

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DINÂMICAS TERRITORIAIS
E ESTUDOS AMBIENTAIS**

**ZONEAMENTO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: ESTUDO
DEMONSTRATIVO NA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS AFLUENTES MINEIROS DO BAIXO PARANAÍBA**

RAFAEL MENDES ROSA

UBERLÂNDIA-MG
2021

RAFAEL MENDES ROSA

**ZONEAMENTO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: ESTUDO
DEMONSTRATIVO NA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS AFLUENTES MINEIROS DO BAIXO PARANAÍBA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Linha de pesquisa: Análise, Planejamento e Gestão Ambiental/Geoprocessamento

Orientador: Prof. Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

R788 Rosa, Rafael Mendes, 1986-
2021 Zoneamento ambiental de bacias hidrográficas: estudo demonstrativo na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba [recurso eletrônico] / Rafael Mendes Rosa. - 2021.

Orientador: Vanderlei de Oliveira Ferreira.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Geografia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2021.705>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Geografia. I. Ferreira, Vanderlei de Oliveira, 1967-
, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia
Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.ppgeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	GEOGRAFIA				
Defesa de:	Tese de Doutorado Acadêmico, Número 219; PPGGEO				
Data:	17 de dezembro de 2021	Hora de início:	08h:00m	Hora de encerramento:	11h:55m
Matrícula do Discente:	11813GEO016				
Nome do Discente:	RAFAEL MENDES ROSA				
Título do Trabalho:	ZONEAMENTO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: ESTUDO DEMONSTRATIVO NA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS AFLUENTES MINEIROS DO BAIXO PARANAÍBA				
Área de concentração:	DINÂMICAS TERRITORIAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS				
Linha de pesquisa:	ANÁLISE, PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL/GEOPROCESSAMENTO				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se no Anfiteatro/Sala [On-line], Campus [Santa Mônica], da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em GEOGRAFIA, assim composta: Professores Doutores: Sandro Laudares - PUC-MINAS; Bernardo Machado Gontijo - UFMG; Jorge Luis Silva Brito - IG/UFU; Hudson de Paula Carvalho - ICIAG/UFU e Vanderlei de Oliveira Ferreira - IG/UFU, orientador(a) do(a) candidato(a). Em função da pandemia COVID-19 os membros participaram de forma on-line.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Vanderlei de Oliveira Ferreira - IG/UFU, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a) com distinção.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Vanderlei de Oliveira Ferreira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 17/12/2021, às 12:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bernardo Machado Gontijo, Usuário Externo**, em 17/12/2021, às 12:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jorge Luis Silva Brito, Professor(a) do Magistério Superior**, em 17/12/2021, às 12:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sandro Laudares, Usuário Externo**, em 17/12/2021, às 18:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Hudson de Paula Carvalho, Professor(a) do Magistério Superior**, em 21/12/2021, às 08:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3219433** e o código CRC **B9315F10**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais, Ricardo Rosa (*in memoriam*) e Maria Aparecida Mendes Rosa, além do meu irmão, Renato Mendes Rosa, por todo o apoio recebido ao longo de toda a minha formação acadêmica, desde a Graduação até o Doutorado.

Em especial, tenho muita gratidão ao meu orientador e também amigo Professor Doutor Vanderlei de Oliveira Ferreira pela confiança depositada nos meus trabalhos, de Mestrado e de Doutorado, bem como pela sua enorme dedicação durante os anos em que fui seu orientando.

Aos Professores Doutor Jorge Luís Silva Brito e Doutor Hudson de Paula Carvalho pelas contribuições na qualificação e na defesa e aos Professores Doutor Bernardo Machado Gontijo e Doutor Sandro Laudares pela participação na defesa.

À técnica Eleusa Fátima de Lima e aos colegas Patrícia Soares Rezende, Samuel Alves Maciel, Georgia Teixeira e Brenda Nogueira de Brito agradeço pela atenção no período em que desenvolvi a pesquisa no Laboratório de Cartografia e Sensoriamento Remoto (LACAR).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), agradeço pela concessão da bolsa de Doutorado.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e, de modo particular, ao Instituto de Geografia (IG), por terem me proporcionado uma formação acadêmica gratuita e de qualidade na Graduação, no Mestrado e no Doutorado.

ZONEAMENTO AMBIENTAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS: ESTUDO DEMONSTRATIVO NA UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS AFLUENTES MINEIROS DO BAIXO PARANAÍBA

RESUMO

A exploração dos recursos naturais, intensificada na segunda metade do século XX, trouxe ao debate público a importância da conservação ambiental, sendo essa questão revertida em leis que visam o equilíbrio entre o crescimento econômico e a preservação da natureza. Assim, instrumentos de caráter ambiental foram desenvolvidos em vários países, como o zoneamento ambiental, que se destaca como ferramenta de gerenciamento do território. No Brasil, embora o instrumento tenha sido definido pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, a regulamentação ocorreu somente pelo Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002. Diante disso, esta tese possui o intuito de propor um procedimento metodológico de zoneamento ambiental para bacias hidrográficas a partir da integração de variáveis físico-geográficas e ambientais, sendo algumas especialmente relacionadas aos recursos hídricos. A área selecionada para aplicação é a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (UPGRH PN3), situada no estado de Minas Gerais. As referências teórico-conceituais abrangem os princípios do zoneamento ambiental e seu aporte à tomada de decisão no Brasil, as categorias geográficas paisagem e território e as bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos. Como base para a pesquisa, também foram descritas sucintamente algumas metodologias de zoneamento ambiental e as principais operações de análise geográfica em Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para obtenção dos resultados, a pesquisa contemplou, inicialmente, o diagnóstico dos componentes físico-geográficos e ambientais (características geológicas, aspectos do relevo, classes de solos, condições climáticas, cobertura e uso da terra, além da disponibilidade das águas superficiais, os conflitos pelo uso da água e a qualidade das águas superficiais). Em seguida, esses componentes foram utilizados para a obtenção da vulnerabilidade natural à perda de solos e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais. Na sequência, foram determinados os conflitos entre o uso da terra e as referidas vulnerabilidades, bem como o conflito entre o uso da terra e as áreas legalmente protegidas. Esses procedimentos determinaram duas zonas, sendo denominadas de zona de conservação ou de intervenções recuperativas e zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas. Ambas foram subdivididas em áreas (subzonas) para identificação de espaços para preservação ou recuperação com diferentes níveis de urgência, no caso da zona de conservação ou de intervenções recuperativas, além de porções com variadas restrições que foram capazes de direcionar sugestões de manejo ambiental na zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas. A partir dos resultados, entende-se que este zoneamento ambiental pode ser uma ferramenta útil de planejamento e gestão da área de estudo, sobretudo se integrada com outros instrumentos de política ambiental. Por fim, espera-se que as ideias deste trabalho possam ser utilizadas no Plano Diretor de Recursos Hídricos da UPGRH PN3 ou ainda que o procedimento metodológico seja aplicado em unidades territoriais análogas.

Palavras-chave: Zoneamento ambiental. Bacias hidrográficas. Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba. Geoprocessamento. Planejamento ambiental.

**ENVIRONMENTAL ZONING OF WATERSHEDS: DEMONSTRATIVE STUDY
IN THE WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT UNIT
FROM LOW PARANAÍBA RIVER, MINAS GERAIS STATE, BRAZIL**

ABSTRACT

The exploitation of natural resources, intensified in the second half of the twentieth century, brought to the public debate the importance of environmental conservation, in which this issue was reversed in laws that aim the balance between economic growth and the preservation of nature. Thus, environmental instruments have been developed in several countries, such as environmental zoning, which stands out as a territory managing tool. In Brazil, although the instrument was defined by Law 6,938, of August 31, 1981, the regulation occurred only by Decree 4,297, of July 10, 2002. Therefore, this thesis aims to propose a methodological procedure for environmental zoning for watersheds based on the integration of physical-geographic and environmental variables, some of which are especially related to water resources. The area selected for application is the Water Resources Planning and Management Unit from Low Paranaíba River (UPGRH PN3), located in Minas Gerais State, Brazil. Theoretical and conceptual references include the principles of environmental zoning and its contribution to decision making in Brazil, the geographical categories of landscape and territory and watersheds as water resource planning and management units. As a basis for the research, some environmental zoning methodologies and the main geographic analysis operations in Geographic Information System (GIS) were also briefly described. To obtain the results, the research initially contemplated the diagnosis of the physical-geographic and environmental components (geological characteristics, aspects of the relief, soil classes, climatic conditions, land coverage and use, in addition to the availability of surface waters, conflicts water use and the quality of surface water). Then, these components were used to obtain the natural vulnerability to soil loss and quali-quantitative vulnerability of surface waters. Subsequently, conflicts between land use and the above-mentioned vulnerabilities were determined, as well as the conflict between land use and legally protected areas. These procedures determined two zones, which were called zone of conservation or recuperative interventions and zone of consolidated occupations and/or productive activities. Both were subdivided into areas (sub-zones) to identify spaces for preservation or recovery with different levels of urgency, in the case of the zone of conservation or recuperative interventions, in addition to portions with varied restrictions that were able to direct suggestions for environmental management in the zone of consolidated occupations and/or productive activities. From the results, it is understood that this environmental zoning can be a useful tool for planning and management of the study area, especially if integrated with other environmental policy instruments. Finally, we expect that the ideas regarding this work may be used in the UPGRH PN3 Water Resources Master Plan or that the methodological procedure is applied in similar territorial units.

Keywords: Environmental zoning. Watersheds. Paranaíba river tributaries. Geoprocessing. Environmental planning.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Princípios norteadores do ZEE e suas definições.	27
Quadro 2. Escalas de atuação dos zoneamentos ambientais.	30
Quadro 3. Situação do ZEE no Brasil no ano de 2018.	31
Quadro 4. Síntese das contribuições de autores clássicos ao instrumento zoneamento ambiental.	40
Quadro 5. Fatores condicionantes da vulnerabilidade natural e potencialidade social do ZEE-MG...	50
Quadro 6. Índices ecológico-econômico da metodologia do ZEE-MG.	51
Quadro 7. Sequência de operações de análise geográfica trabalhadas em SIG.	55
Quadro 8. Principais arquivos e dados digitais utilizados na pesquisa.	60
Quadro 9. Estações pluviométricas utilizadas e suas coordenadas geográficas.	63
Quadro 10. Informações sobre os mapas temáticos utilizados na vulnerabilidade natural.	65
Quadro 11. Graus de vulnerabilidade à perda de solos com valores agregados.	65
Quadro 12. Graus de vulnerabilidade da disponibilidade das águas superficiais.	66
Quadro 13. Resumo das etapas para o cálculo da $Q_{7,10}$	67
Quadro 14. Graus de vulnerabilidade das áreas de conflito pelo uso da água.	67
Quadro 15. Graus de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais.	69
Quadro 16. Graus de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais com valores agregados.	69
Quadro 17. Informações sobre os mapas temáticos utilizados na vulnerabilidade quali-quantitativa.	70
Quadro 18. Graus de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais.	71
Quadro 19. Dados e informações levantados sobre as áreas legalmente protegidas.	72
Quadro 20. Interseção definida para o conflito entre uso da terra e vulnerabilidade à perda de solos.	74
Quadro 21. Interseção definida para o conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais.	75
Quadro 22. Critério de conversão do conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais para o âmbito de bacia hidrográfica.	75
Quadro 23. Interseção definida para o conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas.	76
Quadro 24. Critérios de definição de áreas para preservação e recuperação.	77
Quadro 25. Critérios de definição de áreas aptas com restrições e inaptas.	78
Quadro 26. Critérios de definição de bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo.	79
Quadro 27. Classificação e características gerais dos solos da UPGRH PN3.	90
Quadro 28. Exemplo de obtenção da $Q_{7,10}$ a partir da foz do rio Piedade para estabelecimento da disponibilidade das águas superficiais da UPGRH PN3.	100
Quadro 29. Características gerais das áreas de conflito da UPGRH PN3.	101
Quadro 30. Resultados dos pontos de monitoramento da UPGRH PN3.	104
Quadro 31. Exemplos de sobreposições da vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3.	115
Quadro 32. Exemplos de sobreposições da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3.	120
Quadro 33. Diretrizes de preservação, recuperação e manejo da UPGRH PN3.	148

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Escala de vulnerabilidade à perda de solos de Crepani <i>et al.</i> (2001).....	48
Tabela 2. Valores de vulnerabilidade atribuídos aos temas na etapa de integração.....	61
Tabela 3. Disponibilidade das águas superficiais considerando o exutório das principais bacias hidrográficas da UPGRH PN3.	98
Tabela 4. Valores de vulnerabilidade das unidades geológicas da UPGRH PN3.	108
Tabela 5. Valores de vulnerabilidade das classes de declividade da UPGRH PN3.	109
Tabela 6. Valores de vulnerabilidade das classes de solos da UPGRH PN3.	109
Tabela 7. Valores de vulnerabilidade da intensidade pluviométrica da UPGRH PN3.....	110
Tabela 8. Valores de vulnerabilidade das classes de cobertura e uso da terra da UPGRH PN3.	111
Tabela 9. Unidades agregadas dos graus de vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3.	113
Tabela 10. Valores de vulnerabilidade da disponibilidade natural das águas superficiais (Q _{7, 10}) da UPGRH PN3.	116
Tabela 11. Valores de vulnerabilidade das áreas de conflito pelo uso da água da UPGRH PN3.	117
Tabela 12. Valores de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais da UPGRH PN3.....	117
Tabela 13. Valores agregados dos graus de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3.	118
Tabela 14. Ocupações das áreas legalmente protegidas e não protegidas.....	121
Tabela 15. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3..	124
Tabela 16. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3.	126
Tabela 17. Definição dos conflitos das bacias hidrográficas da UPGRH PN3.	128
Tabela 18. Conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas da UPGRH PN3.....	130
Tabela 19. Zonas e bacias prioritárias às ações de recuperação e manejo da UPGRH PN3.....	133
Tabela 20. Cobertura vegetal nativa a ser considerada como áreas para preservação.	135
Tabela 21. Usos da terra a serem convertidos em áreas para preservação com baixa urgência.	137
Tabela 22. Usos da terra a serem convertidos em áreas para preservação com média urgência.	138
Tabela 23. Usos da terra a serem convertidos em áreas para preservação com alta urgência.....	139
Tabela 24. Usos da terra com restrições elementares.....	141
Tabela 25. Usos da terra com restrições moderadas.....	142
Tabela 26. Usos da terra com restrições relevantes.....	143
Tabela 27. Uso da terra a ser convertido em áreas para preservação.	144
Tabela 28. Usos da terra passível de ações específicas.	145
Tabela 29. Definição das bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo da UPGRH PN3.....	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema do balanço hidrológico em uma bacia hidrográfica.	42
Figura 2. Componentes físicos e o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas.....	43
Figura 3. Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais.....	45
Figura 4. Fluxograma das etapas desenvolvidas na pesquisa.....	59
Figura 5. Esquema para elaboração do mapa de vulnerabilidade natural à perda de solos.....	62
Figura 6. Localização das estações pluviométricas utilizadas na pesquisa.	64
Figura 7. Esquema para elaboração do mapa da qualidade das águas superficiais.....	68
Figura 8. Esquema para elaboração do mapa de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais.	71
Figura 9. Esquema para estabelecimentos de conflitos.....	73
Figura 10. Esquema de concepção do zoneamento ambiental.	77
Figura 11. Tipos de modelados encontrados na UPGRH PN3.	85
Figura 12. Tipos climáticos da UPGRH PN3.	92
Figura 13. Climograma representativo da UPGRH PN3 (1988 – 2018).....	93
Figura 14. Rendimento específico médio mensal mínimo da UPGRH PN3.....	98
Figura 15. Distribuição percentual do IQA da UPGRH PN3 para os anos de 2015 a 2018.	103
Figura 16. Indicadores de IQA, CT e IET da UPGRH PN3 conforme dados do IGAM (2019a).....	105
Figura 17. Parâmetros que não atenderam ao limite legal do CONAMA (2005) na UPGRH PN3...	106
Figura 18. Vulnerabilidade dos componentes físico-geográficos da UPGRH PN3.....	112
Figura 19. Integração das vulnerabilidades dos componentes físico-geográficos da UPGRH PN3..	113
Figura 20. Áreas para preservação na UPGRH PN3.....	136
Figura 21. Áreas para recuperação de baixa urgência na UPGRH PN3.	137
Figura 22. Áreas para recuperação de média urgência na UPGRH PN3.	139
Figura 23. Áreas para recuperação de alta urgência na UPGRH PN3.	140
Figura 24. Áreas aptas com restrições elementares.....	141
Figura 25. Áreas aptas com restrições moderadas.	142
Figura 26. Áreas aptas com restrições relevantes.	143
Figura 27. Áreas inaptas.....	144
Figura 28. Áreas urbanas consolidadas.....	145
Figura 29. Bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo.	147

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Localização da UPGRH PN3.	22
Mapa 2. Principais bacias hidrográficas da UPGRH PN3.	23
Mapa 3. Unidades geológicas da UPGRH PN3.	83
Mapa 4. Classes hipsométricas da UPGRH PN3.	87
Mapa 5. Classes de declividade da UPGRH PN3.	88
Mapa 6. Classes de solos da UPGRH PN3.	91
Mapa 7. Precipitação média anual (1988 – 2018) da UPGRH PN3.	94
Mapa 8. Cobertura e uso da terra da UPGRH PN3.	96
Mapa 9. Disponibilidade natural das águas superficiais ($Q_{7, 10}$) considerando o exutório das principais bacias hidrográficas da UPGRH PN3.	99
Mapa 10. Áreas de conflito pelo uso da água da UPGRH PN3.	102
Mapa 11. Qualidade das águas superficiais da UPGRH PN3.	107
Mapa 12. Vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3.	114
Mapa 13. Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3.	119
Mapa 14. Áreas legalmente protegidas da UPGRH PN3.	122
Mapa 15. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3. ..	125
Mapa 16. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3.	127
Mapa 17. Conflito das bacias hidrográficas da UPGRH PN3.	129
Mapa 18. Conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas da UPGRH PN3.	131
Mapa 19. Zoneamento ambiental da UPGRH PN3.	134

LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

AAI – Avaliação Ambiental Integrada
AHP – *Analytic Hierarchy Process*
ANA – Agência Nacional de Águas
APP – Área de Preservação Permanente
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAR – Cadastro Ambiental Rural
CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica
cm – centímetro
CODEMIG – Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CT – Contaminação por Tóxicos
DAC – Declaração de Área de Conflito
EIA/RIMA – Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental
Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente
GRASS – *Geographic Resources Analysis Support System*
GTP – Geossistema-Território-Paisagem
ha – hectare
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDE – Infraestrutura de Dados Espaciais
IEF – Instituto Estadual de Florestas
IET – Índice de Estado Trófico
IG – Instituto de Geografia
IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQA – Índice de Qualidade das Águas
km² – quilômetro quadrado
LACAR – Laboratório de Cartografia e Sensoriamento Remoto
m – metro
mm – milímetro
MMA – Ministério do Meio Ambiente

MG – Minas Gerais

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PN1 – Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba

PN2 – Bacia Hidrográfica do Rio Araguari

PN3 – Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba

Q_{7, 10} – vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência

Q₉₀ – vazão mínima esperada em 90% do tempo

Q₉₅ – vazão mínima esperada em 95% do tempo

QGIS – *Quantum Geographic Information System*

Qmld – vazão média de longa duração

RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural

SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SICAR – Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SISEMA – Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

UHE – Usina Hidrelétrica

UEGRH – Unidade Estadual de Gestão de Recursos Hídricos

UPGRH – Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos

USGS – *United States Geological Survey*

UTB – Unidade Territorial Básica

UTE – Unidade Territorial Estratégica

ZAP – Zoneamento Ambiental Produtivo

ZEE – Zoneamento Ecológico-Econômico

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
Unidade territorial selecionada para o estudo demonstrativo	21
Objetivos da pesquisa	24
Objetivo geral	24
Objetivos específicos.....	24
Estrutura do trabalho	24
1. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL.....	26
1.1. Princípios do zoneamento ambiental no Brasil e seu aporte aos tomadores de decisão	26
1.2. Paisagem e território no contexto do zoneamento ambiental.....	33
1.3. Bacias hidrográficas como unidades territoriais de planejamento e gestão dos recursos hídricos.....	41
1.4. Procedimentos metodológicos para zoneamentos ambientais.....	47
1.5. Possibilidades do uso de SIG no zoneamento ambiental	53
2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	57
2.1. Direcionamentos da pesquisa	57
2.2. Materiais, <i>softwares</i> e arquivos digitais.....	60
2.3. Temas e procedimentos metodológicos adotados no zoneamento ambiental.....	61
2.3.1. Levantamento da vulnerabilidade natural à perda de solos.....	61
2.3.2. Levantamento da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais.....	66
2.3.3. Levantamento das áreas legalmente protegidas	71
2.3.4. Estabelecimento de conflitos.....	73
2.3.5. Concepção do zoneamento ambiental	76
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
3.1. Diagnóstico dos componentes físico-geográficos e ambientais	80
3.1.1. Características geológicas	80
3.1.2. Aspectos do relevo	84
3.1.3. Classes de solos.....	89
3.1.4. Condições climáticas.....	92
3.1.5. Cobertura e uso da terra	95
3.1.6. Disponibilidade natural das águas superficiais.....	97
3.1.7. Áreas de conflito pelo uso da água.....	101
3.1.8. Qualidade das águas superficiais.....	103
3.2. Levantamento das vulnerabilidades à perda de solos e das águas superficiais	108
3.2.1. Vulnerabilidade natural à perda de solos	108
3.2.2. Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais	116

3.3. Áreas legalmente protegidas	120
3.4. Conflitos entre uso da terra, vulnerabilidades e áreas legalmente protegidas	124
3.4.1. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos.....	124
3.4.2. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais.....	126
3.4.3. Conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas	130
3.5. Proposição do zoneamento ambiental	132
3.5.1. Zona de conservação ou de intervenções recuperativas.....	135
3.5.2. Zona de ocupações consolidadas e/ou de atividades produtivas.....	140
3.5.3. Bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo.....	146
3.6. Diretrizes de recuperação e manejo sugeridas a partir do zoneamento ambiental.....	147
3.6.1. Diretrizes de preservação ou recuperação	149
3.6.2. Diretrizes de manejo do uso da terra.....	154
CONSIDERAÇÕES FINAIS	161
REFERÊNCIAS	163

“Já se pode prever que entre os padrões para o reconhecimento do nível de desenvolvimento de um país devem figurar a capacidade do seu povo em termos de preservação de recursos, o nível de exigência e o respeito ao zoneamento de atividades, assim como a própria busca de modelos para uma valorização e renovação corretas dos recursos naturais” (AB’SÁBER, 2012, p. 10).

INTRODUÇÃO

A exploração dos recursos naturais, intensificada após a segunda metade do século XX, trouxe ao debate público a importância da conservação ambiental. A partir da década de 1970, conferências e comissões internacionais foram responsáveis pela introdução mais incisiva do meio ambiente nas políticas públicas. Nesse contexto, foram propostas leis e regulamentações de caráter ambiental para, minimamente, proporcionar um equilíbrio entre ação econômica e preservação da natureza¹. Dessa forma, instrumentos de planejamento e gestão ambiental foram desenvolvidos e aplicados em diversos países, como o zoneamento ambiental, que constitui uma das principais ferramentas de gerenciamento do território.

No Brasil, o zoneamento para finalidade ambiental foi definido pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), embora a regulamentação tenha ocorrido somente a partir do Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002 (BRASIL, 2002)². De acordo com esse decreto, o instrumento visa o planejamento do território, devendo ser obrigatoriamente seguido em planos, obras e atividades, de caráter público ou privado. Além disso, por meio de sua utilização, podem-se estabelecer padrões de proteção ambiental, dos recursos hídricos, dos solos, de conservação da biodiversidade, de melhoria das condições de vida da população, entre outros.

Ainda de acordo com o Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002 (BRASIL, 2002), o conteúdo básico do zoneamento ambiental contempla a divisão de determinado território em zonas para atender as necessidades de proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais, promovendo o desenvolvimento sustentável. As zonas devem ser constituídas por princípios de utilidade e simplicidade para facilitar a implementação de suas restrições e seus limites pelo Poder Público, bem como para compreensão dos cidadãos. Em suma, é proposto que o zoneamento ambiental seja desenvolvido por procedimentos metodológicos acessíveis e, ao mesmo tempo, atenda às necessidades de organização e de proteção ambiental dos territórios.

Na elaboração do zoneamento ambiental, é importante que as zonas sejam definidas pelo diagnóstico dos componentes naturais e socioeconômicos, bem como pelos aspectos amparados pelo marco jurídico-institucional. Com o aperfeiçoamento das geotecnologias, podem-se realizar diversos procedimentos em *softwares* para proposição de zonas, sendo as

¹ O estabelecimento do equilíbrio entre o desenvolvimento econômico (atividades produtivas) e a preservação da natureza configura uma reflexão epistemológica da geografia, que é a relação sociedade-natureza. Embora seja uma concepção já bastante discutida, sua essência contribui para as questões ambientais da atualidade, sobretudo em relação aos instrumentos de caráter ambiental e de organização do território, como o zoneamento ambiental.

² O Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002 (BRASIL, 2002) alterou a nomenclatura do zoneamento ambiental, conforme apresentado adiante. No entanto, para o desenvolvimento da presente pesquisa optou-se em manter o termo original da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981).

informações obtidas necessárias à composição de um banco de dados geográficos para o planejamento e a gestão do território. Dessa forma, propõem-se diretrizes adequadas a cada zona, regulamentando a cobertura e o uso da terra conforme a capacidade de suporte do meio ambiente (BRASIL, 2002).

Para elaboração do zoneamento ambiental baseado nos princípios do Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002 (BRASIL, 2002), o diagnóstico deve ser realizado inicialmente a partir da análise de componentes físico-geográficos separadamente para que, na sequência, se possa executar a integração entre os mesmos. Nesses procedimentos, estabelecem-se as potencialidades e as fragilidades da paisagem, considerando, por exemplo, as atividades produtivas (uso da terra), a vulnerabilidade à perda de solos e a situação da quantidade e da qualidade das águas superficiais. Outro aspecto a ser identificado pelo decreto são as incompatibilidades legais, que consistem nas condições das áreas legalmente protegidas em relação à presença de ocupações inapropriadas.

Com base no exposto, a presente tese possui o intuito de propor uma metodologia de zoneamento ambiental, em especial para Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs). Essas porções territoriais são constituídas por uma ou um conjunto de bacias hidrográficas, que conforme a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), corresponde às unidades básicas para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Dessa forma, trata-se de uma alternativa para que os Planos Diretores de Recursos Hídricos³ contenham um zoneamento ambiental que, de forma efetiva, considere variáveis direta ou indiretamente relacionadas à situação dos recursos hídricos.

A problemática que envolve esta pesquisa reside no fato de que é possível encontrar impertinências quanto à seleção dos temas ou quanto às variáveis incluídas nos zoneamentos ambientais de bacias hidrográficas, quando não raramente essa etapa é ignorada. Com a subutilização ou a ausência do instrumento, ocorre um planejamento equivocado do território, o que compromete a qualidade da gestão e ainda há a possibilidade da não identificação e da intensificação dos impactos ambientais. As degradações ambientais decorrem, em muitos casos, a partir de uma não determinação de restrições, situação que demonstra a importância do zoneamento ambiental no processo de organização e de proteção ambiental dos territórios.

No estado de Minas Gerais, os Planos Diretores das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba (PN1) (CBH PARANAÍBA, 2017a), da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari (PN2) (CBH ARAGUARI, 2007) e das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros

³ O Plano Diretor de Recursos Hídricos é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997)).

do Baixo Paranaíba (PN3)⁴ (CBH PARANAÍBA, 2017b) são exemplos de subutilização ou ausência do zoneamento ambiental no âmbito do Plano Diretor. A UPGRH PN2 possui um zoneamento ambiental desatualizado⁵, além de ser basicamente uma compartimentação do relevo⁶, o que configura um produto com capacidade restrita de indicar medidas de controle, recuperação e manejo. Já os Planos Diretores das UPGRH PN1 e da UPGRH PN3 não possuem zoneamento ambiental, sendo o planejamento pautado apenas pelo diagnóstico e pelo prognóstico.

Nesse sentido, esta pesquisa propõe um modelo de zoneamento ambiental aplicado à UPGRH PN3 como contribuição ao Plano Diretor de Recursos Hídricos, uma vez que não foi realizada essa etapa durante a elaboração e a revisão do referido documento. Assim, constitui uma tentativa de indicar um procedimento metodológico aplicável em bacias hidrográficas de forma geral, pois os aperfeiçoamentos devem ocorrer constantemente, além de minimizar a ausência de um importante instrumento desconsiderado na área definida para demonstração.

Considerando os princípios e o conteúdo do Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002 (BRASIL, 2002), o zoneamento ambiental da UPGRH PN3 é proposto a partir da integração de componentes físico-geográficos e ambientais, sendo algumas especialmente relacionadas aos recursos hídricos. Procedimentos em *software* de geoprocessamento, em particular um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitiram a obtenção da vulnerabilidade natural à perda de solos, a situação quali-quantitativa das águas superficiais e a delimitação das áreas legalmente protegidas. Embora sejam relevantes para o planejamento e para a gestão das bacias hidrográficas, esses levantamentos contribuíram para o estabelecimento de conflitos e incompatibilidades legais, pois possibilitou a diferenciação de áreas e, conseqüentemente, a indicação de ações de preservação, recuperação e manejo.

Diante disso, espera-se que o procedimento metodológico possa contribuir como um caminho não somente para cobrir a lacuna do Plano Diretor de Recursos Hídricos da UPGRH PN3, mas também para ser uma alternativa a outras unidades territoriais.

⁴ As UPGRHs PN1, PN2 e PN3 estão localizadas na porção mineira da bacia hidrográfica federal do rio Paranaíba.

⁵ Embora a bacia hidrográfica do rio Araguari (PN2) tenha um documento desatualizado para a gestão dos recursos hídricos, outro importante estudo de caráter ambiental, com dados atualizados, foi realizado nessa unidade de planejamento, mesmo que o intuito não tenha sido um zoneamento ambiental. Trata-se da Avaliação Ambiental Integrada (AAI) (SEMAD, 2017), um instrumento de gestão territorial de apoio ao licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos em Minas Gerais, previsto pela Deliberação Normativa nº 229, de 10 de dezembro de 2018 (MINAS GERAIS, 2018). Em comparação, o Plano Diretor das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (PN3) é mais recente, porém a AAI, ao menos ainda, não foi realizada.

⁶ O zoneamento ambiental do Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari (PN2) contempla as seguintes zonas: Áreas de Preservação Permanente; Planalto Tabular; Planalto Dissecado; Canyon do Araguari; Áreas Urbanas e Zona especial para a preservação dos recursos hídricos (CBH PARANAÍBA, 2009).

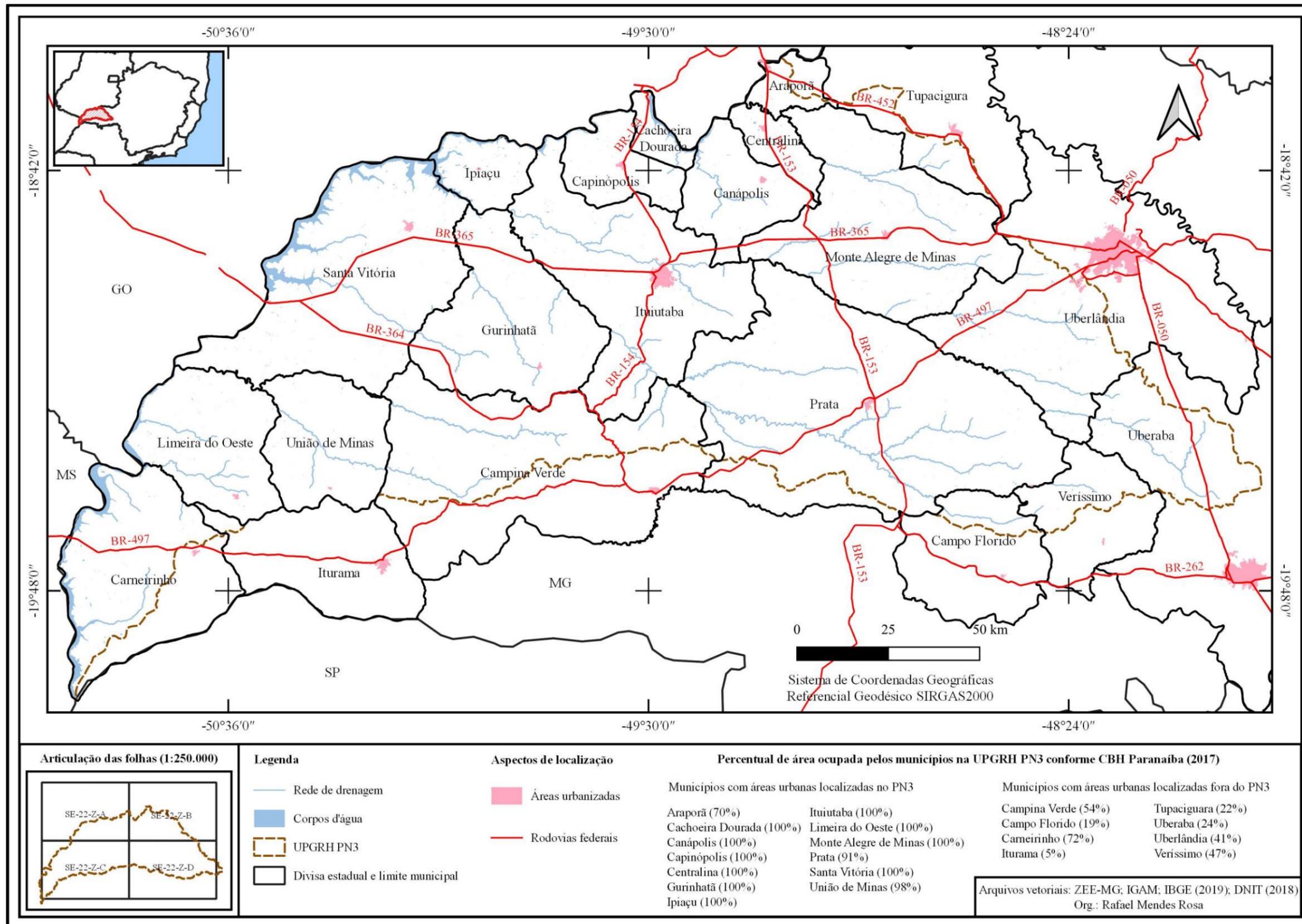
Unidade territorial selecionada para o estudo demonstrativo

A área selecionada para aplicação da proposta de encaminhamento metodológico desta tese é a Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba (UPGRH PN3). Essa unidade de planejamento está localizada no estado de Minas Gerais, ocupando parte das Regiões Geográficas Intermediárias de Uberlândia e Uberaba (IBGE, 2017). Trata-se de um conjunto de bacias hidrográficas, cuja área total é de 26.892,39 km², pertencentes à bacia federal do rio Paranaíba, reconhecida como uma dentre 36 UPGRHs de Minas Gerais (IGAM, 2010b). Ao todo, a UPGRH PN3 abrange 21 municípios, sendo 10 totalmente inseridos em seu território. Além disso, dos 21 municípios, 13 possuem suas áreas urbanas (sedes administrativas) no interior da unidade (Mapa 1).

