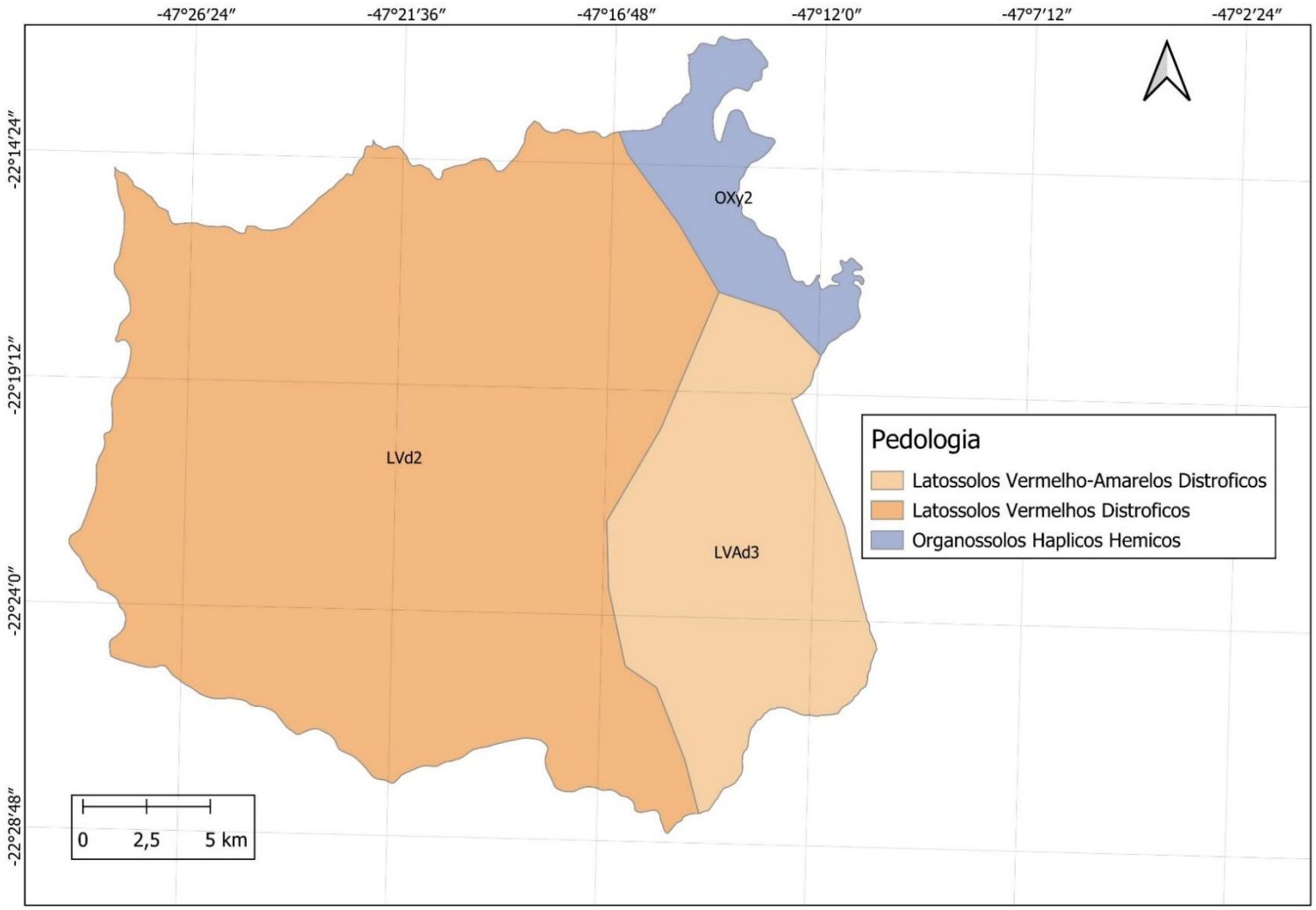
4.3 Aspectos pedológicos do município de Araras/SP

A maior parte da biomassa da Terra está sobre as formações superficiais, ou seja, os solos, os usos e coberturas e todo o potencial ecológico reside na superfície terrestre. Com base no mapa pedológico (figura 24), pode-se inferir que a área de estudos possui predominância de latossolos vermelhos distróficos. Geralmente, este tipo de solo contém altos teores de óxidos de ferro presentes no material originário. Os latossolos de forma geral, são solos bem drenados com baixa fertilidade natural, necessitando de correção da acidez para uso agrícola. São solos que possuem alta porosidade, permitindo boa infiltração de água e aeração. Também, se caracterizam por solos de regiões de relevo plano e suave ondulado, favorecendo a mecanização agrícola. (Embrapa, 2021).

Além desse, a área de estudo abrange o latossolo amarelo, que apresenta características físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade, sendo intensivamente utilizados para culturas de cana-de-açúcar e pastagens, e em menor escala, para cultivo de mandioca e citros; e áreas de reflorestamento com eucalipto. Sendo assim, este solo é favorável à mecanização agrícola e não é tão susceptível à erosão, entretanto, problemas de compactação podem limitar a utilização deste tipo de solo. O seu enraizamento é limitado em profundidade por ser álico ou distrófico, e devido à elevada coesão dos agregados, pois o solo é muito duro ou extremamente duro no estado seco. (Embrapa, 2021).

Outro tipo de solo existente em Araras, é o Organossolo, o qual é hêmico, caracterizado por uma alta quantidade de matéria orgânica parcialmente decomposta, com ph geralmente ácido com alta capacidade de retenção de água. Esse tipo de solo é comum em áreas úmidas e pode ser encontrado em regiões de pântanos, turfeiras e outras áreas com alta umidade. (Embrapa, 2021).

Figura 24: Mapa Pedológico do Município de Araras



Fonte: IBGE 2019.

4.4 Uso e Cobertura da Terra no município de Araras/SP

Para Turner *et. al* (2007), as mudanças nos usos e ocupação da Terra são as principais fontes de implicações para a mudança ambiental global. Essas mudanças são impulsionadas pela ação antrópica tendo uma ampla importância para a estrutura e funcionamento dos ecossistemas. O desmatamento e a queima de combustíveis fósseis, assim como a irrigação foram os maiores causadores de liberação de gases do efeito estufa na era industrial.

> Informações atuais e precisas sobre o uso do solo são um pré-requisito para o gerenciamento e planejamento de áreas urbanas. Dados de sensoriamento remoto por satélite são geralmente o "mapa" mais preciso e atualizado disponível dos países em desenvolvimento. Especialmente com cidades e vilas de rápido crescimento. Nos países em desenvolvimento, é praticamente o único método que pode acompanhar o crescimento urbano. Para países do terceiro mundo, o sensoriamento remoto provou sua eficácia para atualização de dados espaciais e, particularmente, para fornecer informações geoespaciais precisas e oportunas ilustrando a dinâmica do uso do solo de áreas metropolitanas. (Islam *et. al*, 2016, p. 2).

Segundo Lambin e Geist (2006), o mapeamento da cobertura terrestre está relacionado às propriedades físicas de uma superfície, enquanto o uso da terra está ligado às atividades desenvolvidas pelos seres humanos naquele ambiente. Este tipo de informação é representado em mapas temáticos, através das classes de cobertura de terra. A mudança no uso e cobertura da Terra pode ser entendida como a conversão de uma classe de cobertura em outra. Essas mudanças ocorrem geralmente devido às sazonalidades de cultivos agrícolas, ou mudanças sutis dentro de uma classe.

Os conceitos de uso e cobertura são distintos, entretanto, estão diretamente relacionados, ou seja, podem ocorrer mudanças na cobertura da terra, sem que haja conversão desta em uma outra classe. Essas mudanças podem ocorrer tanto por vias antrópicas (que estão diretamente relacionadas ao contexto social local), quanto por vias de processos naturais. (Diniz, 2021).

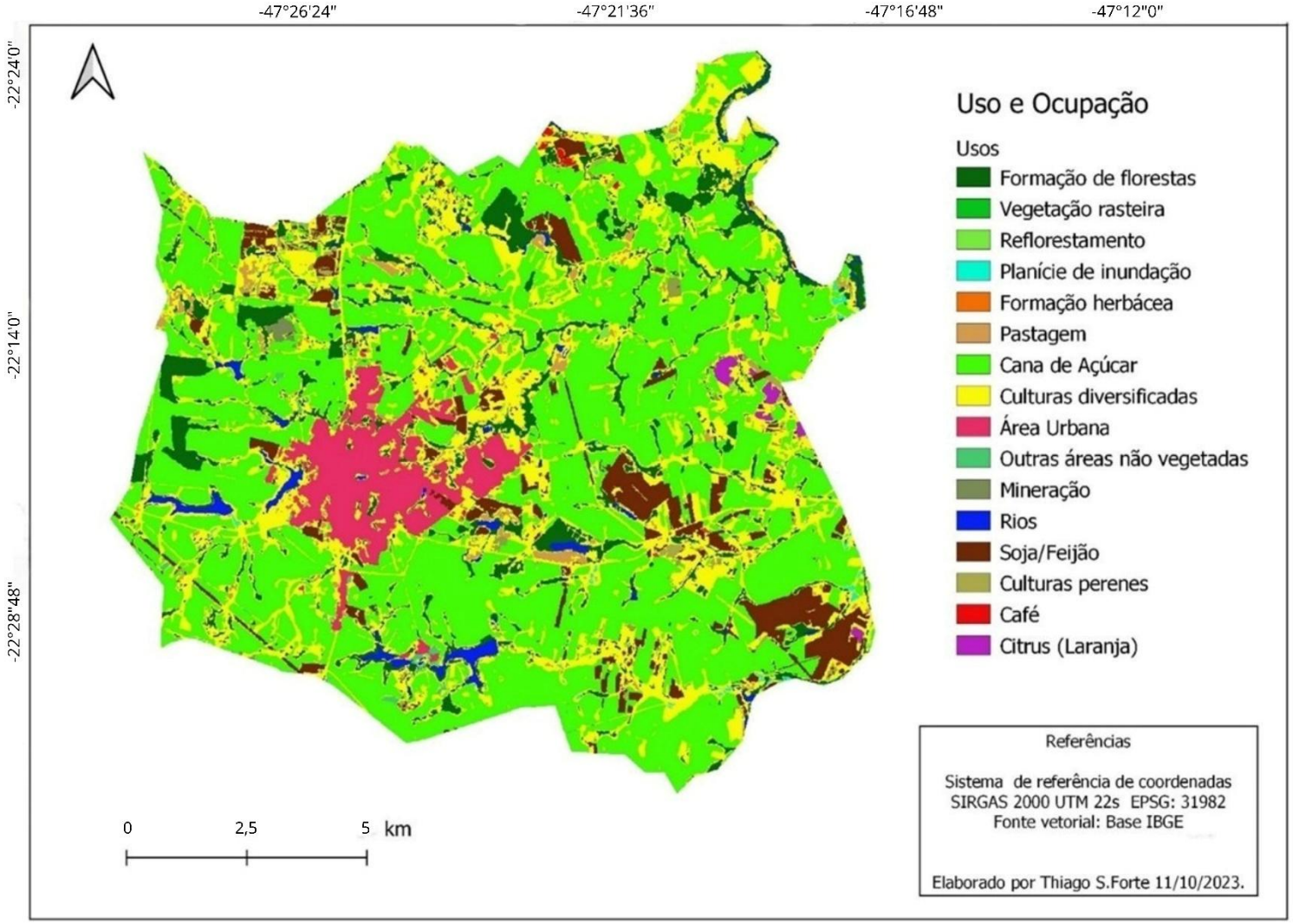
O sensoriamento remoto aplicado aos estudos ambientais, representam um novo marco nas pesquisas científicas de uso e ocupação da terra:

> Sensoriamento remoto orbital é a prática de obter informações sobre a superfície da Terra por meio de imagens adquiridas do espaço, utilizando radiação eletromagnética refletida ou emitida, em uma ou mais regiões do espectro eletromagnético. O caráter sinóptico e multi temporal das imagens torna o sensoriamento remoto capaz de fornecer informações fundamentais sobre os alvos, incluindo o seu posicionamento, elevação, quantidade de

> biomassa, temperatura, umidade etc. Essas informações são de Extrema importância para modelos de precipitação, poluição, antropização e, vulnerabilidade a desastres, principalmente por não serem pontuais, constituindo uma fonte contínua dados sobre grandes tratos. (Zanotta et. al, 2019).