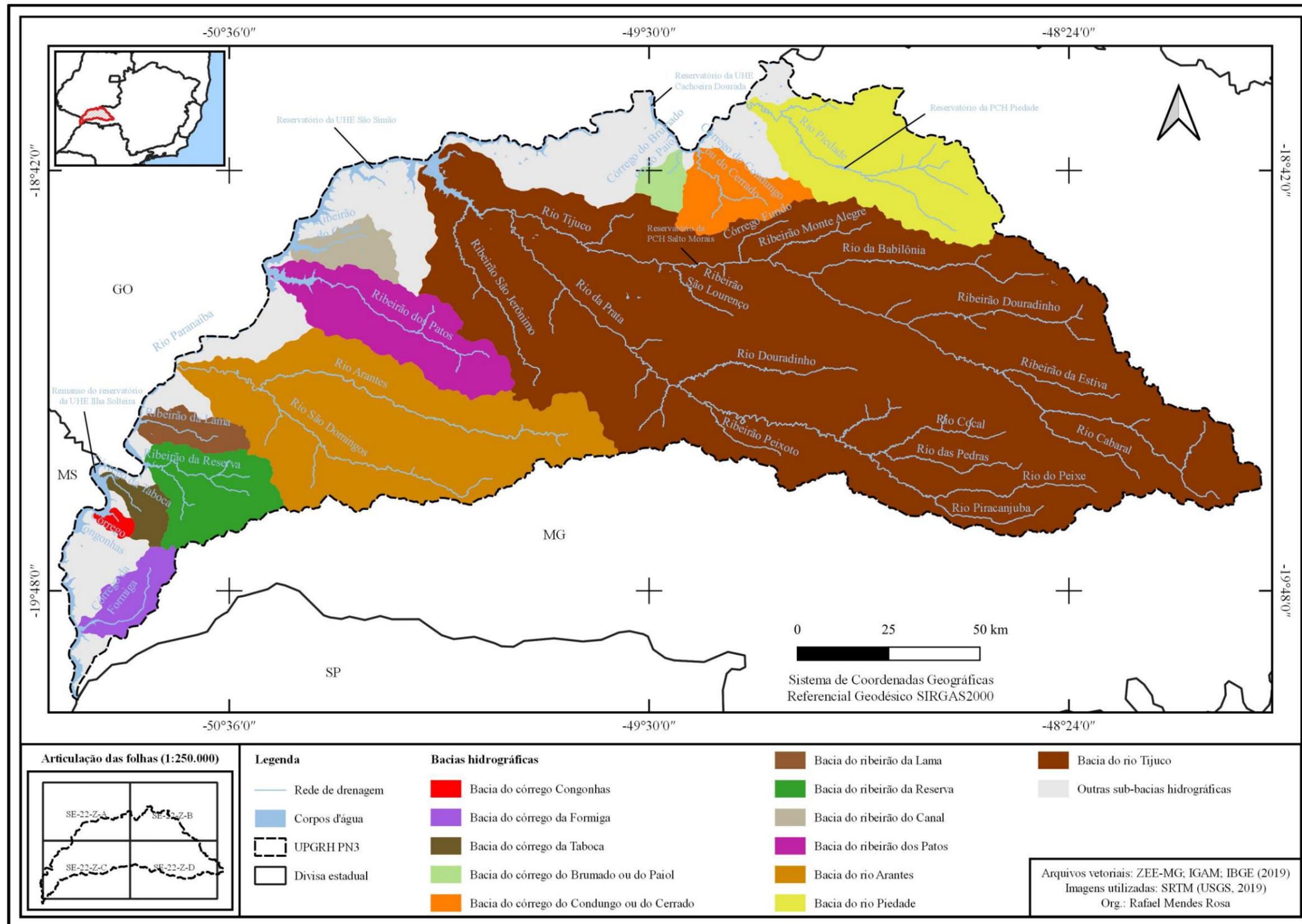
Devido às necessárias menções realizadas adiante, sobretudo no capítulo de resultados e discussões desta tese, convém indicar as principais sub-bacias hidrográficas pertencentes à UPGRH PN3. Dessa forma, no Mapa 2 foram delimitadas 12 bacias por serem aquelas que apresentam maior representatividade na unidade territorial. Essa condição foi estabelecida devido ao tamanho, pela importância dos rios principais ou pelo reconhecimento em cartas topográficas oficiais, visto que muitos cursos d'água sequer foram nomeados devido à pequena extensão. Dentre estas 12 bacias hidrográficas, destacam-se as dos rios Tijuco, Piedade e Arantes, por serem as mais conhecidas na área de estudo.

Outro importante apontamento são os reservatórios dos empreendimentos hidrelétricos encontrados no interior e nos limites da UPGRH PN3, pois também são mencionados ao longo dos resultados e das discussões. Ao todo são dois reservatórios de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e parte de três reservatórios de Usinas Hidrelétricas (UHEs). Os reservatórios das PCHs situam-se no interior da UPGRH PN3, sendo a PCH Piedade em Monte Alegre de Minas e a PCH Salto Morais em Ituiutaba. Já os reservatórios das UHEs estão no rio Paranaíba, na divisa de Minas Gerais com outros estados, sendo os reservatórios das UHEs Cachoeira Dourada e São Simão situados na divisa com Goiás, e da UHE Ilha Solteira com Mato Grosso do Sul.

Mapa 1. Localização da UPGRH PN3.



Mapa 2. Principais bacias hidrográficas da UPGRH PN3.



Objetivos da pesquisa

Objetivo geral

O objetivo geral é propor um procedimento metodológico para zoneamento ambiental de bacias hidrográficas que incorpore variáveis relacionadas direta e indiretamente à quantidade e à qualidade dos recursos hídricos mediante demonstração na UPGRH PN3.

Objetivos específicos

- Contextualizar o zoneamento ambiental em relação aos seus princípios e enquanto aporte à tomada de decisão, no contexto das categorias de análise geográfica, quanto à sua importância para o planejamento e a gestão de bacias hidrográficas e considerando, ainda, os procedimentos metodológicos convencionalmente adotados nas diversas abordagens;
- Caracterizar os principais componentes físico-geográficos e ambientais da UPGRH PN3, como as características geológicas, o relevo, os solos, as condições climáticas, a cobertura e o uso da terra, além de aspectos da disponibilidade e da qualidade das águas superficiais;
- Obter a vulnerabilidade natural à perda de solos, a vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais e as áreas legalmente protegidas da UPGRH PN3;
- Identificar conflitos decorrentes das atividades antrópicas em relação à perda de solos e ao comprometimento quali-quantitativo das águas superficiais, além de incompatibilidades e conflitos com a ocupação de áreas legalmente protegidas da UPGRH PN3;
- Definir zonas voltadas à conservação e à consolidação das atividades produtivas, de modo a apontar áreas voltadas à preservação, à recuperação e ao manejo, além de determinar as bacias hidrográficas da UPGRH PN3 prioritárias às referidas ações e medidas;
- Indicar diretrizes de recuperação e manejo das áreas definidas pelo zoneamento ambiental para contribuir com o planejamento e a gestão ambiental da UPGRH PN3.

Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado inicialmente em uma introdução, aqui apresentada, seguida de três capítulos organizados internamente conforme demanda indicada nos objetivos geral e específicos (referencial teórico-conceitual, procedimentos metodológicos e resultados e discussões), além das conclusões e das referências bibliográficas. A introdução expõe o tema

da pesquisa, a área de estudo e os objetivos que visam a proposição de um zoneamento voltado à UPGRH PN3, para fins de contribuição ao seu planejamento e à sua gestão ambiental.

O **Capítulo 1** corresponde ao referencial teórico-conceitual da tese, espaço utilizado para a contextualização dos princípios do instrumento zoneamento ambiental no Brasil e das suas contribuições aos tomadores de decisão. Também foram discutidas a importância das categorias de análise geográfica paisagem e território e as perspectivas de autores clássicos, que amparam a proposta metodológica e a elaboração do zoneamento ambiental da área de estudo. Devido à aplicação deste trabalho ocorrer em um conjunto de bacias hidrográficas, julgou-se necessário contemplar a importância do planejamento e da gestão nessas unidades territoriais. Além disso, também foram descritas metodologias para elaboração de zoneamentos ambientais e o uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG), base para o desenvolvimento do trabalho.

O **Capítulo 2** contempla os procedimentos metodológicos, sendo apresentado instrumentalmente o modelo de zoneamento ambiental proposto e executado, com exposição dos direcionamentos do estudo, fluxograma das etapas, além dos materiais, *softwares* e arquivos utilizados. Nesse capítulo foram descritos detalhadamente os procedimentos operacionais e, quando necessário, acompanhados de justificativas das opções julgadas adequadas para a execução. Ademais, para uma melhor compreensão dos procedimentos metodológicos, foram esquematizados, em forma de figuras e quadros, os levantamentos para a identificação das vulnerabilidades, dos conflitos e de delimitações diversas.

O **Capítulo 3** refere-se aos resultados e às discussões da pesquisa. Primeiramente, foi apresentado o diagnóstico dos componentes físico-geográficos e ambientais de forma que os mapas temáticos pudessem ser utilizados em procedimentos de sobreposição. Assim, foram obtidas a vulnerabilidade natural à perda de solos e a vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais. Em seguida, junto com as delimitações das áreas legalmente protegidas, foram estabelecidos os conflitos dos usos da terra sobre a perda de solos, a situação quali-quantitativa das águas superficiais e as áreas protegidas. Em seguida, foram demonstradas, em cada uma das zonas, as áreas para preservação, recuperação e manejo, além das bacias prioritárias à implementação dessas medidas.

Nas considerações finais, foram discutidas a eficiência do procedimento metodológico proposto e a sua importância para o planejamento e a gestão ambiental da UPGRH PN3. Ao final, foram apresentadas as referências bibliográficas citadas nesta tese.

1. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

Este capítulo abrange uma revisão bibliográfica acerca do zoneamento ambiental, sendo apresentados, inicialmente, os princípios básicos desse instrumento de planejamento e gestão territorial. Na sequência, foram abordadas as categorias geográficas paisagem e território por constituírem uma base conceitual importante para o desenvolvimento do trabalho. Além disso, considerações sobre bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos, procedimentos metodológicos para zoneamento ambiental e uso de SIG também fizeram parte deste referencial teórico-conceitual.

1.1. Princípios do zoneamento ambiental no Brasil e seu aporte aos tomadores de decisão

Após a segunda metade do século XX, as discussões sobre gestão do território, temática abordada na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo no ano de 1972, contribuíram para a criação do zoneamento ambiental. A visão predominante até aquele momento era de que os recursos naturais eram inesgotáveis, sendo necessário um alinhamento entre desenvolvimento e preservação do meio ambiente. No Brasil, essa conferência repercutiu tanto no âmbito da sociedade civil quanto do Poder Público, com a criação de entidades de defesa do meio ambiente e órgãos ambientais (MMA, 2011c).

No âmbito dos estudos geográficos, as pesquisas de caráter holístico lançaram as bases para o desenvolvimento do zoneamento a partir das décadas de 1970 e 1980. As concepções se voltaram, então, para estudos de planejamento e gestão ambiental. Dessa maneira, foram se solidificando as bases da incorporação de variáveis ambientais na gestão territorial, fornecendo informações aos tomadores de decisão, sobretudo porque, nesse período desenvolveram-se as leis ambientais não apenas no País, mas também em todo o mundo (ROSS, 2009).

A primeira menção ao termo zoneamento pela legislação brasileira é encontrada no Estatuto da Terra, disposto na Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964⁷ (BRASIL, 1964). No entanto, o zoneamento ambiental foi concebido somente a partir da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981), definido pelo Art. 9º como um de seus instrumentos (BRASIL, 1981), sendo regulamentado após o Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002 (BRASIL, 2002). O referido Decreto substituiu o termo zoneamento ambiental para

⁷ “O Estatuto da Terra veio como legislação inicial que identificava as áreas potenciais para a produção agrícola, trazendo de forma indireta o que se buscava com um zoneamento: a definição de zonas específicas para determinadas atividades no território” (LOPES *et al.*, 2019, p. 345).

Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), embora essa denominação já tenha sido utilizada no final da década de 1980. O Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (BRASIL, 1988) é um exemplo da implantação dessa ferramenta nesse período (LOPES *et al.*, 2019; SANTOS; RANIERI, 2013). Sobre a concepção do ZEE, Ross (2009, p. 198) destaca que:

A base teórico-metodológica está calcada nos princípios da análise sistêmica e no tratamento das informações referentes à natureza e à sociedade no contexto da integração de dados combinados e inter-relacionados, de forma que possibilite alcançar a concepção socioambiental de um determinado lugar, propiciando uma perspectiva holística da interação sociedade-natureza.

Para Lopes *et al.* (2019), as propostas de zoneamento devem considerar aspectos de interesse para sua funcionalidade, como princípios metodológicos, definição de zonas de manejo, escala, aplicabilidade no território e até mesmo condições socioculturais. Para sua execução, é indicado que as ações do ZEE, enquanto ferramenta de planejamento e gestão territorial, sigam os seguintes princípios norteadores dispostos no Quadro 1.

Quadro 1. Princípios norteadores do ZEE e suas definições.

Princípios	Definições
Participativo	Os atores sociais devem intervir durante as diversas fases dos trabalhos, desde a concepção até a gestão, com vistas à construção de seus interesses próprios e coletivos.
Equitativo	Igualdade de oportunidade de desenvolvimento para todos os grupos sociais e para as diferentes regiões.
Sustentável	O uso dos recursos naturais e do meio ambiente deve ser equilibrado, buscando a satisfação das necessidades presentes, sem comprometer os recursos para as próximas gerações.
Holístico	Abordagem interdisciplinar para a integração de fatores e processos, considerando a estrutura e a dinâmica ambiental e econômica, bem como os fatores histórico-evolutivos do patrimônio biológico e natural.
Sistêmico	Visão sistêmica que propicie a análise de causa e efeito, permitindo estabelecer as relações de interdependência entre os subsistemas físico-biótico e socioeconômico.

Fonte: Adaptado do MMA (2011b).

Na década de 1990, o ZEE foi desenvolvido para a Amazônia Legal por causa de sua visibilidade perante organismos internacionais e também devido à pressão de entidades ligadas ao meio ambiente (MMA, 2011c). Sua regulamentação ocorreu pelo Decreto nº 99.193, de 27 de março de 1990 (BRASIL, 1990), sendo ampliado para todo o território nacional. Os trabalhos foram iniciados em 1991 com a criação do Programa de Zoneamento para a Amazônia Legal, destinando recursos para o desenvolvimento de metodologias em instituições do País. Diversos especialistas sugeriram alternativas para o ZEE durante a década de 1990, sendo escolhida a proposta de Becker e Egler (1996), posta em debate no ano de 1997 (MMA, 2011a). Além

disso, houve acordos de cooperação técnica com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para treinamento de equipes com vistas à atuação no Programa⁸ (MMA, 2011a).

A metodologia do ZEE para a Amazônia Legal foi apresentada por Becker e Egler (1996), admitindo ser um “instrumento político e técnico do planejamento cuja finalidade última é otimizar o uso do espaço e as políticas públicas” (BECKER; EGLER, 1996, p. 7). Os autores ressaltam que a otimização pode ser alcançada pelas vantagens oferecidas, pois fornece informações sobre o território, regulando-o e, conseqüentemente subsidiando o planejamento e a gestão. Isso significa que não é apenas uma ferramenta corretiva, mas também estimuladora do desenvolvimento. Assim, Becker e Egler (1996, p. 8) consideram o ZEE da seguinte forma:

[...] um instrumento técnico e político do planejamento das diferenças, segundo critérios de sustentabilidade, de absorção de conflitos, e de temporalidade, que lhe atribuem o caráter de processo dinâmico, que deve ser periodicamente revisto e atualizado, capaz de agilizar a passagem para o novo padrão de desenvolvimento. A economia de tempo na execução reside justamente no fato de descartar o tratamento setorial das políticas públicas, partindo de contextos geográficos concretos neles implementando políticas já territorialmente integradas; de ampliar a escala de abrangência das ações que passam a ser zonas, e não mais polos pontuais; de favorecer a competitividade sistêmica entre as zonas.

Diante desse contexto, Becker e Egler (1996) destacam a importância da elaboração de zoneamentos na gestão do território, principalmente devido às funções de auxílio nas decisões governamentais. A contribuição do instrumento relaciona-se às avaliações do desenvolvimento territorial, aos problemas de degradação ambiental e ao fortalecimento das normas legais. Os autores expõem que se trata de um utensílio voltado ao rompimento de posições polarizadas, capaz de oferecer oportunidades de crescimento econômico e uso racional dos recursos naturais.

De acordo com Ab’Sáber (1989), o zoneamento de um determinado espaço geográfico depende de método, reflexão e estratégias próprias, não devendo ser tratado de forma empírica ou por uma abordagem linear e epidérmica. O referido autor observa que o estabelecimento das bases de um zoneamento de caráter ambiental em uma conjuntura geográfica é o mesmo que um estudo de vocação dos subespaços de um determinado território, levantando potencialidades econômicas, porém sob um critério ecodesenvolvimentista. Ab’Sáber (1989) complementa ainda que os profissionais responsáveis pela elaboração de procedimentos metodológicos de zoneamento ambiental necessitam de uma noção mínima de planejamento regional.

⁸ Os trabalhos de Crepani *et al.* (1996, 2001), utilizados nesta tese, possuem origem no treinamento para atuação no ZEE da Amazônia Legal.

Para Santos e Ranieri (2013), o zoneamento ambiental é considerado um instrumento de ordenamento territorial, que deve subsidiar os tomadores de decisão mediante a inserção da variável ambiental e não somente as questões de cunho econômico e social. Conforme Nobre (2008), sua elaboração deve seguir pressupostos básicos relacionados às características do ambiente natural e da dinâmica de seus componentes. Assim, é imprescindível identificar as vulnerabilidades da área zoneada para um uso adequado, conforme a capacidade de suporte às pressões antrópicas, constituindo as bases de um planejamento ambiental eficiente.

Similarmente, Silva e Santos (2004) corroboram a ideia de que o zoneamento ambiental é um instrumento de gerenciamento voltado ao uso sustentável do território, constituindo, em termos gerais, um integrador de informações ambientais. Embora possa ser reconhecido por outras denominações⁹, com possíveis distinções de escalas, legendas, metodologias e objetivos entre elas, o ponto comum é a incorporação de aspectos ambientais e a divisão do território em zonas (RANIERI *et al.*, 2005). Destaca-se que independentemente da metodologia aplicada, o instrumento pode ser definido da seguinte maneira:

Zoneamento é a compartimentação de uma região em porções territoriais, obtida pela avaliação dos atributos mais relevantes e de suas dinâmicas. Cada compartimento é apresentado como uma “área homogênea”, ou seja, uma zona (ou unidade de zoneamento) delimitada no espaço, com estrutura e funcionamento uniforme. Cada unidade tem, assim, alto grau de associação dentro de si, com variáveis solidamente ligadas, mas significativa diferença entre ela e os outros compartimentos (SANTOS, 2004, p. 132).

A elaboração de um zoneamento ambiental é um exercício dinâmico e flexível que deve ser revisado e ajustado constantemente (RODRÍGUEZ *et al.*, 2015). Assim, deve ser o resultado de um processo político-administrativo, em que os conhecimentos técnicos e científicos são indispensáveis para adequar as zonas com a realidade ambiental e socioeconômica. Trata-se de uma tarefa complexa baseada na tomada de decisão, o que requer uma avaliação prévia de diversos atributos da terra (GENELETTI; DUREN, 2008; LOPES *et al.*, 2012). É considerado um grande avanço, pois é um caminho de negociação e de ajustamento entre as visões de desenvolvimento, o que constitui um recurso estratégico de proposição de alternativas e de definição de um sistema nacional de planejamento (LOPES *et al.*, 2012).

Na execução do zoneamento deve-se considerar a diversidade de ordens de grandeza e a organização interna do território para promover seu planejamento e sua gestão. Nesse sentido,

⁹ Além da denominação Zoneamento Ecológico-Econômico pode-se encontrar termos como Zoneamento Sócio-Ecológico Econômico, Zoneamento Ecológico, Zoneamento Geoambiental (RANIERI *et al.*, 2005).

as escalas cartográficas direcionam o enfoque de atuação, o estratégico e o tático. O enfoque estratégico é destinado ao gerenciamento de grandes áreas de abrangência federal ou regional com vistas à definição de políticas, planos e programas, enquanto que o enfoque tático é dirigido às administrações estaduais, municipais e empresariais (MMA, 2006). A relação dos enfoques com as abrangências e as respectivas escalas estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Escalas de atuação dos zoneamentos ambientais.

Enfoque	Abrangência territorial	Nível político-administrativo	Ordens de grandeza
Estratégico (político)	Continental	Federal	1:10.000.000/1:5.000.000
	Nacional	Federal	1:2.500.000/1:1.000.000
	Regional	Federal/Estadual	1:1.000.000/1:250.000
Tático (operacional)	Estadual	Estadual/Municipal	1:250.000/1:100.000
	Municipal	Municipal	1:100.000/1:50.000
	Local	Distrital	1:25.000/1:1.000

Fonte: Adaptado do MMA (2006).

Conforme Lopes *et al.* (2019), o primeiro entrave do zoneamento no Brasil é decorrente de sua trajetória como ferramenta legal, visto que durante muito tempo foi executado de forma aberta, sem especificações e normas definidas para sua execução. Ao longo dos anos, leis e decretos foram aprofundando os caminhos e os objetivos desse instrumento. Além das legislações mencionadas até o momento, nos anos 2000 em diante, por exemplo, importantes leis foram criadas com aspectos que envolvem tal instrumento dentre suas exigências¹⁰. Desde então, muitas pesquisas foram realizadas em universidades, tanto na graduação quanto na pós-graduação, e também no âmbito técnico, como os zoneamentos de Planos Diretores Municipais ou para atendimento de leis ambientais, além das realizações nos níveis estadual e federal.

A Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, define a função da União na elaboração do ZEE nacional e regional e, aos Estados, o ZEE estadual, em conformidade com os zoneamentos nacional e regional (BRASIL, 2011; LOPES *et al.*, 2019). Mesmo antes da referida lei entrar em vigor, algumas regiões e Estados haviam elaborado ou iniciado seus ZEEs, embora muitos tenham concluído posteriormente, conforme disposto no Quadro 3.

¹⁰ Destacam-se a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) (BRASIL, 2000); a Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, que determinou a elaboração de zoneamentos ambientais nos âmbitos nacional, regional, estadual e municipal (BRASIL, 2011); e a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (BRASIL, 2012), sendo denominado de Novo Código Florestal Brasileiro.

Quadro 3. Situação do ZEE no Brasil no ano de 2018.

Esfera	Região/Bacia hidrográfica/Estado	Projeto ¹¹	Situação
Federal	Amazônia Legal	MacroZEE da Amazônia Legal	Concluído/2010
	Bacia hidrográfica do rio São Francisco	MacroZEE da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco	Concluído/2018
	Baixo rio Parnaíba	ZEE do Baixo Rio Parnaíba	Concluído/2002
	Região Centro-Oeste	MacroZEE da Região Centro-Oeste	Não iniciado
Estadual e Distrito Federal	Acre	ZEE do Estado do Acre	Concluído/2007
	Amapá	ZEE do Estado do Amapá	Em andamento
	Amazonas	MacroZEE do Estado do Amazonas	Concluído/2009
	Bahia	ZEE do Estado da Bahia	Em andamento
	Distrito Federal	ZEE do Distrito Federal	Concluído/2018
	Espírito Santo	ZEE do Estado do Espírito Santo	Concluído/2010
	Goiás	ZEE do Estado de Goiás	Em andamento
	Maranhão	MacroZEE do Estado do Maranhão	Concluído/2015
	Mato Grosso	ZEE do Estado do Mato Grosso	Em andamento
	Mato Grosso do Sul	ZEE do Estado do Mato Grosso do Sul	Em andamento
	Minas Gerais	ZEE do Estado de Minas Gerais	Concluído/2008
	Pará	MacroZEE do Estado do Pará	Concluído/2005
	Paraná	ZEE do Estado do Paraná	Concluído/2017
	Piauí	MacroZEE do Estado do Piauí	Concluído/2014
	Rio de Janeiro	ZEE do Estado do Rio de Janeiro	Concluído/2018
	Rio Grande do Sul	ZEE do Estado do Rio Grande do Sul	Concluído/2018
	Rondônia	ZEE do Estado de Rondônia	Em andamento
	Roraima	ZEE do Estado de Roraima	Em andamento
	São Paulo	ZEE do Estado de São Paulo	Em andamento
	Sergipe	ZEE do Estado de Sergipe	Em andamento
Tocantins	ZEE do Estado do Tocantins	Concluído/2018	

Fonte: Adaptado do MMA (2018) e Lopes *et al.* (2019).

A produção normativa da União, diante de uma diversidade de fontes, órgãos e entes legítimos, que proporcionam normas jurídicas, tem regulado o uso do território com relativa autonomia. Essa pluralidade de fontes normativas decorre principalmente de fatores político-administrativos e territoriais. Nessa conjuntura, à medida que os variados conflitos de uso do território¹² se tornam mais intensos, a administração governamental necessita de uma forma de gerenciá-los, o que torna o ZEE ainda mais relevante (MMA, 2006). Entretanto, as discussões devem passar da sua inegável importância para sua efetividade.

¹¹ No âmbito dos Estados e do Distrito Federal, foram levantados somente os projetos que abrangem toda a Unidade da Federação, pois vários estados também possuem ZEEs concluídos ou em andamento de parte de seus territórios, que pode ser, uma mesorregião, uma região hidrográfica estadual ou uma zona costeira. Os MacroZEEs foram elaborados na escala 1:1.000.000 e os ZEEs, na escala 1:250.000 ou em alguns casos 1:100.000.

¹² O estabelecimento de conflitos relacionados ao uso do território faz parte da metodologia empregada nesta tese.

Para exemplificar, um dos projetos apresentados, o ZEE do estado de Minas Gerais¹³, aprovado pela Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), nº 129, de 27 de novembro de 2008, visa contribuir com o planejamento governamental para proteção do meio ambiente (MINAS GERAIS, 2008). Esse mecanismo determina a confecção de cartas de vulnerabilidade natural, potencialidade social e também indicadores de qualidade e risco ambiental, áreas prioritárias para conservação e recuperação, além de diversas zonas temáticas. Embora o ZEE-MG tenha fornecido boas informações para elaboração de estudos ambientais, muitas decisões não têm sido tomadas com base nos resultados do documento.

A Diretiva do COPAM nº 02, de 25 de maio de 2009, tem como um de seus fundamentos o uso do ZEE de Minas Gerais na revisão das normas regulamentares, sobretudo “referentes aos mecanismos e critérios para a classificação de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente sujeitos à regularização ambiental” (MINAS GERAIS, 2009). Dessa forma, o instrumento está condicionado aos processos de licenciamento ambiental, como a fixação do aspecto locacional. Segundo Souza (2000), o zoneamento deve facilitar a tomada de decisão no âmbito dos Estudos de Impacto Ambiental e Relatórios de Impacto Ambiental (EIAs/RIMAs).

Como raramente ocorrem alterações locacionais exigidas pelo órgão gestor, o ZEE tem sido subutilizado, pois não tem motivado tomadas de decisão que alterem o planejamento inicial dos empreendedores, especialmente dos grandes projetos¹⁴. Tal constatação demonstra que a ferramenta não tem cumprido seu papel, pois há pouca efetividade para mudar os rumos de projetos de engenharia e também de políticas, planos e programas governamentais. Nesse viés, Santos e Ranieri (2013) concluem que nem todos os zoneamentos atingem seus objetivos, sendo utilizados em grande parte somente como uma base de dados sistematizada sobre o território.

Por outro lado, muitos problemas foram verificados ao longo das últimas décadas, o que dificultou a efetivação do instrumento na tomada de decisão em muitas oportunidades. Para Lopes *et al.* (2019, p. 354) “desde o Estatuto da Terra até as políticas ambientais dos dias atuais, identificou-se que suas bases foram construídas de diferentes formas e com visão fragmentada da importância do instrumento para conservação ambiental e ordenamento territorial”. Além disso, as diretrizes metodológicas não atendem muitos objetivos, de forma que a abordagem qualitativa não atinge propostas em todas as escalas, reduzindo a importância do documento aos caminhos metodológicos voltados apenas à elaboração de propostas (LOPES *et al.*, 2019).

¹³ O exemplo foi dado devido à área de estudo desta tese estar localizada na referida unidade federativa.

¹⁴ Sobre o aspecto locacional, a maioria das definições seguem os próprios estudos ambientais (embora tenham empreendimentos que possuam rigidez), deixando o ZEE sem uma função proativa no processo decisório.

Ademais, Lopes *et al.* (2019) apontam ainda a necessidade de discussões a respeito da efetividade do zoneamento ambiental e seus mecanismos de ação. Os autores expõem que a aproximação de estudos científicos e análises técnicas da gestão territorial são indispensáveis, uma vez que o estudo das deficiências metodológicas e o aprofundamento acadêmico, técnico e teórico contribuirão para sua melhoria. Consequentemente, muitas questões práticas poderão ser adequadas com avaliações críticas permanentes, aperfeiçoando suas execuções e suas aplicações, refletindo em um avanço nas tomadas de decisão e no planejamento territorial.

1.2. Paisagem e território no contexto do zoneamento ambiental

As categorias de análises geográficas paisagem e território são representativas quando se trata dos zoneamentos ambientais. Conforme Del Prette (1996), embora os sistemas naturais e as condições socioeconômicas sejam apreendidos por lógicas diferentes, a efetiva integração ocorre no território. Conforme o autor, o agrupamento de porções territoriais em unidades de paisagem ou zonas de distinção socioeconômica e ambiental pressupõe um modelo integrativo e interativo. Dessa forma, Ross (2009) ressalta que os resultados dos dois processos dinâmicos, natureza e sociedade, podem se manifestar, concomitantemente, no mesmo espaço.

Para Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2007), a paisagem é um objeto de investigação geocológica, servindo de base para o planejamento do território, pois, a partir do potencial dos recursos naturais, é possível formular estratégias de uso de suas unidades paisagísticas. Desse modo, o planejamento ambiental é importante para o desenvolvimento socioeconômico, além da otimização do uso e do manejo do território. Como as ações de planejamento e gestão ocorrem no território, dependente de regulações, trata-se de uma categoria entendida como um “espaço definido e delimitado por e a partir de relações de poder” (SOUZA, 2001, p. 78).

É nítido o uso de uma abordagem integrada quando se utiliza as categorias geográficas em destaque no contexto dos zoneamentos ambientais. Tal consideração deve-se ao fato de que o instrumento é dependente de análises paisagísticas e territoriais, principalmente no âmbito da geografia física. As origens dessa concepção sistêmica, que visa avaliar o todo e não somente suas partes, é a Teoria Geral dos Sistemas¹⁵ (BERTALANFFY, 1968). O sistema é entendido como um arranjo estruturado de objetos ou atributos, circunscritos de componentes ou variáveis que mostram correlações mútuas discerníveis, além de operarem como um todo complexo (CHORLEY; KENNEDY, 1971), visão indispensável à aceção de zoneamentos ambientais.

¹⁵ A geografia incorporou a Teoria Geral dos Sistemas a partir da década de 1960 (CHRISTOFOLETTI, 1979), com destaque para as escolas soviética e francesa, que buscaram nessa teoria um aporte metodológico.

De acordo com Marques Neto (2008), a geografia física incorporou a Teoria Geral do Sistemas em seu arcabouço teórico-metodológico, o que passa assumidamente, aos estudos da paisagem¹⁶, a compreensão dessa disciplina. A adoção da paisagem apontaria sempre na direção de uma funcionalidade, com interesse na organização das interações e interdependências entre seus atributos. Essa categoria de análise geográfica pode ser considerada bastante útil na gestão do território, pois é passível de representação cartográfica (TRICART, 1982).

Do ponto de vista histórico dos conceitos, a paisagem estudada pela ciência geográfica evoluiu em duas direções distintas, o que contribuiu para a consolidação da importância de se estabelecer um planejamento e uma gestão integrada do território. A primeira advém das escolas alemã e russo-soviética¹⁷, em que a paisagem é um complexo natural integral, cuja concepção abrange um caráter fortemente biofísico. A segunda tem origem nas escolas francesa e anglo-saxônica¹⁸, sendo a paisagem analisada como um espaço social, fragmentada dos elementos naturais, portanto um viés sociocultural (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2007).

Ressalta-se que, nos dois casos, a visão geográfica da paisagem é voltada para a análise do todo em uma dimensão espacial, embora a centralização nos aspectos espaço-funcionais é criada pela ciência denominada Geocologia da Paisagem¹⁹. Conforme a concepção ambiental foi se consolidando, sobretudo durante a segunda metade do século XX, houve a necessidade de propor uma integração das correntes espacial, de cunho geográfico, e funcional, de visão ecológica, ao estudar a paisagem (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2007).

Ao considerar que os componentes da natureza não devem ser estudados isoladamente, mas as conexões existentes, de modo a entender a dinâmica, estrutura funcional e as interações, Sotchava (1963) introduziu na literatura o termo geossistema. De modo geral, o geossistema é concebido como uma área da superfície terrestre, de qualquer dimensão, em que se distingue relações entre os componentes da natureza. Trata-se de um conjunto de relevo, solo, biota, águas

¹⁶ Baseada na visão sistêmica, a paisagem é concebida como um sistema integrado, no qual os componentes isolados não possuem propriedades integradoras. Tais propriedades integradoras são desenvolvidas quando a paisagem é analisada como um sistema total (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2007).

¹⁷ No século XIX, a geografia se tornou uma disciplina acadêmica pelas contribuições da escola alemã, que é associada ao estudo da paisagem pelo termo *Landschaft*, sendo Humboldt um dos precursores. Nesse mesmo século, a escola russo-soviética de Dokuchaev desenvolveu a análise do complexo natural territorial, enfatizando os aspectos naturais (AMORIM, 2012; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2007).

¹⁸ Para Conti (2014), os geógrafos da escola francesa, como la Blache, consideram que o homem prevalece sobre a natureza na definição da identidade das paisagens, isto é, a história e a cultura são relevantes nesse processo. Na escola anglo-saxônica destaca-se Sauer, que nos estudos da paisagem, sublinhava o papel da cultura no tempo.

¹⁹ A Geocologia da Paisagem foi desenvolvida por Troll na década de 1930, sendo inicialmente denominado de Ecologia da Paisagem. “O desenvolvimento inicial da ecologia da paisagem ocorreu principalmente na década de 1930 no leste europeu e na Europa central por geógrafos que trabalhavam com conservação e restauração da terra, e posteriormente, com planejamento e gestão do uso da terra” (MAKHDOUM, 2008, p. 154, tradução nossa).

e ar, que se diferencia em relação ao seu entorno, podendo-se, portanto, distinguir unidades territoriais adjacentes (CAVALCANTI, 2013; SOTCHAVA, 1963).

Nesse sentido, os geossistemas correspondem a fenômenos naturais, cuja estrutura e particularidades espaciais podem ser afetadas por fatores econômicos e sociais, que, por sua vez são capazes de influenciar as conexões estabelecidas nas paisagens alteradas pelo homem. Os geossistemas são entendidos como formações naturais que podem experimentar o impacto dos ambientes social, econômico e tectogênico (SOTCHAVA, 1978). Segundo os pesquisadores soviéticos, a investigação do geossistema ocorreria por estações experimentais, transectos, análises laboratoriais, modelagens e mapeamentos em grande escala (ROSS, 2009).

A espacialização territorial foi estabelecida por Sotchava (1978) em duas categorias de geossistemas: geômeros (unidades territoriais homogêneas) e geócoros (unidades territoriais heterogêneas). Contudo, Marques Neto (2008) aponta que os exemplos paisagísticos utilizados pelo autor para explicar essas categorias são de difícil visualização, pois a realidade da Sibéria, onde ocorreram as pesquisas dos soviéticos, apresenta-se muito diferente daquelas encontradas nos trópicos úmidos. Desse modo, a elaboração de um zoneamento ambiental no território brasileiro, baseado em Sotchava (1978), é válida pelos respeitáveis métodos de investigação, mas as analogias com o modelo siberiano dificultariam as avaliações dos resultados.

Em outra concepção de geossistema, Bertrand (1968) propôs um esboço metodológico²⁰, considerando que a paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É o resultado de uma combinação dinâmica de componentes físicos, biológicos e antrópicos, que reagem dialeticamente uns sobre os outros, sendo um conjunto único e indissociável, sempre em evolução. Assim, o geossistema corresponderia à integração do potencial ecológico (clima, hidrologia, geomorfologia), exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e à ação antrópica.

A proposta de Bertrand (1968) apresenta uma taxonomia das paisagens a partir de seis níveis têmporo-espaciais, divididas em unidades superiores (zona, domínio e região) e unidades inferiores (geossistema, geofácies e geótopo)²¹. Assim, os mecanismos gerais da paisagem carecem de análises especialmente nos níveis dos geossistemas e das geofácies, devido as suas

²⁰ Esta metodologia de Bertrand (1968) teve maior aceitação no Brasil do que o modelo de Sotchava (1963, 1978), sobretudo após a tradução do artigo original em francês para o português na década de 1970 (BERTRAND, 1972).

²¹ As escalas têmporo-espaciais das unidades (superiores e inferiores) estão associadas a sete ordens de grandeza baseadas em Cailleux e Tricart (1956). Bertrand (1968) definiu que as unidades superiores estão entre as quatro primeiras ordens de grandeza, estando a região entre a terceira e a quarta. Já as unidades inferiores se encontram da quarta até a sétima ordem de grandeza, sendo que o geossistema ocupa a quarta e a quinta. Ressalta-se que os geossistemas podem abranger uma superfície na ordem do km² a centenas de km², as geofácies na média de algumas centenas de km², e os geótopos, do m² até o dm².

escalas de grandeza serem mais adequadas a esses estudos. Cartograficamente, os geossistemas devem estar nas escalas entre 1:100.000 e 1:200.000 enquanto que as geofácies em 1:20.000.

Após alguns anos da publicação referente ao esboço metodológico, o autor modifica sua concepção de geossistema e passa a concordar com a ideia de Sotchava (1963, 1978). Nessa nova definição, Beroutchachvili e Bertrand (1978) apreendem o geossistema em uma definição mais lógica²², como do ecossistema. Para Cavalcanti (2013), o pesquisador francês compreende o geossistema como uma entidade natural, porém considerando relações entre os componentes naturais e os impactos da ação antrópica. Posteriormente, esse entendimento foi utilizado para o modelo Geossistema-Território-Paisagem (GTP)²³ (BERTRAND; BERTRAND, 2007).

O GTP é um sistema tripolar e interativo, que compreende o geossistema, o território e a paisagem em forma de análise tridimensional em três tempos e três espaços. O primeiro está sob o aspecto da natureza, que constitui sua fonte e determina seu tempo, enquanto a dimensão espacial é analisada horizontal e verticalmente. O segundo está associado ao recurso e possui o tempo e o espaço dos aspectos socioeconômicos. Por fim, o terceiro relaciona-se à identidade cultural manifestada no tempo e no espaço (BERTRAND; BERTRAND, 2007; ROSS, 2009).

O esboço metodológico de Bertrand (1968) e, posteriormente, seu aperfeiçoamento em Bertrand e Bertrand (2007) são referências muito citadas por geógrafos brasileiros nos trabalhos de zoneamento ambiental. Ressalta-se que a ampla aceitação dessas propostas pode ter ocorrido devido aos procedimentos de compartimentação das paisagens obedecerem a critérios bem definidos. Mesmo que as metodologias não sejam utilizadas na íntegra, as ideias contribuem para enfatizar um arcabouço conceitual, pois a distinção de áreas (unidades de paisagem) possibilita identificar potencialidades e vulnerabilidades do território.

Outra abordagem de grande relevância relacionada ao estudo da paisagem e da gestão do território é a ecodinâmica de Tricart (1977)²⁴. O autor entende que as disciplinas da geografia física visam o estudo do meio ambiente, o que inclui a noção de ecossistema. O conhecimento da dinâmica do meio natural é um ponto de partida insubstituível para a gestão do território, embora devam ser levados em consideração os fatores humanos e econômicos. Desse modo,

²² O novo entendimento de geossistema, em que Bertrand concorda com Sotchava (1963, 1978), é publicado no ano de 1978 com auxílio de Beroutchachvili, cujo trecho dessa menção foi traduzido por Cavalcanti (2013).

²³ O sistema GTP compreende as noções de *source*, *resource* e *resourcement* (BERTRAND; BERTRAND, 2007).

²⁴ Os pesquisadores franceses Tricart e Bertrand são considerados renovadores da geografia física na França na segunda metade do século XX (VEYRET; VIGNEAU, 2002). Tanto o trabalho de Bertrand (1968) quanto o de Tricart (1977) influenciaram diretamente a geografia física brasileira e de alguma forma contribuíram para zoneamentos no País, como na publicação de Riché e Tonneau (1989). Ambos incorporaram a Teoria Geral dos Sistemas em suas concepções, que visam compreender o ambiente de forma dinâmica e hierárquica (BERTRAND, 1968; CAVALCANTI, 2013; TRICART, 1977).

para Tricart (1977), uma unidade ecodinâmica é caracterizada pela dinâmica do meio ambiente, considerando os meios estáveis, meios *intergrades* e meios fortemente instáveis.

Os meios estáveis caracterizam-se pela evolução lenta e constante, sem manifestações catastróficas (como vulcanismo), predominando a pedogênese. A cobertura vegetal impede os processos mecânicos da morfogênese e as vertentes evoluem lentamente. Os meios *intergrades* possuem influências concomitantes da morfogênese e da pedogênese, concorrendo sobre um mesmo espaço. A avaliação dos meios *intergrades* é realizada de modo qualitativo (morfogênese na superfície ou em todos os perfis de solos) e quantitativo (balanço entre a pedogênese e a morfogênese). Por fim, nos meios fortemente instáveis, predomina-se a morfogênese, fator determinante do sistema natural, em que os elementos estão subordinados (TRICART, 1977).

A identificação desses meios em um determinado território contribui para sua ocupação racional, sendo possível determinar áreas de maior ou menor vulnerabilidade e riscos diversos decorrentes de intervenções antrópicas (TRICART, 1977). No Brasil, a ecodinâmica de Tricart (1977) é bastante citada e adaptada em propostas de zoneamento ambiental, como em Crepani *et al.* (1996, 2001), que elaboraram parte da metodologia do ZEE da Amazônia, embora seus procedimentos possam ser aplicados em outras regiões do território brasileiro. Essa concepção tem se mostrado exequível e eficiente nos trabalhos de zoneamento ambiental.

Outro trabalho de destaque, que apresenta a paisagem como uma categoria de análise e compartimentação do território, é o método australiano. Segundo Ross (2009), trata-se de uma iniciativa do governo da Austrália no ano de 1945 para identificação de sistemas de terras nas escalas 1:1.000.000, 1:500.000 e 1:250.000. A taxonomia apresentada por Christian e Stewart (1964) constitui-se de três níveis de representação cartográfica: sistemas de terras, unidades de terras e sítios²⁵. Contudo, Ross (2009) adverte que o suporte dado aos níveis é geomorfológico. Por isso, os aspectos genéticos referem-se somente aos processos morfogenéticos.

O conceito de unidade de terra, proposto por pesquisadores australianos, influenciou o trabalho de Zonneveld (1989) e outros geógrafos holandeses, que o consideram fundamental na ecologia da paisagem e em suas aplicações (ROSS, 2009). Zonneveld (1989, p. 68, tradução nossa) apresenta a seguinte consideração sobre a unidade de terra: “[...] a unidade de terra [...] é uma consequência lógica da hipótese principal de que a paisagem pode ser considerada como um sistema, e segue a suposição holística de que consiste (como toda a natureza) em conjuntos

²⁵ Os sistemas de terras, o maior nível, são unidades corográficas associadas às regiões naturais, determinadas pela geomorfologia, sendo identificados três sistemas no território australiano: os sistemas simples de terras, complexos de terras e os compostos de terras. As unidades de terras são uma divisão dos sistemas de terras, ao passo que os sítios (ou lugar, facetas de terras) são a porção mais baixa na hierarquia, com pequenas variações nas características naturais, podendo ser, por exemplo, uma vertente ou uma escarpa (CHRISTIAN; STEWART, 1964; ROSS, 2009).

hierárquicos”. Para o autor a ecologia da paisagem contribui para a perspectiva holística quando descreve uma hierarquização dos organismos e da sociedade do sistema Terra.

A unidade de terra possui propósitos de ser um conceito central, uma ferramenta para mapeamento e um modo de transferir conhecimentos da paisagem. É uma porção homogênea para um determinado nível de escala, sendo ‘terra’ um sinônimo de paisagem. A delimitação das unidades de terras é realizada com o uso da cartografia e da fotointerpretação, em que é possível revelar as homogeneidades. Para a classificação são analisados os solos, o relevo e a vegetação, cujos limites são definidos a partir de trabalhos de campo, sem haver hierarquia em níveis ou táxons. Assim, um zoneamento ambiental baseado nesses princípios dependeria de uma boa capacidade de análise da paisagem, inclusive com boa dose de subjetividade, além do domínio de técnicas de cartografia digital (ROSS, 2009; ZONNEVELD, 1989).

Alguns geógrafos brasileiros merecem destaque devido às contribuições de análises da paisagem como forma de identificação de potenciais e limitações do território. Ressaltam-se os trabalhos de Monteiro (2000) baseado no geossistema soviético, Ab’Sáber (1969, 2012), que se apoia em pelo menos três modelos conceituais²⁶, e Ross (1994), que utiliza a ecodinâmica de Tricart (1977). Convém mencionar outros autores que também se empenharam para fornecer conhecimentos aos estudos sistêmicos no âmbito da geografia física, como Cavalcanti (2013), Christofolletti (1999), Perez Filho (2007), Troppmair (1983), entre outros.

O modelo de geossistema de Monteiro (2000) visa melhorar o planejamento territorial a partir do desenvolvimento de um paradigma voltado aos estudos das paisagens culturais e das paisagens naturais, além da proposição de melhorias da qualidade ambiental. Para Ferreira (2010), a concepção de Monteiro (2000) é passível de ser aplicada, principalmente em relação aos procedimentos voltados ao diagnóstico e ao planejamento do território, utilizando noções de potencialidade, degradação e recuperação ambiental. A elaboração de zoneamentos baseados nessa perspectiva pode direcionar ações voltadas à avaliação de impactos ambientais.

Outro importante autor mencionado, Ab’Sáber (1969) propõe três níveis de abordagem ao estudar a paisagem: a compartimentação topográfica, a estrutura superficial da paisagem e a fisiologia da paisagem²⁷. A compartimentação topográfica consiste em dividir e caracterizar as formas de relevo. A estrutura superficial da paisagem atende a um levantamento sistemático de variáveis e processos paleoclimáticos e morfoclimáticos. Por fim, a fisiologia da paisagem visa

²⁶ Um dos principais pesquisadores da geografia brasileira, “Ab’Sáber não assume um único modelo teórico em sua análise da natureza, dialogando com pelo menos três modelos conceituais distintos: o ecossistema de Tansley, o bioma de Walter e a paisagem de Bertrand” (CAVALCANTI, 2013, p. 36).

²⁷ A fisiologia da paisagem, proposta por Ab’Sáber (1969), visa entender a paisagem enquanto unidade espacial de análise, preocupando-se também com os aspectos genéticos (CONTI, 2014).

analisar os processos morfodinâmicos atuantes na paisagem. Como a proposta contempla uma compartimentação e o entendimento paisagístico de um determinado território, os princípios de Ab'Sáber (1969) estão, de alguma forma, relacionados ao estabelecimento de zonas.

Posteriormente, a partir de análises geográficas integradas do território brasileiro, Ab'Sáber (2012) definiu seis domínios morfoclimáticos (ou paisagísticos ou de natureza) e macroecológicos²⁸, além das faixas de transição, que se encontram fora das áreas nucleares. Em sua abordagem, Ab'Sáber (2012, p. 9) considera a que a paisagem “é uma herança em todo o sentido da palavra: herança de processos fisiográficos e biológicos, e patrimônio coletivo dos povos que historicamente as herdaram como território”. Dessa forma, o autor estabelece condições ecológicas e de ocupação humana de cada domínio paisagístico, o que contribui para um macrozoneamento do País, cujas informações podem ser utilizadas em zoneamentos regionais mediante levantamentos para tal finalidade.

Baseado na premissa de que a fragilidade dos ambientes naturais varia em decorrência de suas características genéticas, Ross (1994) insere novos critérios para definição de unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis, ideia claramente preconizada por Tricart (1977). O trabalho é voltado ao planejamento territorial ambiental, pois o equilíbrio dinâmico pode ser alterado por intervenções antrópicas, provocando desequilíbrios ambientais temporários e permanentes no âmbito do território. Para Ross (1994), um zoneamento ambiental, enquanto ferramenta de planejamento territorial ambiental, deve contemplar em sua metodologia o entendimento da dinâmica do ambiente natural e do meio socioeconômico, expressando uma síntese da realidade.

A partir das ideias centrais dos autores clássicos citados²⁹, é perceptível que os conceitos e as definições sobre as categorias geográficas paisagem e território se encontram no contexto de ferramentas de planejamento e gestão ambiental, como o zoneamento ambiental. É importante mencionar que as concepções dos autores compartilham pelo menos um ponto em comum: que as análises integradas indicam o entendimento do funcionamento das relações entre sociedade e natureza. Nesse sentido, o Quadro 4 apresenta contribuições de alguns dos

²⁸ Integrando dados climáticos, geológicos, geomorfológicos e fitogeográficos do território brasileiro, Ab'Sáber (2012) propôs seis Domínios Morfoclimáticos: Domínio das Terras Baixas Florestadas da Amazônia, Domínio das Depressões Interplanálticas Semiáridas do Nordeste, Domínio dos “Mares de Morros” Florestados, Domínio dos Chapadões Recobertos por Cerrados e Penetrados por Florestas-Galeria (intertropicais), Domínio dos Planaltos das Araucárias e Domínio das Pradarias Mistas do Rio Grande do Sul (subtropicais).

²⁹ Outros pesquisados de destaque também poderiam ser mencionados devido às suas contribuições sobre análises da categoria geográfica paisagem, como Sauer (2006), abordando a morfologia da paisagem (texto original de 1925); Troll (1997), introduzindo a investigação da paisagem (publicação original em alemão de 1950); Erhart (1955), que influenciou Tricart (1977) com as definições de biostasia (meios protegidos pela vegetação) e resistasia (meios em que atua a morfogênese); e Isachenko (1973), com os princípios da ciência da paisagem.

autores citados, considerando as compreensões de paisagem e/ou geossistema e território, embora a maioria não mencione o termo zoneamento ambiental nas publicações.

Quadro 4. Síntese das contribuições de autores clássicos ao instrumento zoneamento ambiental.

Autores clássicos	Concepções de paisagem e/ou geossistema	Concepções de território	Contribuições ao zoneamento ambiental
Sotchava (1978)	O geossistema consiste no espaço terrestre onde as variáveis naturais se encontram conectadas entre si, apresentando uma integridade definida capaz de interagir com a esfera cósmica e com a sociedade.	O território é utilizado para propor categorias de geossistemas voltadas à espacialização territorial: geômeros (unidades homogêneas) e geócoros (unidades heterogêneas).	Mais do que distinguir áreas (ou zonas), é possível identificar características espaciais passíveis de serem afetadas pelo homem (fatores econômicos e sociais), influenciando conexões naturais.
Bertrand (1968)	A paisagem é um conjunto único e indissociável, sempre em evolução. Já o geossistema é uma unidade dimensional na ordem de poucos km ² , pois é onde se situa a maior parte dos fenômenos da paisagem.	Não apresenta uma definição específica para a categoria território, mas supõe-se que um determinado território pode ser subdividido nos seis níveis tempo-espaciais.	As paisagens podem ser representadas cartograficamente com áreas definidas (geossistemas e geofácies), podendo ser trabalhadas em escalas de abrangência municipal e local (ver Quadro 2).
Bertrand e Bertrand (2007)	No sistema GTP, o geossistema apresenta a dimensão geográfica do ambiente natural, enquanto que a paisagem constitui uma noção que permite acessar representações naturais, sociais e culturais.	Ainda no sistema GTP, o território constitui a interpretação socioeconômica do geossistema, não envolvendo a dimensão da natureza em sua definição (cabendo ao geossistema).	A metodologia GTP contribui para relacionar os aspectos da sociedade e da natureza, o que se trata de uma condição básica para elaboração de instrumentos voltados ao planejamento e a gestão ambiental.
Tricart (1977)	O estudo da paisagem é entendido por meio da ecodinâmica (dinâmica dos ecótipos), cujas unidades de paisagem podem ser classificadas em meios: estáveis, <i>intergrades</i> e fortemente instáveis.	Sem uma definição sólida, o território é alvo da aplicação da ecodinâmica, pois o entendimento da dinâmica natural (e fatores humanos) é o início de uma gestão eficaz do território.	A relação morfogênese/pedogênese, que define os meios estáveis, <i>intergrades</i> e fortemente instáveis podem ser áreas (ou zonas) que demonstram níveis de fragilidades e limitações do território.
Zonneveld (1989)	A partir do termo unidade de terra sendo utilizado como sinônimo de paisagem, tem-se a concepção de que se trata de uma porção territorial homogênea para uma determinada escala cartográfica.	Não é abordado um conceito específico para território, mas é possível deduzir que a aplicação da unidade de terra pode ser realizada em um território com uma diversidade paisagística.	Como não há uma hierarquia em níveis ou táxons, a proposta incentivaria a uma análise mais subjetiva da paisagem para delimitar (zonar), em um território heterogêneo, as homogeneidades.
Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2007)	A paisagem é um sistema espaço-temporal influenciado por fatores naturais e antropogênicos. O geossistema tem caráter territorial e possui mais componentes e relações que o ecossistema.	A concepção de território é que se trata de uma porção delimitada por fronteiras jurídicas ou mesmo imaginárias (ALAIÉV, 1977 <i>apud</i> RODRIGUEZ, SILVA e CAVALCANTI, 2007).	A geocologia das paisagens estabelece níveis espaciais e estágios de estudo do planejamento ecológico, com aplicações no território, incluindo escalas para país, estado, município e distrito.
Monteiro (2000)	A paisagem é resultante de uma integração dinâmica dos elementos de suporte e cobertura delimitáveis. O geossistema é uma busca efetiva de integração entre os componentes naturais e socioeconômicos.	Não discorre sobre um conceito de território, porém o tratamento geossistêmico possui etapas de análise, integração, síntese e aplicação, voltados ao planejamento territorial.	Os indicativos gráficos devem sugerir uma configuração espacial de modo que expresse uma integração, principalmente com o uso de cartogramas, transectos e quadros de correlação.
Ab'Sáber (1969)	A categoria paisagem faz parte de um tratamento da pesquisa geomorfológica, em três níveis: a compartimentação topográfica, a estrutura superficial da paisagem e a fisiologia da paisagem.	Não possui definição de território, mas pode-se discorrer que a fisiologia da paisagem contempla uma interpretação abrangente dos territórios como realidades dinâmicas e complexas.	A proposta contribui para análise da compartimentação da paisagem sob o aspecto geomorfológico, que juntamente com as características geológicas dão um primeiro apoio ao estabelecimento de zonas.
Ross (1994)	Destaca a variação das fragilidades dos ambientes diante de suas características e insere critérios para as unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis de Tricart (1977).	O denominado planejamento territorial ambiental é voltado para uma avaliação das fragilidades naturais diante das ocupações humanas do território.	O zoneamento ambiental não deve ser elaborado por meio de uma leitura estática do ambiente, mas dentro de um processo de ocupação do território e seus recursos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante da contribuição extraída dos autores clássicos, reforça-se que o zoneamento ambiental constitui uma ferramenta elementar direcionada ao planejamento do território. Para resumir a ideia de uso das categorias geográficas discutidas (paisagem e território), Ferreira e

Cupolillo (2016) apontam que a paisagem deve ser analisada a partir de sua estrutura, evolução e dinâmica de funcionamento, enquanto que o território deve ser entendido como um espaço heterogêneo, complexo e multifacetado. Portanto, os procedimentos metodológicos voltados à elaboração de zoneamentos ambientais devem considerar condições temporais e espaciais.

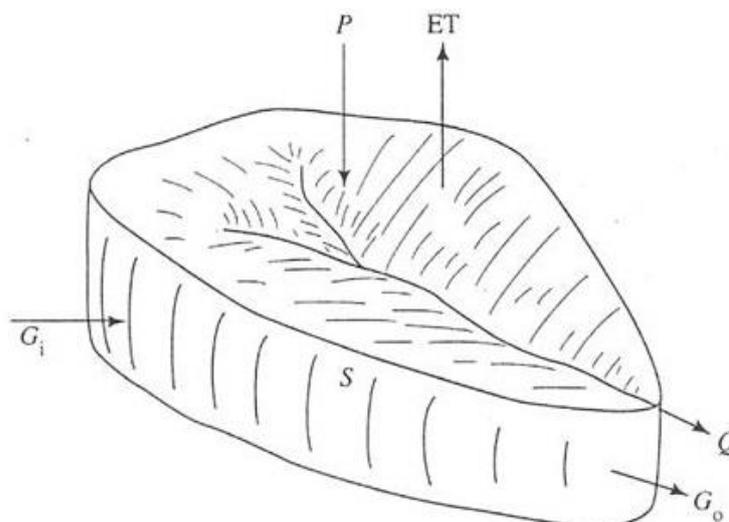
1.3. Bacias hidrográficas como unidades territoriais de planejamento e gestão dos recursos hídricos

As bacias hidrográficas são aceitas universalmente como unidades territoriais voltadas ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos. A própria conceituação indica as principais razões para serem consideradas um espaço apto ao manejo e ao gerenciamento dos recursos hídricos. Em linhas gerais, uma bacia hidrográfica é um sistema natural espacialmente bem delimitado (pelos divisores topográficos), que possui uma porção de terras drenadas por um curso d'água principal e seus afluentes, cujas interações são integradas, pelo menos no aspecto físico (SANTOS, 2004). Diversos outros conceitos de bacia hidrográfica não diferem dessa essência, embora possa haver definições mais completas ou ainda alguma constatação que contribua no aspecto gerencial.

Para Rennó e Soares (2007), a bacia hidrográfica é uma unidade elementar dos estudos hidrológicos, pois congrega as superfícies que captam e despejam água nos canais, que acabam desembocando em uma única saída. Silveira (1993) destaca que a bacia hidrográfica consiste em um sistema físico, cuja entrada é o total de água precipitada, enquanto a saída é a quantidade de água escoada pelo exutório, além das perdas intermediárias pela evaporação, pela transpiração e pela infiltração. Lanna (1995) acrescenta que uma bacia hidrográfica é composta por outras bacias menores, sujeita a ocupações difusas e concentradas, como a agricultura e as cidades, devendo-se considerar as inter-relações, a variável temporal e a imprevisibilidade.

Conforme Pires, Santos e Del Prette (2005), a bacia hidrográfica é a unidade territorial mais apropriada para análises qualitativas e quantitativas da água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes. Por ser um sistema delimitado, é possível realizar o balanço hidrológico, cujos dados são importantes para o gerenciamento de cada unidade. Calasans, Levy e Moreau (2005, p. 68) apontam que “tanto a precipitação como a evapotranspiração podem ser consideradas como sendo condições externas impostas ao sistema ou condições de contorno, utilizadas para análises da disponibilidade hídrica em uma região”. Assim, o balanço hidrológico em uma bacia hidrográfica pode ser entendido sinteticamente na Figura 1.

Figura 1. Esquema do balanço hidrológico em uma bacia hidrográfica.



Legenda: P = precipitação; ET = evapotranspiração; S = armazenamento; Q = vazão; Gi = contribuição da água subterrânea; Go = afluxo de água subterrânea.

Fonte: Calasans, Levy e Moreau (2005, 69).

A adoção das bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão não é uma prática recente (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2005). Para Forbes e Hodges (1971), as bacias inicialmente eram estudadas para fins de controle de inundações, irrigação, navegação e abastecimento público e industrial. Segundo Pires, Santos e Del Prette (2005), com o aumento da demanda dos recursos hídricos ao longo das últimas décadas, verificou-se a necessidade de incorporar uma gestão de usos múltiplos da água. Essa abordagem visou adequar as implicações sobre a utilização dos recursos hídricos, que provêm de fatores naturais, econômicos, sociais e políticos, o que faz da água o ponto de convergência de um sistema ambiental complexo.

Embora os recursos hídricos tenham papel central no processo de planejamento e gestão ambiental, outros componentes das bacias hidrográficas também devem ser contemplados nos diagnósticos, tanto naturais quanto socioeconômicos (MORAES, 2003; ROSS; DEL PRETTE, 1998), pois, segundo Pires (1995), o ciclo hidrológico também é influenciado pela utilização de outros recursos ambientais. Costa, Botta e Cardille (2003) ressaltam que as vazões dos cursos d'água podem ser alterados não somente pela variabilidade climática, mas pelos diversos usos da terra, bem como a irrigação e a implantação de reservatórios. Trata-se de uma abordagem integrada quando se institui a bacia hidrográfica como unidade de análise e gerenciamento³⁰.

Dessa forma, Ferreira e Cupolillo (2016) exaltam a necessidade de implantar ações de aproveitamento dos recursos naturais em conformidade com as características físicas, bióticas

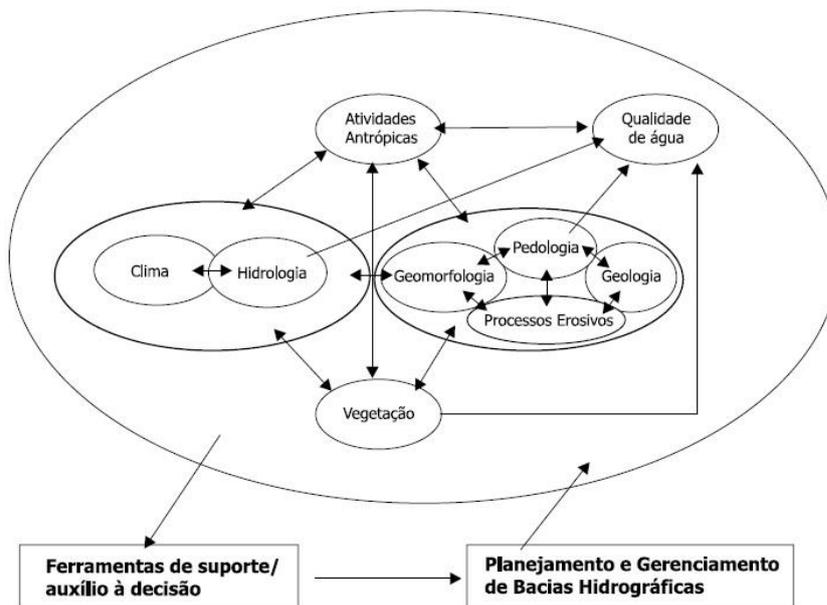
³⁰ Pires, Santos e Del Prette (2005) apontam que a bacia hidrográfica como “unidade de análise” apresenta um caráter técnico-científico, ao passo que “unidade de gerenciamento” é político-administrativo.

e socioeconômicas das bacias hidrográficas. Lorandi e Cançado (2005) demonstram que a bacia hidrográfica enquanto unidade de trabalho é adequada ao planejamento e ao gerenciamento, uma vez que as suas condições biogeofísicas possuem sistemas ecológicos e hidrológicos relativamente coesos. Esses autores concluem que o planejamento e o gerenciamento de bacias hidrográficas devem apresentar as seguintes considerações:

- a) incorporar todos os recursos ambientais da área de drenagem e não apenas o hídrico; b) adotar uma abordagem de integração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos, com ênfase nos primeiros e, c) incluir os objetivos de qualidade ambiental para utilização dos recursos, procurando aumentar a produtividade dos mesmos e, ao mesmo tempo, diminuir os impactos e riscos ambientais na bacia de drenagem (LORANDI; CANÇADO, 2005, p. 37).

O zoneamento ambiental, pode ser adotado para bacias hidrográficas, sendo importante ampliar a análise para os vários componentes físicos que as integram. De acordo com Lorandi e Cançado (2005), as variáveis correspondem ao clima, à geologia, à geomorfologia, à pedologia, aos processos erosivos, à cobertura vegetal, à hidrologia, à qualidade das águas e às atividades antrópicas (Figura 2). Por meio de SIGs desenvolvidos nas últimas décadas para suporte à decisão, pode-se adotar medidas de manejo nas bacias devido à flexibilidade e à disponibilidade. Com um SIG, informações espaciais podem ser sobrepostas para fins de zoneamento e, conseqüentemente, contribuir para o planejamento e para a gestão ambiental (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2005).

Figura 2. Componentes físicos e o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas.



Fonte: Lorandi e Cançado (2005, p. 65).

A partir das noções que apontam a bacia hidrográfica como área de gerenciamento, muitas leis foram criadas para efetivar tal concepção. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos³¹ (Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997) as reconhece como territórios básicos voltados ao planejamento (BRASIL, 1997). As diretrizes dessa lei estão baseadas no modelo francês, que, desde 1964, adota a bacia hidrográfica como unidade de referência para o planejamento e para a gestão de recursos hídricos (FINKLER, 2012). Para Lanna (2000), o sistema implementado na França é regulado pelo governo central, supervisionando regionalmente as regiões hidrográficas por meio de comitês colegiados, que executam ações de interesse local.

Baseado no modelo francês, a referida Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, integra os denominados Comitês de Bacia Hidrográfica no Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A atuação dos Comitês abrange a totalidade de uma bacia hidrográfica, a sub-bacia ou o grupo de bacias contíguas. Dentre as competências no planejamento e na gestão dos recursos hídricos, os Comitês devem aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia (BRASIL, 1997). Esse plano deve conter um zoneamento para o planejamento territorial a ser realizado pelos representantes dos Comitês de Bacia Hidrográfica³². Outro aspecto previsto na lei é a criação das Agências de Água³³, cuja função é de secretaria executiva dos comitês.

As unidades federativas do Brasil também possuem legislações específicas para gestão dos recursos hídricos. Em Minas Gerais³⁴, por exemplo, a Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999) segue os princípios da lei federal (Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997) em relação à atuação e às competências dos Comitês de Bacia Hidrográfica (MINAS GERAIS, 1999).

Para aplicação da Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999, o estado de Minas Gerais definiu 36 Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs) (Figura 3), termo similar adotado por outras unidades da federação, como São Paulo, que denomina como Unidades Estaduais de Gestão de Recursos Hídricos (UEGRHs). As UPGRHs são unidades físico-territoriais que apresentam similaridades regionais em relação aos aspectos físicos, sociais, culturais, econômicos e políticos, cuja gestão cabe aos Comitês e às Agências de Bacia Hidrográfica. Dessa forma, busca-se a gestão participativa e descentralizada dos recursos

³¹ A Política Nacional de Recursos Hídricos é conhecida também como Lei das Águas. Ressalta-se que essa lei é voltada aos recursos hídricos, porém o gerenciamento das águas deve ser entendido como um planejamento das bacias hidrográficas, pois os usos da terra nessas unidades territoriais refletem de alguma forma nos cursos d'água.

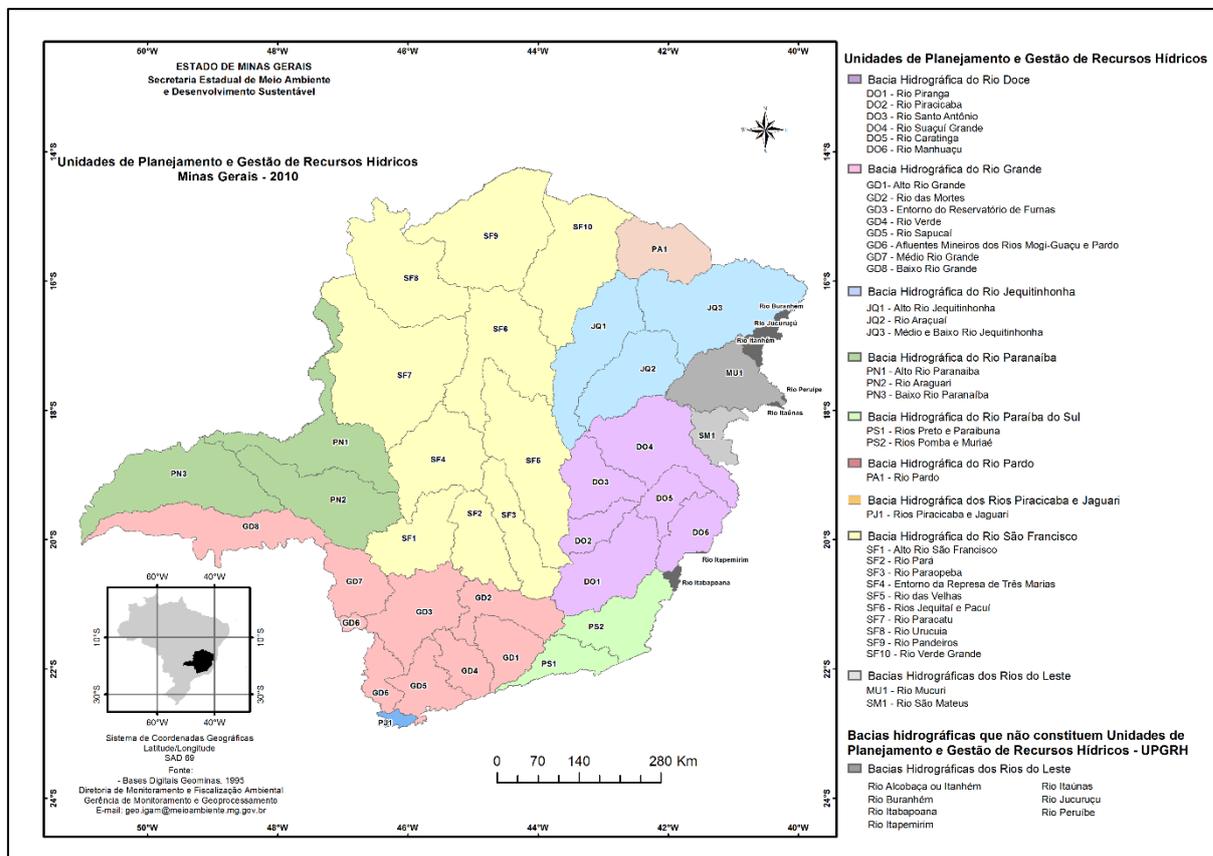
³² Os comitês são compostos por representantes da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios que tenham territórios na bacia hidrográfica, dos usuários das águas e das entidades civis de recursos hídricos (BRASIL, 1997).

³³ As Agências de Água podem ser denominadas por Agências de Bacias Hidrográficas em legislações estaduais.

³⁴ O exemplo do estado de Minas Gerais foi adotado novamente devido à área de estudo da tese estar situada nessa unidade da federação.

hídricos, organização dos usuários da água, elaboração de planos diretores, programas e estudos regionais, além da contribuição ao planejamento estadual (IGAM, 2010a).

Figura 3. Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais.



Fonte: IGAM (2010b).

Os objetivos referentes aos Sistemas Nacional e Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos no âmbito das bacias hidrográficas devem ser cumpridos mediante instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Basicamente, os instrumentos previstos são os mesmos em relação à lei federal e à estadual de Minas Gerais. Pela Lei das Águas, estão em vigência os Planos de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes³⁵, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos³⁶, a cobrança pelo uso de recursos hídricos e o Sistema de

³⁵ Para assegurar às águas uma compatibilidade com os usos, as leis federal e estadual de Minas Gerais adotam o enquadramento dos corpos de água em classes como um importante instrumento de melhoria da qualidade das águas. Nesse sentido, os corpos de água devem ser classificados mediante critérios estabelecidos por legislação específica, como a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes para enquadramento (CONAMA, 2005).

³⁶ A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos é um instrumento legal para controle quantitativo e qualitativo dos usos e do acesso à água. Estão sujeitos à outorga as derivações ou as captações de parcela da água existente em um corpo de água, extração de água subterrânea, lançamentos em corpos d'água, aproveitamento hidrelétrico e outros usos que alterem o regime, a quantidade e a qualidade das águas (BRASIL, 1997).

Informações sobre Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Já a Política Estadual de Recursos Hídricos adiciona a compensação aos municípios pela exploração e restrição de uso de recursos hídricos, o rateio de custos das obras de uso múltiplo e as penalidades (MINAS GERAIS, 1999).