Com base nessas premissas, foi elaborado o mapa de uso e ocupação do município de Araras, podendo-se verificar o uso exacerbado para cultivo de cana-de-açúcar (figura 26), o que corrobora com os dados do SEADE (2023) sobre a produção econômica do município no setor agropecuário, que evidenciou que a produção sucroalcooleira correspondeu à 81,3% de todo o setor agropecuário da área.

Figura 25: Uso e Ocupação da Terra do município de Araras



Fonte: Base vetorial IBGE 2010, Imagem Cbers4A. INPE 2023.

Pode-se verificar na figura 25, que o diagnóstico cartográfico evidencia um estado crítico de supressão da vegetação natural, o que gera uma fragmentação das formações florestais em geometrias irregulares (fragmentos verde-escuros). O mapa mostra manchas isoladas em muitos casos restritas às áreas de APP (Áreas de Proteção Permanente) ao longo de cursos hídricos, que estão sem conexão umas com as outras.

A baixa conectividade compromete o fluxo de matéria e energia entre os Geossistemas e expõe fragilidades do ambiente. A cana de açúcar atua como uma barreira ecológica entre as formações florestais isolando a biodiversidade local criando um efeito de borda nos poucos remanescentes conservados.

Embora haja predominância da cana em todo o território do município, podemos notar uma diversificação de culturas intermitentes como feijão e soja (na porção Sudeste), além de culturas permanentes como o Café e a Laranja (na área Leste). Estas áreas representam diferentes tipos de manejo do solo e variações nos usos de defensivos agrícolas. A área urbana, em processo de expansão, exerce pressão direta sobre o entorno imediato, avançando em áreas de conflito potencial, constituídas por solos de alta aptidão agrícola.

4.5 Geossistemas de Araras: contribuições metodológicas

A delimitação dos geossistemas (geócoros elementares) do município de Araras, os quais denominamos **Unidades de Paisagem**, foi realizada através da integração de variáveis fundamentada por uma metodologia híbrida supervisionada, combinando álgebra de mapas e vetorização manual. O procedimento iniciou-se com a rasterização dos planos de informação (PIs) de pedologia, compartimentação geomorfológica e litologia, utilizando uma estratégia de ponderação distinta para que a síntese fosse próxima à realidade local.

Nesse processo, cada variável recebeu uma assinatura numérica própria: a pedologia foi representada por centenas (100 a 300), a geomorfologia por números primos e a litologia por valores unitários (1 a 11). Essa escolha não foi meramente estatística ou aleatória; foi a solução técnica encontrada para garantir que cada soma resultasse em uma combinação exclusiva evitando que os números se repetissem ou tivessem resultados iguais, assegurando a rastreabilidade de cada

porção do território evitando a ambiguidade nos cruzamentos seguindo o seguinte ordenamento:

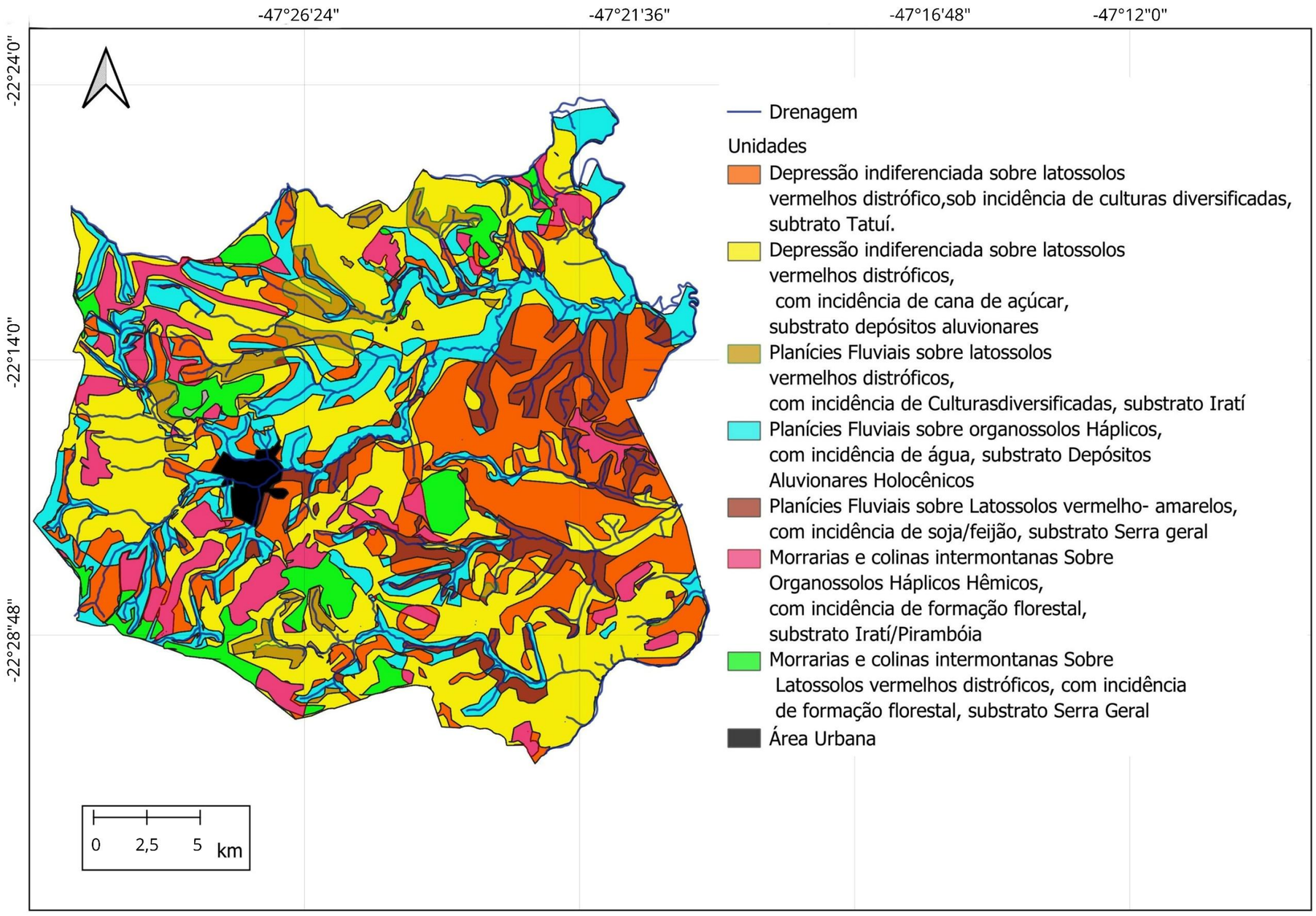
Litologia: atribuição de valores unitários (1 a 11).

Pedologia: atribuição de valores centesimais (100, 200 e 300);

Geomorfologia: utilização de números primos sequenciais e distintos;

Essa diferenciação permitiu que, por meio da calculadora raster do QGIS, cada valor resultante representasse uma composição única das três variáveis de entrada. O produto gerado foi um raster com 179 combinações distintas, posteriormente vetorizadas para viabilizar o refinamento qualitativo. A etapa final consistiu em um processo minucioso de classificação e agrupamento, no qual cada polígono foi analisado sob a ótica do uso e ocupação da terra predominante. Esse tratamento manual foi essencial para converter os dados físicos no mapa final de Unidades de Paisagem, cujos resultados são apresentados na Figura 26 e discutidos a seguir:

Figura 26: Unidades de Paisagens Araras/SP-Geócoros



Fonte: O Autor, 2025

O mapa síntese de Unidades de Paisagens de Araras-SP, apresenta um mosaico de geócoros, onde cada unidade de mapeamento representa uma porção espacialmente individualizada da paisagem.

O território possui uma predominância de dois grandes domínios funcionais (dicotomia): O Domínio das Depressões/ Relevos suaves (Latossolos) e o Domínio das Planícies Fluviais/ Hidromórficas. No município de Araras, predominam os Geócoros de Latossolos, enquanto as zonas aptas à conservação (Organossolos) ocupam áreas menores. O quadro 4 evidencia uma síntese das unidades de paisagem delimitadas na área de estudo.

Quadro 5: Síntese das Unidades de Paisagem – Araras/SP

Geócoro (Unidade Funcional)	**Representação Visual (Cor)**	**% de ocorrências (estimativa)**	**Área Estimada (Km²)**	**Perspectiva para futuro zoneamento**
Latossolo Vermelho Distrófico em depressão Indiferenciada	Azul, Amarelo, Marrom	70%	451,38	Produção de Alta intensidade (foco em fertilidade e manejo de compactação).
Latossolo Vermelho Distrófico em Morrarias e colinas (Produção com risco erosivo)	Verde	15%	96,72	Manejo de possíveis áreas de APP com práticas de controle de erosão.
Organossolos em planícies fluviais	Ciano/Rosa	15%	96,72	Proteção ambiental prioritária (restrição de uso agrícola e garantia de APP)
Total		100%	644,831	

Fonte: O Autor, 2026.

Esta dicotomia funcional definida pela distribuição dos solos em relação ao relevo reproduz Geócoros de alta maturidade pedogenética com boa aptidão física (solos profundos, porosos e bem drenados). A figura 27 mostra um perfil de Latossolo fotografado em campo.

Figura 27: Perfil de Latossolo



Fonte: Trabalho de Campo 2025.

A imagem do talude (figura 27) mostra um recorte vertical do Latossolo vermelho distrófico, com horizonte “O” bem definido e aspectos de intemperismo. O território apresenta uma monotonia funcional, pois 70% da área é dominada pelo Geócoro mais explorado pela atividade econômica agrícola (cana de açúcar). Isso significa que esse setor está vinculado diretamente ao sucesso das práticas de manejo e fertilidade dos solos e da estrutura física neste geossistema principal.

A seguir são apresentados os geócoros, suas composições e implicações funcionais.

4.5.1 Domínio de Depressões indiferenciadas

Estas unidades caracterizam a depressão periférica, e refletem o estágio mais avançado de intemperismo (Latolização) em Araras (quadro 6).

Quadro 6: Domínio de Depressões indiferenciadas

Geócoro	Composição	Implicações funcionais
- Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos Distróficos, substrato Tatuí/ Cultura diversificada - Cor: **Laranja**	- Relevo Suave: Permite latolização intensa e infiltração vertical; - Pedologia: Latossolo profundo, bem drenado, boa característica física)	Potencial Físico Alto: Neste Geossistema reside a produção agropecuária. Ele requer maior atenção na recomposição química (calagem e fertilização) devido a distrofia. A estabilidade geomorfológica minimiza o risco de erosões. Entretanto, o uso intensivo pode levar a compactação superficial.
Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, substrato Iratí, Cana de Çúcar - Cor: **Amarelo**	Relevo Suave: Semelhante ao anterior, Bom atributo físico, baixa fertilidade. Substrato Formação Iratí (sedimentar, com potencial para variar texturas).	Vulnerabilidade à mecanização: A longo prazo, o uso intensivo em função da cana e o tráfego de máquinas aumentam o risco de compactação, isto porque o substrato Iratí pode gerar solos de texturas mais argilosas em alguns pontos, o que pode dificultar a infiltração e o desenvolvimento radicular, o que pode afetar a produtividade agrícola a longo prazo.

Fonte: O Autor, 2026.

Segundo a Embrapa (2021), os latossolos precisam de correição e calagem no que diz respeito a acidez, isto para sua aptidão agrícola. De forma geral este tipo de solo apresenta baixa fertilidade e saturação por alumínio. Por serem originários de relevos suave-ondulados, conforme corrobora o caso de Araras através do mapa hipsométrico, são solos que facilitam a mecanização agrícola.

4.5.2 Geócoros do Domínio de Morrarias e Colinas

Estas unidades indicam variações no material de origem (substrato), e no gradiente topográfico. (Quadro 7).