Todos esses instrumentos legais são voltados para o planejamento e a gestão de bacias hidrográficas. Entretanto, ressalta-se a importância que a outorga possui diante do manejo dessas unidades territoriais, visto as consequências que os aspectos quantitativos e qualitativos efetivamente exercem no planejamento. Esse instrumento visa conceder ao usuário o direito de uso das águas e não a sua propriedade. Com base na Constituição Federal (BRASIL, 1988), enquanto a gestão das águas superficiais é realizada pela União (bacias hidrográficas federais) ou pelas unidades da federação (bacias hidrográficas estaduais), as águas subterrâneas são de responsabilidade exclusiva das unidades da federação³⁷. Dessa forma, estabelece-se a competência de cada esfera na emissão de outorgas dos direitos de uso de recursos hídricos.

Nesse contexto, cada unidade da federação estabelece a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial das bacias hidrográficas estaduais. Em Minas Gerais, a vazão de referência é a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência), conforme a Portaria do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) nº 48, de 04 de outubro de 2019 (IGAM, 2019b). A Portaria determina que o limite máximo de captações nas bacias hidrográficas do estado será de 50% da $Q_{7,10}$, o que garante fluxos residuais mínimos de 50% da $Q_{7,10}$ à jusante de cada intervenção. Conforme o Decreto nº 47.705, de 4 de setembro de 2019, as bacias hidrográficas podem ter situações de indisponibilidade hídrica após aferição do balanço hídrico das vazões outorgadas, em que a demanda de água é superior à vazão outorgável, no caso 50% da $Q_{7,10}$ (MINAS GERAIS, 2019).

Quando ocorre indisponibilidade hídrica, há um conflito pelo uso de recursos hídricos, em que o IGAM deve emitir uma Declaração de Área de Conflito (DAC). Nesses casos, as outorgas deverão ocorrer de forma coletiva na bacia hidrográfica (MINAS GERAIS, 2019). Para Rocha (2012), não há perspectiva de solução nas bacias em conflito, pois o problema é diretamente proporcional ao aumento da produção. As primeiras adversidades na condução do conflito decorrem da mobilização dos usuários para obtenção da outorga coletiva, uma vez que precisam negociar a disponibilidade hídrica. Entretanto, o Decreto nº 47.705, de 4 de setembro

³⁷ A Constituição Federal de 1988 prevê que são bens da União “os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado”. Em relação aos bens dos Estados incluem as águas superficiais totalmente inseridas em uma unidade da federação e ainda as águas subterrâneas (BRASIL, 1988). Essa determinação constitui as bases das competências da gestão das águas no território brasileiro.

de 2019, ressalta que o Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) deve convocar os usuários para regularização em processo único de outorga coletiva (MINAS GERAIS, 2019).

Diante dessas considerações, a degradação e os conflitos diversos são oriundos de planejamento e gestão das bacias hidrográficas inadequados. Cetra (2005) sugere, por exemplo, a elaboração do “zoneamento das águas”, pois a água é um patrimônio comum, cujo gerenciamento visa satisfazer os usuários e a conservação ambiental, embora se deva considerar as dificuldades de caráter econômico e político quando a bacia ultrapassa limites municipais e estaduais. Para a efetividade do manejo de uma bacia hidrográfica, Ferreira e Cupolillo (2016) descrevem a importância do diagnóstico para o zoneamento e, em seguida, para o planejamento e a gestão baseados nos resultados das duas etapas anteriores.

1.4. Procedimentos metodológicos para zoneamentos ambientais

Os zoneamentos de caráter ambiental podem ser realizados por variados procedimentos metodológicos devido aos seus propositores sempre considerarem os componentes e os processos capazes de atender à diversas finalidades. Entretanto, as metodologias normalmente apresentam uma estrutura mínima de integração de aspectos naturais e antrópicos. O SIG e o sensoriamento remoto têm um importante papel nesse contexto, pois são “ferramentas holísticas para análise, planejamento e gestão da paisagem”³⁸ (BASTIAN; STEINHARDT, 2002, p. 25).

No Brasil, muitas propostas foram desenvolvidas após a década de 1980, destacando-se a metodologia de execução do ZEE. Para Becker e Egler (1996), a lógica pode ser sintetizada pela integração dos processos naturais, pela dinâmica econômica e pelos objetivos políticos. Para Becker e Egler (1996, p. 30), “o procedimento metodológico envolve três cartas, sendo duas temáticas (vulnerabilidade natural e potencialidade social) e uma carta-síntese de subsídio à gestão do território baseado nos níveis de sustentabilidade e na legislação”. Nesse procedimento, as Unidades Territoriais Básicas (UTBs)³⁹ são células elementares de informação, divididas em unidades de paisagem natural e polígonos de intervenção antrópica (CREPANI *et al.*, 2001).

Para subsidiar a primeira etapa do ZEE da Amazônia de Becker e Egler (1996), Crepani *et al.* (2001) propuseram a elaboração do mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo. O

³⁸ Lang e Blaschke (2009, p. 47), abordando a aplicação do SIG, destacam que o planejamento da paisagem pode ser aplicado no “preparo de planos da condição atual e para a representação de cenários, para apoiar a tomada de decisão e para o planejamento de medidas”.

³⁹ As UTBs devem ter contiguidade espacial, ser georreferenciadas e possuir uma classificação que permita agrupamento em ordens de grandeza (BECKER; EGLER, 1996).

procedimento compreende a integração cartográfica e a atribuição de pesos nos seguintes planos de informação: geologia, geomorfologia, solos, uso da terra/vegetação e clima (intensidade pluviométrica). As UTBs, identificadas por meio de imagens de satélite, foram desenvolvidas a partir das unidades ecodinâmicas de Tricart (1977). Baseado nos meios estáveis, *intergrades* e fortemente instáveis, Crepani *et al.* (2001) definiram valores às categorias morfodinâmicas, sendo: 1,0 para áreas estáveis; 2,0 para áreas intermediárias; e 3,0 para áreas instáveis.

Diante da definição desses valores, Crepani *et al.* (2001) estabeleceram ainda uma escala de estabilidade/vulnerabilidade com 21 classes, contemplando situações em que há predomínio da pedogênese (valores próximos de 1,0), condições intermediárias (valores próximos de 2,0) e de predomínio da morfogênese (valores próximos de 3,0). Essa escala abrange cores que variam conforme o grau de dissecação, indicando níveis de estabilidade e/ou vulnerabilidade das unidades de paisagem de um determinado território. Destaca-se que, embora possam haver 21 possibilidades, normalmente nos mapas finais são selecionadas apenas cinco cores, sendo uma para cada grau de vulnerabilidade (estável, moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável), conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Escala de vulnerabilidade à perda de solos de Crepani *et al.* (2001).

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERABILIDADE	GRAU DE SATURAÇÃO					
				VERM.	VERDE	AZUL	CORES		
U1	↑	3,0	↓	VULNERÁVEL	255	0	0		
U2		2,9			255	51	0		
U3		2,8			255	102	0		
U4		2,7			255	153	0		
U5	U	2,6	↓	MODERADAMENTE VULNERÁVEL	255	204	0		
U6		L			2,5	255	255		0
U7		N			2,4	204	255		0
U8	E	2,3	↓	MEDIANAMENTE ESTÁVEL/VULNERÁVEL	153	255	0		
U9		R			2,2	102	255		0
U10	A	2,1	↓	MODERADAMENTE ESTÁVEL	51	255	0		
U11		B			2,0	0	255		0
U12		I			1,9	0	255		51
U13		L			1,8	0	255		102
U14	I	1,7	↓	ESTÁVEL	0	255	153		
U15		D			1,6	0	255		204
U16		A			1,5	0	255		255
U17		D			1,4	0	204		255
U18	E	1,3	↓	ESTÁVEL	0	153	255		
U19					1,2	0	102		255
U20					1,1	0	51		255
U21					1,0	0	0		255

Fonte: Crepani *et al.* (2001, p. 22).

Esse modelo deve ser aplicado aos planos de informação temáticos georreferenciados (geologia, geomorfologia, solos, uso/vegetação e intensidade pluviométrica). Tais temas devem receber um valor final, resultante da média aritmética dos valores individuais. Ressalta-se que

na proposta original de Crepani *et al.* (2001), para obtenção do plano de informação referente à geomorfologia deve-se aplicar uma média aritmética, contemplando características do grau de dissecação, amplitude altimétrica e declividade. De modo geral, o procedimento metodológico de Crepani *et al.* (2001) pode ser sintetizado conforme a seguinte equação:

$$(1) \quad V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5}$$

Onde:

V = Vulnerabilidade

G = Vulnerabilidade para o tema Geologia

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = Vulnerabilidade para o tema Solos

Vg = Vulnerabilidade para o tema Vegetação

C = Vulnerabilidade para o tema Clima (CREPANI *et al.*, 2001, p. 22).

O procedimento metodológico de Crepani *et al.* (2001) tem sido amplamente utilizado por pesquisadores brasileiros para avaliações da vulnerabilidade natural à perda de solos e, por conseguinte, para elaborar zoneamentos ambientais no País. O avanço das geotecnologias pode ser considerado um dos motivos pela preferência dessa metodologia. Para Rosa (2005, p. 81), “as geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informação com referência geográfica”. O autor aponta ainda que, dentre as geotecnologias destacam-se o SIG, a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento por satélite e a topografia georreferenciada. Assim, como Crepani *et al.* (2001) apresentam a sobreposição de temas nesse modelo, é imprescindível a utilização das geotecnologias para execução, além do fato de que atualmente existem muitos dados gratuitos disponíveis.

Convém ressaltar que muitos autores adotam as bacias hidrográficas como unidades espaciais de aplicação da metodologia de Crepani *et al.* (2001). Essa consideração corrobora a premissa de que as bacias hidrográficas são delimitações elementares para o planejamento e a gestão ambiental, sendo o zoneamento um instrumento ao planejamento do território. Para fins exemplificativos da aplicação do procedimento metodológico de Crepani *et al.* (2001) em bacias hidrográficas, destacam-se os trabalhos de Leite (2011), Lima e Silva (2018), Oliveira (2019), Santos e Martins (2018) e Souza (2017). A partir dos resultados, pode-se afirmar que a metodologia demonstrou-se satisfatória para variados contextos físico-geográficos.

Nos referidos trabalhos, as adaptações foram realizadas para adequar o procedimento às características das áreas de estudo e também às finalidades da pesquisa. Leite (2011) definiu zonas de Paisagem Crítica Ambiental e Paisagem Produtiva Consolidada. Santos e Martins (2018) demonstraram preocupação com os cursos d’água, sobretudo com a susceptibilidade ao

assoreamento e à poluição. Oliveira (2019) considera a importância do procedimento para análise da dinâmica de bacias hidrográficas. Santos e Martins (2018) identificaram vulnerabilidades ambientais nas áreas próximas às nascentes e indicaram a necessidade de ações específicas para manutenção dos recursos hídricos. Por fim, Souza (2017) elaborou um zoneamento ambiental capaz de identificar áreas de uso restrito e de ocupação consolidada.

Dentre as metodologias de ZEE das unidades da federação, destaca-se o procedimento estabelecido pelo estado de Minas Gerais⁴⁰. O ZEE de Minas Gerais baseia-se “em um índice que reflete a combinação da vulnerabilidade natural com o potencial social” (SCOLFORO *et al.*, 2008, p. 7). Nessa perspectiva, a abordagem metodológica abrange os diagnósticos da vulnerabilidade natural e da potencialidade social. A vulnerabilidade natural é entendida como sendo a incapacidade de uma determinada porção espacial resistir ou se recuperar de impactos de atividades antrópicas. Já a potencialidade social é o conjunto de condições atuais, avaliado pelos aspectos produtivo, natural, humano e institucional (SCOLFORO *et al.*, 2008). De modo resumido, o Quadro 5 apresenta os fatores condicionantes aplicados nessa metodologia.

Quadro 5. Fatores condicionantes da vulnerabilidade natural e potencialidade social do ZEE-MG.

Vulnerabilidade natural	Potencialidade social
Integridade da Flora	Infraestrutura de Transporte
	Atividades Econômicas
Integridade da Fauna	Utilização das Terras
	Estrutura Fundiária
Susceptibilidade dos solos à contaminação	Recursos Minerais
	Ocupação Econômica
Susceptibilidade dos solos à erosão	Demografia
	Condições Sociais
Susceptibilidade geológica à contaminação das águas subterrâneas	Capacidade Institucional
	Organizações Jurídicas
Disponibilidade natural de água	Organizações Financeiras
	Organizações de Fiscalização e de Controle
Condições climáticas	Organizações de Ensino e de Pesquisa
	Organizações de Segurança Pública

Fonte: Adaptado de Scolforo *et al.* (2008).

⁴⁰ Mais uma vez Minas Gerais é utilizado como exemplo devido à área de estudo estar situada neste Estado.

A partir do resultado da combinação dos níveis de potencialidade social com os níveis de vulnerabilidade natural, é obtido o chamado índice ecológico-econômico. As possibilidades permitem agrupar áreas semelhantes em relação aos problemas ambientais e sociais. O índice visa contribuir para que a proposta de zoneamento seja estabelecida por fatores do ambiente natural e social, sendo a classificação realizada por 25 combinações possíveis, porém agrupadas em seis classes de índice ecológico-econômico (SCOLFORO *et al.*, 2008). Conforme Scolforo *et al.* (2008), a metodologia apresenta os índices ecológico-econômico conforme o Quadro 6.

Quadro 6. Índices ecológico-econômico da metodologia do ZEE-MG.

Terras de baixa vulnerabilidade em locais de alto potencial social
Terras de alta vulnerabilidade em locais de alto potencial social
Terras de baixa vulnerabilidade em locais de médio potencial social
Terras de alta vulnerabilidade em locais de médio potencial social
Terras de baixa vulnerabilidade em locais de baixo potencial social
Terras de alta vulnerabilidade em locais de baixo potencial social

Fonte: Adaptado de Scolforo *et al.* (2008, p. 13).

Além desses índices, foram consideradas cinco zonas temáticas, formadas por áreas que apresentam restrições legais, como: zonas urbanas, zonas de proteção integral, zonas potenciais e especiais para mineração, zonas especiais de uso sustentável e áreas indígenas (SCOLFORO *et al.*, 2008). Diante de todo o trabalho realizado para implantação do ZEE-MG, ressalta-se que ele não tem sido utilizado no planejamento territorial e na orientação de processos de licenciamento ambiental. De acordo com Scolforo *et al.* (2008, p. 7) “em nenhum momento, o ZEE tem como premissa a restrição do uso de qualquer área”, porém deve ser empregado para direcionar usos conforme as vulnerabilidades e as potencialidades de cada zona.

O estado de Minas Gerais possui ainda uma metodologia específica para sub-bacias hidrográficas, denominado Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP), aprovada pelo Decreto nº 46.650, de 19 de novembro de 2014 (MINAS GERAIS, 2014). O procedimento envolve a definição das unidades de paisagem, o diagnóstico da disponibilidade hídrica e o levantamento do uso do solo de sub-bacias hidrográficas mineiras. Essas etapas se encontram disponibilizadas em tutorial e têm sido utilizadas desde o ano de 2017. A ideia desse zoneamento é que seja realizado em sub-bacias hidrográficas cujas áreas variam entre 30.000 e 150.000 ha, uma vez que possibilita a obtenção de informações mais detalhadas (MINAS GERAIS, 2016).

A definição das unidades de paisagem do ZAP foi baseada em Fernandes (2010), a partir da compartimentação da paisagem por meio da reclassificação das curvas de nível obtidas por

imagens da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e integração de dados de geologia, solos, rede de drenagem e vegetação. Além disso, o procedimento prevê trabalhos de campo e análise das informações para identificação de potencialidades, limitações, fragilidades e aptidões (MINAS GERAIS, 2016). Entretanto, Rosa e Ferreira (2019) destacam que a definição das unidades de paisagem não está de acordo com a categoria paisagem em geografia, pois o resultado indica somente uma compartimentação das formas de relevo da bacia hidrográfica⁴¹.

Outra proposta de destaque para compartimentação de bacias hidrográficas em Minas Gerais é o estabelecimento das Unidades Territoriais Estratégicas (UTES) da bacia hidrográfica do rio das Velhas, mediante Deliberação Normativa nº 01, de 09 de fevereiro de 2012 (CBH RIO DAS VELHAS, 2012). De acordo com o Plano Diretor de Recursos Hídricos dessa bacia, foram definidas 23 UTES para planejamento e gestão, sendo consideradas prerrogativas geográficas a extensão, os afluentes, os municípios, a população, entre outros. Trata-se de uma nova abordagem, sobretudo com a inserção de uma avaliação baseada em cinco Agendas: Cinza, Laranja, Marrom, Verde e Azul. O procedimento abrange o somatório dessas agendas para hierarquização da criticidade das UTES e confecção do mapa-síntese, contribuindo, assim, para a identificação de impactos sobre os recursos hídricos (CBH RIO DAS VELHAS, 2015).

Embora o procedimento metodológico esteja aplicado somente na bacia hidrográfica do rio das Velhas, a definição das UTES é uma proposta de zoneamento ambiental satisfatória para ser aplicada em outras bacias hidrográficas, sobretudo UPRHs. É possível observar que sua concepção parte do princípio de que a bacia hidrográfica é heterogênea, uma vez que apresenta particularidades em cada um dos compartimentos mapeados (UTES). As UTES estão inseridas no alto, médio alto, médio baixo e baixo curso da bacia hidrográfica do rio das Velhas, conforme estabelecido pelo Plano Diretor de Recursos Hídricos. Assim, os subcomitês são responsáveis por ações de revitalização, cada um em seu domínio, cujos esforços somados visam estabelecer melhorias dos indicadores em toda a bacia hidrográfica (CHB RIO DAS VELHAS, 2015).

Os procedimentos metodológicos não necessariamente estão relacionados a projetos governamentais, normas e legislações. Baseado em uma proposta de cartografia de paisagens, Cavalcanti (2014), por exemplo, propõe critérios de observação da paisagem que podem ser utilizados em zoneamentos ambientais. Segundo Cavalcanti (2014), para a compreensão de detalhes da paisagem, como subsídio ao zoneamento ambiental, é necessário seguir etapas de planejamento para trabalhos de campo e de confecção do produto final. Para Cavalcanti (2014,

⁴¹ No exemplo utilizado por Minas Gerais (2016), o resultado para a bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana apresentou três unidades de paisagem: superfície tabular, rampas de colúvio e vale encaixado. Por isso a crítica de Rosa e Ferreira (2019) sobre o procedimento, pois foram delimitados somente os compartimentos de relevo.

p. 53), “[...] é preciso escolher a área de estudo e reunir informações sobre ela, como imagens de satélite de alta resolução, fotografias aéreas, cartas topográficas e dados temáticos”. A etapa de descrição de variáveis físico-geográficas envolve a caracterização dos litotipos, relevo, solos, vegetação, uso da terra, entre outros (CAVALCANTI, 2014).

Em muitos trabalhos de zoneamento, utiliza-se o procedimento *Analytic Hierarchy Process* (AHP), desenvolvido por Saaty (1977) para confecção do mapa de vulnerabilidade ambiental. O processo é realizado por meio de uma modelagem matemática (DIAS; SILVA, 2014). Trata-se de um método de análise multicriterial com indicação de pesos estatísticos conforme as características do território. Assim, é estabelecida uma matriz de indicadores com valores que variam de um a nove (GÓMEZ; BARREDO, 2005). Conforme Materano (2019), a proposta pode ser utilizada para diagnósticos e zoneamentos ambientais. Para Monge (2017), a metodologia é indicada para instituições governamentais, pois é ajustável e eficaz às necessidades de cada projeto. Conforme Grazhdani (2017), o método subsidia os gestores para uma composição paisagística sustentável, além de avaliar impactos ambientais do uso da terra.

Resumindo as vantagens do método, a integração das técnicas de sensoriamento remoto e SIG com a metodologia AHP tem se demonstrado bem-sucedida, pois confirma ser passível de aplicação em diversas regiões com resultados satisfatórios (NGUYEN *et al.*, 2016). Essa constatação pode ser verificada em publicações de pesquisadores de vários países, cujo tema abrange propostas de zoneamento ambiental. Mesmo com a existência de leis de planejamento territorial, a melhoria do instrumento é uma preocupação diante das ocupações inadequadas, o que paralelamente depende da evolução das geotecnologias.

Considerando as metodologias de zoneamento ambiental, convém ressaltar que parte dos conceitos aqui descritos estão empregados na presente pesquisa. Da proposta de Becker e Egler (1996), o procedimento desenvolvido por Crepani *et al.* (2001) foi adaptado para o levantamento da vulnerabilidade natural à perda de solos. Sobre os aspectos quali-quantitativos dos recursos hídricos, utilizou-se dados disponibilizados por Scolforo *et al.* (2008). Dentre as várias ideias expostas, a atribuição de pesos para sobreposição de mapas (álgebra de mapas), comum no método de análise multicriterial, também está empregada em etapas desta pesquisa.

1.5. Possibilidades do uso de SIG no zoneamento ambiental

A utilização de SIG tem sido cada vez mais frequente para resolver tarefas nos diversos campos do conhecimento. Como ferramenta básica de espacialização, cruzamento de dados e cálculo de áreas, as principais vantagens do SIG são a diminuição da inevitável subjetividade,

rapidez na sobreposição de mapas temáticos e o aperfeiçoamento dos diagnósticos devido à possibilidade de inserção de novos dados (ROSA, 2007). Lang e Blaschke (2009) ressaltam a utilidade do SIG para a melhoria da visualização de relações espaciais. Embora não resolva todos os problemas de análise geográfica, um SIG pode “avaliar e zonar áreas de forma mais rápida, adequada e eficiente” (ROSA, 2007, p. 244). Convém ressaltar que, por vezes, SIG é confundido com geoprocessamento, que tem uma conceituação mais abrangente (ROSA, 2007).

Dessa forma, enquanto o geoprocessamento representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, um SIG é capaz de processar dados gráficos e não gráficos para análises espaciais e modelagens de superfícies (ROSA, 2007). De acordo com Rosa (2007), ao menos quatro categorias de técnicas de tratamento da informação espacial estão envolvidas no geoprocessamento: 1) coleta (que envolve cartografia, sensoriamento remoto, topografia, dados alfanuméricos etc.); 2) armazenamento (criação de um banco de dados); 3) tratamento (como a modelagem, geoestatística, funções topológicas); e 4) uso integrado (ferramenta SIG⁴²).

De acordo com Rosa (2007), o geoprocessamento, por ser mais abrangente, contempla informações temáticas “amarradas” da superfície terrestre, que devem ser apresentadas em um determinado sistema de coordenadas. Em relação ao SIG, o autor considera que se trata de um conjunto de ferramentas computacionais composto de equipamentos e programas capazes de integrar dados, pessoas e instituições. Assim, o SIG torna possível “a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a disponibilização” (ROSA, 2007, p. 238) por meio de dados georreferenciados. Os dados armazenados para utilização em um SIG possuem, em geral, os formatos vetorial e *raster*⁴³ para serem trabalhados e processados (ROSA, 2007).

Para Câmara *et al.* (2001), o que diferencia um SIG de outros sistemas de informação são as funções de análise espacial. Essas funções utilizam atributos espaciais e não espaciais para realizar simulações (modelos), da superfície terrestre. Nesse sentido, Câmara *et al.* (2001) apresentam uma abordagem taxonômica inédita voltada para operações de análise geográfica em SIG: 1) operações sobre geo-campos; 2) operações sobre geo-objetos; 3) relacionamentos espaciais entre geo-objetos; e 4) operações entre geo-campos e geo-objetos. Desse modo, o Quadro 7 exhibe uma subdivisão sucinta dessas operações de análise geográfica em SIG.

⁴² Destaca-se que muitas ferramentas SIG se encontram disponíveis de forma gratuita, como *Quantum Geographic Information System* (QGIS), *software* utilizado no presente trabalho. O *Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS), que atualmente se encontra integrado ao QGIS, é outro exemplo de *software* de fonte aberta.

⁴³ Os dados disponíveis em formato vetorial (*shapefiles*) “são armazenados em uma série de pares de coordenadas plano-retangulares bidimensionais, com traçado linear e de área das feições” (ROSA, 2007, p. 242). Os arquivos vetoriais são representados em linha, polígono ou ponto e podem ser convertidos em *raster*. Os arquivos em formato *raster* servem para processamento de imagens, cujos temas espaciais são representados por células quadradas. Nesse formato, é possível realizar a sobreposição de mapas (ROSA, 2007).

Quadro 7. Sequência de operações de análise geográfica trabalhadas em SIG.

Operações sobre geo-campos	Operações pontuais	Operações unárias ou de transformação	Ponderação
			Fatiamento
		Operações <i>booleanas</i>	
	Operações matemáticas		
	Operações de vizinhança		
Operações zonais			
Relacionamentos espaciais entre geo-objetos	Relacionamentos topológicos		
	Relacionamentos métricos		
Operações sobre geo-objetos	Seleção por atributos		
	Seleção espacial		
	Junção espacial		
Operações entre geo-campos e geo-objetos	Atualização de atributos de geo-objetos a partir de geo-campos		
	Espacialização de geo-campos a partir de geo-objetos		
	<i>Buffer</i>		

Fonte: Câmara *et al.* (2001).

A partir das possibilidades de análise geográfica passíveis de serem trabalhadas em SIG, conforme Câmara *et al.* (2001), destaca-se que as sequências sobre geo-campos, sobretudo as operações pontuais (unárias/transformação e *booleanas*) e zonais, constituem aquelas de maior utilidade para o desenvolvimento da presente pesquisa. Embora outras operações também sejam aplicadas em algum momento, como o *buffer*⁴⁴ (operações entre geo-campos e geo-objetos), convém abordar com maior atenção os conceitos das operações pontuais. Considerações sobre operações zonais são igualmente importantes para o entendimento do zoneamento ambiental.

Para Câmara *et al.* (2001), as operações pontuais geram um geo-campo de saída cujos valores são função somente dos valores dos geo-campos de entrada. Os autores ressaltam que esse processo ocorre sobre apenas um campo, como o fatiamento de um modelo numérico de terreno (unárias/transformação) ou interseções⁴⁵ entre conjuntos espaciais, como as operações *booleanas* entre mapas temáticos. Essas operações, bem como a ponderação (atribuição de pesos), são importantes para a construção de zoneamentos ambientais por meio de ferramentas operadoras disponíveis em SIG, tanto para a obtenção quanto para a integração dos temas.

⁴⁴ O *buffer* é uma operação de distância para delimitação de áreas em torno de uma entidade, sendo possível sua execução, por exemplo, para delimitação de áreas legalmente protegidas ou de leitos de cheia. Ademais, os *buffers* podem ser criados a partir de elementos pontuais, lineares ou poligonais (ROSA, 2011).

⁴⁵ Segundo Rosa (2011), a interseção é uma operação espacial de lógica *booleana* em que a camada resultante mantém os atributos da camada inicial e da camada de molde.

Nas operações pontuais unárias ou de transformação a entrada é de somente um geo-campo, cujo procedimento corresponde a um mapeamento entre contradomínios dos campos de entrada e saída (CÂMARA *et al.*, 2001). Na ponderação, são atribuídos pesos (valores) aos denominados planos de informação, termo empregado por Crepani *et al.* (2001) para os temas ou camadas (*layers*) no procedimento metodológico relacionado à vulnerabilidade natural à perda de solos. Ainda nas operações unárias ou de transformação, a operação de fatiamento em classes é amplamente utilizada, por exemplo, nos mapas de declividade, uma vez que configura um modelo numérico de terreno (CÂMARA *et al.*, 2001).

A operação *booleana*, baseada em lógica *booleana*, é utilizada para análise qualitativa e geração de mapas temáticos a partir de regras pré-estabelecidas que especificam as condições do tema de saída. Trata-se de uma combinação lógica simples de ser aplicada em SIG, em que os cruzamentos podem ocorrer entre dois ou mais planos de informação (CÂMARA *et al.*, 2001). Conforme Silva Neto (2013), os operadores *booleanos* são precisos e podem contribuir para a delimitação e a identificação de incompatibilidades (conflitos) entre uso da terra e áreas legalmente protegidas. Assim, devido à lógica *booleana* em SIG ser aberta ao estabelecimento prévio de critérios condicionantes, amplia-se a possibilidade de procedimentos metodológicos que envolvem análise espacial serem desenvolvidos, como o zoneamento ambiental.

Para complementar a elaboração de zoneamentos ambientais, normalmente as operações zonais também fazem parte dos procedimentos em SIG, visto que são definidas sobre regiões específicas de um geo-campo de entrada, em que as restrições são fornecidas por meio de um outro geo-campo temático (CÂMARA *et al.*, 2001). De acordo com Câmara *et al.* (2001), os operadores zonais compreendem a média, o máximo, o mínimo e o desvio padrão dos valores de determinada região. Os referidos autores destacam que as operações zonais consolidam as propostas de Bertrand (1968) e Tricart (1977), bem como integram dados socioeconômicos e físico-bióticos para ordenação territorial. Especificamente a operação de média zonal permite a determinação da vulnerabilidade natural à perda de solos de Crepani *et al.* (2001).

Diante das considerações aqui apresentadas, é importante destacar que os procedimentos metodológicos da presente pesquisa, em especial aqueles relacionados à confecção de mapas, serão realizados seguindo preceitos das operações descritas (operações pontuais e zonais). A abordagem dessas operações de análise geográfica passíveis de serem trabalhadas em SIG se deve ao fato de que a proposta de zoneamento ambiental segue uma sequência de sobreposições e interseções.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste tópico, apresenta-se, inicialmente, os direcionamentos gerais do estudo, incluindo o fluxograma de trabalho e a descrição dos *softwares* e dos arquivos digitais utilizados. Em seguida, foram descritos os procedimentos realizados no diagnóstico, no estabelecimento de conflitos e, finalmente, na proposta de zoneamento ambiental. Ações de recuperação e manejo a serem implementadas em áreas específicas de cada zona também foram aqui delineadas.

2.1. Direcionamentos da pesquisa

Os direcionamentos gerais da pesquisa consistem em uma apresentação introdutória do desenvolvimento das etapas realizadas nesta tese e as formas para o cumprimento dos objetivos propostos. Dentre os aspectos que configuram uma pesquisa, a adoção de procedimentos pré-determinados possui importância elementar por ser uma forma racional de sistematizar uma sequência para obtenção de bons resultados. Além de uma metodologia adequada, a qualidade dos resultados da pesquisa também depende de ferramentas e de materiais, como *softwares*, arquivos e dados digitais, equipamentos, entre outros.

Como o intuito da presente pesquisa é realizar uma proposta de zoneamento ambiental a partir da integração de variáveis físico-geográficas e ambientais, os preceitos metodológicos abrangem uma abordagem sistêmica. Essa perspectiva contribui para o entendimento da complexidade da relação sociedade-natureza, amplamente discutida na geografia. A tese possui respaldo nessa concepção, pois a proposição de uma ferramenta, como o zoneamento ambiental, que identifica e analisa ações antrópicas modificadoras da paisagem natural de um território, visa o equilíbrio dessa dicotomia para o estabelecimento de uma boa qualidade ambiental.

O capítulo referente ao referencial teórico-conceitual apresenta algumas citações que sugerem as relações sociedade-natureza aos trabalhos de zoneamento ambiental, incluindo o contexto de categorias de análise geográfica, como paisagem e território. A partir do arcabouço conceitual, a pesquisa direciona-se à aplicação de um procedimento metodológico voltado para o planejamento e a gestão ambiental de bacias hidrográficas, sendo adotada a UPGRH PN3 como unidade territorial demonstrativa. Nesse caso, são necessárias ferramentas para o desenvolvimento da pesquisa, que serão mencionadas ao longo deste capítulo.

Nesse contexto, a presente pesquisa é direcionada em cinco etapas: 1) diagnóstico dos componentes físico-geográficos e ambientais, bem como a elaboração dos respectivos mapas temáticos; 2) integração dos componentes físico-geográficos e ambientais diagnosticados, por

meio da ponderação dos mapas temáticos; 3) estabelecimento de conflitos (lógica *booleana*); 4) proposição do zoneamento ambiental; 5) indicação de áreas para preservação, recuperação e adaptações nas iniciativas de manejo. Assim, à medida que os produtos cartográficos foram levantados, os mesmos foram utilizados nas etapas posteriores para obtenção de mapas síntese por meio de sobreposições e interseções, constituindo um trabalho com etapas objetivas.

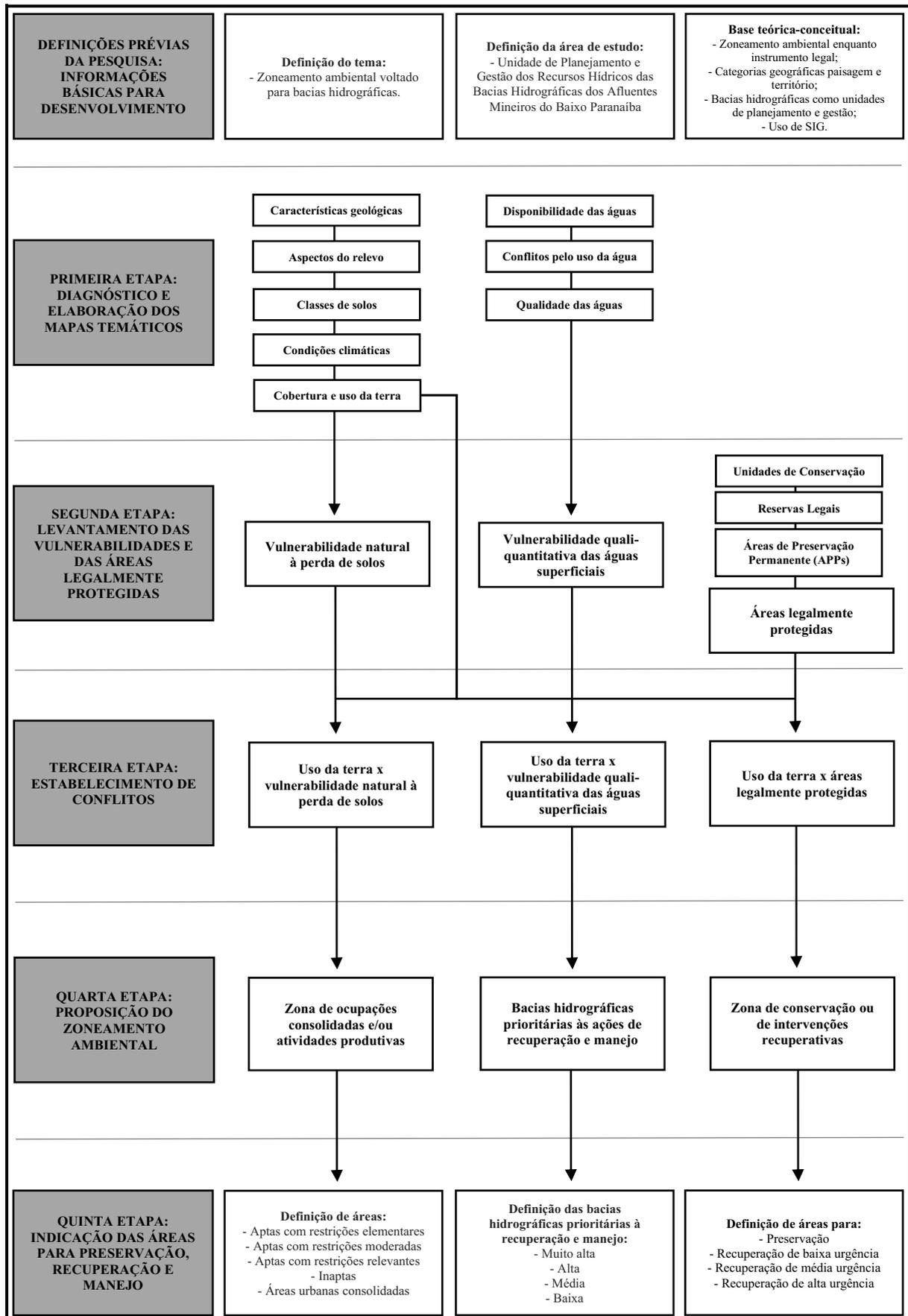
Na primeira etapa, os componentes a serem analisados correspondem às características geológicas, aos aspectos do relevo, às classes de solos, às condições climáticas (ênfase à intensidade pluviométrica), à cobertura e ao uso da terra, à disponibilidade natural das águas superficiais (considerando a $Q_{7,10}$), às áreas de conflito pelo uso da água e à qualidade das águas superficiais. Para a elaboração da segunda etapa, são atribuídos pesos (ponderação) às variáveis dos componentes físico-geográficos, sendo os cinco primeiros componentes responsáveis pela obtenção da vulnerabilidade natural à perda de solos e os outros três pela vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais (ambos mediante operação média zonal). Além disso, ainda na segunda etapa também são levantadas as áreas legalmente protegidas da área de estudo.

De posse dos dados e dos mapas de vulnerabilidade natural à perda de solos, de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais e de áreas legalmente protegidas, seguiu-se para a terceira etapa, que consiste no estabelecimento de conflitos entre a cobertura e o uso da terra e os referidos resultados da etapa anterior. Basicamente, o procedimento abrange a realização de interseções (operações *booleanas*) entre o uso da terra e as duas vulnerabilidades e entre o uso da terra e as áreas legalmente protegidas. O intuito dessas interseções é demonstrar os graus de conflito que os usos da terra (componente que abrange as modificações provocadas pelo homem) incidem sobre aspectos quali-quantitativos da natureza, como a perda de solos (erosão), a situação quali-quantitativa das águas superficiais e as áreas legalmente protegidas.

Os resultados dos conflitos são diretamente responsáveis por orientar a quarta e a quinta etapa da pesquisa, que abrangem a proposição do zoneamento ambiental e a indicação das áreas para preservação, recuperação e manejo. As duas zonas definidas no trabalho estão relacionadas às áreas de atividades produtivas e às áreas legalmente protegidas, em que são identificadas as ocupações consolidadas e as porções para conservação ou recuperação. Diante dos conflitos, são apontadas as áreas aptas e inaptas e as urgências para recuperação. Paralelamente, a partir do resultado do conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais, são indicadas as bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo.

Considerando o exposto, o direcionamento do trabalho seguiu o fluxograma apresentado na Figura 4, cujos detalhes dos procedimentos estão apresentados ao longo deste capítulo.

Figura 4. Fluxograma das etapas desenvolvidas na pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O zoneamento ambiental como um todo é dependente de arquivos digitais e *softwares* de geoprocessamento para elaboração dos mapas temáticos e constituição de uma base de dados geográficas. Dessa forma, são apresentados a seguir os materiais, os *softwares* e arquivos os digitais utilizados durante a pesquisa.

2.2. Materiais, *softwares* e arquivos digitais

Para o desenvolvimento da presente pesquisa foram utilizados *softwares* e arquivos diversos disponíveis gratuitamente em endereços eletrônicos governamentais. O *software* SIG *QGIS 3.4.13 with GRASS 7.6.1* (*software* livre com código aberto) foi empregado para análises geográficas e confecção de mapas e o *Google Earth Pro* (versão 7.3) para auxílio dos trabalhos quando necessário alguma conferência em imagens de satélite. Os principais arquivos e dados digitais empregados em pelo menos uma etapa do trabalho estão apresentados no Quadro 8.

Quadro 8. Principais arquivos e dados digitais utilizados na pesquisa.

Cartas topográficas	- Folhas SE-22-Z-A (IBGE, 1979a); SE-22-Z-B (IBGE, 1979b); SE-22-Z-C (IBGE, 1979c); SE-22-Z-D (IBGE, 1979d), escala 1:250.000.
Arquivos vetoriais (<i>shapefiles</i>)	- Território brasileiro, com divisas estaduais e limites municipais (IBGE, 2019), além de rodovias (DNIT, 2019); - Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais (IGAM, 2010a); - Temas geologia, geomorfologia e pedologia, escala 1:250.000 (IBGE, 2018); - Rede drenagem do estado de Minas Gerais, escala 1:100.000 (IGAM, 2012), disponibilizado pelo ZEE-MG e Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA, 2019); - Uso e cobertura da terra, projeto TerraClass Cerrado, escala 1:250.000 (BRASIL, 2015); - Áreas de conflito pelo uso da água (IDE-SISEMA, 2019); - Áreas legalmente protegidas (BRASIL, 2020; IDE-SISEMA, 2019).
Imagens de satélite (gratuitas)	- Imagens SRTM para obtenção da hipsometria e declividade, resolução espacial de 30 m (USGS, 2019); - Imagem <i>raster</i> da cobertura e uso do solo do Cerrado e Mata Atlântica do estado de Minas Gerais a partir de imagens de satélites <i>Landsat 8</i> , resolução espacial de 30 m, referente ao ano de 2018 (MAPBIOMAS, 2018); - Auxílio do <i>Google Earth Pro</i> , versão 7.3.
Dados diversos	- Mapa geológico do estado de Minas Gerais elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM – Serviço Geológico do Brasil) e Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG), escala 1:1.000.000 (CPRM; CODEMIG, 2014); - Dados pluviométricos obtidos junto ao portal ANA/ <i>HidroWeb</i> , referente ao período 1988-2018 (ANA, 2019); - Dados de qualidade das águas superficiais da UPGRH PN3, referente ao ano de 2018 (IGAM, 2018, 2019a).

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3. Temas e procedimentos metodológicos adotados no zoneamento ambiental

Considerando os direcionamentos da pesquisa, apresentam-se a seguir os procedimentos adotados na presente tese.

2.3.1. Levantamento da vulnerabilidade natural à perda de solos

Para obtenção da vulnerabilidade natural à perda de solos foi realizada uma adaptação da metodologia de Crepani *et al.* (2001). A proposta consiste em atribuir pesos (ponderação) às variáveis dos seguintes componentes físico-geográficos: 1) geologia (litologia); 2) classes de relevo (declividade); 3) classes de solos; 4) intensidade pluviométrica; e 5) classes de cobertura e uso da terra. Destaca-se que a escala de trabalho dos mapas desses componentes é 1:250.000. Com a inserção dos pesos nas tabelas de atributos dos *shapefiles*, os temas foram convertidos em imagens *raster* no *software* QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1 e posteriormente sobrepostos para obtenção da média aritmética na calculadora *raster*, por meio da seguinte equação:

$$(2) \quad V = \frac{(Lit + Dec + Sol + IP + CUT)}{5}$$

Onde:

V = vulnerabilidade

Lit = valores de vulnerabilidade do tema litologia

Dec = valores de vulnerabilidade do tema declividade

Sol = valores de vulnerabilidade do tema solos

IP = valores de vulnerabilidade do tema intensidade pluviométrica

CUT = valores de vulnerabilidade do tema cobertura e uso da terra

Os referidos pesos, inseridos nos arquivos vetoriais, seguiram as sugestões de Crepani *et al.* (2001). Valores próximos de 1,0 possuem tendência à estabilidade, próximos de 2,0 têm condições intermediárias e próximos de 3,0 apresentam vulnerabilidade. A Tabela 2 exibe os valores atribuídos às variáveis de cada componente físico-geográfico.

Tabela 2. Valores de vulnerabilidade atribuídos aos temas na etapa de integração.

Geologia	
Rochas	Valores de vulnerabilidade
Aluviões	3,0
Lateritas	3,0
Arenitos	2,4
Basaltos	1,5

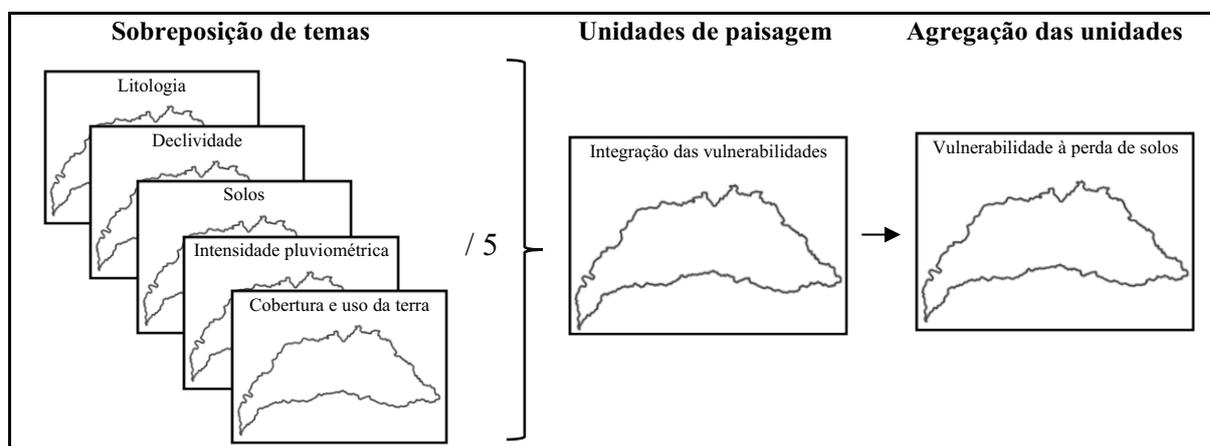
Continua

Declividade	
Classes de relevo (declividade)	Valores de vulnerabilidade
Plano (0% a 3%)	1,0
Suave ondulado (3% a 8%)	1,5
Ondulado (8% a 20%)	2,0
Forte ondulado (> 20%)	2,5
Solos	
Classes de solos	Valores de vulnerabilidade
CAMBISSOLOS	2,5
GLEISSOLOS	3,0
LATOSSOLOS	1,0
ARGISSOLOS	2,0
NEOSSOLOS	3,0
Intensidade pluviométrica	
Intensidade pluviométrica (mínima e máxima)	Valores de vulnerabilidade
138,88 mm/mês – 200,00 mm/mês	1,6
155,66 mm/mês – 221,42 mm/mês	1,7
Cobertura e uso da terra	
Classes de cobertura e uso da terra	Valores de vulnerabilidade
Áreas urbanizadas	2,8
Culturas temporárias	2,7
Culturas permanentes	2,6
Pastagens	2,8
Silvicultura	2,6
Vegetação nativa	1,7

Fonte: Elaborado pelo autor.

A sobreposição dos componentes físico-geográficos, realizada na calculadora *raster*, em um primeiro momento pode apresentar 21 possibilidades, que representa os graus da escala de estabilidade/vulnerabilidade de Crepani *et al.* (2001). No entanto, o mapa final foi obtido por uma agregação desses valores de vulnerabilidade, também denominado por Crepani *et al.* (2001) de unidades de paisagem. A Figura 5 demonstra o processo esquematicamente.

Figura 5. Esquema para elaboração do mapa de vulnerabilidade natural à perda de solos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os mapas de declividade e hipsometria e o mapa de precipitação média anual não foram confeccionados por arquivos vetoriais prontos. A declividade e a hipsometria foram elaboradas com o mosaico de imagens *raster* SRTM (USGS, 2019) no *software* QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1, sendo realizado o fatiamento em classes. Enquanto o primeiro foi confeccionado com a utilização da ferramenta de declividade, disponível no menu *raster* (opção análise), o segundo foi obtido pela definição de intervalos na propriedade da imagem. Já o mapa de precipitação média anual foi elaborado a partir de uma base de dados de chuvas de estações pluviométricas situadas no interior e em adjacências da área de estudo, disponibilizado pela ANA (2019), período de 1998 a 2018⁴⁶. O Quadro 9 expõe as coordenadas geográficas das estações.

Quadro 9. Estações pluviométricas utilizadas e suas coordenadas geográficas.

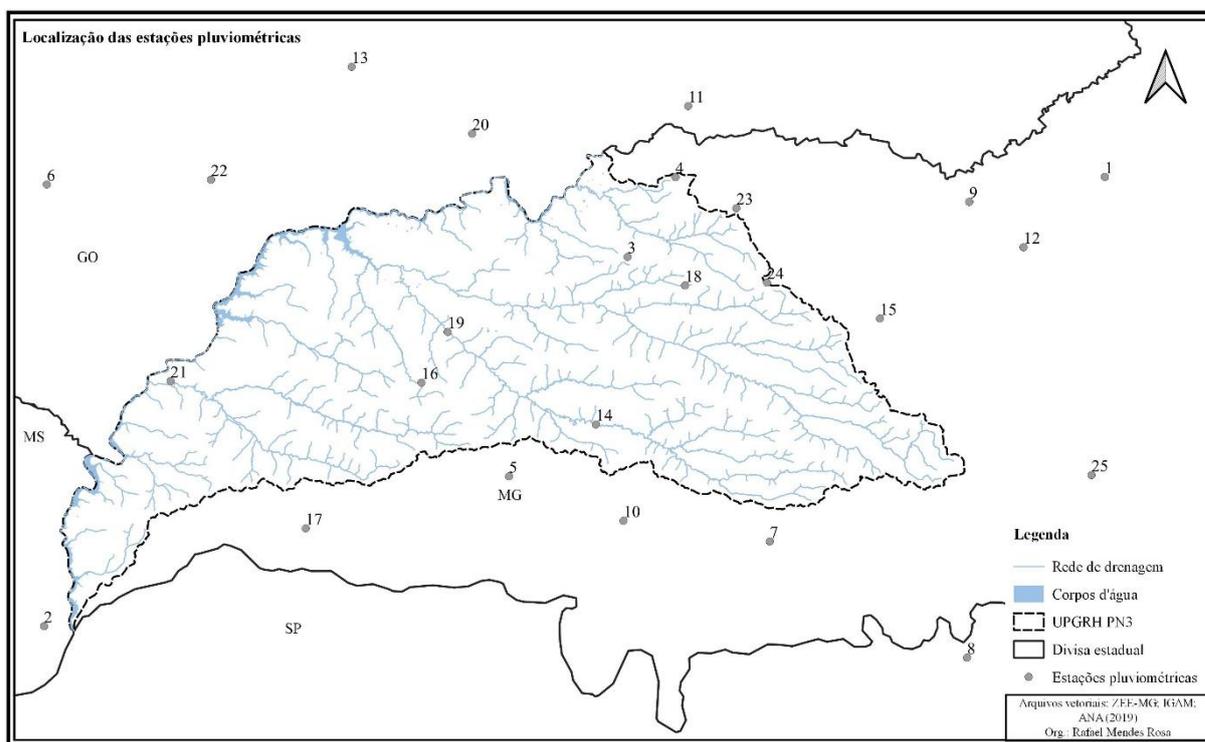
Estações pluviométricas	Coordenadas geográficas (SIRGAS2000)
1) Abadia dos Dourados (1847003)	Lat. 18°29'28.00"S Long. 47°24'23.00"W
2) Aparecida do Taboado (2051046)	Lat. 20° 4'6.00"S Long. 51° 6'13.00"W
3) Avatinguara (1849006)	Lat. 18°46'19.00"S Long. 49° 4'11.00"W
4) Brilhante (1848008)	Lat. 18°29'32.00"S Long. 48°54'10.00"W
5) Campina Verde (1949004)	Lat. 19°32'32.00"S Long. 49°28'59.00"W
6) Campo Alegre (1851001)	Lat. 18°31'4.00"S Long. 51° 5'37.00"W
7) Campo Florido (1948007)	Lat. 19°46'14.00"S Long. 48°34'27.00"W
8) Canindé (2047007)	Lat. 20°10'43.00"S Long. 47°53'12.00"W
9) Cascalho Rico (1847007)	Lat. 18°34'44.00"S Long. 47°52'45.00"W
10) Comendador Gomes (1949005)	Lat. 19°41'53.00"S Long. 49° 5'2.00"W
11) Corumbazul (1848007)	Lat. 18°14'33.00"S Long. 48°51'31.00"W
12) Estrela do Sul (1847001)	Lat. 18°44'17.00"S Long. 47°41'24.00"W
13) Fazenda Aliança (1850001)	Lat. 18° 6'17.00"S Long. 50° 1'53.00"W
14) Fazenda Buriti do Prata (1949002)	Lat. 19°21'35.00"S Long. 49°10'49.00"W
15) Fazenda Letreiro (1948006)	Lat. 18°59'18.00"S Long. 48°11'25.00"W
16) Gurinhatã (1949003)	Lat. 19°12'48.00"S Long. 49°47'17.00"W
17) Iturama (1950000)	Lat. 19°43'29.00"S Long. 50°11'30.00"W
18) Monte Alegre de Minas (1848000)	Lat. 18°52'20.00"S Long. 48°52'10.00"W
19) Ponte do Prata (1949006)	Lat. 19° 2'7.00"S Long. 49°41'48.00"W
20) Ponte Meia Ponte (1849016)	Lat. 18°20'22.00"S Long. 49°36'41.00"W
21) Ponte São Domingos (1950011)	Lat. 19°12'29.00"S Long. 50°39'46.00"W
22) Quirinópolis (1850002)	Lat. 18°30'4.00"S Long. 50°31'19.00"W
23) Tupaciguara (1848006)	Lat. 18°36'3.00"S Long. 48°41'27.00"W
24) Xapetuba (1848009)	Lat. 18°51'45.00"S Long. 48°35'2.00"W
25) Zelândia (1947009)	Lat. 19°32'15.00"S Long. 47°27'11.00"W

Fonte: Adaptado de ANA (2019).

Para melhor identificação das estações pluviométricas utilizadas na pesquisa, a Figura 6 apresenta a localização delas com a indicação numérica.

⁴⁶ Os dados de precipitação foram inseridos nos *shapefiles* das estações pluviométricas, sendo obtido o mapa de precipitação média anual mediante interpolação, utilizando o método denominado *spline* (curvatura mínima), ferramenta disponível no QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1. Segundo Matos (2005), os resultados da interpolação por *spline* apresentam uma superfície suavizada das isolinhas, contribuindo para a qualidade cartográfica. Para a obtenção da intensidade pluviométrica, foram utilizados os intervalos determinados por Crepani *et al.* (2001).

Figura 6. Localização das estações pluviométricas utilizadas na pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante ressaltar que a partir dos dados de precipitação média anual procede-se ao estabelecimento da intensidade pluviométrica para sobreposição dos temas conforme Crepani *et al.* (2001)⁴⁷, considerando a duração do período chuvoso da região da área de estudo. Após a determinação das classes de precipitação média anual, a intensidade pluviométrica também é definida por classes, uma mínima e uma máxima (ambas em mm/mês). Com base em Crepani *et al.* (2001), a região da UPGRH PN3 possui de sete a nove meses de período chuvoso. Assim, para o cálculo da intensidade pluviométrica máxima, divide-se o maior valor de precipitação média anual dentro de uma classe (intervalo) por sete, que corresponde ao número mínimo de meses do período chuvoso. De modo oposto, para a obtenção da intensidade pluviométrica mínima, divide-se por nove o menor valor de precipitação média anual da mesma classe.

Outro mapa que merece destaque em relação à sua elaboração é o de cobertura e uso da terra, importante dado temático para a presente proposta de zoneamento ambiental. Nesse mapa, foi utilizado o arquivo vetorial do projeto TerraClass Cerrado (BRASIL, 2015), porém complementado e adequado a partir da imagem de uso da terra do MapBiomas (2018).

⁴⁷ Para Crepani *et al.* (2001), a alta pluviosidade anual ocorrente em curta duração (período chuvoso) acarreta uma situação em que a quantidade de água disponível para *runoff* é grande e, por isso, maior a capacidade erosiva. De maneira inversa, o referido autor complementa que a baixa pluviosidade anual distribuída ao longo de um período maior de tempo leva a um menor risco de processos erosivos devido à quantidade de água para *runoff* ser menor.

Para o *layout* dos mapas, adotaram-se alguns critérios em relação às cores, aos intervalos de classes, entre outros aspectos. A base é de algumas referências específicas a essa finalidade, principalmente os manuais técnicos do IBGE (1998, 2009, 2013, 2015), utilizados para a confecção dos mapas. Nesse sentido, o Quadro 10 apresenta informações gerais sobre os mapas temáticos utilizados no processo.

Quadro 10. Informações sobre os mapas temáticos utilizados na vulnerabilidade natural.

Temas	Características avaliadas	Fonte dos arquivos (<i>shapefiles</i> , dados e imagens)	Base para confecção dos mapas (classes, cores etc.)
Litologia	Tipos de rochas	IBGE (2018)	IBGE (1998); Pellé (2012)
Declividade	Classes de relevo	USGS (2019)	IBGE (2009); Santos <i>et al.</i> (2018)
Solos	Classes dos solos	IBGE (2018)	IBGE (2015); Santos <i>et al.</i> (2018)
Intensidade pluviométrica	Relação entre precipitação média anual e período chuvoso	ANA (2019)	Silva (2010)
Cobertura e uso da terra	Vegetação nativa e atividades produtivas	Brasil (2015); MapBiomias (2018)	IBGE (2013)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante do resultado da sobreposição dos temas (mapa de vulnerabilidade natural à perda de solos), a agregação dos valores de estabilidade/vulnerabilidade possui o intuito de simplificar a legenda. Assim, são cinco possibilidades de vulnerabilidade natural à perda de solos: estável, moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável. O Quadro 11 apresenta as unidades de paisagem com os respectivos valores de vulnerabilidade agregados, também sendo indicadas as cores consideradas no trabalho.

Quadro 11. Graus de vulnerabilidade à perda de solos com valores agregados.

Unidades de paisagem	Valores de vulnerabilidade agregados	Graus de vulnerabilidade
U1, U2, U3 e U4	3,0, 2,9, 2,8, 2,7	Vulnerável
U5, U6, U7 e U8	2,6, 2,5, 2,4, 2,3	Moderadamente vulnerável
U9, U10, U11, U12 e U13	2,2, 2,1, 2,0, 1,9, 1,8	Medianamente estável/vulnerável
U14, U15, U16 e U17	1,7, 1,6, 1,5, 1,4	Moderadamente estável
U18, U19, U20 e U21	1,3, 1,2, 1,1, 1,0	Estável

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

Convém ressaltar que a vulnerabilidade natural à perda de solos corresponde a parte de uma das etapas desta pesquisa, importante para ser relacionada com outras informações, cuja descrição dos procedimentos é igualmente contemplada neste capítulo.

2.3.2. Levantamento da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais

O resultado da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais foi obtido a partir da sobreposição dos componentes físico-geográficos relacionados aos recursos hídricos. São eles: 1) disponibilidade natural das águas superficiais; 2) áreas de conflito pelo uso da água (DACs); 3) qualidade das águas superficiais. Destaca-se que os pesos de cada intervalo da legenda foram inseridos nas tabelas de atributos dos *shapefiles* dos referidos componentes.

Dessa forma, primeiramente convém apresentar os valores atribuídos à disponibilidade natural das águas superficiais⁴⁸. Utilizou-se a $Q_{7,10}$ por ser uma vazão natural de referência para outorgas dos direitos de uso de recursos hídricos de Minas Gerais, cujos dados se encontram disponíveis na tabela de atributos do *shapefile* da rede de drenagem (IDE-SISEMA 2019; IGAM, 2012). Os dados da $Q_{7,10}$ correspondem aos pontos situados na foz dos rios principais, considerados nesta pesquisa como sendo aqueles de 5ª ordem ou superior⁴⁹. Os valores de vulnerabilidade atribuídos à disponibilidade natural das águas superficiais estão no Quadro 12.

Quadro 12. Graus de vulnerabilidade da disponibilidade das águas superficiais.

Disponibilidade natural das águas superficiais ($Q_{7,10}$)	Valores de vulnerabilidade	Graus de disponibilidade
< 3,00 m ³ /s	3,0	Muito baixa
3,00 a 8,00 m ³ /s	2,5	Baixa
8,01 a 13,00 m ³ /s	2,0	Média
13,01 a 18,00 m ³ /s	1,5	Alta
> 18,00 m ³ /s	1,0	Muito alta

Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora tenham sido utilizados os dados disponíveis pelo arquivo vetorial da rede de drenagem de Minas Gerais, eles podem ser conferidos utilizando-se a metodologia de Souza (1993), recomendada pelo IGAM para elaboração de relatórios de outorga dos direitos de uso de recursos hídricos, especificamente para captações em cursos d'água. O procedimento realizado corresponde à identificação da tipologia regional homogênea (pluviosidade, relevo e solos) e os cálculos da área de drenagem, rendimentos mínimos, rendimento específico médio

⁴⁸ O *shapefile* da disponibilidade natural das águas superficiais foi obtido por vetorização das bacias hidrográficas.

⁴⁹ Canais de 1ª ordem não possuem tributários. A confluência de duas drenagens de 1ª ordem forma um de 2ª ordem. O encontro de dois de 2ª ordem forma um de 3ª ordem e assim sucessivamente nessa lógica (STRAHLER, 1952).

mensal⁵⁰ e a vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência. Por meio dessa metodologia, esclarece-se que o tamanho da bacia hidrográfica é relevante para o resultado da $Q_{7, 10}$, embora também sejam consideradas características como pluviosidade, relevo e solos. Para melhor entendimento, o Quadro 13 expõe os dados utilizados para exemplo nesta tese⁵¹.

Quadro 13. Resumo das etapas para o cálculo da $Q_{7, 10}$.

1ª Etapa: cálculo da área de drenagem
2ª Etapa: identificação da tipologia regional homogênea
<p>Exemplo utilizado na pesquisa: código: 231 Pluviosidade anual entre 1.000 e 1.500 mm Relevo plano a suave ondulado (declividades inferiores a 8%) Solo argiloso associado a substrato rochoso de baixa permeabilidade</p>
3ª Etapa: função de inferência para rendimentos mínimos ($F_{10, 7}$)
$F_{TD} = (\alpha + \beta \cdot \gamma^D) \cdot (\log T)^{-(r \cdot \log T + S)} \cdot D^{(m+n \cdot \log^2 T)}$
<p>Dados das tabelas hidrológicas, considerando o código 231 (tipologia regional homogênea)</p> <p>$\alpha = 0,491840$ $\beta = 0,403638$ $\gamma D = 1,045662$ $(\log T)^{-(r \cdot \log T + S)} \cdot D^{(m+n \cdot \log^2 T)} = 1$</p>
4ª Etapa: cálculo do rendimento específico médio mensal ($Q_{10, M}$)
$Q_{10M} = Re_{10,M} \cdot Ad$
5ª Etapa: cálculo da vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência ($Q_{7, 10}$)
$Q_{710} = F_{10,7} \cdot Q_{10,M}$

Fonte: Adaptado de Souza (1993).

O segundo componente (áreas de conflito pelo uso da água) seguiu um critério bastante prático e direto: as bacias hidrográficas com conflito declarado possuem o maior valor e aquelas bacias sem conflito declarado, o menor valor de vulnerabilidade (Quadro 14).

Quadro 14. Graus de vulnerabilidade das áreas de conflito pelo uso da água.

Áreas de conflito pelo uso da água	Valores de vulnerabilidade	Graus de vulnerabilidade
Bacias com conflito declarado	3,0	Muito alta
Bacias sem conflito declarado	1,0	Muito baixa

Fonte: Elaborado pelo autor.

⁵⁰ O rendimento específico médio mensal, referente às contribuições unitárias mínimas com 10 anos de recorrência, é representado em um mapa de isolinhas de valores progressivos para facilitar a interpolação das inferências em qualquer ponto do estado de Minas Gerais (SOUZA, 1993).

⁵¹ Os dados expostos no referido quadro são utilizados com exemplo no capítulo de resultados e discussões.

Para a obtenção do mapa de qualidade das águas superficiais, foram levantados os dados e as informações da planilha e do relatório referente ao ano de 2018, do IGAM (2018, 2019a), para a UPGRH PN3⁵². Os indicadores analisados correspondem ao Índice de Qualidade das Águas (IQA)⁵³, Contaminação por Tóxicos (CT)⁵⁴ e Índice de Estado Trófico (IET)⁵⁵, cujos dados serviram para a espacialização dos resultados dos indicadores na UPGRH PN3. Nos casos em que uma bacia hidrográfica possui mais de uma estação de monitoramento e os resultados foram divergentes, optou-se por apontar os trechos com as respectivas diferenças. Entretanto, para as bacias que não tenham estações, adotaram-se os resultados de maior recorrência. Convertendo-se os *shapefiles*⁵⁶ dos temas para *raster*, foi utilizada novamente a calculadora *raster* do software QGIS 3.4.13 with GRASS 7.6.1 para o cálculo da seguinte equação:

$$(3) \quad V = \frac{(IQA + CT + IET)}{3}$$

Onde:

V = vulnerabilidade

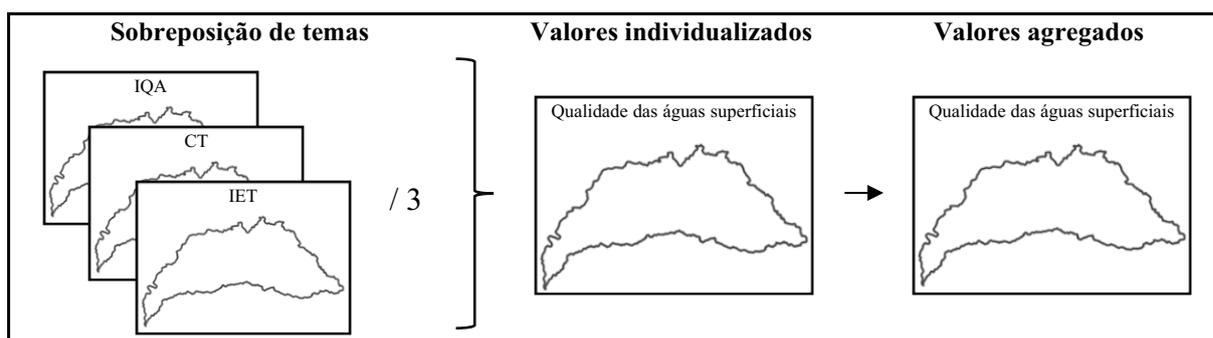
IQA = valores de vulnerabilidade do tema Índice de Qualidade das Águas

CT = valores de vulnerabilidade do tema Contaminação por Tóxicos

IET = valores de vulnerabilidade do tema Índice de Estado Trófico

Dessa maneira, o esquema de sobreposição dos três temas seguiu passos semelhantes ao estabelecido para a vulnerabilidade natural à perda de solos, conforme a Figura 7.

Figura 7. Esquema para elaboração do mapa da qualidade das águas superficiais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

⁵² As campanhas de amostragem são trimestrais (quatro ao ano), divulgadas em planilhas e relatórios consolidados.

⁵³ O IQA, desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos no ano de 1970, contempla parâmetros para avaliar a qualidade das águas a partir da atribuição de pesos. Os parâmetros analisados no IQA são: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitratos, fosfato total, variação da temperatura, turbidez e sólidos totais (IGAM, 2019a).

⁵⁴ A CT avalia presença de arsênio total, bário total, cádmio total, chumbo total, cianeto livre, cobre dissolvido, cromo total, fenóis totais, mercúrio total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total e zinco total (IGAM, 2019a).

⁵⁵ O IET visa avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo do fitoplâncton. Os parâmetros analisados são o fósforo total e a clorofila-a (IGAM, 2019a).

⁵⁶ Os arquivos vetoriais de IQA, CT e IET foram obtidos por vetorização, considerando dados do IGAM (2019a).

Para a realização do procedimento foram inseridos valores de vulnerabilidade nas tabelas de atributos dos *shapefiles* dos indicadores (IQA, CT e IET), antes de serem convertidos para imagens *raster*. A variação dos valores de 1,0 a 3,0 seguiu a lógica de que quanto mais próximo de 3,0, pior é a qualidade das águas superficiais. O Quadro 15 expõe os valores de vulnerabilidade considerados em cada classe dos indicadores.

Quadro 15. Graus de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais.

Indicadores	Valores de vulnerabilidade	Classes (graus de vulnerabilidade)
IQA	1,0	Excelente ($90 < IQA \leq 100$)
	1,5	Bom ($70 < IQA \leq 90$)
	2,0	Médio ($50 < IQA \leq 70$)
	2,5	Ruim ($25 < IQA \leq 50$)
	3,0	Muito ruim (≤ 25)
CT	1,2	Baixa ($\leq 20\%$ acima do limite legal)
	2,0	Média ($> 20\%$ e $\leq 100\%$ acima do limite legal)
	2,8	Alta ($> 100\%$ acima do limite legal)
IET	1,0	Ultraoligotrófico (≤ 47)
	1,4	Oligotrófico ($47 < IET \leq 52$)
	1,8	Mesotrófico ($52 < IET \leq 59$)
	2,2	Eutrófico ($59 < IET \leq 63$)
	2,6	Supereutrófico ($63 < IET \leq 67$)
	3,0	Hipereutrófico (> 67)

Fonte: Adaptado de IGAM (2019a).

Os valores resultantes da sobreposição dos três temas (IQA, CT e IET) também podem ser agregados, sendo indicados na legenda do mapa síntese de qualidade das águas superficiais os graus apresentados no Quadro 16.

Quadro 16. Graus de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais com valores agregados.

Valores de vulnerabilidade agregados	Graus de qualidade
3,0, 2,9, 2,8, 2,7	Muito alta
2,6, 2,5, 2,4, 2,3	Alta
2,2, 2,1, 2,0, 1,9, 1,8	Média
1,7, 1,6, 1,5, 1,4	Baixa
1,3, 1,2, 1,1, 1,0	Muito baixa

Fonte: Elaborado pelo autor.

O levantamento dos componentes físico-geográficos relacionados aos recursos hídricos foi orientado por fontes oficiais pré-estabelecidas e a confecção dos mapas foi baseada em alguns critérios definidos especificamente para esta pesquisa, como as definições das classes e as cores utilizadas nos mapas. Resumidamente, esses aspectos se encontram no Quadro 17.

Quadro 17. Informações sobre os mapas temáticos utilizados na vulnerabilidade quali-quantitativa.

Temas	Características avaliadas	Fonte dos arquivos (<i>shapefiles</i> , dados e imagens)	Base para confecção dos mapas (classes, cores etc.)
Disponibilidade das águas superficiais	Q7, 10 dos rios principais das bacias hidrográficas	IGAM (2012)	Definido pelo autor
Áreas de conflito pelo uso da água	Bacias hidrográficas com conflito declarado	IDE-SISEMA (2019)	Definido pelo autor
Qualidade das Águas superficiais (IQA, CT, IET)	Parâmetros estabelecidos pelo IGAM (2019a)	IGAM (2018, 2019a)	IGAM (2019a)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante de todos os temas estabelecidos (disponibilidade das águas superficiais, áreas de conflito pelo uso da água e qualidade das águas), para a geração do mapa síntese que estabelece a vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais, procedimentos para a sobreposição similares também foram empregados. Na etapa final para obtenção do mapa, os pesos destinados aos graus de vulnerabilidade foram inseridos nas tabelas de atributos dos arquivos vetoriais e, em seguida, foram convertidos em imagens *raster* no QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1. Na ferramenta calculadora *raster* do *software* calculou-se a média pela seguinte equação:

$$(4) \quad V = \frac{(DAS + AC + QAS)}{3}$$

Onde:

V = vulnerabilidade

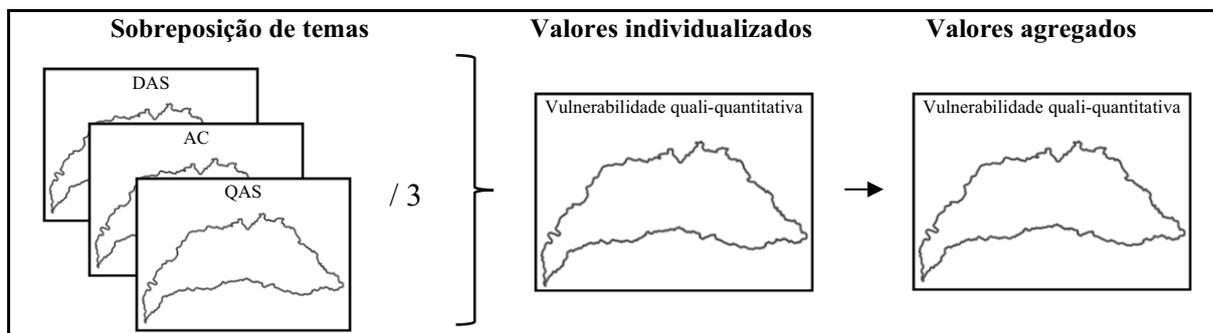
DAS = valores de vulnerabilidade do tema disponibilidade das águas superficiais

AC = valores de vulnerabilidade do tema áreas de conflito pelo uso da água

QAS = valores de vulnerabilidade do tema qualidade das águas superficiais

Com base na escala de Crepani *et al.* (2001), a sobreposição dos três temas apresenta possibilidades que variam de 1,0 (menor vulnerabilidade) a 3,0 (maior vulnerabilidade). Em um primeiro momento, com o cálculo no *software* QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1, tem-se o resultado dos valores individualizados, para posteriormente serem agregados e estabelecidos os graus de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais. Assim sendo, a Figura 8 exemplifica o esquema de elaboração dessa etapa da pesquisa.