Quadro 7: Geócoros do Domínio de Morrarias e Colinas

Geócoros	Composição	Implicações funcionais
Morrarias e Colinas Intermontanas Sobre Organossolos Háplicos Hêmicos, substrato Iratí/ Pirambóia- Formação Florestal - Cor: **Rosa**	Relevo: Morrarias e colinas, maior declividade com feições concavas. Solo: Organossolo hidromórfico. Uso: (formação florestal, nativa ou de proteção)	**Função Hídrica de restrição ambiental**: Estes geócoros funcionam como protetores de áreas de recarga e manutenção hídrica; desta forma, a formação florestal é fundamental para esta função. A presença de Organossolos é um forte indicador para marcação de áreas de APP.
Morrarias e Colinas Intermontanas sobre latossolos Vermelhos Distróficos, substrato Serra Geral- Formação Florestal - Cor: **Verde**	Relevo: Colinas/Morros. Substrato: Formação Serra Geral (rochas ígneas, geralmente Basalto/Diabásio, que formam latossolos mais argilosos e com maior teor de ferro; Solo: Lvd2; Uso: Formação Florestal.	**Alto potencial para erosão:** a maior declividade aumenta o risco de erosão, no entanto o latossolo sobre a formação Serra Geral tende a ser mais estruturado em função de sua característica mineral, devido a presença de ferro. A preservação da formação florestal é fundamental para proteção contra o escoamento superficial em relevos mais acidentados afim de evitar processos erosivos.

Fonte: O Autor, 2026.

4.5.3 Geócoros de Planícies Fluviais

Estes Geócoros estão ligados à rede de drenagem e aos processos de transporte e sedimentação fluvial no município. (quadro 8).

Quadro 8- Geócoros de Planícies Fluviais

Geócoros	Composição	Implicações funcionais
Planícies Fluviais sobre Organossolos Háplicos, Substrato Depósitos Aluvionares holocênicos. - Cor: **Ciano (Azul Claro)**	Relevo: Plano. Solo: Organossolo Háplico (Hidromórfico). Substrato: Aluviões recentes. Uso: Presença de água.	**Geócoro de exclusão agrícola e preservação hídrica**: O solo orgânico com aluviões apontam áreas de deposição recente que podem estar saturadas. O curso hídrico é o principal recurso a ser preservado neste geócoro, tanto águas superficiais quanto águas subterrâneas.
Planícies Fluviais sobre Latossolos Vermelho-Amarelos, substrato Serra Geral/ Feijão. Cor: **Marrom**.	Relevo: Plano. Solo: LVA. Substrato: Serra Geral. Uso: Feijão/soja.	**Áreas de várzea com potencial produtivo**: A presença de LVA em planície fluvial pode indicar solos com drenagem um pouco menos eficiente. Entretanto, a incidência de culturas anuais sugere que são áreas bem drenadas ou que passaram por manejo hídrico. Este Geócoro demanda monitoramento de fertilidade e nutrientes, bem como os períodos de inundação.

Fonte: O Autor, 2026.

O estudo de arranjos espaciais, sob a ótica dos geossistemas de Sotchava (1968), denota que a paisagem deve ser interpretada como uma unidade hierárquica e funcional, onde os componentes se relacionam e interatuam com a sociedade. A integração das variáveis apresentada no diagnóstico cartográfico é, portanto,

fundamental, pois demonstra a distribuição das unidades determinando uma estrutura causal, o que nos fornece a validação do mapeamento.

O diagnóstico cartográfico possui unidades as quais podemos chamar de controladoras (Litologia, Hipsometria e Declividade) e, unidades resultantes (Pedologia, Compartimentação Geomorfológica, Uso e Ocupação). Os Geócoros mapeados são a materialização de unidades naturais dinâmicas e heterogêneas.

A estrutura Geomorfológica apresentada pelos mapas Hipsométrico, Declividade e Compartimentação Geomorfológica é o fator chave que governa a dinâmica do meio natural da área de estudos, determinando a aptidão funcional de cada Geócoro.

4.5.4 Domínio da estabilidade: a Pedogênese dos Latossolos e a aptidão produtiva

A atividade agrícola de Araras se concentra na depressão indiferenciada. Podemos validar esse Geócoro a partir da análise da hipsometria e da declividade. A ocupação das cotas altimétricas intermediárias (633-622 metros) e a declividade predominante Plano (0-3%) a Suave Ondulado (3-8%) demonstram condições favoráveis ao processo de latolização (intemperismo vertical profundo).

Esta estabilidade geomorfológica explica a formação do Latossolo Vermelho Distrófico e corrobora com o Uso predominante que é da cana-de-açúcar e culturas diversificadas, pois as baixas inclinações são ideais ao processo de mecanização.

4.5.5 Domínio da Instabilidade: Os aspectos da drenagem e da erosão

A existência de Geócoros que denominamos de Restrição podem ser validados pelas feições extremas da Geomorfologia. As unidades de Planícies Fluviais na compartimentação coincidem com as cotas mais baixas (< 621 metros) e a declividade Plano (0-3%). Esta configuração explica a ocorrência de hidromorfismo, que por sua vez resulta nos Organossolos.

Nestas áreas, o Uso deve ser restrito, pois sua exaustão pode causar subsidência do solo. A formação do Organossolo se dá a partir de uma lenta e incompleta decomposição de matéria orgânica vegetal acumulando carbono não mineralizado, isto porque a água estagnada bloqueia a passagem de oxigênio criando

um ambiente anaeróbico, o que dificulta a síntese desses materiais por microrganismos. O termo Hêmico indica que o material está em estado intermediário de decomposição retendo porosidade e volume.

A subsidência pode acarretar oxidação do carbono acumulado por exposição da matéria orgânica, gerando mineralização rápida, que consiste na liberação de carbono no formato de gás carbônico para a atmosfera. A subsidência pode ainda acarretar problemas estruturais por afundamento inviabilizando construções ou pavimentações; esse é um processo lento, podendo ocorrer em metros, ao longo de décadas. Desta forma, aplica-se a este Geócoro a restrição com intuito de contribuir para o Planejamento Territorial, protegendo-o como ocorre na APP (Área de Preservação Permanente).

As Unidades de Morrarias e Colinas Intermontanas, coincidem com as declividades Suave Ondulado (8 a 20%) e Forte Ondulado (20 a 45%). Esta alta energia de relevo expõe o risco erosivo no Geócoro, exigindo a manutenção da Formação Florestal como prática para mitigar o transporte de sedimentos para as Planícies.

O mapa Litológico demonstra que a Pedologia é uma função direta do material de origem. Os geócoros sobre o substrato sedimentar Iratí e Tatuí exigem manejo adequado da estrutura do solo para o cultivo da cana-de-açúcar e outras culturas, dada sua menor resiliência estrutural.

O mapa de Uso e ocupação demonstra que o Geossistema de Araras está sobre pressão significativa pelas atividades antrópicas. A área urbana do município centraliza problemas de poluição de corpos hídricos e descarte inadequado de resíduos.

A integração e análise da Cartografia de Geossistemas confere a coesão dos dados obtidos, se mostrando como uma ferramenta adequada para subsidiar o planejamento territorial, isto porque revela a estrutura funcional e as vulnerabilidades que devem ser mitigadas na área de estudos.

4.5.6 Domínio de Depressões indiferenciadas

As Depressões indiferenciadas caracterizam a Depressão Periférica Paulista, e refletem o estágio mais avançado de intemperismo (Latolização) em Araras (Quadro 9).

Quadro 9 – Simbologia do Domínio de Depressões indiferenciadas

Geócoro	Composição	Implicações funcionais
 Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos Distróficos, substrato Tatuí/ Cultura diversificada	- Relevo Suave: permite latolização intensa e infiltração vertical; - Pedologia: Latossolo profundo, bem drenado, com boa característica física.	Potencial Físico Alto: Neste Geossistema reside a produção agropecuária. Ele requer maior atenção na recomposição química (calagem e fertilização) devido a distrofia. A estabilidade geomorfológica minimiza o risco de erosões. Entretanto, o uso intensivo pode levar a compactação superficial.
 Depressão indiferenciada sobre latossolos vermelhos distróficos, substrato Iratí, Cana de Çúcar	Relevo Suave: semelhante ao anterior, Bom atributo físico, baixa fertilidade. Substrato Formação Iratí (sedimentar, com potencial para variar texturas).	Vulnerabilidade à mecanização: a longo prazo, o uso intensivo em função da cana e o tráfego de máquinas aumentam o risco de compactação, isto porque o substrato Iratí pode gerar solos de texturas mais argilosas em alguns pontos, o que pode dificultar a infiltração e o desenvolvimento radicular, podendo afetar a produtividade agrícola a longo prazo.

Fonte: O Autor, 2026.

Segundo a Embrapa (2021), os latossolos precisam de correção e calagem no que diz respeito a acidez, ou seja, a aplicação de medidas para sua aptidão agrícola. De forma geral este tipo de solo apresenta baixa fertilidade e saturação por alumínio.

Por serem originários de relevos suave-ondulados, conforme o mapa Hipsométrico de Araras (figura 18), são solos que facilitam a mecanização agrícola.

4.5.7 Geócoros do Domínio de Morrarias e Colinas

Estas unidades apontam variações no material de origem (substrato), e no gradiente topográfico. (Quadro 10).

Quadro 10 – Simbologia dos Geócoros do Domínio de Morrarias e Colinas

Geócoros	Composição	Implicações funcionais
 Morrarias e Colinas Intermontanas sobre organossolos háplicos hêmicos, substrato Iratí/ Pirambóia - Formação Florestal	Relevo: Morrarias e colinas, maior declividade com feições concavas. Solo: organossolo hidromórfico. Uso: formação florestal, nativa ou de proteção.	**Função Hídrica de restrição ambiental**: Estes geócoros funcionam como protetores de áreas de recarga e manutenção hídrica; desta forma, a formação florestal é fundamental para esta função. A presença de organossolos é um forte indicador para marcação de áreas de APP.
 Morrarias e Colinas Intermontanas sobre latossolos Vermelhos Distróficos, substrato Serra Geral - Formação Florestal	Relevo: Colinas/Morros. Substrato: Formação Serra Geral (Rochas ígneas, geralmente Basalto/Diabásio, que formam latossolos mais argilosos e com maior teor de ferro. Solo: Lvd2; Uso: Formação Florestal.	**Alto potencial para erosão:** A maior declividade aumenta o risco de erosão, no entanto o latossolo sobre a formação Serra Geral tende a ser mais estruturado, em função de sua característica mineral, devido a presença de ferro. A preservação da formação florestal é fundamental para proteção contra o escoamento superficial em relevos mais acidentados, a fim de evitar processos erosivos.

Fonte: O Autor, 2026.

4.5.8 Geócoros de Planícies Fluviais

Estes Geócoros estão ligados à rede de drenagem e aos processos de transporte e sedimentação fluvial no município. (Quadro 11).

Quadro 11- Simbologia dos Geócoros de Planícies Fluviais

Geócoros	Composição	Implicações funcionais
 Planícies Fluviais sobre Organossolos Háplicos, substrato Depósitos Aluvionares holocênicos	Relevo: Plano. Solo: Organossolo Háplico (Hidromórfico). Substrato: Aluviões recentes. Uso: Presença de água.	**Geócoro de exclusão agrícola e preservação hídrica**: O solo orgânico com aluviões apontam áreas de deposição recente que podem estar saturadas. O curso hídrico é o principal recurso a ser preservado neste geócoro, tanto das águas superficiais quanto das águas subterrâneas.
 Planícies Fluviais sobre Latossolos Vermelho-Amarelos, substrato Serra Geral/Feijão	Relevo: Plano. Solo: LVA. Substrato: Serra Geral. Uso: Feijão/soja.	**Áreas de várzea com potencial produtivo**: A presença de LVA em planície fluvial pode indicar solos com drenagem um pouco menos eficiente. Entretanto, a incidência de culturas anuais sugere que são áreas bem drenadas ou que passaram por manejo hídrico. Este Geócoro demanda monitoramento de fertilidade e nutrientes, bem como os períodos de inundação.
 Planícies Fluviais sobre Latossolos Vermelhos Distróficos, substrato Iratí	Relevo: Plano (Terraços fluviais). Solo: Latossolo Vermelho Distrófico. Substrato: Formação Iratí (Siltitos/Folhelhos). Uso: Culturas diversificadas.	**Geócoro de transição e diversificação produtiva**: A associação de planícies com Latossolos Vermelhos indica áreas com boa profundidade e aptidão agrícola, embora a natureza distrófica exija correção de acidez. O substrato Iratí pode

		influenciar na retenção de umidade e na química do solo. A diversificação de culturas sugere uma ocupação por policultivos ou agricultura familiar, demandando manejo integrado para evitar a compactação em áreas de baixada.

Fonte: O Autor, 2026.

A integração das variáveis controladoras e resultantes permite transcender a descrição morfológica, alcançando a interpretação funcional dos arranjos espaciais. Ao identificarmos a convergência entre baixas declividades e processos pedogenéticos avançados, isolamos setores da paisagem onde a estabilidade física atua como o principal determinante da ocupação humana. Diferente dos geócoros de restrição, marcados por feições extremas e instabilidade, as unidades a seguir representam o equilíbrio dinâmico entre a estrutura geológica e o potencial produtivo, conforme detalhado na análise do domínio da estabilidade.