Figura 8. Esquema para elaboração do mapa de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores agregados de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais estão demonstrados no Quadro 18.

Quadro 18. Graus de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais.

Valores de vulnerabilidade agregados	Graus de vulnerabilidade
3,0, 2,9, 2,8, 2,7	Muito alta
2,6, 2,5, 2,4, 2,3	Alta
2,2, 2,1, 2,0, 1,9, 1,8	Média
1,7, 1,6, 1,5, 1,4	Baixa
1,3, 1,2, 1,1, 1,0	Muito baixa

Fonte: Elaborado pelo autor.

A vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais é o segundo procedimento de integração dos componentes físico-geográficos, especificamente relacionado aos recursos hídricos. Os resultados foram utilizados em processos posteriores, descritos adiante.

2.3.3. Levantamento das áreas legalmente protegidas

As delimitações e os dados referentes às áreas legalmente protegidas foram adquiridos por meio de arquivos vetoriais de fontes oficiais ou criados para atender essa finalidade. Para as Unidades de Conservação, utilizou-se os *shapefiles* do IDE-SISEMA (2019) e as Reservas Legais foram obtidas pelo SICAR (BRASIL, 2020). Especificamente para as APPs, utilizou-se o *software* QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1 para delimitação, por meio um *buffer* da rede de drenagem, obedecendo o Novo Código Florestal (BRASIL, 2012). Assim, o Quadro 19

apresenta as principais características dos dados e as informações levantadas para a inserção das áreas legalmente protegidas da UPGRH PN3.

Quadro 19. Dados e informações levantados sobre as áreas legalmente protegidas.

Áreas legalmente protegidas		
Unidades de Conservação	Proteção Integral	Refúgio de Vida Silvestre
	Uso Sustentável	Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs)
Reservas Legais		Averbadas e/ou aprovadas
Áreas de Preservação Permanente (APPs)		Largura dos cursos d'água, reservatórios artificiais, nascentes e olhos d'água perenes e encostas com declividade superior a 45°

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre as Unidades de Conservação, a UPGRH PN3 possui áreas enquadradas nas duas categorias estabelecidas pela Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000 (BRASIL, 2000): Proteção Integral e Uso Sustentável. A única Unidade de Proteção Integral é o Refúgio de Vida Silvestre dos Rios Tijuco e da Prata e as Unidades de Uso Sustentável correspondem a seis Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs), sendo cinco reconhecidas pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF) e uma pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Essa última, reconhecida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), é pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

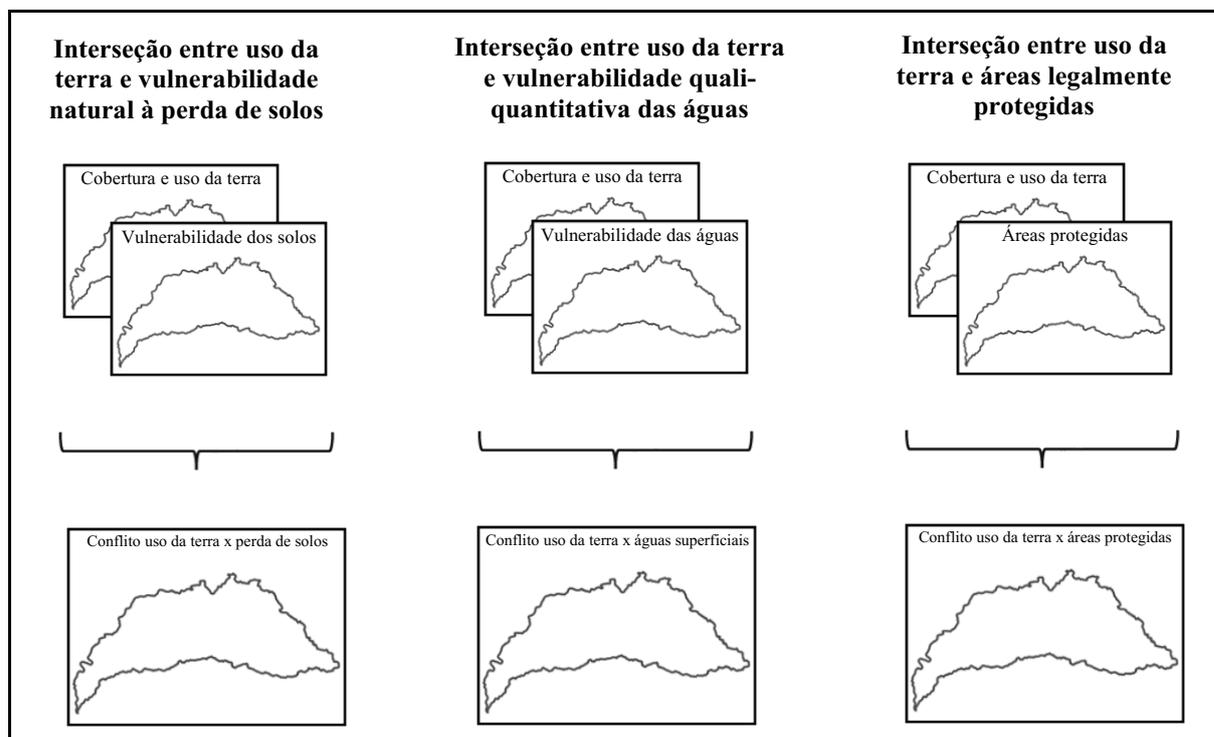
As Reservas Legais apresentadas foram somente as averbadas e as aprovadas, visto que não foram consideradas aquelas que ainda não são reconhecidas. As delimitações das Reservas Legais correspondem aos registros do Cadastro Ambiental Rural (CAR), portanto constituem uma base de informações oficiais e, por isso, os dados foram utilizados como fonte básica de informação sobre as Reservas Legais. As informações na tabela de atributos dos *shapefiles* do SICAR (BRASIL, 2020) indicam a situação dos polígonos, sendo eliminados aqueles que não se encontram na condição de Reserva Legal averbada ou aprovada.

Sobre as APPs, as delimitações foram variadas, considerando as determinações da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012). Considerando a largura dos cursos d'água, foram estabelecidos 30 m de APP para cursos d'água de até 4ª ordem. Conforme observado nas imagens do *Google Earth Pro*, versão 7.3, para os rios de 5ª ordem determinaram-se APPs de 50 ou 100 m, pois possuem largura superior a 10 m, podendo alguns trechos de rios atingirem aproximadamente 100 m de largura. Ademais, outras áreas foram contempladas no mapa, como nascentes (50 m de APP) e margens dos reservatórios artificiais pertencentes a Usinas Hidrelétricas (UHEs), delimitando-se a uma faixa de 100 m nesse último caso.

2.3.4. Estabelecimento de conflitos

O intuito de estabelecer conflitos⁵⁷ nesta pesquisa é identificar, por meio de um processo pré-estabelecido, o quanto as atividades antrópicas, modificadoras da natureza, comprometem a perda de solos, a situação quali-quantitativa das águas superficiais e a preservação das áreas a serem protegidas por leis ambientais. O mapa base é de cobertura e uso da terra, utilizado para interseção com os mapas de vulnerabilidade à natural perda de solos, vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais e áreas legalmente protegidas. O procedimento de interseção dos referidos mapas foi realizado no *software* QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1, cujo esquema para estabelecimento dos conflitos está demonstrado na Figura 9.

Figura 9. Esquema para estabelecimentos de conflitos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As interseções seguem critérios previamente definidos, que consistem em relacionar as classes de cobertura e uso da terra com os resultados das vulnerabilidades e áreas legalmente protegidas. Por isso, serão apresentadas as relações referentes às três situações de conflitos

⁵⁷ O termo conflito nesse contexto da pesquisa assemelha-se ao vocábulo “incompatibilidade” ou “discordância” e não deve ser confundido com áreas de conflito pelo uso da água. O conflito aqui apresentado, entre o uso da terra e a vulnerabilidade à perda de solos, uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais e uso da terra e áreas protegidas, é uma proposta desenvolvida nesta tese, ao passo que as áreas de conflito pelo uso da água são oriundas de declarações formais.

estabelecidas na ferramenta de interseção do QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1, sendo inserido o nível de conflito nas tabelas de atributos dos arquivos vetoriais resultantes. Na apresentação a seguir, nota-se que a vegetação nativa e os corpos d'água, independentemente da classe a ser relacionada, não foram considerados com a existência de conflito.

2.3.4.1. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos

Diante das explicações sobre os procedimentos a serem adotados no estabelecimento do conflito entre uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos, o modelo de aplicação na tabela de atributos do resultado da interseção segue o modelo do Quadro 20.

Quadro 20. Interseção definida para o conflito entre uso da terra e vulnerabilidade à perda de solos.

	Vulnerável	Moderadamente vulnerável	Medianamente estável/vulnerável	Moderadamente estável	Estável
Áreas urbanizadas					
Culturas temporárias					
Culturas permanentes					
Pastagens					
Silvicultura					
Vegetação nativa					
Corpos d'água					

Conflito

	Muito alto
	Alto
	Médio
	Baixo
	Muito baixo
	Inexistente (vegetação nativa)
	Inexistente (corpos d'água)

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3.4.2. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais

Considerando ainda a descrição do modelo de estabelecimento de conflito, a relação entre o uso da terra e a vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais segue a mesma referência de interseção, porém adequada à referida proposta, conforme o Quadro 21.

Quadro 21. Interseção definida para o conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais.

	Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
Áreas urbanizadas	Red	Red	Orange	Yellow	Yellow
Culturas temporárias	Red	Red	Orange	Yellow	Light Green
Culturas permanentes	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Light Green
Pastagens	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow
Silvicultura	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Light Green
Vegetação nativa	Dark Green				
Corpos d'água	Light Blue				

Conflito

Red	Muito alto
Orange	Alto
Yellow	Médio
Light Green	Baixo
Dark Green	Muito baixo
Dark Green	Inexistente (vegetação nativa)
Light Blue	Inexistente (corpos d'água)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Especificamente para este conflito, propõe-se indicar as bacias hidrográficas em vez do mosaico de polígonos que representam as classes de uso da terra. Como o intuito é definir o conflito da situação quali-quantitativa das águas superficiais, nesse caso, julga-se importante considerar as bacias hidrográficas a partir dos critérios objetivos apresentados no Quadro 22.

Quadro 22. Critério de conversão do conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais para o âmbito de bacia hidrográfica.

Conflitos das bacias hidrográficas	Critérios
Muito alto	Maior percentual de conflito muito alto
Alto	Maior percentual de conflito alto
Médio	Maior percentual de conflito médio
Baixo	Maior percentual de conflito baixo
Muito baixo	Maior percentual de conflito muito baixo

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3.4.3. Conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas

Conforme definição desta pesquisa, considera-se que as ocupações e as interferências em Unidades de Conservação, Reservas Legais e APPs constituem conflitos, pois se tratam de

áreas que devem ser protegidas integralmente. Destaca-se que a constatação de que tais interferências são inapropriadas é encontrada nas leis ambientais previamente mencionadas (BRASIL, 2000, 2012). O modelo de interseção encontra-se apresentado no Quadro 23.

Quadro 23. Interseção definida para o conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas.

	Unidade de Conservação	Reserva Legal	Área de Preservação Permanente
Áreas urbanizadas	Alto	Alto	Alto
Culturas temporárias	Alto	Médio	Médio
Culturas permanentes	Alto	Médio	Médio
Pastagens	Médio	Médio	Baixo
Silvicultura	Médio	Médio	Médio
Vegetação nativa	Inexistente (vegetação nativa)	Inexistente (vegetação nativa)	Inexistente (vegetação nativa)
Corpos d'água	Inexistente (corpos d'água)	Inexistente (corpos d'água)	Inexistente (corpos d'água)

Conflito

	Alto
	Médio
	Baixo
	Inexistente (vegetação nativa)
	Inexistente (corpos d'água)

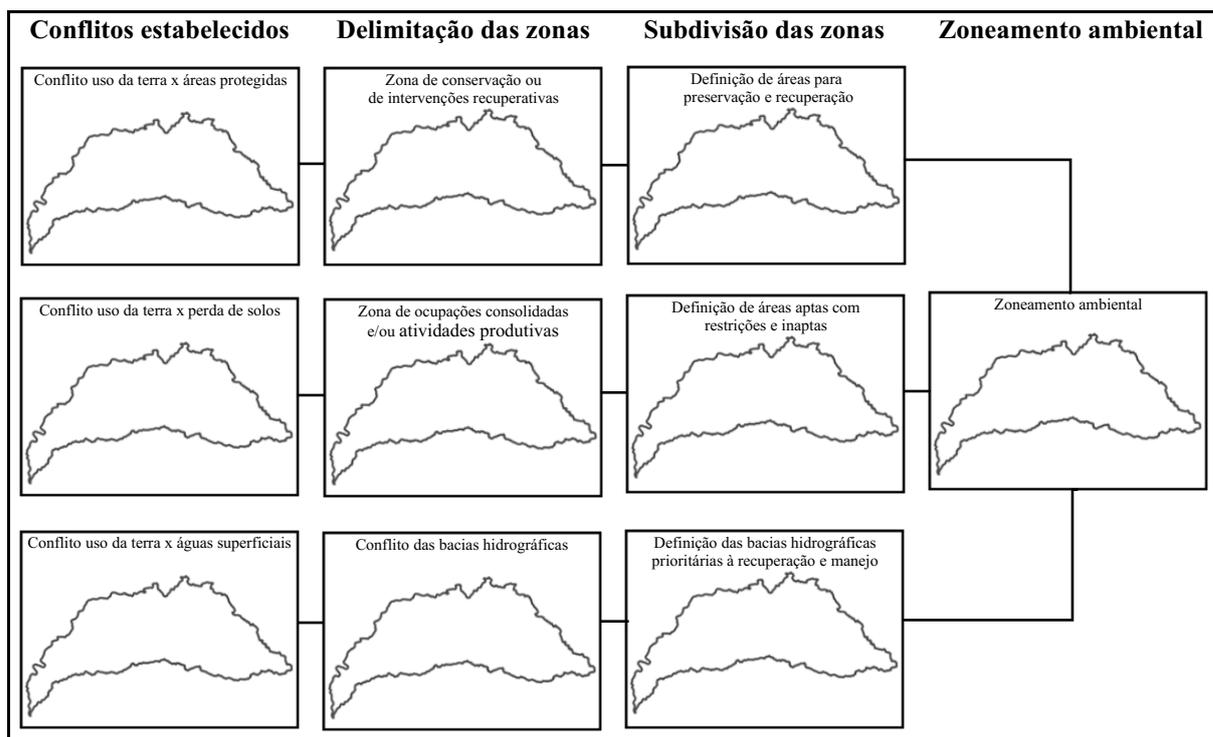
Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3.5. Concepção do zoneamento ambiental

O zoneamento ambiental desta tese consiste em definir, inicialmente, duas zonas, ambas concebidas por critérios ecológicos, econômicos e legais, voltadas à delimitação de áreas para preservação e ocupação com restrições. Nesse sentido, as zonas foram denominadas da seguinte forma: 1) zona de conservação ou de intervenções recuperativas; e 2) zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas. As duas zonas correspondem a uma orientação geral de separar as áreas protegidas por leis ambientais (denominadas áreas legalmente protegidas) daquelas porções com ocupações consolidadas ou onde se desenvolvem atividades produtivas.

Como as duas zonas são áreas muito abrangentes e com diferentes características físico-geográficas, são propostas, na sequência, subdivisões considerando os conflitos estabelecidos. O intuito é determinar que, nas duas zonas, sejam desenvolvidas ações de melhoria da qualidade ambiental compatíveis com as particularidades das suas porções internas, especialmente quanto aos recursos hídricos. O conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais indica as bacias hidrográficas com prioridade à recuperação e às medidas de manejo das atividades agropecuárias. A proposta é concebida conforme a Figura 10.

Figura 10. Esquema de concepção do zoneamento ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante do esquema de obtenção do zoneamento ambiental, os critérios para subdivisão de áreas internas das zonas e as diretrizes de recuperação e manejo são demonstrados a seguir.

2.3.5.1. Zona de conservação e/ou de intervenções recuperativas

A zona de conservação e/ou de intervenções recuperativas consiste nas áreas legalmente protegidas, com a presença de vegetação nativa (que deve continuar a ser preservada) ou algum uso da terra (que representa uma incompatibilidade legal). A sugestão é estabelecer a urgência de recuperação nas porções que possuem algum grau de conflito, conforme o Quadro 24.

Quadro 24. Critérios de definição de áreas para preservação e recuperação.

Conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas	Definição de áreas
Alto	Áreas para recuperação de baixa urgência
Médio	Áreas para recuperação de média urgência
Baixo	Áreas para recuperação de alta urgência
Inexistente (vegetação nativa)	Áreas para preservação
Inexistente (corpos d'água)	Corpos d'água

Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante destacar que para a definição da urgência das áreas a serem recuperadas, optou-se por considerar o conflito de maior ocorrência justamente devido à abrangência territorial do conflito atingir as maiores porções da zona estabelecida. Dessa forma, não necessariamente coincide com aquelas áreas que possuem o maior grau de conflito.

2.3.5.2. Zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas

Considera-se inserida na zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas as porções territoriais que não se encontram em áreas legalmente protegidas. A partir do conflito, que considera a interseção entre o uso da terra e a vulnerabilidade à perda de solos, é possível identificar áreas com restrições diferenciadas. O Quadro 25 define os critérios de restrição das áreas aptas, bem como das áreas inaptas a ocupações.

Quadro 25. Critérios de definição de áreas aptas com restrições e inaptas.

Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade à perda de solos	Definição de áreas
Qualquer	Áreas urbanizadas
Muito alto	Áreas inaptas
Alto	Áreas aptas com restrições relevantes
Médio	Áreas aptas com restrições moderadas
Baixo	Áreas aptas com restrições elementares
Muito baixo	Áreas aptas
Inexistente (vegetação nativa)	Áreas para preservação*
Inexistente (corpos d'água)	Corpos d'água

* Pertencente à zona de conservação e/ou de intervenções recuperativas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ressalta-se que as distintas restrições decorrem do fato de que os usos da terra podem ser encontrados em diferentes graus de vulnerabilidade à perda de solos. Por isso, os resultados foram responsáveis pela definição das medidas de manejo a serem adotadas.

2.3.5.3. Bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo

Os critérios de definição das bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo também foram objetivos. Inicialmente, o nível de conflito com o uso da terra que possui o maior percentual nas bacias é responsável pela determinação do conflito. Com base nesse primeiro resultado, as prioridades foram definidas considerando-se, além do conflito,

outras características. Por exemplo, caso a bacia hidrográfica possua DAC, o grau de prioridade pode ser elevado. Assim, o Quadro 26 descreve os critérios adotados para essa definição.

Quadro 26. Critérios de definição de bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo.

Bacias hidrográficas com prioridade às ações de recuperação e manejo	Critérios
Muito alta	Bacia hidrográfica com conflito muito alto ou bacia hidrográfica com conflito alto, mas que possua DAC.
Alta	Bacia hidrográfica com conflito alto ou bacia hidrográfica com conflito médio, desde que possua DAC. Quando o conflito for alto e possuir DAC e ainda tiver outra bacia na mesma situação, definir a prioridade para aquela que tiver a DAC mais antiga da UPGRH.
Média	Bacia hidrográfica com conflito médio ou bacia hidrográfica com conflito alto, desde que não possua DAC e ao menos duas bacias hidrográficas já tenham DAC na UPGRH.
Baixa	Bacia hidrográfica com conflito baixo ou bacia hidrográfica com conflito médio, desde que não possua DAC e ao mesmo tempo no mínimo duas bacias hidrográficas já tenham DAC na UPGRH.
Muito baixa	Bacia hidrográfica com conflito muito baixo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A definição das bacias prioritárias às ações de recuperação e manejo foram estabelecidas para propor uma organização das intervenções, visto que a execução necessita de planejamento para apontar as porções territoriais a serem inicialmente contempladas. Assim, quanto maior o conflito da bacia hidrográfica, maior a prioridade de se adotar tais medidas.

2.3.5.4. Definição das diretrizes de recuperação e manejo

Com base na delimitação das áreas (subzonas), são sugeridas diretrizes de preservação ou recuperação e de manejo do uso da terra para efetivação do zoneamento ambiental, enquanto instrumento de planejamento e gestão ambiental da UPGRH PN3. Essas diretrizes abrangem um conjunto de ações a serem aplicadas nas áreas (subzonas) conforme a necessidade de cada subzona. Contudo, é importante ressaltar que, especificamente nas áreas com alguma restrição, há medidas específicas para o nível de restrição indicado no zoneamento ambiental.

Nas áreas para preservação, indicam-se medidas de proteção da cobertura vegetal nativa, como o controle do desmatamento, o combate às queimadas, entre outros. Considerando as áreas para recuperação e inaptas, propõe-se a recomposição da cobertura vegetal nativa a partir de recomendações da Embrapa, encontradas em Vieira *et al.* (2016). Para as áreas com restrições, são sugeridas ações já recomendadas, algumas delas pela Embrapa. Por fim, para as áreas urbanas, são indicadas medidas gerais de melhoria da qualidade ambiental urbana. Por exemplo a ampliação do sistema de tratamento de esgoto e a gestão efetiva dos resíduos sólidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados e as discussões da tese a partir da aplicação dos procedimentos metodológicos. Inicialmente, foram levantadas as características de componentes físico-geográficos e ambientais da UPGRH PN3. Em seguida, apresentou-se a integração desses componentes para o estabelecimento de vulnerabilidades e conflitos, que são a base do zoneamento ambiental. Por fim, foram apontadas áreas para preservação, recuperação e manejo, além das bacias hidrográficas prioritárias à implementação das referidas medidas.

3.1. Diagnóstico dos componentes físico-geográficos e ambientais

3.1.1. Características geológicas

A totalidade da UPGRH PN3 encontra-se geologicamente inserida na porção nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná⁵⁸. Essa unidade geotectônica, formada durante o Paleozoico e o Mesozoico, está assentada sobre o Cráton Paranapanema, arcabouço não aflorante na área de estudo. Já as unidades sustentadas pelo embasamento possuem significativas exposições, cuja gênese remete ao Período Cretáceo (Mesozoico), sendo convencionalmente representadas pelos Grupos São Bento, Caiuá e Bauru. Além disso, outras unidades geológicas foram constituídas ao longo do Cenozoico, como os depósitos detrítico-lateríticos e aluviais, geralmente inseridos nos mapas geológicos mesmo não originados por litogênese (SEER; MORAES, 2017).

O Grupo São Bento é representado pelos arenitos eólicos da Formação Botucatu, que se apresentam intercalados com os basaltos da Formação Serra Geral, sendo essa última formação predominante em relação à primeira na UPGRH PN3. A Formação Serra Geral formou-se por eventos de vulcanismo fissural na Bacia do Paraná, sobretudo no Cretáceo. O Grupo Caiuá, composto pelas Formações Rio Paraná, Goio-Erê e Santo Anastácio, possui a Formação Santo Anastácio, a única encontrada na área de estudo, enquanto que o Grupo Bauru, constituído pelas Formações Araçatuba, Vale do Rio do Peixe⁵⁹, Uberaba e Marília, abrange apenas as Formações Vale do Rio do Peixe e Marília. As formações pertencentes aos dois grupos (Caiuá e Bauru) apresentam rochas sedimentares de origem fluvial e lacustre (SEER; MORAES, 2017).

⁵⁸ Segundo Milani *et al.* (2007, p. 265), “a Bacia do Paraná é uma ampla região sedimentar do continente sul-americano que inclui porções territoriais do Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, totalizando uma área que se aproxima dos 1,5 milhão de quilômetros quadrados”.

⁵⁹ Embora também seja conhecida por Formação Adamantina, será adotada a terminologia Formação Vale do Rio do Peixe por ser a denominação descrita no mapa geológico de Minas Gerais (CPRM; CODEMIG, 2014).

As unidades geológicas da UPGRH PN3 podem ser melhor compreendidas a partir da seguinte sequência litoestratigráfica: Grupo São Bento (Formação Serra Geral), Grupo Caiuá (Formação Santo Anastácio), Grupo Bauru (Formações Vale do Rio do Peixe e Marília) e depósitos do Cenozoico. Embora tenham origem no Cretáceo (entre 145 e 65,5 milhões de anos antes do presente), a gênese ocorreu em diferentes épocas. Enquanto a Formação Serra Geral constituiu-se no Cretáceo inferior, as demais formações foram desenvolvidas ao longo do Cretáceo superior. No Cenozoico, os depósitos detrítico-lateríticos se formaram sobretudo no Neógeno (entre 23 e 2,5 milhões de anos antes do presente) e os aluviais no Quaternário, especialmente no Holoceno (últimos 11,5 mil anos) (SEER; MORAES, 2017).

Conforme Nishiyama (1989), a Formação Serra Geral é composta de rochas efusivas básicas, decorrentes de intensa atividade vulcânica. A principal rocha é o basalto, que possui coloração escura, textura afanítica, fraturas e disjunções colunares em derrames espessos, que podem atingir centenas de metros. Para Knauer *et al.* (2017), o faturamento intenso dos basaltos propicia processos intempéricos, formando blocos arredondados e achatados, possibilitando o aparecimento de campos de seixos em muitas áreas do Triângulo Mineiro.

Em relação às exposições, Seer e Moraes (2017) ressaltam que as rochas da Formação Serra Geral se concentram nas áreas erodidas, que anteriormente eram ocupadas por rochas sedimentares dos Grupos Caiuá e Bauru. Essa condição possibilitou a formação de solos férteis, importantes para toda a região do Triângulo Mineiro. Dessa forma, especificamente na UPGRH PN3, a Formação Serra Geral é encontrada no leito e nas adjacências dos principais cursos d'água, como os rios da Prata, Piedade, Tijuco e Paranaíba, sendo de percepção relativamente fácil em campo pelos afloramentos ao longo de cursos d'água e pela coloração dos solos.

A Formação Santo Anastácio insere-se em um trato de sistema eólico-fluvial juntamente com as demais formações do Grupo Caiuá. Nesse sistema, a formação é constituída pela fácies paleossolos, composta por “arenito fino, maciço, amarelo avermelhado, bem selecionado, com marcas de raízes e de dissolução que ocorre no topo da fácies de dunas” (SEER; MORAES, 2017, p. 100). Seer e Moraes (2017) destacam que essa fácies corresponde a solos gerados sobre campo de dunas durante condições climáticas de maior umidade e desenvolvidos no período de aquiescência tectônica, que concluiu o primeiro ciclo de sedimentação da Bacia Bauru.

Na UPGRH PN3, a Formação Santo Anastácio é encontrada de forma bastante restrita na porção sudoeste, conforme apresentado no mapa geológico do estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000 (CPRM; CODEMIG, 2014). Destaca-se que, por sua composição ser de arenitos, a Formação Santo Anastácio geralmente pode ser confundida em campo como uma unidade integrante do Grupo Bauru (Formação Vale do Rio do Peixe ou Marília). Oliveira e

Novo (2017), por exemplo, mapearam a região de ocorrência da Formação Santo Anastácio descrita pela CPRM e CODEMIG (2014), mas não apontaram a unidade no mapa e no relatório.

Para Seer e Moraes (2017), a Formação Vale do Rio do Peixe abrange uma sequência fluvial do tipo entrelaçado e eólico marginal, constituído de arenitos com arcabouço de quartzo e feldspato e fragmentos líticos. De acordo com Batezelli (2003), os arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe possuem estratificações cruzada e plano-paralela e cimentação por carbonato de cálcio. Esse autor complementa ainda que nos diversos afloramentos, predominam arenitos finos, bem selecionados e de coloração avermelhada, cujas estratificações cruzadas de grande porte sugerem características de deposição por processos eólicos.

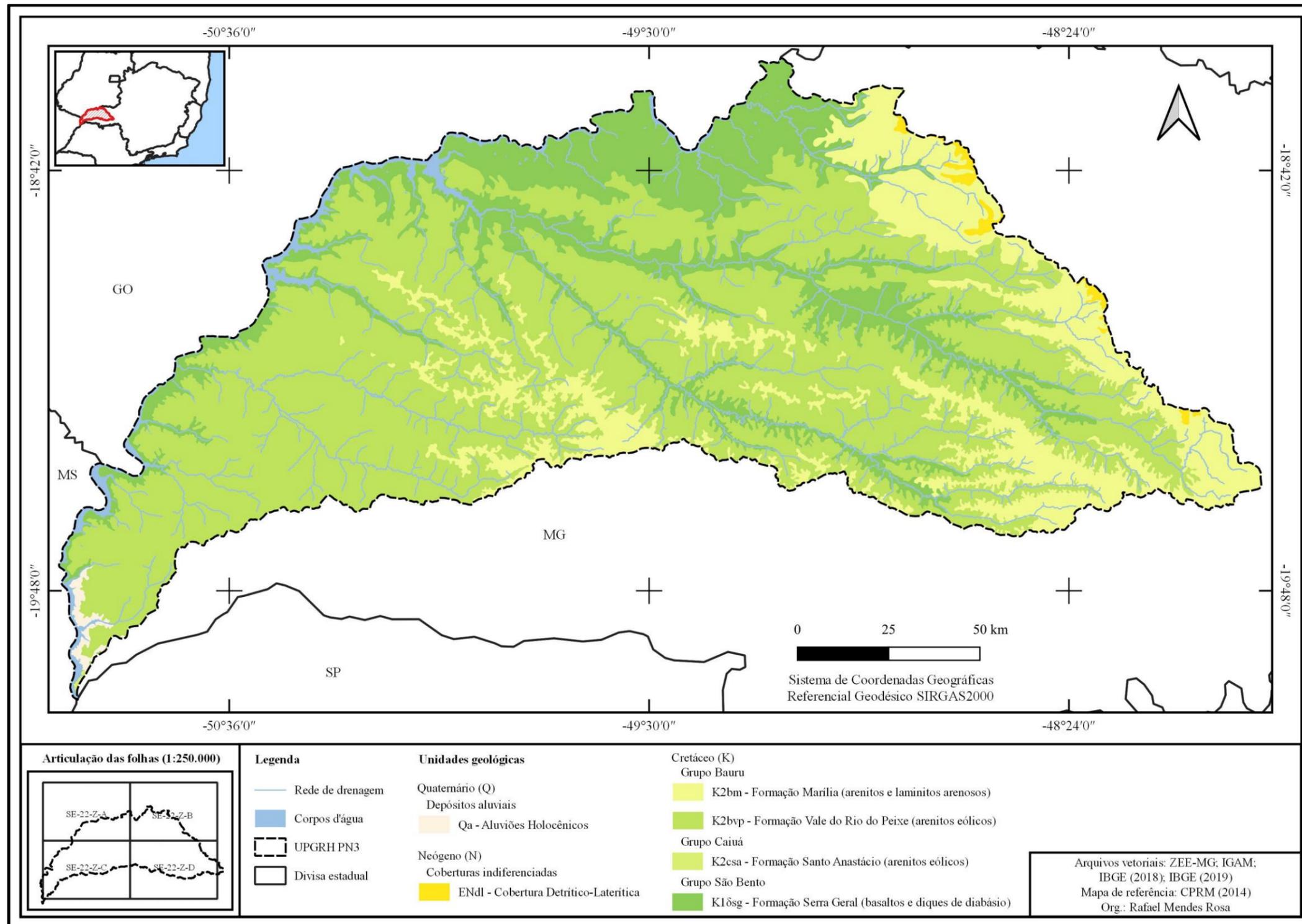
A Formação Vale do Rio do Peixe é a unidade geológica de maior presença na UPGRH PN3, podendo ser observada em locais de desníveis altimétricos acentuados, formas erosivas e contatos com outras formações. Para Oliveira e Novo (2017), em determinadas porções os afloramentos de arenitos livres do intemperismo são escassos, devendo-se observar as encostas mais íngremes, onde possuem boas exposições. Considerando a descrição de Batezelli (2003), os contatos com as unidades inferior (Formação Serra Geral) e superior (Formação Marília) são abruptos, sendo possível observar localmente parte da sequência litoestratigráfica.

A Formação Marília é interpretada como um trato de sistema aluvial, subdividida em dois Membros no Triângulo Mineiro: Ponte Alta e Serra da Galga (SEER; MORAES, 2017). O Membro Ponte Alta (parte inferior) é composto por calcários arenosos maciços, calcários finos e fragmentados e calcários conglomeráticos de matriz arenosa em forma de lentes. O Membro Serra da Galga (parte superior) apresenta arenitos imaturos, grossos a finos, conglomeráticos, estratificação cruzada e cimentação por carbonato de cálcio (ALCÂNTARA *et al.*, 2017).

Especificamente na área de estudo, a Formação Marília é representada somente pelo Membro Serra da Galga, cujas rochas se encontram nas serras residuais, de topo aplainado e escarpado. Os afloramentos das rochas da Formação Marília (Membro Serra da Galga) nessas serras residuais estão descritos no relatório e no mapeamento geológico de Alcântara *et al.* (2017) para a Folha Prata (SE.22-Z-D-II), Felmer, Ferreira e Quintão (2017) para a Folha Ituiutaba (SE.22-Z-B-IV) e Knauer *et al.* (2017) para a Folha Gurinhatã (SE.22-Z-C-III).

Por fim, os depósitos detrítico-lateríticos originaram-se por condições climáticas áridas no início do Cenozoico, enquanto que os depósitos aluviais correspondem a sedimentos geologicamente recentes acumulados nas margens de cursos d'água (SEER; MORAES, 2017). De modo mais evidente, os depósitos detrítico-lateríticos podem ser encontrados a leste da área de estudo e os depósitos aluviais nas margens do rio Paranaíba, a sudoeste. Além dos depósitos do Cenozoico, as demais unidades geológicas presentes na UPGRH PN3 estão no Mapa 3.

Mapa 3. Unidades geológicas da UPGRH PN3.



Diante das características geológicas descritas, discorre-se sobre as vulnerabilidades à denudação das rochas encontradas na área de estudo. Com base em Crepani *et al.* (2001), os basaltos da Formação Serra Geral enquadram-se como moderadamente estáveis. Os arenitos das Formações Santo Anastácio, Vale do Rio do Peixe e Marília são considerados de moderada vulnerabilidade, o que se evidencia serem mais friáveis que os basaltos. Devido à instabilidade à denudação indicada por Crepani *et al.* (2001), os depósitos detrítico-lateríticos e aluviais são as unidades mais vulneráveis. Destaca-se que embora as crostas lateríticas possam contribuir para a estabilização de áreas nem toda a presença desses depósitos são compactas carapaças.

3.1.2. Aspectos do relevo

A UPGRH PN3 está inserida no Domínio dos Chapadões Recobertos por Cerrados e Penetrados por Florestas-Galeria, descrito por Ab'Sáber (2012). Esse domínio morfoclimático apresenta planaltos sedimentares ligeiramente compartimentados, largos interflúvios, vales simétricos e espaçados entre si e, em geral, baixa densidade de drenagem. São predominantes plainos de erosão e plataformas estruturais escalonadas, com presença de rampas semicôncavas e convexização discreta das vertentes. Ocorrem também terraços cascalhentos e mal definidos, além de sinais de flutuação climática e paisagística (AB'SÁBER, 2012).