4.5.9 Geócoros do domínio da estabilidade: a Pedogênese dos Latossolos e a aptidão agrícola

A atividade agrícola de Araras se concentra na depressão indiferenciada. É possível validar esse Geócoro a partir da análise da hipsometria e da declividade. A ocupação das cotas altimétricas intermediárias (633-622 metros) e a declividade predominante Plano (0-3%) a Suave Ondulado (3-8%) demonstram condições favoráveis ao processo de latolização (intemperismo vertical profundo).

Esta estabilidade geomorfológica explica a formação do Latossolo Vermelho Distrófico e corrobora com o Uso predominante que é a cana-de-açúcar e culturas diversificadas, pois as baixas inclinações são ideais ao processo de mecanização.

4.5.10 Geócoros do Domínio da Instabilidade: Os aspectos da drenagem e da erosão

A análise do mapa litológico (figura 11) indica que a pedogênese em Araras é condicionada diretamente pelo material de origem. Os geócoros assentados sobre os substratos sedimentares das formações Iratí e Tatuí apresentam menor resiliência estrutural, o que exige estratégias de manejo específicas para o cultivo de cana-de-açúcar e outras coberturas agrícolas, visando evitar a degradação física do solo.

Paralelamente, o mapeamento de uso e ocupação (figura 20) revela que o geossistema sofre pressão antrópica contínua. A malha urbana centraliza os principais conflitos ambientais, destacando-se a poluição de corpos hídricos e o descarte inadequado de resíduos sólidos, fatores que comprometem a estabilidade dos fluxos de matéria e energia no sistema.

Nesse cenário, a Cartografia de Geossistemas demonstra ser um instrumento eficaz para o planejamento territorial. A integração das variáveis revela a coesão do diagnóstico, expondo a estrutura funcional do município e individualizando as vulnerabilidades que demandam mitigação prioritária. O mapeamento permite, assim, antecipar riscos e orientar uma gestão que respeite os limites de suporte das unidades naturais.

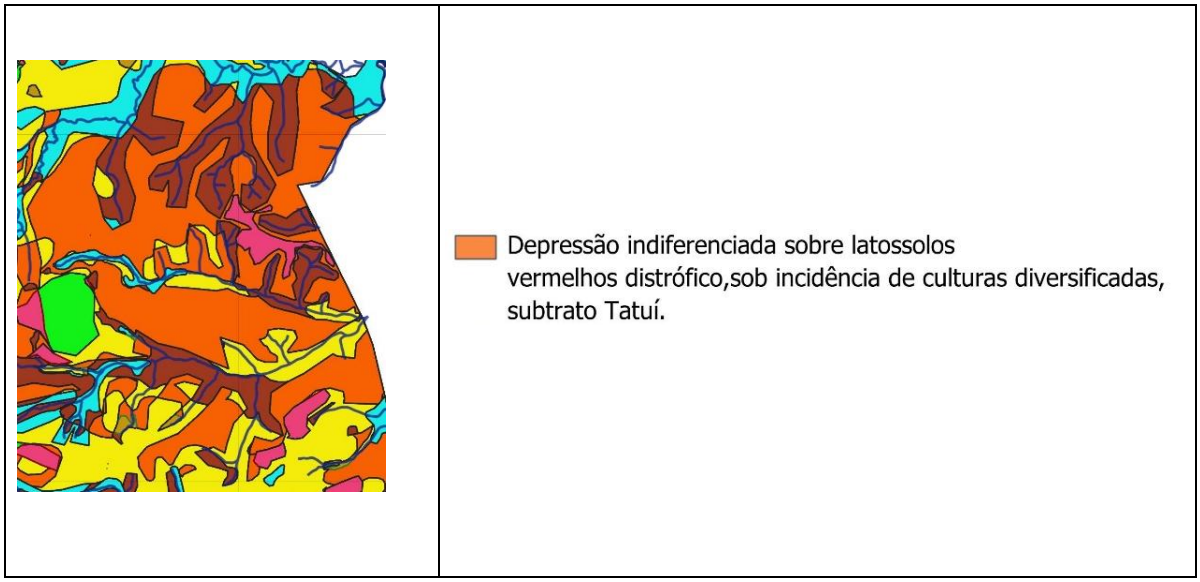
4.6 Caracterização dos Geossistemas através do trabalho de campo e das imagens de drone

Nesta sessão iremos explorar os resultados obtidos no trabalho de campo, realizado no intuito de validar as informações do mapa de Unidades de Paisagem, através de observações in locu e de imageamento realizado por drone.

4.6.1 Domínio de Depressões Indiferenciadas

A Depressão Indiferenciada sobre Latossolos e Culturas Diversificadas e a Depressão indiferenciada sobre Latossolos e cultura de cana-de-açúcar correspondem a maior parte do território (figura 29).

Figura 28: Mapa- Depressão Indiferenciada sobre Latossolos e culturas diversificadas



Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

A área da Figura 28 se localiza ao norte da área urbana de Araras, entre as coordenadas 22°19’06”S e 47°21’54W, nas proximidades da Universidade Federal de São Carlos, apresentando predominantemente a classe de Uso da Terra Cana-de-Açúcar. Na imagem da figura 29, é possível visualizar no primeiro plano (linha Laranja) as mudas de cana em desenvolvimento (brotos), com solo exposto de cor avermelhada à brunada, manejado para o cultivo. O solo apresenta compactação em função do trânsito de maquinários. A coloração indica presença de óxidos de ferro resultado de intemperismo químico intenso.

Figura 29: Cultivos em diferentes estágios sobre latossolos



Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

A formação Tatuí é composta majoritariamente por rochas sedimentares de granulação fina, que ao intemperizar geram um solo com textura média à argilosa. O Latossolo derivado da formação Tatuí possui uma quantidade significativa de argila e silte. Essa textura mais fina é o que permite a sustentação das linhas de plantio bem definidas.

O ambiente “oxidado” denota um nível freático profundo, característica essencial para o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. O solo naturalmente distrófico em função de sua formação é ácido. A partir da imagem da figura 29, no primeiro plano (até a linha laranja), pode-se observar investimento em tecnologia para o desenvolvimento da cana, destacando-se a aplicação de calagem e gessagem para o manejo.

No segundo Plano/Intermediário (após a linha laranja), verifica-se a cana em um estágio mais avançado de maturação. Também, é possível observar um relevo suave, com baixa declividade, onde processos de aplainamento atuaram

homogeneizando a topografia. Ao fundo da imagem (figura 29), pode-se observar fragmentos remanescentes de formações florestais intercalando com silvicultura.

A figura 30 evidencia a Depressão Indiferenciada sobre Latossolos e culturas cana-de-açúcar, que se localiza na porção Sudeste do município, entre as coordenadas 22°25’22S e 47°20’09”W. O território de Araras mesmo em áreas distantes da porção urbana, possui muitos fragmentos de ocupação antrópica. Esta é uma área mantida pela usina São João, com acesso pela rodovia do Facão. No primeiro plano podemos identificar um fragmento de formação florestal, provavelmente uma área de APP reflorestada, pois o aspecto das árvores é de baixa altura com dosséis pouco desenvolvidos; pode-se visualizar também um pequeno lago no meio da vegetação. No segundo plano podemos observar o cultivo de cana em vários estágios de maturação.

Figura 30: Depressão Indiferenciada sobre Latossolos e cultura cana-de-açúcar



Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

As imagens da figura 31 demonstram ângulos diferentes da mesma área, com vários tipos de uso, antropização por meio de manejo e técnicas agrícolas. O corpo

hídrico que aparece na figura 31 faz parte do geócoro planícies de inundação, que será tratado no item 4.5.3.

Figura 31: características da Depressão Indiferenciada sobre latossolos e cultura cana-de-açúcar

A	B	C
		

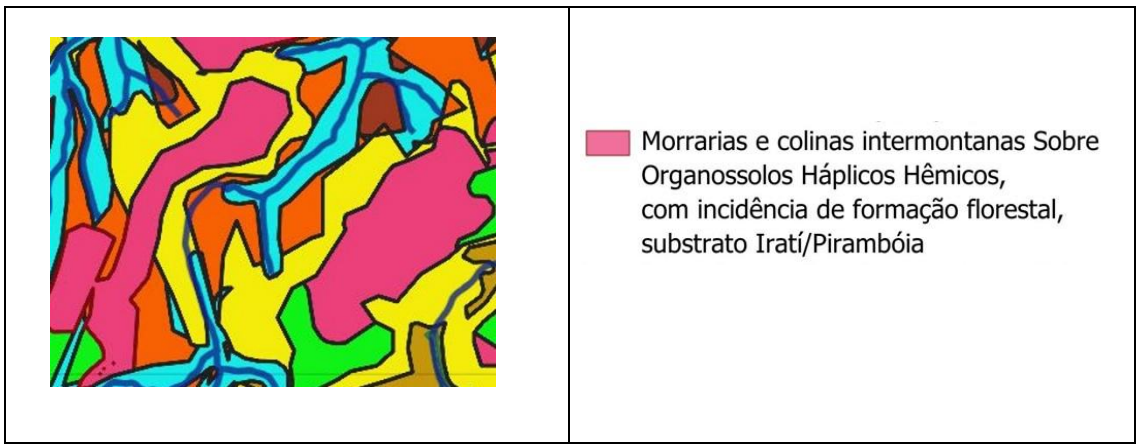
Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

Na Figura 32, observa-se o domínio da cana-de-açúcar em diferentes estágios de manejo, evidenciando como a estrutura agrária se molda à compartimentação geomorfológica local. Enquanto as porções superiores apresentam uma exploração intensiva (Foto C), as áreas de transição mantêm pequenos remanescentes florestais que acompanham a umidade do solo, sinalizando a proximidade com o geócoro das planícies de inundação. Esse mosaico revela a dicotomia entre as áreas de produção e as zonas de preservação permanente remanescentes

4.6.2 Morrarias e colinas Intermontanas

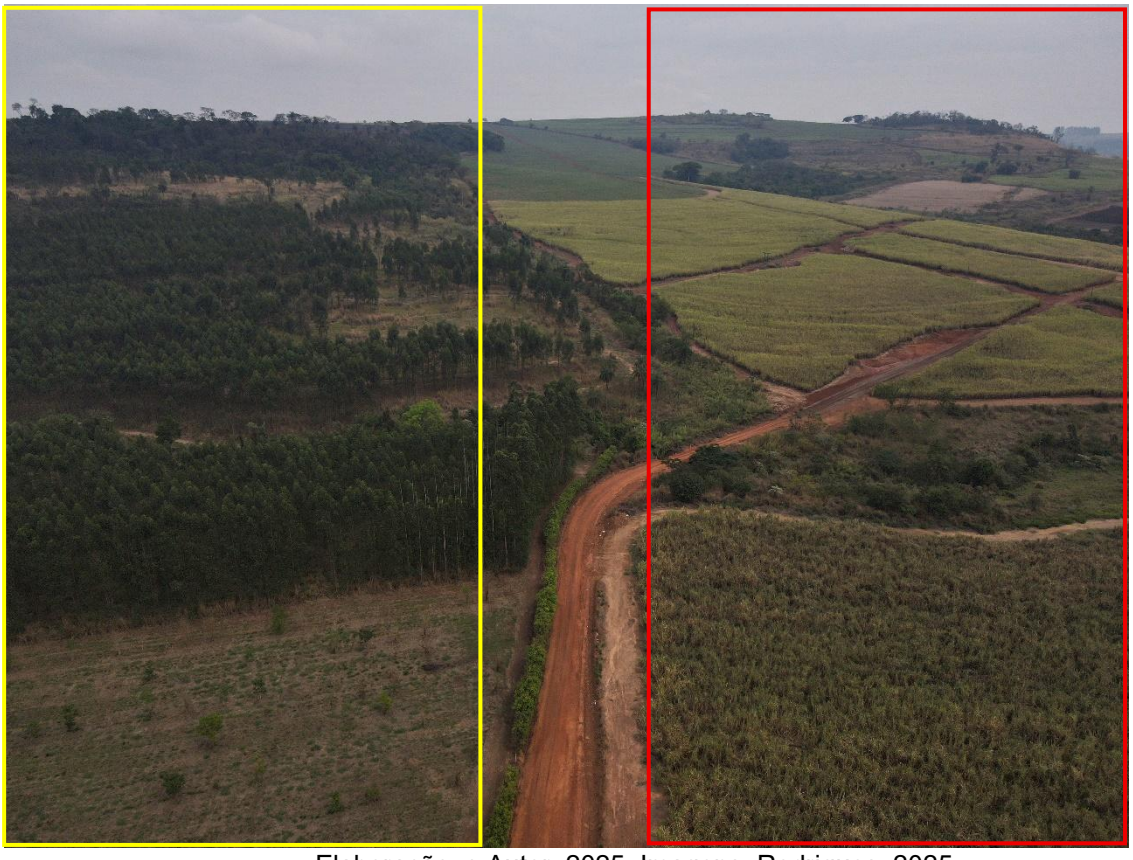
Para caracterizar o geócoro Morrarias e Colinas intermontanas (figura 32), foi visitada uma área de Araras, localizada a noroeste da área urbana, numa distância de cerca de 20 km, entre as coordenadas 22°13’19”S e 47°15’27” W. (figura 26).

Figura 32: Morrarias e colinas intermontanas



Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

Figura 33: Morrarias e colinas intermontanas sobre latossolo vermelho, incidência de formação florestal substrato Serra Geral



Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

A morfologia das colinas representa a Serra Geral, que por sua vez possui rochas basálticas. Este geócoro apresenta um relevo dissecado, suave e ondulado. É possível visualizar na imagem (figura 33) colinas médias e morros baixos com topos

convexos, assim como nas figuras 34 e 35, conforme indicam as linhas vermelha e amarela.

Podemos dividir as figuras 34 e 35 em quadros (A,B,C), que denominamos de Geofáceis (Unidades menores homogêneas, em fisionomia e ecologia), segundo a base teórica de Sotchava (1968). No Geofáceis A, com traçado de linha vermelha, podemos observar uma estrutura arbórea bem definida, Silvicultura e floresta. Pela uniformidade do dossel e alinhamento aparente, pode-se inferir um reflorestamento comercial avançado.

Figura 34: Morros convexos (a)

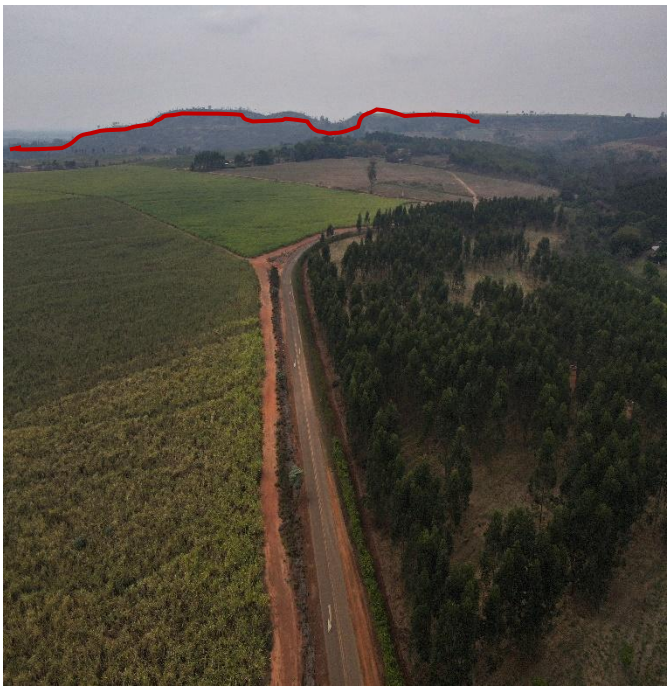
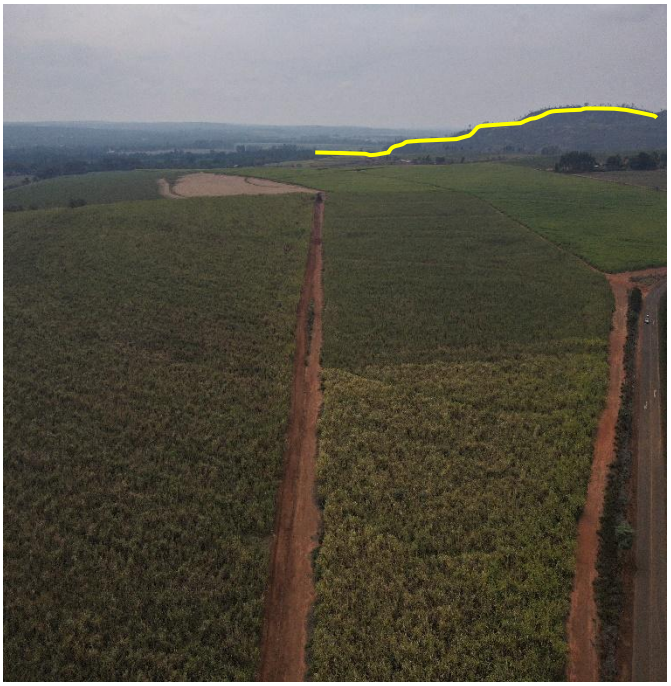


Figura 35: Morros convexos (b)



Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

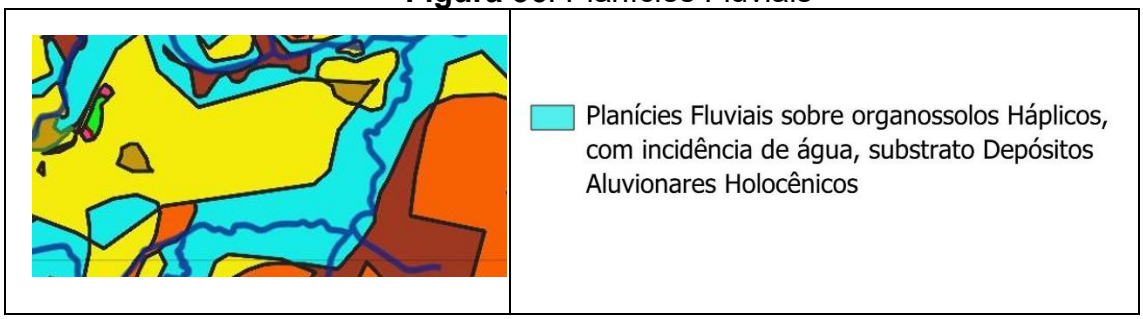
O Geofáceis B, a direita da imagem, com traçado amarelo, compõe um agrossistema de monocultura de cana em estágios fenológicos diferentes de maturação divididos por carreadores (caminhos internos) que podem representar curvas de nível no intuito de mitigar a erosão.

O Geofáceis C, é a estrada que permeia os meandros da propriedade. Pode-se inferir que o processo de compactação altera o escoamento superficial de água e segmenta o transporte de sedimentos; as vias não pavimentadas expõem o Latossolo do geócoro.

4.6.3 Planícies Fluviais

Para caracterizar o geócoro das planícies fluviais, visitamos duas áreas às margens do rio Mogi Guaçu, ambas antropizadas. As planícies apresentadas nas figuras 36 e 37, fazem parte do rio Mogi Guaçu e se localizam a nordeste da área urbana, entre as coordenadas 22°13’51”S e 47°14’22”O.

Figura 36: Planícies Fluviais



Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

Figura 37: Planície fluvial do rio Mogi Guaçu sobre Organossolos Háplicos com incidência de água, substrato depósitos aluvionares holocênicos (A)



Elaboração: O Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

O canal fluvial principal possui aspecto retilíneo, o que sugere baixa sinuosidade natural (retificação antrópica), funcionando como eixo de drenagem e transporte de sedimentos. Na margem esquerda (quadro amarelo) é possível visualizar uma mata ciliar densa e contínua, o que favorece a proteção dos Organossolos em relação à processos erosivos. Na margem direita (quadro vermelho) é marcada pela supressão da vegetação original, onde é possível visualizar uma rodovia vicinal, estruturas de construções e uso agrícola extensivo com solo exposto. O acesso ao rio é dificultado em função das propriedades privadas em seu entorno; a margem é composta por propriedades como chácaras, fazendas, bares, pousadas. Conseguimos chegar até a margem do rio, solicitando o acesso ao dono de um dos quiosques existentes no local. (Figura 38).

Figura 38: Planícies fluviais do rio Mogi Guaçu sobre Organossolos Háplicos com incidência de água substrato depósitos aluvionares holocênicos (B)



Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

O nível do rio estava baixo, mesmo com a precipitação no dia anterior. Podemos classificar a correnteza do rio como lêntica (suave). Desta forma, foi possível

visualizar pequenas ilhas de aguapés se formando em seu interior, o que denota poluição (possível eutrofização) e o processo de assoreamento do curso hídrico. O rio recebe carga excessiva de nitrogênio/fósforo, o que pode ser reflexo da atividade agrícola na utilização de fertilizantes que escoam da margem para o rio.

Outro fator importante que notamos (figura 39), é a instalação de encanamentos que saem direto das residências para o rio conforme circulado em vermelho na imagem. A presença de dejetos residenciais também contribui significativamente para a poluição hídrica.

Figura 39: Planície fluviais do rio Mogi Guaçu sobre Organossolos Háplicos com incidência de água substrato depósitos aluvionares holocênicos (C)



Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

Observa-se que a vegetação ripária (mata ciliar) não é contínua. O solo exposto, os decks, as escadas e rampas criam pontos de riscos que podem gerar desmoronamentos localizados em caso de precipitação ou elevação do nível da água.

Figura 40: Planície fluviais do rio Mogi Guaçu sobre Organossolos Háplicos com incidência de água substrato depósitos aluvionares holocênicos (perfil de solo)



Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

Nessa área, o objetivo foi registrar o perfil do solo exposto na margem esquerda (figura 40), porém foi difícil capturar uma imagem adequada, levando-se em conta a altitude de voo do drone, uma vez que o equipamento não poderia voar muito baixo, para evitar que caísse na água. Assim, com base no registro obtido, é possível verificar um solo oxidado e friável, em processo de solapamento.

O geócoro encontra-se em estado crítico de estabilidade, com conflitos de uso da terra, gerando uma tensão antrópica ativa, com bioindicadores de desequilíbrio como as ilhas de macrófitas, além de riscos de erosão em pontos de ruptura com a mata ciliar. Vale salientar, que o geossistema busca se recondicionar com o fluxo de matéria e energia alóctone advindo das atividades antrópicas.

O reverso da planície é composto por paisagens diversificadas que interatuam e estão interligadas. Na figura 41, é possível visualizar a ocupação antrópica no primeiro plano (abaixo da linha vermelha) seguido de manchas de arbustos; no segundo plano (abaixo da linha laranja) podemos identificar brotos de cana com solo

exposto, preparado para o cultivo. E no terceiro plano um morro, área de declive mais acentuado.

Figura 41: Planície fluviais sobre Organossolos Háplicos com incidência de água substrato depósitos aluvionares holocênicos (Reverso)



Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

A substituição da vegetação original expõe o solo à erosão laminar. Embora a área de topo sirva como zona de recarga do nível freático e de divisor de águas local, vemos que poderia se formar uma rampa coluvionar ao médio curso do morro, entretanto esta porção está ocupada pela agricultura intensiva.

No ponto a sudeste da área urbana no qual identificamos uma depressão indiferenciada, próximo a usina São João (Coordenadas 22°25’22S/47°20’09”W), há uma planície de inundação que foi represada para construção da usina e de vias de acesso pavimentadas. (figura 42).

Figura 42: Planície fluviais sobre Organossolos Háplicos com incidência de água substrato depósitos aluvionares holocênicos (D)



Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

No primeiro Plano é possível visualizar o rio represado com suas margens alargadas. Ao fundo da imagem, é possível visualizar uma instalação industrial, soltando partículas na atmosfera, o que pode interferir no volume e qualidade das precipitações em função de agentes químicos particulados.

4.6.4 Área Urbana

A área urbana de Araras possui problemas complexos e imbricados que vão desde sua expansão à financeirização do território por meio da condominização, o capital de renda da Terra junto à especulação imobiliária, a verticalização, a periferização, aliados às manifestações de poderes que coexistem em territórios como o tráfico de entorpecentes, e o Poder do Estado.

Neste contexto complexo, coexistem os problemas ambientais urbanos, destacando-se a ineficiência da coleta seletiva de resíduos, que causa o acúmulo em bairros periféricos; a poluição de cursos hídricos inseridos no sítio urbano, que gera

mal odor; as frequentes enchentes em vias urbanas principais, entre outros. A imagem 43 evidencia uma vista aérea da cidade de Araras.