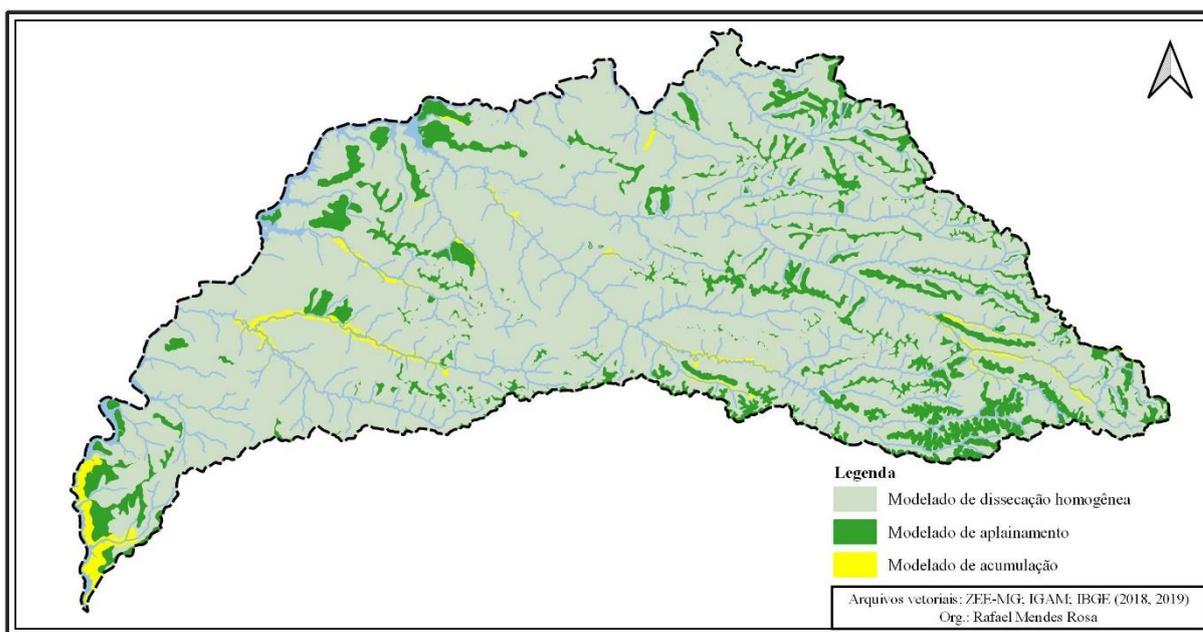
Os processos que configuram o relevo atual no Triângulo Mineiro iniciaram-se, de modo mais incisivo, no Paleógeno, prolongando-se até o Quaternário por meio de ciclos de erosão (KING, 1956). No modelo teórico de King (1956), a “Superfície Sul-Americana”, formada no Paleógeno, constituiu-se sob clima seco a partir da sedimentação que deu origem às rochas do Grupo Bauru, o que originou as superfícies de aplainamento e as superfícies tabulares das chapadas da região. Ainda baseado nos ciclos de erosão de King (1956), no Neógeno, ocorreu o evento denominado pelo autor como “Ciclo Velhas” sob uma condição climática mais úmida, o que possibilitou o entalhamento das chapadas. Por fim, o “Ciclo Paraguçu” exumou as rochas Neoproterozóicas no Quaternário (KING, 1956; MOREIRA; PEREZ FILHO, 2020).

Com base em níveis altimétricos, Baccaro (1991) propôs quatro grandes unidades geomorfológicas para o Triângulo Mineiro: Área de Relevo Intensamente Dissecado, Área de Relevo Medianamente Dissecado, Área de Relevo Residual e Área de Cimeira. Na UPGRH PN3, a altitude varia de 323 a 997 m (Mapa 4). Associando-se a teoria de King (1956) com a compartimentação de Baccaro (1991), pode-se identificar a “Superfície Sul-Americana” nas Áreas de Cimeira em altitude superior a 900 m e porções que remetem ao “Ciclo Velhas” nas Áreas Medianamente Dissecadas abaixo de 900 m. Nesse contexto de “Ciclo Velhas”, as serras

residuais constituem as Áreas de Relevo Residual, entre 700 e 799 m. Ressalta-se que o “Ciclo Paraguaçu”, responsável pela exumação de rochas Neoproterozóicas em outras áreas do Triângulo Mineiro, não está presente na UPGRH PN3. (MOREIRA; PEREZ FILHO, 2020).

Diante dos processos geomorfológicos ocorrentes ao longo do Cenozoico, o relevo atual da área de estudo apresenta três modelados⁶⁰: de dissecação homogênea, de aplainamento e de acumulação (Figura 11). O modelado de dissecação homogênea, ocorrente na maior parte da área de estudo, é marcado por incisões fluviais em litologias sem controle estrutural marcante, capaz de originar padrão de drenagem dendrítico, colinas, morros residuais e interflúvios tabulares. O modelado de aplainamento é caracterizado por um relevo suave devido ao baixo entalhamento fluvial, sendo representado na UPGRH PN3 principalmente pelo relevo residual. O modelado de acumulação, encontrado em alguns vales da área de estudo, corresponde a planície fluvial, resultado do preenchimento de aluviões, sobretudo no Holoceno (IBGE, 2009).

Figura 11. Tipos de modelados encontrados na UPGRH PN3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante da caracterização apresentada, que abrange a gênese e a configuração geral do relevo da área de estudo, convém descrever algumas informações de caráter geomorfológico um pouco mais detalhadas. Trata-se de uma síntese baseada nos dados da tabela de atributos do arquivo vetorial do IBGE (2018), que será discutida nos próximos três parágrafos.

⁶⁰ De acordo com o IBGE (2009), o termo “modelado” corresponde a um padrão de formas de relevo definido pela gênese comum dos processos morfogenéticos atuantes, podendo ser representado cartograficamente. Há quatro tipos de modelados: de acumulação, de aplanamento, de dissolução ou de dissecação.

Na porção leste da UPGRH PN3 podem ser encontrados topos tabulares com vertentes levemente convexas. Os aprofundamentos das incisões são fracos, bem como a densidade de drenagem é muito baixa. As superfícies tabulares, presentes a leste, correspondem às chapadas, que se estendem em direção a nordeste da bacia hidrográfica do rio Araguari (fora da UPGRH PN3), sendo uma das características a densidade de drenagem muito baixa. Ao redor das referidas chapadas, ocorrem patamares de nível altimétrico inferior, sendo que a superfície tabular já não é predominante, pois algumas áreas possuem desnível altimétrico mais acentuado e, associadamente, uma densidade de drenagem maior que nas chapadas (IBGE, 2009, 2018).

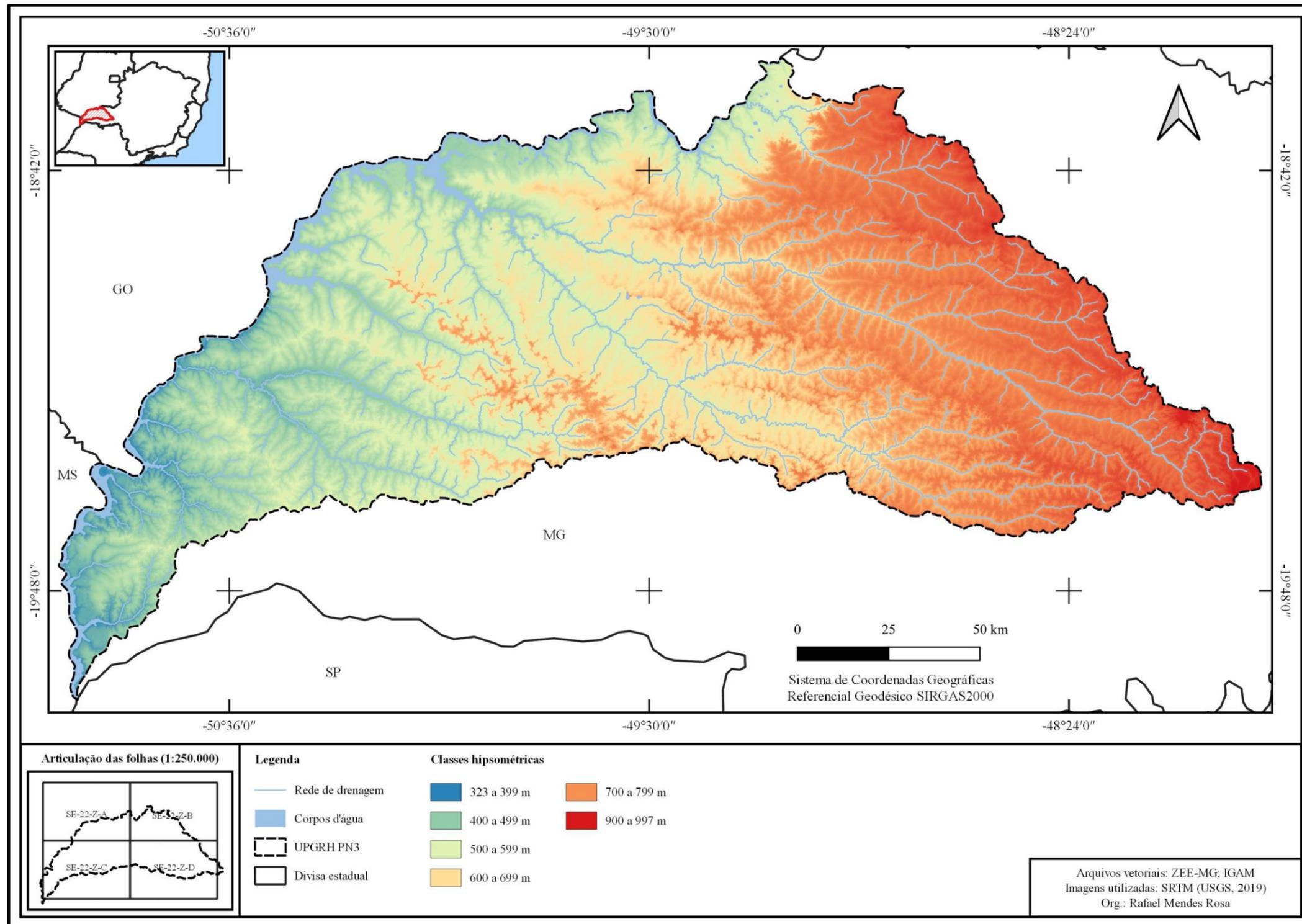
Assim como extensas áreas a leste, as porções sul e sudeste também possuem áreas de topos tabulares e convexas e aprofundamentos fracos das incisões, porém, a densidade de drenagem é superior a porção leste. Ao centro e ao sul, os topos são também, em geral, tabulares, com vertentes levemente convexas, com incisões fluviais muito fracas e densidade de drenagem relativamente baixa. As planícies e os terraços fluviais, que são as superfícies de inundação e as adjacências de cursos d'água, sobretudo de 4ª ordem em diante, correspondem a típicos ambientes de sedimentação, com aprofundamentos das incisões relativamente fracos pelo nível de erosão fluvial atual ser inferior à sedimentação (IBGE, 2009, 2018).

Ao norte da UPGRH PN3, em parte dos municípios de Ipiaçú, Ituiutaba, Capinópolis, Cachoeira Dourada, Canápolis, Centralina e Araporã, encontra-se uma superfície passível de diferenciação pelo predomínio dos basaltos da Formação Serra Geral e por concentrar porções mais homogêneas de declividade menos acentuada. Para complementar as características gerais do relevo, nas porções central e oeste, o entalhamento de cursos d'água é, em sua maior parte, muito fraco e a densidade de drenagem baixa. Nessas áreas centrais e a oeste, destaca-se que a presença das rochas da Formação Vale do Rio do Peixe indica entalhamentos fracos dos cursos d'água e, em geral, uma baixa densidade de drenagem (IBGE, 2009, 2018).

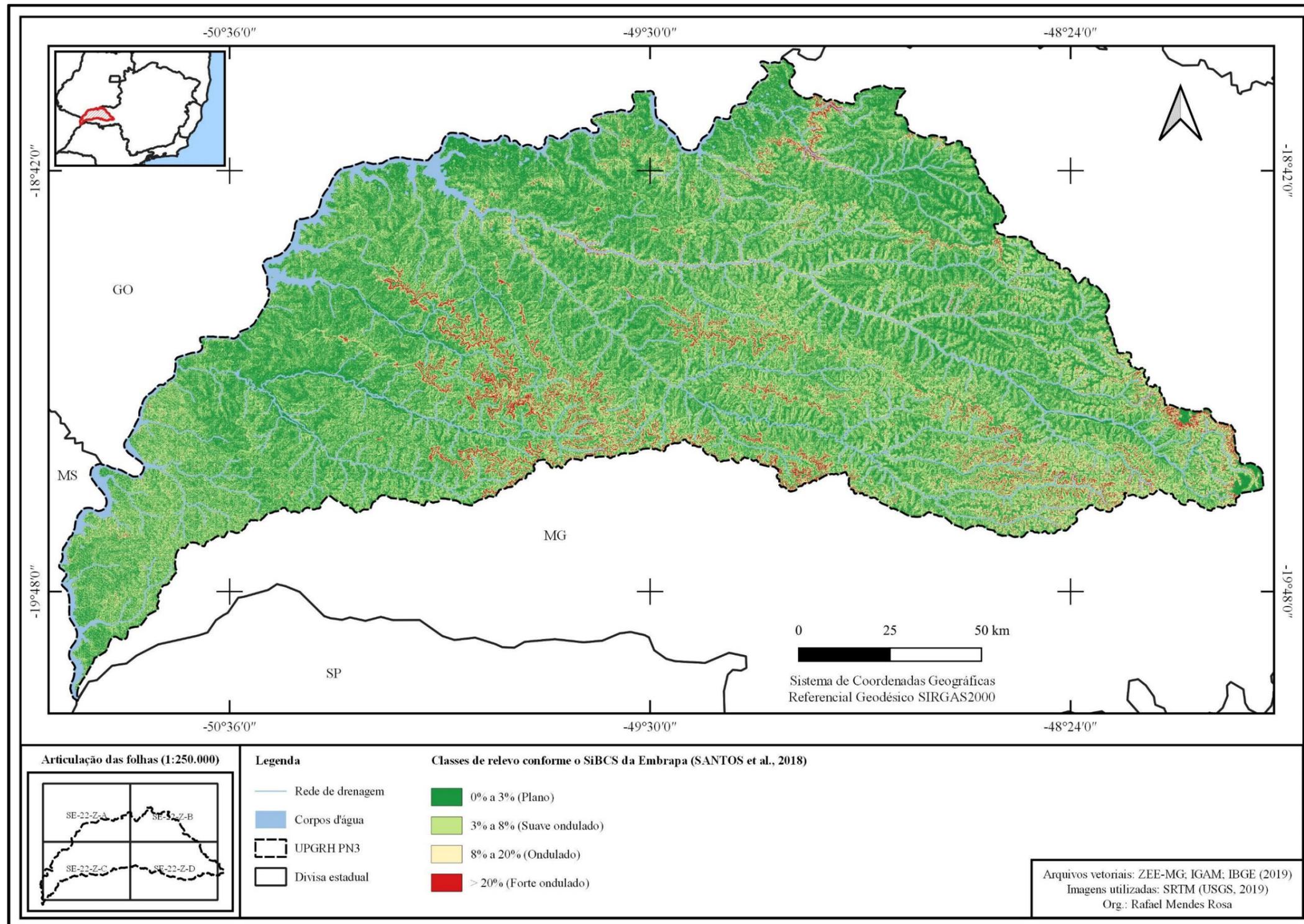
Outra importante característica de análise de processos geomorfológicos é a declividade, que pode ser orientada em classes de relevo, conforme Santos *et al.* (2018). As classes de maior representatividade são de 0% a 3% (plano) em áreas aplainadas e nos topos dos relevos residuais e de cimeira, e também de 3% a 8% (suave ondulado) em boa parte das vertentes dos canais de 1ª e 2ª ordem. Além disso, essas classes também ocorrem em terraços fluviais, constituintes de planícies aluvionares da área de estudo. A classe que abrange uma declividade de 8% a 20% incide, em grande parte, nas vertentes de vales de cursos d'água de 3ª e 4ª ordem. Já as áreas de declividade superior a 20% estão basicamente nas bordas das serras residuais.

Considerando as características apresentadas do relevo, os Mapa 4 e 5 apresentam as classes hipsométricas e de declividade da UPGRH PN3.

Mapa 4. Classes hipsométricas da UPGRH PN3.



Mapa 5. Classes de declividade da UPGRH PN3.



Com base na vulnerabilidade natural à perda de solos de Crepani *et al.* (2001), as áreas de classe de declividade de 0% a 3% são estáveis; de 3% a 8%, moderadamente estáveis; de 8% a 20% medianamente estáveis/vulneráveis; e maior que 20% foram consideradas como moderadamente vulneráveis. É importante ressaltar que as definições de estabilidade e vulnerabilidade são somente para as classes de declividade quando analisadas isoladamente, uma vez que outras condições geomorfológicas podem interferir no resultado⁶¹. No entanto, a adoção das classes de declividade, estabelecidas por Santos *et al.* (2018), é considerada neste trabalho pelos resultados conduzirem a uma compartimentação objetiva do relevo, sintetizando de modo prático as vulnerabilidades associadas a cada um dos intervalos definidos.

3.1.3. Classes de solos

O Domínio dos Chapadões Recobertos por Cerrados e Penetrados por Florestas-Galeria, descrito por Ab'Sáber (2012), apresenta, de modo geral, solos maduros nos relevos suaves e solos pouco evoluídos nos relevos ondulados. Os primeiros, pertencentes à classe dos LATOSSOLOS⁶², podem conter teores de óxidos de ferro e gibbsita acima dos LATOSSOLOS presentes na Amazônia. Já os solos mais jovens, menos desenvolvidos, por exemplo as classes dos CAMBISSOLOS e NEOSSOLOS, além de solos hidromórficos (GLEISSOLOS), têm alto teor de alumínio trocável (RESENDE *et al.*, 2014).

A classe de solos de maior representatividade na UPGRH PN3 corresponde aos LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos. Em seguida, com uma ocupação bem inferior, tem-se a classe dos ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos. A ampla presença de LATOSSOLOS VERMELHOS demonstra que a pedogênese predomina em relação à morfogênese. Juntamente com as duas classes mencionadas, a área de estudo possui 14 classes, como CAMBISSOLOS HÁPLICOS, GLEISSOLOS HÁPLICOS, LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS, ARGISSOLOS VERMELHOS, NEOSSOLOS LITÓLICOS e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS. As características gerais das classes de solos presentes na UPGRH PN3 estão no Quadro 27.

⁶¹ Conforme mencionado anteriormente, na proposta original de Crepani *et al.* (2001), o tema geomorfologia deve ser obtido a partir de uma média aritmética do grau de dissecação, da amplitude altimétrica e da declividade. No entanto, a utilização da declividade, como forma de adaptação do modelo, é utilizada por entender que a compartimentação mediante classes de declividade representa uma síntese dos aspectos do relevo.

⁶² Nas áreas de LATOSSOLOS, sobretudo nas chapadas do Domínio dos Cerrados (relevo plano e suave), são encontradas concreções ferruginosas (também conhecidas como crostas lateríticas, tapiocanga ou petroplintita), formadas por processos pedogenéticos denominados plintitização e laterização. Normalmente, essas concreções ferruginosas são mapeadas nos mapas geológicos, identificadas, por exemplo, como depósitos Cenozoicos.

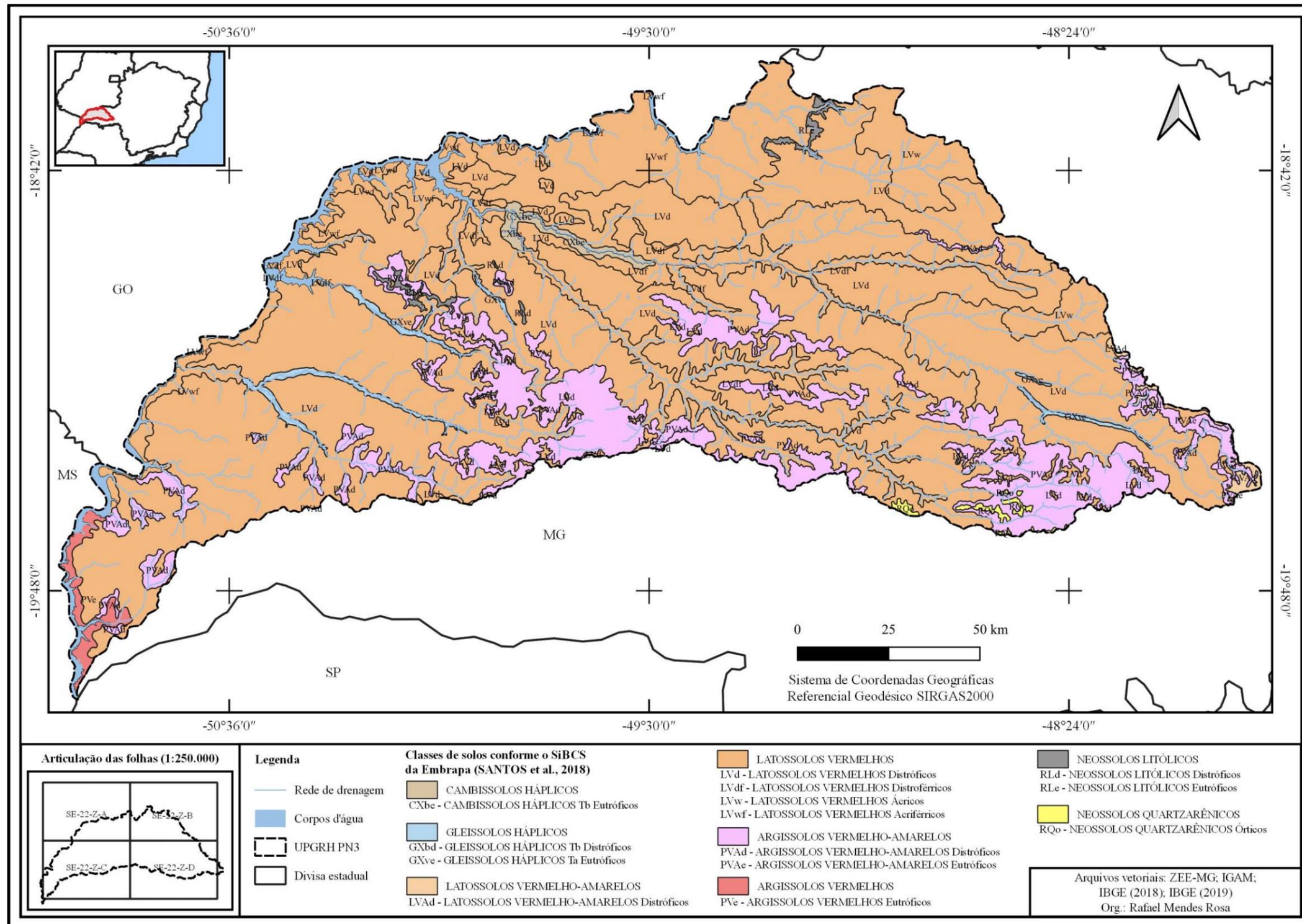
Quadro 27. Classificação e características gerais dos solos da UPGRH PN3.

Classificação	Características
CXbe - CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutróficos lépticos, textura argilosa, A chernozêmico, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo forte ondulado	Apresentam material mineral com horizonte B incipiente, argila de baixa atividade, saturação por bases $\geq 50\%$ e contato lítico entre 50 e 100 cm.
GXbd - GLEISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos típicos, textura argilosa, A moderado, fase floresta tropical hidrófila de várzea, relevo plano	Solos minerais hidromórficos, com horizonte glei nos primeiros 50 cm, argila de atividade baixa e saturação por bases $< 50\%$ na maior parte dos horizontes B e/ou C.
GXve - GLEISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos típicos, textura muito argilosa, A moderado, fase floresta tropical hidrófila de várzea, relevo plano	Consistem em solos minerais hidromórficos, com horizonte glei nos primeiros 50 cm, argila de alta atividade, saturação por bases $\geq 50\%$ na maior parte dos horizontes B e/ou C.
LVAd - LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos típicos, textura média, A moderado, fase cerrado tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado	São solos constituídos de material mineral, com horizonte B latossólico abaixo de qualquer horizonte superficial (exceto hístico), de cores vermelho-amareladas e saturação por bases $< 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.
LVd - LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos típicos, textura média/argilosa, A moderado, fase cerradão tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado	Correspondem a solos com material mineral, horizonte B latossólico abaixo de qualquer horizonte superficial (exceto hístico), além de matiz 2,5 YR e saturação por bases $< 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.
LVdf - LATOSSOLOS VERMELHOS Distroférricos típicos, textura muito argilosa, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo plano e suave ondulado	Possuem material mineral, horizonte B latossólico abaixo de qualquer horizonte superficial (exceto hístico) e também matiz 2,5 YR e saturação por bases $< 50\%$ e teores de Fe_2O_3 nos primeiros 100 cm do horizonte B.
LVw - LATOSSOLOS VERMELHOS Ácricos típicos, textura argilosa/muito argilosa, A moderado, fase cerrado tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado	Consistem em solos com material mineral, horizonte B latossólico abaixo de qualquer horizonte superficial (exceto hístico), matiz 2,5 YR nos primeiros 100 cm e caráter ácido em um ou mais horizontes dentro dos primeiros 150 cm.
LVwf - LATOSSOLOS VERMELHOS Acriférricos típicos e úmbricos, textura argilosa, A moderado e proeminente, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo plano e suave ondulado	Solos com material mineral, horizonte B latossólico abaixo de qualquer horizonte superficial (exceto hístico), matiz 2,5 YR nos primeiros 100 cm, caráter ácido dentro de 150 cm e teores de Fe_2O_3 em grande parte dos primeiros 100 cm.
PVAd - ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos típicos, textura arenosa/média, A moderado, fase cerradão tropical subcaducifólio, relevo suave ondulado	Basicamente compreendem solos com a presença de material mineral, horizonte B textural, cores vermelho-amareladas e saturação por bases $< 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.
PVAe - ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos típicos, textura média/argilosa, A moderado, fase cerradão tropical subcaducifólio, relevo ondulado	Solos definidos pela presença de material mineral, horizonte B textural, cores vermelho-amareladas, além de saturação por bases $\geq 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.
PVe - ARGISSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos, textura média, A moderado, fase floresta tropical subcaducifólia, relevo suave ondulado	Solos usualmente definidos pela presença de material mineral, horizonte B textural, matiz 2,5 e saturação por bases $\geq 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.
RLd - NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos típicos, textura média/cascalhenta, A moderado, fase cerradão tropical subcaducifólio, relevo forte ondulado	São rasos e constituídos por material mineral ou orgânico com contato lítico dentro de 50 cm, horizonte A ou hístico sobre a rocha e saturação por bases $< 50\%$ dentro de 50 cm.
RLe - NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos e fragmentários, textura argilosa, A moderado, fase cerradão tropical subcaducifólio, relevo forte ondulado	Solos rasos apresentando material mineral ou orgânico com contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm, horizonte A ou hístico sobre a rocha e saturação por bases $\geq 50\%$ na maior parte dos horizontes dentro de 50 cm.
RQo - NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos, textura arenosa, A moderado, fase cerradão tropical subcaducifólio, relevo plano e suave ondulado	Compreendem solos com material mineral ou orgânico com contato lítico dentro de 50 cm, horizontes A-C com textura areia ou areia franca em todos os horizontes.

Fonte: Adaptado de IBGE (2018) e Santos *et al.* (2018).

Considerando as descrições das classes de solos, o Mapa 6 apresenta a distribuição de cada uma das classes na área de estudo.

Mapa 6. Classes de solos da UPGRH PN3.

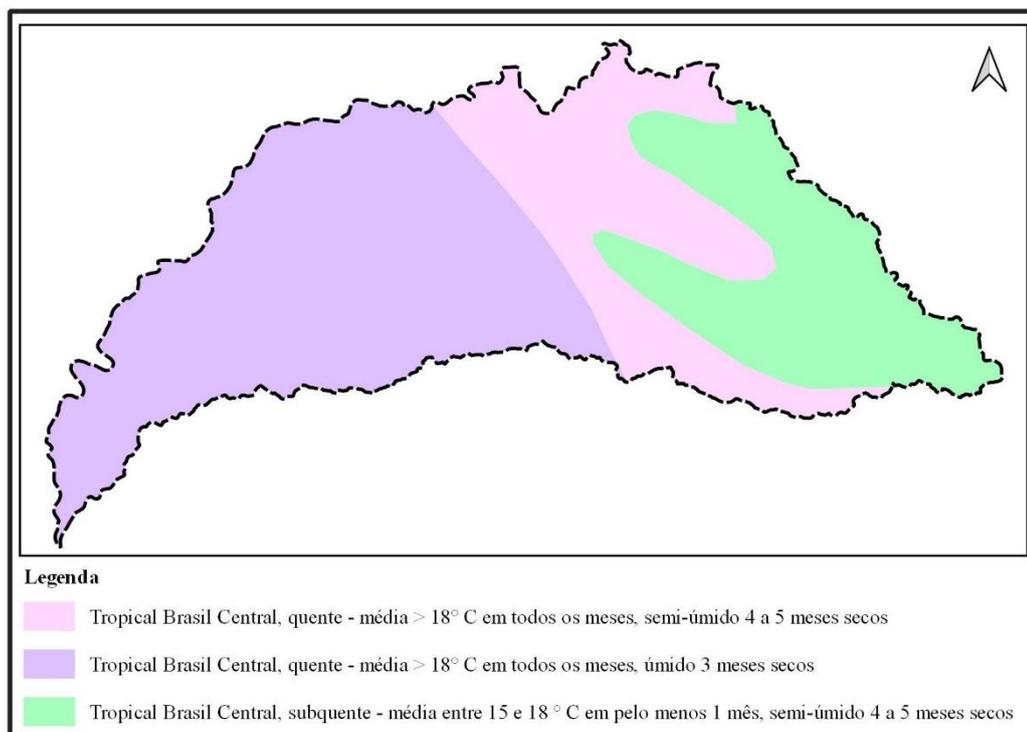


Com base em Crepani *et al.* (2001), os LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS e os LATOSSOLOS VERMELHOS são as classes que possuem a maior estabilidade natural em relação à perda de solos. Os ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS e os ARGISSOLOS VERMELHOS apresentam uma estabilidade intermediária e os CAMBISSOLOS HÁPLICOS são moderadamente vulneráveis. Por fim, os GLEISSOLOS HÁPLICOS, NEOSSOLOS LITÓLICOS e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS têm a maior vulnerabilidade.

3.1.4. Condições climáticas

A UPGRH PN3 está inserida, segundo o IBGE (1978), na zona climática Tropical Brasil Central, porém com variações internas relacionadas às médias anuais de temperatura e também de períodos de seca. A Figura 12 demonstra que a UPGRH PN3 apresenta temperatura média superior a 18°C em todos os meses do ano (Quente), exceto em uma porção a leste, cuja média se encontra entre 15°C e 18°C em pelo menos um mês do ano (Subquente). O período seco varia entre três meses secos (porções central e oeste) e de quatro a cinco meses no restante da área de estudo.

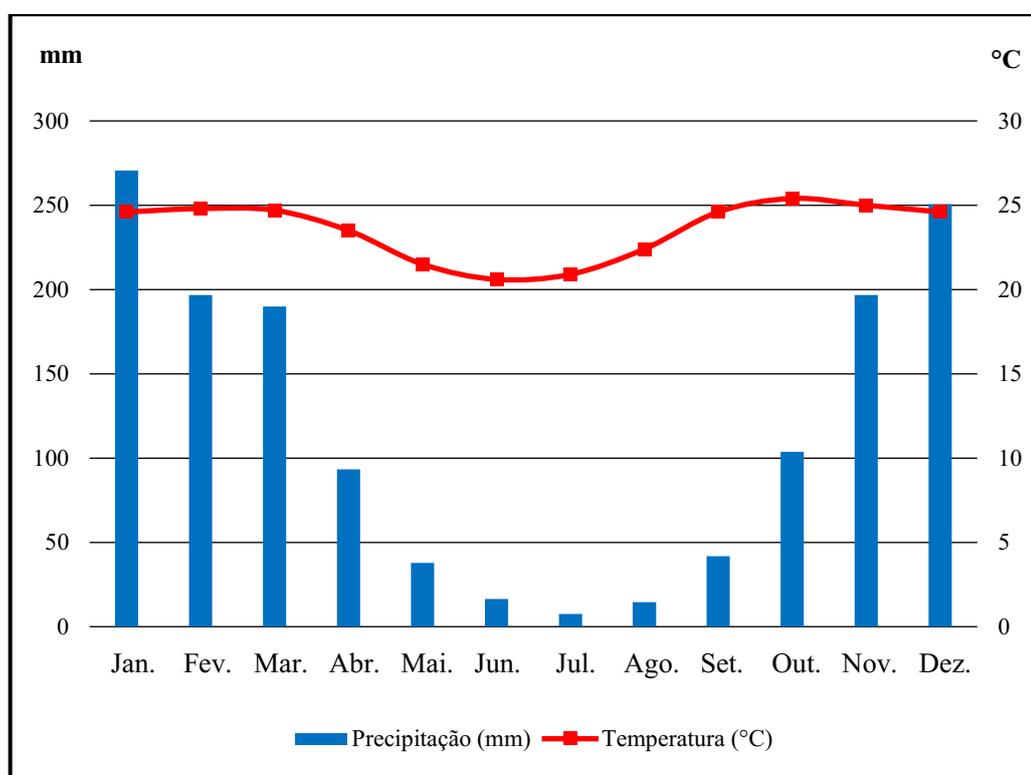
Figura 12. Tipos climáticos da UPGRH PN3.



Fonte: Adaptado de IBGE (1978).

Outra classificação muito utilizada é a de Köppen e Geiger (1928), que apontam a região da UPGRH PN3 pertencente ao grupo climático Tropical, sendo do tipo Aw, com a estação seca no inverno. Normalmente, janeiro corresponde ao mês mais chuvoso e julho, àquele que apresenta a menor média de precipitação. Em relação à temperatura, outubro costuma ser o mês com a maior média de temperatura e junho, o mês mais frio do ano. Nesse contexto, as condições termopluiométricas podem ser representadas por um climograma representativo, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13. Climograma representativo da UPGRH PN3 (1988 – 2018)⁶³.