Figura 43: Vista Aérea da área urbana de Araras



Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

Diferentemente das áreas de planícies rurais que vimos anteriormente, na cidade o rio está confinado. As avenidas funcionam como depósitos tecnogênicos, impedindo a divagação natural do rio em meandros e isolando a biocenose (vegetação) da matriz circundante.

Esta configuração de canal hídrico, acelera os picos de vazão aumentando a energia erosiva e provoca inundações. Neste local (coordenadas 22°21’15”S/47°1’44”W), a análise revela um geócoro de fundo de vale em estado de confinamento tecnogênico. A vegetação, embora preservada linearmente, atua sob efeito de borda, pressionada pela verticalização na margem esquerda e pela exposição do solo na margem direita.

Para observar a dualidade entre o cultivo de cana de açúcar e a urbanização em expansão no sítio urbano, subimos num ponto mais elevado (Figura 44).

Figura 44: Dualidade no Geossistema urbano



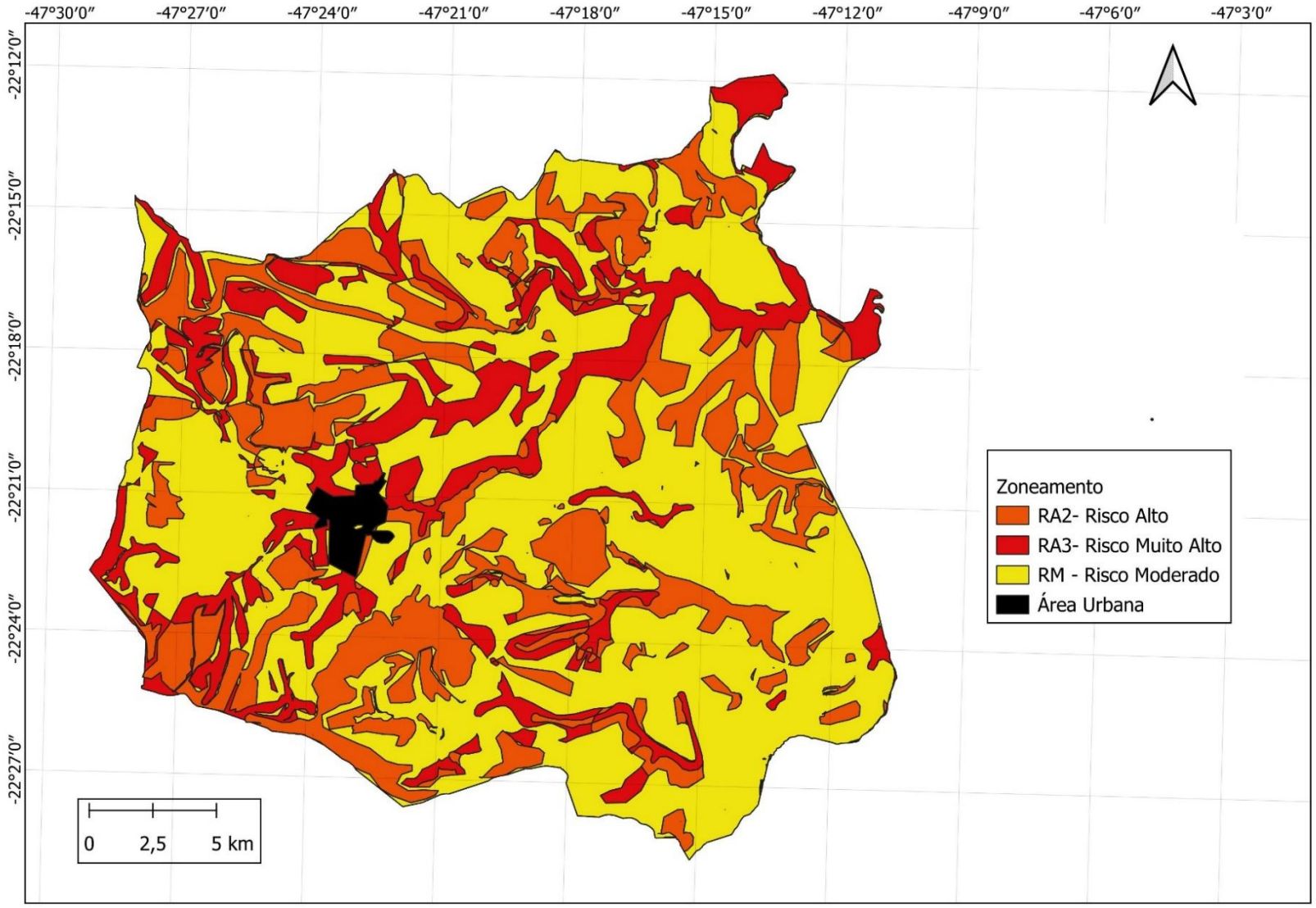
Elaboração: o Autor, 2025. Imagens: Rodrigues, 2025.

Esse ponto, indicado pela seta vermelha na figura 44, se situa entre as coordenadas 22°20’57”S/47°21’32”W, onde o curso do rio segue a área vegetada de forma retilínea. O entorno desta área é composto por um bairro residencial. Naquele momento do campo, o solo exposto (Latossolo) estava sendo preparado para replantio. O meio urbano funciona como um intensificador de energia cinética (potência de fluxo). O Latossolo exposto em relevo dissecado atua como principal fonte de carga sólida e geoquímica; neste ponto o fluxo de energia supera a resistência das margens em função da erosão mecânica gerada pelo uso de maquinários e a aplicação de insumos agrícolas compromete a qualidade das águas do manancial.

5. Proposta de Zoneamento: Da Diferenciação Geoecológica ao Zoneamento Funcional: A Base Geossistêmica da Vulnerabilidade

A elaboração da Carta de Unidades de Paisagens (Figura A - Imagem 26) permitiu a compartimentação do município de Araras em geócoros funcionalmente distintos, baseados na tripla interação entre o suporte lito-geomorfológico, a cobertura pedológica e o uso da terra, conforme preconizado pela metodologia de Sotchava. Identificou-se o predomínio espacial do geócoro de Depressão Indiferenciada, estruturado sobre Latossolos Vermelhos Distróficos e substratos sedimentares (Formações Tatuí e Irati). Esta matriz territorial, por sua homogeneidade pedogenética e topografia suave, consolidou-se como o domínio do agronegócio canavieiro, exercendo pressão sobre as unidades adjacentes.

Figura 45: Proposta de Zoneamento Ambiental



Elaborado por: Forte, 2025. Fonte: base vetorial, IBGE, 2010.

5.1 A Gênese do Risco Ambiental

O cruzamento entre as unidades geossistêmicas e as variáveis do relevo deu origem à Carta de Zoneamento de Risco (Figura B), que revela como a tipologia de cada ambiente está diretamente ligada à sua capacidade de resistir a impactos.

- **Domínio da Estabilidade Aparente (Zona RM):** As áreas de Depressão sobre Latossolos foram classificadas como de Risco Moderado. No entanto, essa estabilidade física é enganosa, pois esconde a função vital de "área fonte" dessas terras. Ao uniformizar a paisagem com a monocultura, remove-se a "rugosidade" natural da vegetação, transformando o topo dos morros em rampas que aceleram o escoamento das águas.
- **Domínio da Instabilidade Estrutural (Zona RA3):** Já as Planícies Fluviais sobre Organossolos Háplicos foram invariavelmente mapeadas como de Risco Muito Alto. Aqui, a fragilidade não é um acidente, mas uma característica da sua formação. O solo aluvionar é instável e não possui coesão para suportar a energia e os sedimentos que descem das áreas de depressão vizinhas.

6.2. Síntese da Análise Integrada

Em Araras, o processo de degradação visível em erosões de margem e no excesso de nutrientes nos rios, resulta de um conflito entre dois sistemas: a matriz agrícola, que gera energia erosiva, e o sistema fluvial, que recebe essa carga de forma vulnerável. O zoneamento, portanto, vai além de localizar áreas críticas; ele expõe a lógica por trás do colapso ambiental da bacia.

Este cenário é fruto de uma ocupação histórica que se intensificou na década de 1970, com o avanço industrial e rodoviário voltado à exportação. O uso intenso da terra ao longo das décadas moldou o território atual, criando paisagens que hoje refletem os desequilíbrios nos processos naturais do município.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese, fundamentada na concepção geossistêmica de V. B. Sotchava, realizou o diagnóstico integrado da paisagem como subsídio ao ordenamento territorial de Araras-SP. A hipótese central foi corroborada: a abordagem sistêmica, mediada por geotecnologias, revelou-se capaz de decifrar a dinâmica de paisagens sob intensa pressão antrópica. A Cartografia de Paisagens superou a descrição estática, expondo as conexões funcionais entre os compartimentos do relevo e os processos de degradação, o que valida o axioma sistêmico na escala local.

A partir da análise integrada das características físico-naturais e antrópicas do município de Araras, foram identificados dois comportamentos principais no território, definidos pela relação entre o tipo de solo e o uso da terra. O primeiro foi denominado Domínio da Estabilidade Aparente, que abrange as áreas mais planas do município ocupadas pela monocultura de cana-de-açúcar. Embora o relevo suave sugira segurança contra erosões, essa estabilidade é enganosa. O uso intensivo de máquinas transformou essas áreas em fontes de sedimentos que são levados para as partes mais baixas. O segundo é o Domínio da Vulnerabilidade Estrutural, localizado nas margens de rios e várzeas. Essas áreas recebem o fluxo vindo das partes altas e possuem solos orgânicos frágeis que, quando drenados, perdem sua capacidade de se recuperar naturalmente, entrando em um estado de desequilíbrio profundo.

No que se refere a metodologia, a álgebra de mapas ponderada integrando Litologia, Geomorfologia e Pedologia, mostrou-se eficaz na delimitação das Unidades de Paisagem. O uso de novas tecnologias como imagens recentes de satélite e levantamentos com drone permitiu identificar processos de escala detalhada, como a eutrofização pontual e o solapamento de margens, reafirmando a atualidade do método de Sotchava frente aos desafios ambientais hodiernos.

O zoneamento proposto nesta pesquisa traduz o diagnóstico em diretrizes para a gestão pública. As áreas de risco muito alto devem ser tratadas como zonas de restrição absoluta, pois as metragens fixas de proteção previstas em lei são insuficientes para balizar os riscos e fragilidades dos solos de várzea. Nas áreas de produção agrícola, o foco deve ser o manejo que reduza a velocidade da água, garantindo a preservação dos recursos hídricos.

Nas zonas de riscos moderados o foco reside no manejo conservacionista. A segurança hídrica da bacia depende da redução da energia cinética da água gerada nessas áreas de produção intensiva.

Conclui-se que o equilíbrio ambiental de Araras é mantido artificialmente por meio de insumos tecnológicos da atividade agrícola. Embora as áreas planas pareçam estáveis, a substituição da vegetação nativa por plantios extensivos introduziu uma instabilidade silenciosa. A degradação do solo e a erosão indicam que o sistema está próximo de um limite crítico, tornando imperativa a gestão do solo para evitar a transição definitiva para um estado de degradação irreversível.

A Cartografia de Paisagens aqui apresentada oferece um modelo funcional que permite ao poder público antecipar o colapso dos sistemas fluviais, redirecionando políticas da correção de sintomas para o tratamento das causas sistêmicas. A síntese cartográfica reflete a materialização de processos históricos sobre a estrutura litoestratigráfica regional. As unidades identificadas são expressões de uma racionalidade ambiental em disputa, onde a hegemonia da agroindústria molda a morfologia da paisagem e altera os fluxos biofísicos.

Portanto, o planejamento territorial subsidiado por esta investigação propõe um ordenamento que contemple a resiliência ambiental frente à pressão do capital produtivo. Reafirma-se que gerir o território é, em última análise, gerir as contradições da relação sociedade-natureza em um espaço historicamente produzido.

O ordenamento territorial de Araras, amparado pelas Leis Complementares nº 3.901 e 3.902 de 2006, consolida um modelo de gestão que privilegia a dimensão socioeconômica da terra em detrimento do suporte biofísico que a sustenta. A legislação municipal atual, privilegia a organização do crescimento urbano por meio de medidas geométricas e distâncias fixas. Entretanto, o diagnóstico geossistêmico demonstra que a natureza não segue linhas retas.

Critérios como a inclinação do terreno não bastam para garantir a segurança ambiental, pois em Araras o maior risco muitas vezes está justamente nas áreas planas e nas várzeas, cujos limites naturais ignoram as faixas de 30 ou 45 metros definidas pela legislação. Um exemplo dessa defasagem reside no Art. 8º da LC 3.902/2006, que adota a declividade de 30% como o principal restritivo ao parcelamento.

Sob o prisma da teoria de Sotchava, tal critério mostra-se insuficiente para a realidade local. A Cartografia das Unidades de Paisagem revela que, em Araras, o risco ambiental é frequentemente inversamente proporcional à inclinação do terreno.

Essa desconexão entre norma e natureza é ainda mais evidente na proteção das várzeas. O Art. 11 da Lei de Parcelamento prescreve metragens lineares para as faixas *non aedificandi*, porém, o mapeamento realizado neste trabalho demonstra que a vulnerabilidade do Domínio da Instabilidade Estrutural (Zona RA3) é ditada pela pedogênese. Os Organossolos Háplicos possuem limites sinuosos e complexos que ignoram as faixas de 30 ou 45 metros estabelecidas pela legislação.

O quadro 12 apresenta uma comparação entre o diagnóstico realizado nesta pesquisa e as diretrizes do Plano Diretor do município de Araras/SP.

Quadro 12- Comparativo entre o diagnóstico e o Plano Diretor de Araras/SP

Variável de Análise	Parâmetro Normativo (Araras, 2006)	Diagnóstico cartográfico (Unidades de Paisagem)	Implicações no Planejamento
Declividade	Restrição apenas para > 30%	Risco hidrodinâmico elevado em áreas planas (0-8%)	Urbanização excessiva em áreas fontes de sedimentos.
Proteção de Várzeas	Faixas lineares fixas (30m, 45m, 70m)	Delimitação georracional (Organossolos)	Subsidência e instabilidade estrutural em áreas úmidas
Manejo Hídrico	Drenagem cinza e canalização	Manutenção da rugosidade e infiltração	Sobrecarga do sistema fluvial e inundações recorrentes.
Unidades de Gestão	Zoneamento funcional de usos	Unidades de Paisagem (Sistêmico)	Planejamento fragmentado que ignora o fluxo de energia

Fonte: O autor, 2026.

Embora a LC 3.901/2006 preveja o Estudo de Impacto de Vizinhança (Art. 59), os requisitos do Art. 60 abordam a variável ambiental de forma periférica, restringindo-se à proximidade de cursos d'água. A análise integrada indica que o impacto de novos loteamentos transcende o entorno imediato, pois altera o balanço de massa e energia

de toda a bacia hidrográfica. A inexistência de um Mapa de Vulnerabilidade Geossistêmica como pré-requisito para o licenciamento permite o rompimento da metaestabilidade municipal, culminando em processos de eutrofização e erosão marginal acelerada.

A sobreposição da Cartografia de Paisagens ao zoneamento oficial expõe um vácuo técnico significativo. A legislação atual que ainda data de 2006[5], mesmo atendendo aos preceitos do Estatuto da Cidade, permanece alheia à lógica funcional que rege o colapso sistêmico da bacia. Para que o município alcance avanços significativos na conservação ambiental, é imperativo que o ordenamento migre de uma geometria imobiliária para uma gestão funcional da paisagem. Nesse novo paradigma, os limites de ocupação devem ser definidos pela resiliência do solo e pelo comportamento dos fluxos hídricos identificados nesta investigação.

Para que o planejamento territorial de Araras seja efetivo, é necessário substituir a ocupação baseada em desenhos geométricos por uma gestão que respeite as funções da paisagem.

A síntese cartográfica deste trabalho propõe, portanto, uma transição fundamental: substituir o planejamento baseado exclusivamente no uso da terra por um Zoneamento de Resiliência Geossistêmica. Através desta transição, o poder público será capaz de antecipar o colapso dos sistemas fluviais por meio do manejo conservacionista na fonte, movendo a gestão municipal de uma política reativa de correção de danos para uma estratégia preventiva focada nas causas sistêmicas.

As contribuições desta tese fundamentam-se no avanço do debate epistemológico na Geografia Física, na inovação metodológica aplicada ao tratamento de dados ambientais e na aplicabilidade direta dos resultados no ordenamento territorial de Araras. No plano teórico, o trabalho buscou estabelecer uma distinção epistemológica entre a Cartografia de Paisagens e a Cartografia de Síntese. Enquanto a primeira se dedica ao inventário e ao ordenamento taxonômico de unidades homogêneas, a segunda transcende a simples sobreposição de planos de informação para consolidar-se como um modelo de integração sistêmica. Ao elevar a Cartografia de Síntese ao patamar de modelagem ambiental, o mapeamento deixa de ser um

[5] O plano diretor de Araras é de 2006 e se encontra em vigência em função de divergências entre os poderes executivo e legislativo quanto aos estudos técnicos para se elaborar um novo plano, ou até mesmo atualizá-lo.

produto gráfico passivo para assumir a função de um documento normativo, indispensável à fundamentação de decisões estratégicas.

Nesse sentido, a pesquisa introduz os conceitos de Estabilidade Aparente e Instabilidade Estrutural como chaves para compreender a resiliência das paisagens locais. Ao desconstruir a premissa de que terrenos com declividades suaves (0 a 8%) são inerentemente estáveis, demonstra-se como a mecanização agrícola e a remoção da rugosidade natural nas depressões recobertas por latossolos induzem riscos sistêmicos. Essa classificação funcional permite identificar vulnerabilidades que as nomenclaturas meramente descritivas tendem a mascarar, revelando o risco oculto sob a aparente uniformidade do relevo.

Do ponto de vista metodológico, a principal contribuição reside na ruptura com as médias estatísticas e ponderações numéricas convencionais em favor da aplicação da lógica booleana diretamente na tabela de atributos no ambiente SIG (QGIS). A adoção deste método assegura que vulnerabilidades severas não sejam diluídas em cálculos aritméticos, preservando o rigor do diagnóstico. Exemplo disso é a classificação de Risco Muito Alto (RA3) para a intersecção entre Planícies Fluviais e Organossolos, o que define áreas de exclusão agrícola com base em critérios físicos absolutos.

O tratamento de dados climáticos via algoritmos de Inteligência Artificial, conforme as diretrizes éticas e técnicas da Resolução Unesp nº 13/2025, posiciona o trabalho na vanguarda da análise ambiental contemporânea.

O potencial prático da pesquisa manifesta-se no questionamento técnico da legislação municipal, especificamente das Leis Complementares nº 3.901 e 3.902/2006. A Cartografia de Síntese comprova que recuos fixos lineares e restrições baseadas exclusivamente na declividade são insuficientes para prevenir o colapso sistêmico do território. Assim, o resultado consolida-se como um Zoneamento de Resiliência Geossistêmica, apto a subsidiar a revisão das políticas públicas com base na real capacidade de suporte do meio.

Embora a pesquisa não apresente uma análise multitemporal, a ausência de um prognóstico cartográfico justifica-se pela própria natureza do modelo proposto. Desta forma, o zoneamento desenvolvido não pretende prever tendências futuras de uso da terra, mas diagnosticar a integridade funcional do presente. A instabilidade observada nos geossistemas indica que a intervenção normativa não carece de

simulações de cenários, mas da adequação imediata das leis à realidade física já diagnosticada. No mesmo sentido, o uso de drones serviu como ferramenta de aferição fenomenológica e verificação de campo, permitindo comprovar qualitativamente os processos erosivos e a energia do relevo que validam as lógicas restritivas estabelecidas no SIG.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, Aziz Nacib. **A depressão periférica paulista: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácica na Bacia do Paraná**. Geomorfologia, n. 15, p. 1-15, 1969Tradução. Disponível em: https://biblio.fflch.usp.br/AbSaber_AN_1351571_ADepressaoPerifericaPaulista.pdf. Acesso em: 19 set. 2024.

ALMEIDA, F.F.M. 1964. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, 41: 167-263.

ALVES, Carlos Frederico de Castro; BERTOLO, Reginaldo Antonio; ALVES, Fernando Machado; OLIVEIRA, Lucas Blanes de. **Geoquímica das águas subterrâneas de um aterro de resíduos sólidos urbanos em Araras, SP** . **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, Brasil, v. 14, n. 2, p. 3–22, 2014. DOI: 10.5327/Z1519-874X201400020001. Disponível em: https://revistas.usp.br/guspsc/article/view/85364.. Acesso em: 3 set. 2024.

AMORIM, Raul Reis. **Análise geoambiental como subsídio ao planejamento no uso e ocupação das terras da zona costeira da região Costa do Descobrimento (Bahia)**. 2011. 283 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP. Disponível em: https://hdl.handle.net/20.500.12733/1615488. Acesso em: 25 jun. 2024.

_____ **Um novo olhar na geografia para os conceitos e aplicações de geossistemas, sistemas antrópicos e sistemas ambientais. Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 41, p. 80–101, 2012. DOI: 10.14393/RCG134116613. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16613. Acesso em: 15 jul. 2024.

_____. **A representação de mapas de paisagens na escala regional: o exemplo da região costa do descobrimento (bahia)**. **Revista da ANPEGE**, *[S. l.]*, v. 12, n. 17, p. 257–292, 2017. DOI: 10.5418/RA2016.1217.0011. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/anpege/article/view/6421. Acesso em: 15 jul. 2024.

ARARAS. [Prefeitura]. **Lei Complementar nº 3.901, de 4 de outubro de 2006**. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Araras, suas normas disciplinadoras e dá outras providências. Araras, SP: Câmara Municipal, 2006. Disponível em: https://araras.sp.gov.br/planodiretor/. Acesso em: 10 abr. 2026.

ARARAS. [Prefeitura]. **Lei Complementar nº 3.902, de 6 de outubro de 2006**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo e Urbanizações Especiais do Município de Araras, suas Normas Disciplinadoras e dá outras providências. Araras, SP: Câmara Municipal, 2006. Disponível em: https://araras.siscam.com.br/. Acesso em: 10 abr. 2026.

ARARAS. [Prefeitura]. **Lei Complementar nº 3.903, de 4 de outubro de 2006**. Dispõe sobre o Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo do Município de Araras e dá outras

providências. Araras, SP: Câmara Municipal, 2006. Disponível em: https://araras.siscam.com.br/. Acesso em: 10 abr. 2026.
ARARAS. Prefeitura Municipal. **Plano Diretor de Araras**: Revisão 2025/2026. Araras, SP, 2026. Disponível em: https://araras.sp.gov.br/planodiretor/. Acesso em: 10 abr. 2026.

BATTY, M**.** Digital twins for smart cities. **Interactive Journal of Medical Research**, v. 7, n. 2, 2018.

BERNARDELLI, VALÉRIA COGHI; LUPINACCI, CENIRA MARIA. **Diagnóstico antropogeomorfológico das vertentes do baixo curso da bacia hidrográfica do córrego do Facão - município de Araras (SP)**. REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA, v. 14, p. 711-728, 2021.

BERTALANFFY, L. v. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973.

BERTIN, J. Semiologia gráfica. **Les diagrams Les réseaux Les cartes**. Paris: Gauthier-Villars. 1967.

BRASIL. Decreto n° 4.297, de 10 de julho de 2002. Regulamenta o art. 9o, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, **estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico- Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Decreto/2002/D4297.htm>.

BOOLE, G. **An investigation of the laws of thought on which are founded the mathematical theories of logic and probabilities**. London: Walton and Maberly, 1854.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Oxford University Press, 1986.

CALVANCANTI, L. C. S. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina detextos, 2018.

_____**Da descrição de áreas à teoria dos geossistemas: uma abordagem epistemológica sobre sínteses naturalistas**. 2013. 216 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Pernambuco: Recife, 2013. Cap. 6.

_____. **Geossistemas no estado de Alagoas: uma contribuição aos estudos da natureza em geografia**. 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) -Curso de Geografia, Universidade Federal de Pernambuco: Recife, 2010.

CAVALCANTI, L. C. de S.; CORRÊA, A. C. de B. **Problemas de hierarquização espacial e funcional na ecologia da paisagem: uma avaliação a partir da abordagem geossistêmica**. 28. ed. Florianópolis: Geosul, 2014. 20 p.

CHIBENI, S. S. **O que é ciência?** Campinas: Unicamp, 2001.

CHRISMAN, N. **Exploring geographic information systems**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Büchler,2002.

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

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS (CIIAGRO). **Monitoramento Agrometeorológico do Estado de São Paulo**: Dados Climáticos de Araras (2016-2026). Campinas: IAC, 2026. Disponível em: http://www.ciiagro.org.br/. Acesso em: 10 mar. 2026.

CLAUDINO, G. dos S.; PINHO, L. M. CARTOGRAFIA E ENSINO DA PAISAGEM: TENTATIVA DE APLICAÇÃO. **Caderno Prudentino de Geografia**, *[S. l.]*, v. 1, n. 40, p. 111–133, 2018. Disponível em: https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/5889. Acesso em: 7 ago. 2024.

CREPANI, E. *et al*. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológicoeconômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

CREPANI, E. *et al*. **Intensidade pluviométrica:** uma maneira de tratar dados pluviométricospara análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo. São José dos Campos: INPE, 2004.

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

CREPANI, E. *et al.* Zoneamento Ecológico-econômico. *In*: FLORENZANO, T. G. (org.).
Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 285

– 318.

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

DIAS, R. L.; PEREZ FILHO, A.. NOVAS CONSIDERAÇÕES SOBRE GEOSSISTEMAS E ORGANIZAÇÕES ESPACIAIS EM GEOGRAFIA. **Sociedade & Natureza**, v. 29, n. 3, p. 413–425, set. 2017.

FORTE, Thiago SILVA. **Diagnóstico ambiental e cartografia de geossistemas como subsídio ao planejamento territorial de Divisa Nova, sul de Minas Gerais**. 2021. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas/MG, 2021.

GREGORY, K. J. **A natureza da geografia física**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1992. 367p.

Grohmann, C. H. 2015. **Análise Digital de Terreno: Aplicações em Geologia e Geomorfologia**. Tese de Livre-Docência. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. http://dx.doi.org/10.11606/T.106.2019...

Guth, P.L., Niekerk, A.V., Grohmann, C.H., Muller, J.-P., Hawker, L., Florinsky, I.V., Gesch, D., Reuter, H.I., Herrera-Cruz, V., Riazanoff, S., López-Vázquez, C., Carabajal, C.C., Albinet, C., Strobl, P., 2021 - **Digital Elevation Models: Terminology and Definitions**. Remote Sensing. https://doi.org/10.3390/rs13183581 (acesso aberto)

HARRIS, C. R. et al. Array programming with NumPy. **Nature**, v. 585, p. 357–362, 2020.

HOORN, C. *et al*. Amazonia Through Time: Andean Uplift, Climate Change, Landscape Evolution, and Biodiversity. **Science**, v. 330, n. 6006, p. 927-931, 2010. DOI: 10.1126/science.1194585.

IBGE. **CIDADES**. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama. Acessoem: 27 jul. 2021.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. Rio de Janeiro; 2. ed. 2010. 182 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf. Acesso em: 10 out. 2020.

IPBES. **Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services**. Editores: E. S. Brondizio [et al.]. Bonn, Alemanha: IPBES Secretariat, 2019. DOI: 10.5281/zenodo.3831673.

ISLAM, Wahedul; SARKER, Subaran Chandra. **Monitoring the Changing Pattern of Land Use in the Rangpur City Corporation Using Remote Sensing and GIS**. Journal of Geographic Information System, v. 8, n. 4, p. 24 ago. 2016.

JANOWICZ, K. et al. GeoAI: spatially explicit artificial intelligence techniques for geographic knowledge discovery. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 34, n. 4, p. 625-636, 2020.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Geographic Information Systems and Science**. 4th ed. Hoboken: Wiley, 2015.

LU, D.; WENG, Q. **A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance**. International Journal of Remote Sensing, v. 28, p. 823-870, 2007.

MCKINNEY, W. Data Structures for Statistical Computing in Python. **In: Proceedings of the 9th Python in Science Conference**, v. 445, p. 51-56, 2010.

MARQUES NETO, R.; PEREZ FILHO,A.; OLIVEIRA, T.A. **Geossistemas na bacia do Rio Verde (MG): proposta de mapeamento de sistemas ambientais físicos em escala regional**. *Geografia (Rio Claro. Impresso)*, v. 39, p. 321-335, 2014.

MARQUES NETO, R. **Paisagem e Geossistemas: Bases teorico-metodológicas da Geografia Física Aplicada**. Curitiba-PR. CRV Editora. 2021.

MARSHALL, L. G. Land mammals and the Great American Interchange. **American Scientist**, v. 76, n. 4, p. 380-388, jul./ago. 1988.

MARTINELLI, Marcello; PEDROTTI, Franco. A cartografia da unidade de paisagem: questões metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 14, p. 39–46, 2011. DOI: 10.7154/RDG.2001.0014.0004. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47311.. Acesso em: 8 ago. 2024.

MITTERMEIER, R. A.; ROBLES-GIL, P.; MITTERMEIER, C. G. **Megadiversity: Earth's biologically wealthiest nations**. Cidade do México: CEMEX, 1997.

MONTEIRO, C. A. de F. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo**: estudo geográfico sob forma de atlas. São Paulo: IGEOG-USP, 1973.

MOREIRA, R. **Pensar em geografia: ensaios de história, epistemologia e ontologia doespaço geográfico**. 1ª reimpressão. São Paulo: Contexto, 2008.

MORIN, E. **O método 1: a natureza da natureza**. 2. ed. Portugal, Publicações Europa-América Lda. 1977.

MOURA, A. C. M. **Geodesign**: a cartografia como suporte para a tomada de decisões no planejamento territorial. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 71, n. 3, p. 825-849, 2019.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento em Urbanismo e Planejamento Urbano**. Belo Horizonte: Ed. da Autora, 2011.

NAÇÕES UNIDAS. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 3 mar. 2026.

NOGUERA, A.P. Complejidad, rizoma y magma: três elementos claves em la Construcción de modelos de investigación ambiental rur -urbana- agraria; getion y ambiente; v.5; n.1; 2002, p.11-24

OLOFSSON, P. *et al*. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote Sensing of Environment**. Boston, v. 148, n. 148, p. 42-57, 15 jan. 2014.

PEREZ FILHO, A. Sistemas Naturais e Geografia. *In*: SILVA, J. B.; LIMA, L. C.; ELIAS, D. **Panorama da Geografia Brasileira**. São Paulo: Annablume, 2007. p. 333-336.

PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL. **Mapa geológico do estado de São Paulo: escala 1:750.000. Breve descrição das unidades litoestratigráficas aflorantes no estado de São Paulo**. Autores responsáveis pelas descrições: AM: André Marconato, BBT: Bruno Boito Turra, EDS: Elizete Domingues Salvador, LAC: Luiz Antonio Chieregati, LZD: Liz Zanchetta D'Agostino, MMP: Mônica Mazzini Perrotta, RCL: Ricardo da Cunha Lopes. CPRM. 2006

QUEIROZ, L. S.; MEDEIROS, J. F. de. **Compartimentação geoambiental do município deSerrinha dos Pintos – RN**. **Geosul**, Florianópolis, v. 76, n. 35, p. 232-251, set. 2020.

QUEIROZ, T. B. *et al*. **Avaliação do desempenho da classificação do uso e cobertura daterra a partir de imagens landsat 8 e rapideye na região central do Rio Grande do Sul**. **Geociências**: UNESP, São Paulo-SP, v. 3, n. 36, p. 569-578, nov. 2017. UFSM.

RILLEY, S. J. *et al***.** A terrain Ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. **Intermountain Journal of Sciences**. Michigan, v. 5, n. 5, p. 23-27, 1999.

RODRIGUEZ, J. M. M. *et al*. **Teoria geral dos Geossistemas o legado de V.B. Sochava**:volume 1 fundamentos teóricos - metodológicos. 2019. 174 f., Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2019. Cap. 5.

RODRIGUEZ, J. M. M. *et al*. **Geoecologia das paisagens**: Uma visão geossistêmica daanálise ambiental. 2. ed. Fortaleza: Edições UFC, p. 17- 54, 2007.

ROSA, Roberto. **ANÁLISE ESPACIAL EM GEOGRAFIA**. **Revista da ANPEGE**, *[S. L.]*, v. 7, n. 01, p. 275–289, 2017. DOI: 10.5418/RA2011.0701.0023. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/anpege/article/view/6571. Acesso em: 15 jul. 2024.

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

ROSS, J. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia dorelevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo: USP, v. 6, p. 17-29, 2011.

ROSOLÉM, Nathalia Prado. **Um breve histórico sobre os estudos da semiologia gráfica no Brasil**. Revista Geografia, Londrina, 2017.

SACHS, Jeffrey D. **A Era do Desenvolvimento Sustentável**. Tradução de Maísa Porto. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2017.

SALGUEIRO, T. B. Paisagem e Geografia. Finisterra, XXXVI, 72, 2001, PP. 37-53.

SAUSSURE, F. **Tours apud Buyssens, Eric**. Semiologia e comunicação lingüística. São Paulo: Cutrix. 1913. 87p.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ADAMI, M. E.; FANCELLI, A. L. Balanço hídrico climatológico sequencial diário e sua aplicação na determinação de épocas favoráveis à semeadura. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 133-139, 1999.

SILVA, A. O. da; MOURA, G. B. de A.; KLAR, A. E. **Classificação climática de Thornthwaite e sua aplicabilidade agroclimatológica nos diferentes regimes de precipitação em Pernambuco. Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 1, p. 46-60, 2014. DOI: 10.15809/irriga.2014v19n1p46. Disponível em: https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/415. Acesso em: 12 mar. 2026.

SILVA, J. X. da. O que é geoprocessamento? **Revista CREA-RJ**, Rio de Janeiro, v. 79, p.42-49, 2009.

SOSA N.M. **Perspectiva ética**. Madrid.: UNED, 1995. 67 p. (Série Monografías).

SOTCHAVA, V. B. **Introdução a Teoria dos Geossistemas**. Novasibéria: Nauka, 1978. 319p.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. **Métodos em Questão**. São Paulo, n. 6, 1977.51 p.

SOUZA, Jocelyn Lopes de; FERREIRA, Francisco José Fonseca. **Anomalias aerogamaespectrométricas (K, eU e eTh) da quadrícula de Araras (SP) e suas relações com processos pedogenéticos e fertilizantes fosfatados**. Revista Brasileira de Geofísica. 2005.

SUERTEGARAY, D.M.A. **Ambiência e pensamento complexo**. In: Geografia. Ciência dos complexos. Ensaios transdisciplinares. Porto alegre: Editora Sulina, 2004. P.181-206.

TAGLIANI, P.R. **Estratégia de planejamento ambiental para o sistema ecológico da restinga da Lagoa dos Patos**. Tese (Doutorado), São Carlos: Planície Costeira de Rio Grande do Sul, 1995. 128p.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Laboratory of Climatology, 1955. (Publications in Climatology, v. 8, n. 1).

TÔSTO, S. G. *et. al*. **Zoneamento e cobertura dos solos do município de Araras, SP**.EMBRAPA, 2010.

TURNER, B. L.; LAMBIN, E. F.; REENBERG, A. **The emergence of land change science for global environmental change and sustainability**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v.104, p.20666- 20671, 2007.

UNFCCC. **Adoption of the Paris Agreement**. Conference of the Parties on its twenty-first session. Paris: United Nations, 2015. Disponível em: https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf. Acesso em: 3 mar. 2026.

VAN ROSSUM, G.; DRAKE, F. L. **Python 3 Reference Manual**. Scotts Valley: CreateSpace, 2009.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 3. ed. Oxford: Academic Press, 2011.

ZACHARIAS, Andréa Aparecida. **A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental: um estudo de caso no Município de Ourinhos-SP**. 2006. 209 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, 2006.

ZACHARIAS, Andréa Aparecida. **A cartografia de síntese na análise ambiental: os caminhos metodológicos, a integração de dados e suas aplicações pela Geografia Física brasileira.** *In*: SILVA, Charlei Aparecido da; LEITE, Emerson Figueiredo (org**.). Cartografia & geotecnologias**: conceitos e aplicações. 1. ed. Porto Alegre, RS: TotalBooks, 2023. cap. 4, p. 109-151.

ZAMBARDA, W. I. M.; Silvia SELINGARDI-SAMPAIO. **A Industrialização de Araras,SP:Uma Análise das Etapas Sucessivas de Investimentos e da Relação Local/Global.** Geografia (Rio Claro), v. 26, p. 55-95, 2001.

ZANOTTA, Daniel Capella; FERREIRA, Matheuys Pinheiro; ZORTEA, Maciel. **Processamento de Imagens de Satélite**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.