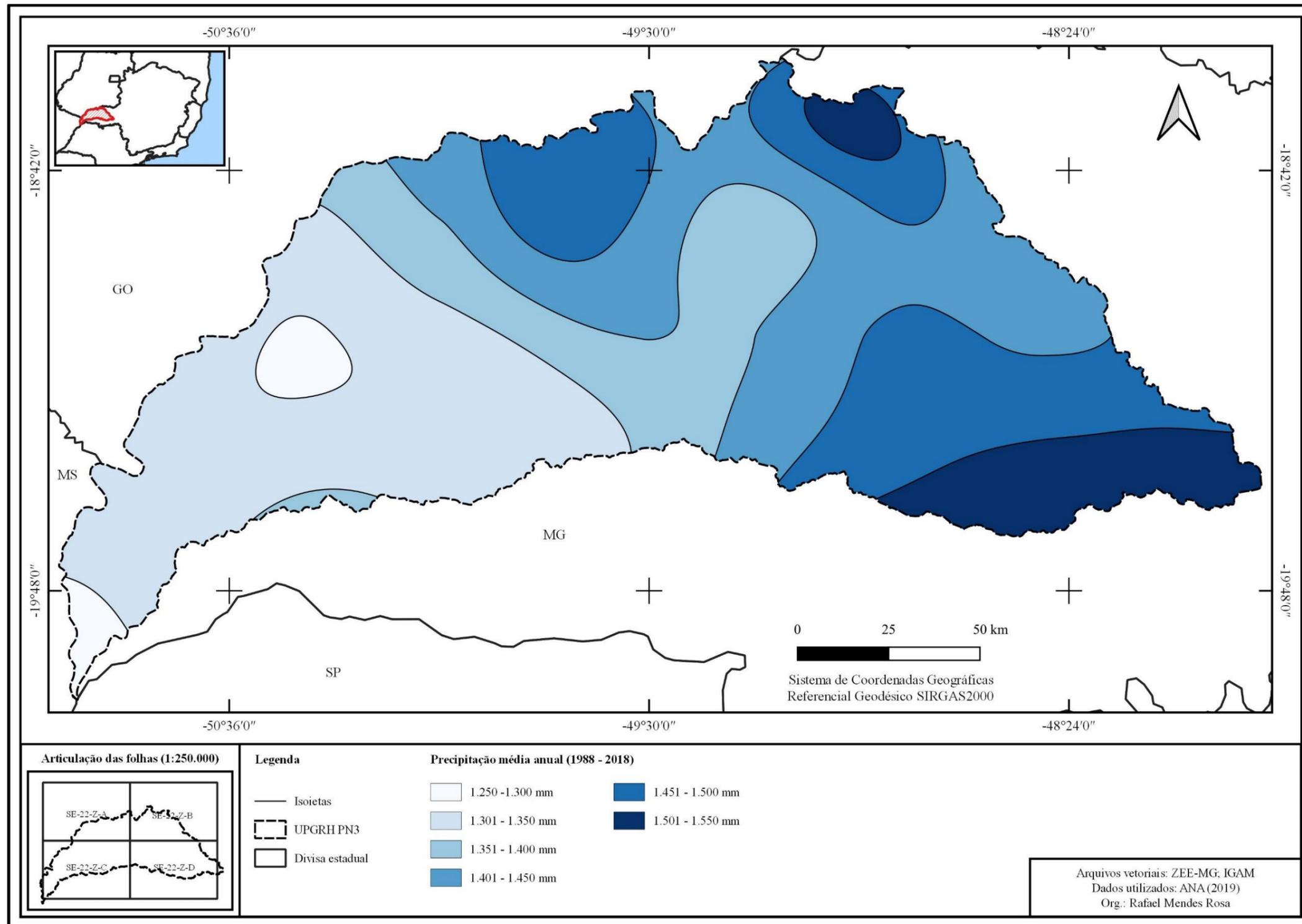


Fonte: Adaptado de ANA (2019) e Silva (2010).

Com destaque à pluviosidade (importante para análises sobre perda de solos), o Mapa 7 demonstra a distribuição da precipitação média anual da UPGRH PN3, que varia de 1.250 a 1.550 mm. O período analisado corresponde ao intervalo dos anos 1988 e 2018, sendo possível observar que as porções oeste e central correspondem às áreas de menor precipitação (1.250 a 1.400 mm) e áreas a leste com maior média (acima de 1.400 mm).

⁶³ Os dados de precipitação correspondem à série histórica entre 1988 e 2018 da estação Ponte do Prata (1949006), localizada nas seguintes coordenadas geográficas: 19°02'07"S e 49°41'48"W (SIRGAS2000). Como não há dados de temperatura compatível com a mesma série histórica da precipitação, foram utilizados os dados de Silva (2010), que calculou a temperatura média mensal do Triângulo Mineiro entre 1975 e 2009, onde se situa a UPRGH PN3.

Mapa 7. Precipitação média anual (1988 – 2018) da UPGRH PN3.



É importante destacar que a informação de maior relevância das condições climáticas para determinação da vulnerabilidade natural à perda de solos, de Crepani *et al.* (2001), é a intensidade pluviométrica. Essa variável é basicamente definida pela relação entre precipitação média anual e a duração do período chuvoso. Crepani *et al.* (2001), por exemplo, expõem que a região do Triângulo Mineiro possui entre sete e oito meses de período chuvoso. Entretanto, a vulnerabilidade da UPGRH PN3 (cujos resultados estão no subcapítulo “Integração dos componentes físico-geográficos”) segue o presente diagnóstico, em que o período chuvoso é de sete a nove meses, conforme os aspectos climáticos baseados no IBGE (1978).

3.1.5. Cobertura e uso da terra

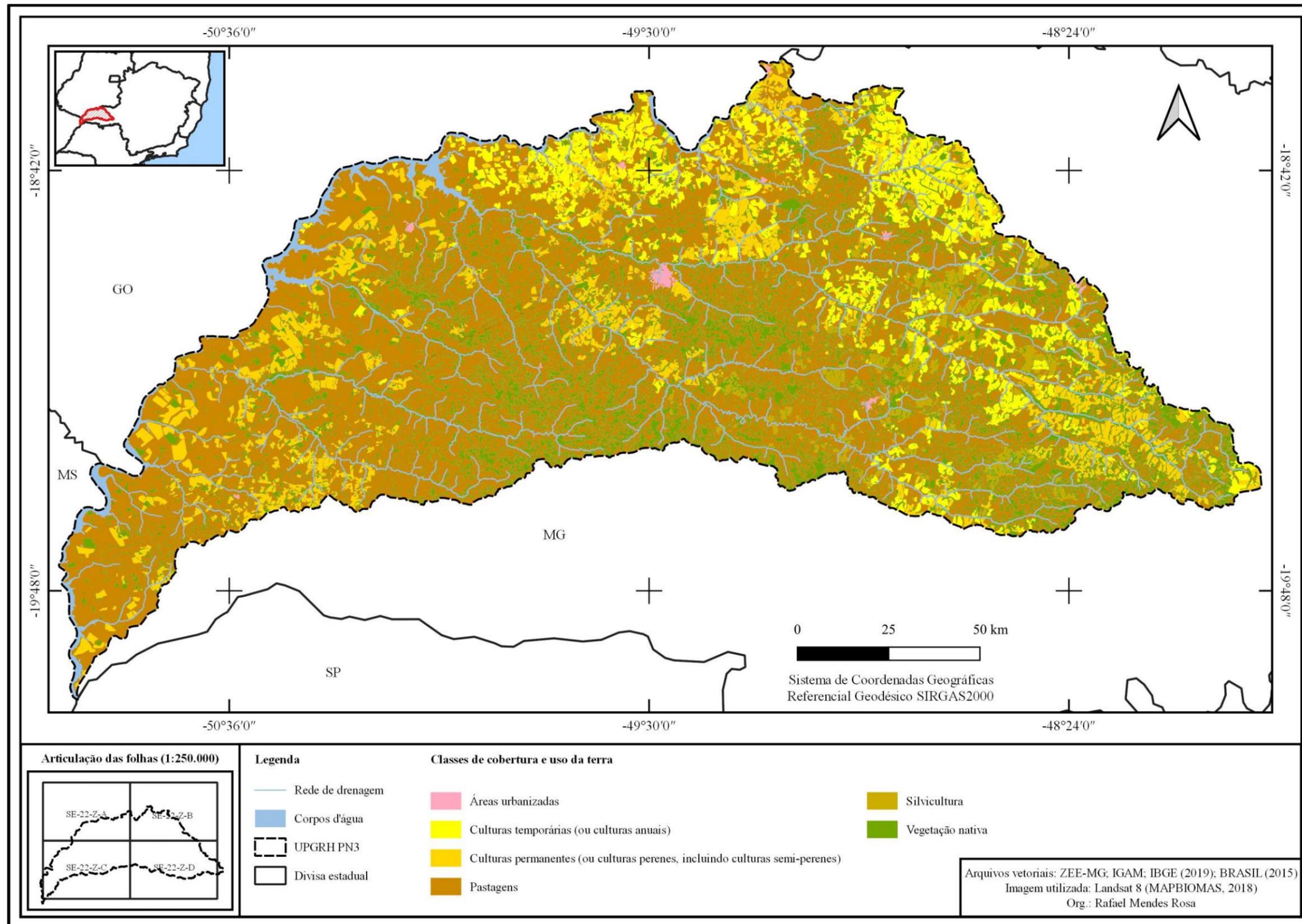
A cobertura e uso da terra corresponde a um importante componente físico-geográfico decorrente de ações antrópicas, cujo levantamento na UPGRH PN3 possibilitou identificar sete classes baseadas no sistema de classificação do IBGE (2013): áreas urbanizadas, corpos d’água, culturas temporárias, culturas permanentes, pastagens, silvicultura e vegetação nativa. A classe de maior ocupação na área de estudo corresponde às pastagens, seguidas de vegetação nativa e agricultura (culturas temporárias e permanentes). As áreas de menor ocupação correspondem às classes denominadas corpos d’água, silvicultura e áreas urbanizadas, respectivamente⁶⁴.

O resultado das áreas ocupadas pelas classes mencionadas possui boa compatibilidade com os dados apresentados pelo CBH Paranaíba (2017b). Embora as denominações das classes sejam diferentes daquelas adotadas pelo IBGE (2013), no Plano da CBH Paranaíba (2017b), a agricultura ocupa uma área superior à vegetação nativa, mas as demais classes, seja em maior ou menor percentual de ocupação, seguem a mesma ordem. Destaca-se que as diferenças são compreensíveis, tendo em vista a escala de trabalho adotada e o período do mapeamento.

Dentre as principais classes encontradas na UPGRH PN3, as pastagens estão em praticamente todos os setores da área de estudo, com exceção das porções norte e nordeste onde as culturas temporárias (basicamente grãos como a soja) apresentam maior concentração. As culturas permanentes (representadas também por culturas semi-perenes, com destaque para a cana-de-açúcar) estão principalmente nas porções central e oeste (como em Ituiutaba, Gurinhata e Santa Vitória). A terceira classe de maior expressão, a cobertura vegetal nativa, resume-se, de modo geral, às áreas legalmente protegidas (APPs, Reservas Legais e UCs), com limitações à ocupação. As classes de cobertura e uso da terra podem ser observadas no Mapa 8.

⁶⁴ Ressalta-se que pelo diagnóstico apresentar somente os aspectos qualitativos, as informações quantitativas estão apresentadas na etapa de integração dos componentes físico-geográficos.

Mapa 8. Cobertura e uso da terra da UPGRH PN3.



Com base nas indicações de Crepani *et al.* (2001), o uso da terra corresponde à camada de informação relacionada às alterações provocadas pelo homem no ambiente natural. Dessa forma, metodologicamente, deve-se atribuir à cobertura vegetal nativa (vegetação primária e secundária) uma vulnerabilidade significativamente inferior às áreas urbanizadas, agricultura, pastagens, entre outros. As maiores vulnerabilidades de uso da terra correspondem às áreas urbanizadas⁶⁵ e as pastagens⁶⁶ em virtude de os solos serem mais susceptíveis ao escoamento superficial, portanto, mais propensos à erosão. Ademais, convém destacar que as culturas temporárias⁶⁷ apresentam maior vulnerabilidade que as culturas permanentes e a silvicultura.

3.1.6. Disponibilidade natural das águas superficiais

A disponibilidade natural das águas superficiais da UPGRH PN3 depende basicamente do tamanho das áreas de contribuição, visto que a área não possui diferenças significativas em relação ao contexto físico-geográfico. Considerando somente as vazões mínimas, importantes para o gerenciamento dos recursos hídricos, sobretudo durante os períodos de escassez hídrica, essa variação é perceptível na UPGRH PN3. Dentre as vazões mínimas, destacam-se a Q_{mld}, a Q₉₅, a Q₉₀ e, principalmente, a Q_{7,10}⁶⁸, associadas ao rendimento específico médio mensal.

Aspectos sobre disponibilidade hídrica da área de estudo foram analisados pelo CBH Paranaíba (2017b) a partir de dados de oito pontos de controle. Os resultados mostraram que a UPGRH PN3 possui vazão média de 312,89 m³/s, associada a uma vazão específica de 13,96 l/s.km². Já as vazões de estiagem, a Q₉₅ e a Q_{7,10} possuem, respectivamente, médias de 104,52 m³/s (3,87 l/s.km²) e 69,35 m³/s (2,57 l/s.km²). Os pontos referentes à foz do rio Arantes e à foz do rio Piedade correspondiam na menor disponibilidade hídrica (CBH PARANAÍBA, 2017b).

Baseado na metodologia de Souza (1993), o SISEMA (2019) disponibiliza as isolinhas e os dados do rendimento específico médio mensal mínimo do estado de Minas Gerais. O recorte para o território da UPGRH PN3 demonstra que esse rendimento específico é crescente no sentido oeste-leste. Para fins exemplificativos, observa-se, na Figura 14, que o rio Arantes (oeste) está inserido em uma região com baixo rendimento específico e o rio Douradinho (leste) se situa em uma área com os maiores rendimentos específicos.

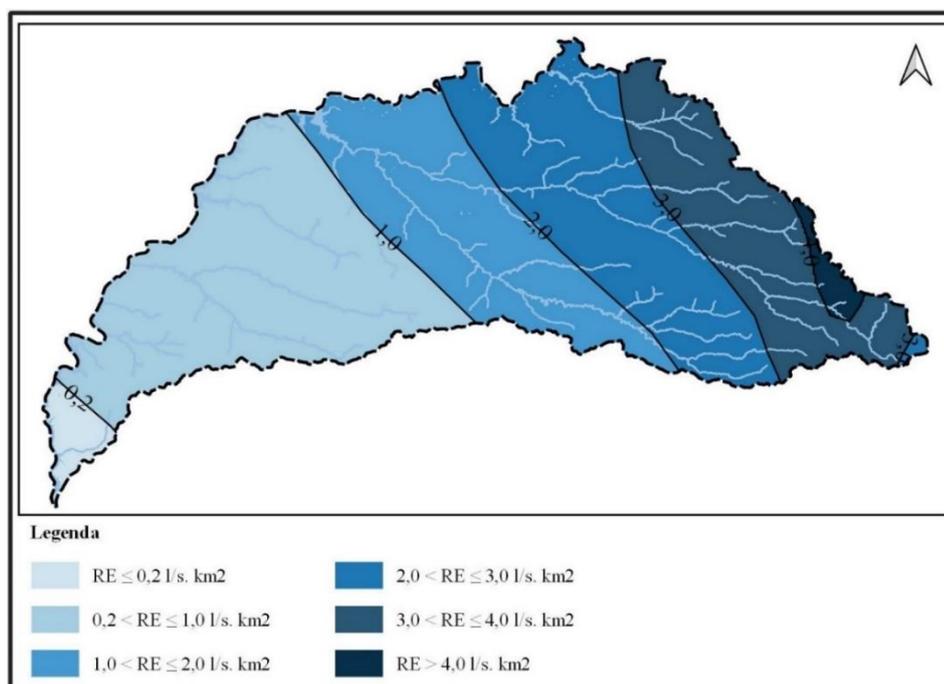
⁶⁵ Dentre as classes de cobertura e uso da terra, as áreas urbanizadas são aquelas que apresentam a maior impermeabilização dos solos e, por isso, as águas pluviais tendem a apresentar fluxos concentrados, ocasionando erosões onde os sistemas de drenagem urbana não são eficientes.

⁶⁶ As pastagens, especialmente quando mal manejadas, podem ocasionar significativas perdas de solos.

⁶⁷ Como o plantio ocorre todo ano, os solos ficam expostos temporariamente, por isso a atribuição de uma maior vulnerabilidade para as culturas temporárias do que para as culturas permanentes.

⁶⁸ A ênfase dada à Q_{7,10} decorre do fato de que ela é a vazão de referência do estado de Minas Gerais.

Figura 14. Rendimento específico médio mensal mínimo da UPGRH PN3.



Fonte: Adaptado de IDE-SISEMA (2019) e Souza (1993).

Como mencionado anteriormente, embora a vazão mínima natural adotada neste estudo seja a $Q_{7,10}$, a disponibilidade natural das águas superficiais também pode ser observada por outras vazões mínimas, como a Q_{mld} , a Q_{95} e a Q_{90} . A Tabela 3 apresenta os dados do IGAM (2012) para essas vazões, considerando o exutório das principais bacias hidrográficas.

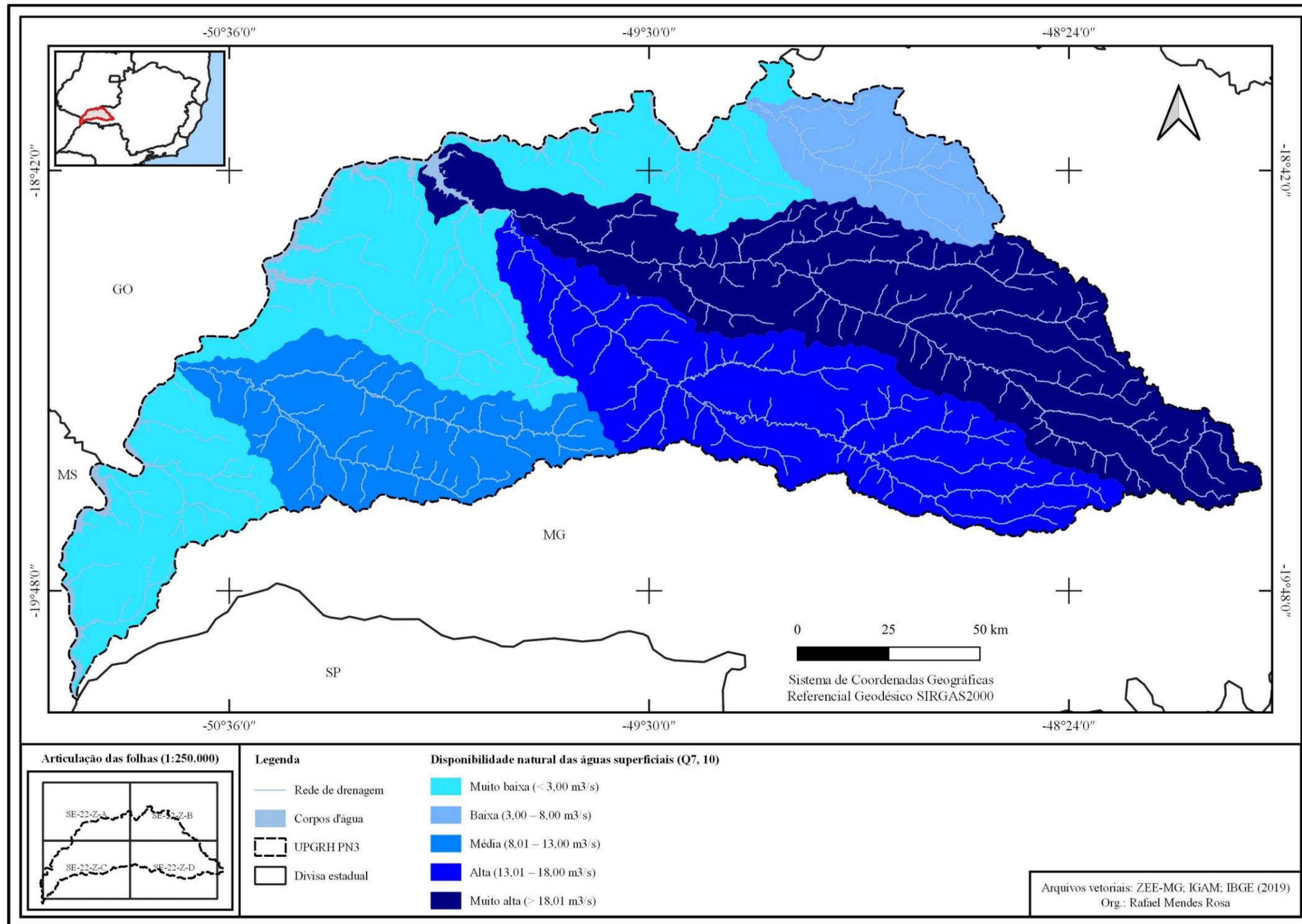
Tabela 3. Disponibilidade das águas superficiais considerando o exutório das principais bacias hidrográficas da UPGRH PN3.

Disponibilidade natural das águas superficiais ($Q_{7,10}$)	Principais bacias hidrográficas (cursos d'água de 5ª ordem ou superior)	Q_{mld}	Q_{95}	Q_{90}	$Q_{7,10}$
Muito baixa (< 3,00 m³/s)	Ribeirão da Reserva	12,00 m³/s	2,98 m³/s	3,61 m³/s	1,81 m³/s
	Ribeirão dos Patos	18,78 m³/s	4,60 m³/s	5,58 m³/s	2,85 m³/s
	Ribeirão São Jerônimo	13,12 m³/s	3,31 m³/s	4,02 m³/s	2,03 m³/s
	Córrego do Condungo ou do Cerrado	9,01 m³/s	2,45 m³/s	2,97 m³/s	1,48 m³/s
Baixa (3,00 a 8,00 m³/s)	Rio Piedade	28,97 m³/s	7,23 m³/s	8,87 m³/s	4,76 m³/s
Média (8,01 a 13,00 m³/s)	Rio Arantes	55,36 m³/s	13,04 m³/s	15,80 m³/s	8,40 m³/s
Alta (13,01 a 18,00 m³/s)	Rio da Prata	96,59 m³/s	23,90 m³/s	28,94 m³/s	15,75 m³/s
Muito alta (> 18,00 m³/s)	Rio Tijuco (confluência com rio da Prata)	120,84 m³/s	29,97 m³/s	36,28 m³/s	19,91 m³/s
	Rio Tijuco	237,05 m³/s	56,30 m³/s	68,12 m³/s	38,29 m³/s

Fonte: Adaptado de IGAM (2012).

O Mapa 9, a seguir, expõe uma síntese da disponibilidade natural das águas superficiais das principais bacias hidrográficas a partir da $Q_{7,10}$ (vazão mínima de referência), consideradas como bacias principais devido ao curso d'água principal ser de 5ª ordem ou superior.

Mapa 9. Disponibilidade natural das águas superficiais (Q_{7,10}) considerando o exutório das principais bacias hidrográficas da UPGRH PN3.



Retirando as bacias hidrográficas que apresentam cursos d'água de até 4ª ordem, as bacias dos ribeirões da Reserva e dos Patos (a oeste), do ribeirão São Jerônimo (afluente da margem esquerda do rio Tijuco) e do córrego do Condungo ou do Cerrado (ao norte) apresentam as menores disponibilidades. A bacia hidrográfica do rio Tijuco apresenta a maior disponibilidade de águas superficiais, apresentando as classes muito alta (rio Tijuco) e alta (rio da Prata), sendo a exceção a bacia hidrográfica do ribeirão São Jerônimo, com disponibilidade muito baixa. Diante do exposto, o Quadro 28 demonstra um exemplo de obtenção da $Q_{7,10}$ baseado na metodologia de Souza (1993), cujos cálculos são similares àqueles realizados em trabalhos técnicos de outorga para captação de águas superficiais no estado de Minas Gerais.

Quadro 28. Exemplo de obtenção da $Q_{7,10}$ a partir da foz do rio Piedade para estabelecimento da disponibilidade das águas superficiais da UPGRH PN3.

<p>Área de drenagem</p> <p>1.759,20 km²</p>
<p>Tipologia regional homogênea</p> <p>Código: 231</p> <p>P = 2 – Pluviosidade anual entre 1.000 e 1.500 mm</p> <p>D = 3 – Predominância de relevo plano a suave ondulado (declividades inferiores a 8%)</p> <p>I = 1 – Predominância de terrenos com baixa capacidade de infiltração (solo argiloso associado a substrato rochoso de baixa permeabilidade)</p>
<p>Função de inferência para rendimentos mínimos ($F_{10,7}$)</p> $F_{TD} = (\alpha + \beta \cdot \gamma^D) \cdot (\log T)^{-(r \cdot \log T + S) \cdot D^{(m+n \cdot \log^2 T)}}$ $F_{10,7} = (0,491840 + 0,403638 \cdot 1,045662) \cdot 1$ $F_{10,7} = 0,913908918356$
<p>Cálculo do rendimento específico médio mensal ($Q_{10,M}$)</p> $Q_{10,M} = Re_{10,M} \cdot Ad$ $Q_{10,M} = 2,96 \cdot 1.759,20$ $Q_{10,M} = 5.207,23 \text{ l/s}$
<p>Cálculo da vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência ($Q_{7,10}$)</p> $Q_{7,10} = F_{10,7} \cdot Q_{10,M}$ $Q_{7,10} = 0,913908918356 \cdot 5.207,23$ $Q_{7,10} = 4.758,93 \text{ l/s ou}$ $Q_{7,10} = 4.758,93/1.000 = 4,76 \text{ m}^3/\text{s}$
<p>Disponibilidade natural das águas superficiais ($Q_{7,10}$) a partir do critério estabelecido</p> <p>Baixa (3,00 a 8,00 m³/s)</p>

Fonte: Adaptado de IDE-SISEMA (2019) e Souza (1993).

O resultado da Q_{7,10} da foz do rio Piedade a partir do procedimento de Souza (1993) mostrou-se compatível com o dado do IGAM (2012). Convém destacar que, para aplicação em outras bacias hidrográficas, sua utilização deve ser criteriosa, uma vez que as escalas dos mapas de Souza (1993) não estão no mesmo nível de detalhe do apresentado nesta tese, como os mapas de tipologias regionais homogêneas e dos rendimentos específicos médios mensais do referido autor. Assim, é importante que a metodologia de Souza (1993) seja utilizada com dados observados em campo, como o tipo de solo e o substrato rochoso.

3.1.7. Áreas de conflito pelo uso da água

A UPGRH PN3 possui sete áreas de conflito pelo uso da água declaradas formalmente pelo IGAM (Quadro 29). A bacia do rio Piedade possui três áreas de conflito (alto Piedade, bacia do ribeirão Bebedouro e o baixo Piedade) e a bacia do ribeirão Douradinho, outras quatro (alto Douradinho, ribeirão Água Limpa, ribeirão Panga e baixo Douradinho). Embora as demais bacias não sejam consideradas como áreas de conflito pelo uso da água, é possível que novos conflitos ainda sejam declarados pelo IGAM, o que deve ser considerado em futuras revisões do zoneamento ambiental proposto.

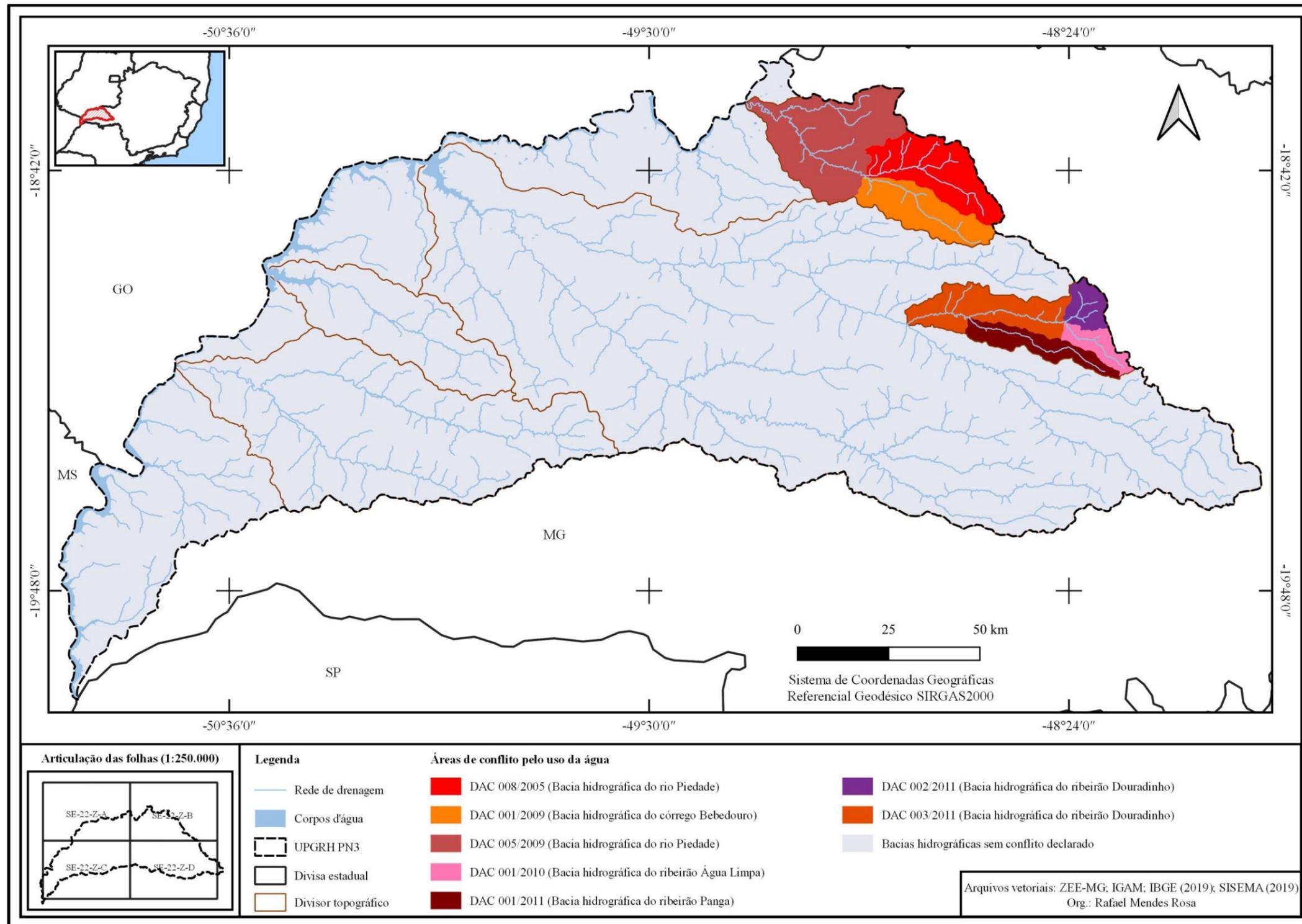
Quadro 29. Características gerais das áreas de conflito da UPGRH PN3.

Bacia hidrográfica	Declaração	Características gerais
Bacia hidrográfica do rio Piedade (1.759,20 km ²)	DAC 008/2005 (rio Piedade)	Localizado na porção alta do rio Piedade, em uma área de 507,32 km ² , é a mais antiga DAC (ano de 2005), devido à intensa captação para atividades agrícolas.
	DAC 001/2009 (córrego Bebedouro)	Afluente da margem esquerda, ocupa uma área de 382,27 km ² . As captações superficiais para a agricultura ocasionaram a indisponibilidade hídrica em 2009.
	DAC 005/2009 (rio Piedade)	No ano da Licença de Operação da PCH Piedade (2009), o restante da bacia (869,61 km ²) foi declarado o conflito pelo uso da água, na porção onde se situa a PCH.
Bacia hidrográfica do ribeirão Douradinho (922,66 km ²)	DAC 001/2010 (ribeirão Água Limpa)	Primeiro afluente a ser decretado como área de conflito, constituindo uma bacia de 126,21 km ² , com atividades que necessitam de captação de águas superficiais.
	DAC 001/2011 (ribeirão Panga)	Trata-se de uma bacia com uma área de 236,16 km ² , com uma alta demanda de água, o que no ano de 2011 foi decretada como área de conflito pelo uso da água.
	DAC 002/2011 (ribeirão Douradinho)	Bacia de 132,63 km ² , onde se situam as nascentes do ribeirão Douradinho, possui alta demanda de água.
	DAC 003/2011 (ribeirão Douradinho)	Última porção da bacia (427,66 km ²) a ser declarada com conflito, muito em função do restante da bacia já se encontrar comprometida.

Fonte: Adaptado de IDE-SISEMA (2019).

Considerando as declarações e as características gerais das áreas de conflito pelo uso da água da UPGRH PN3, a localização delas encontra-se no Mapa 10.

Mapa 10. Áreas de conflito pelo uso da água da UPGRH PN3.

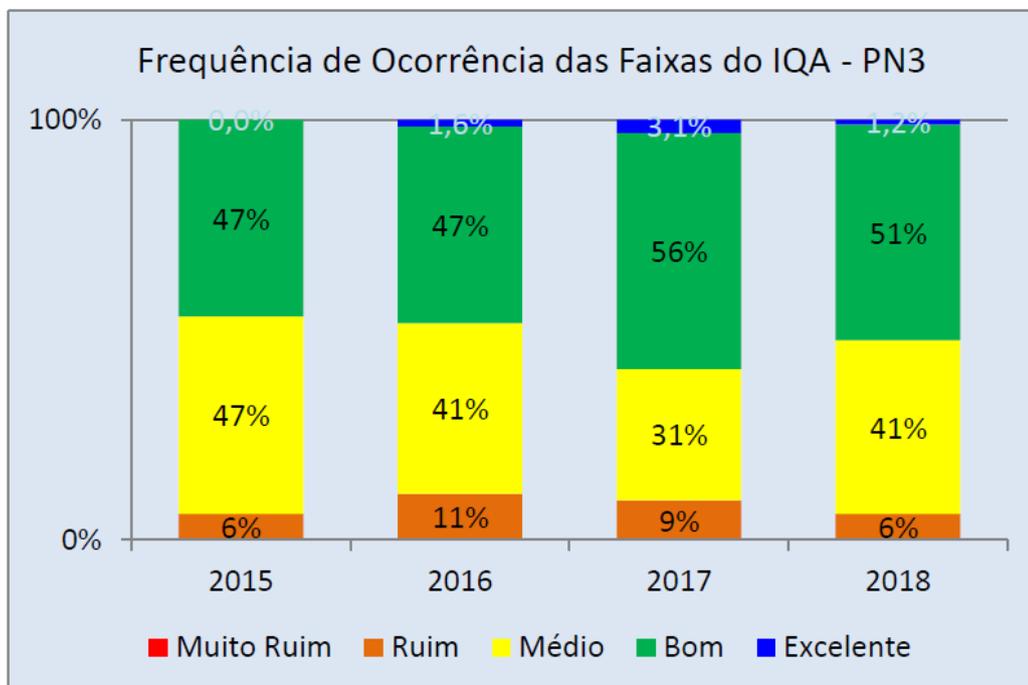


As áreas de conflito pelo uso da água indicam que há indisponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas, o que exige uma gestão diferenciada dos recursos hídricos. A formalização dessas áreas cria dificuldades de acesso legal à água aos novos usuários, o que inviabiliza novas captações de água superficial, exceto mediante processo de outorga coletiva. Assim, atribui-se às bacias da UPGRH PN3, em conflito formal pelo uso da água, o grau de vulnerabilidade muito alto, conforme proposto na metodologia desta tese.

3.1.8. Qualidade das águas superficiais

A qualidade das águas superficiais da UPGRH PN3 pode ser analisada, inicialmente, por meio de uma comparação entre os anos de 2015 a 2018, conforme apresentado pelo IGAM (2019a). Embora a presente análise contemple além do IQA, a CT, o IET e os parâmetros fora dos limites legais, a distribuição percentual dos anos 2015 a 2018 refere-se somente ao IQA. A partir da Figura 15, o IQA da UPGRH PN3 como um todo piorou do ano de 2018 em relação ao ano de 2017, porém a qualidade muito ruim não ocorre nesse período (IGAM, 2019a).

Figura 15. Distribuição percentual do IQA da UPGRH PN3 para os anos de 2015 a 2018.



Fonte: IGAM (2019a).

Conforme o IGAM (2019a), a partir da comparação da média do IQA de 2018 com o IQA de 2017, houve melhoria no rio Arantes, sobretudo no seu afluente da margem esquerda,

o rio São Domingos (PB053), em que as águas eram de qualidade média e, em 2018, passou para qualidade boa. No entanto, as condições que se apresentaram piores (qualidade ruim), em pelo menos em uma campanha amostral, foram: rio Douradinho, rio Dourado (PB047), rio da Prata (PB050) e rio São Jerônimo (PB051). Especificamente para todo o ano de 2018, o resultado do IQA variou de bom, em sete pontos, para médio, em nove pontos amostrais.

A CT dos pontos amostrais apresentou-se baixa em praticamente todos os cursos d'água monitorados (resultados positivos), sendo as exceções o rio São Domingos (PB033), afluente do rio Arantes, que obteve uma classificação média, e o rio Tijuco (PB046), com classificação alta (resultado negativo). Em relação ao IET, em 10 pontos, os resultados obtidos pelas análises foram oligotróficos, sendo o restante determinado como mesotrófico. Ademais, mesmo que alguns parâmetros não tenham sido atendidos pelos limites do CONAMA (2005), todos os cursos d'água foram enquadrados como classe 2, conforme a referida resolução (Quadro 30).

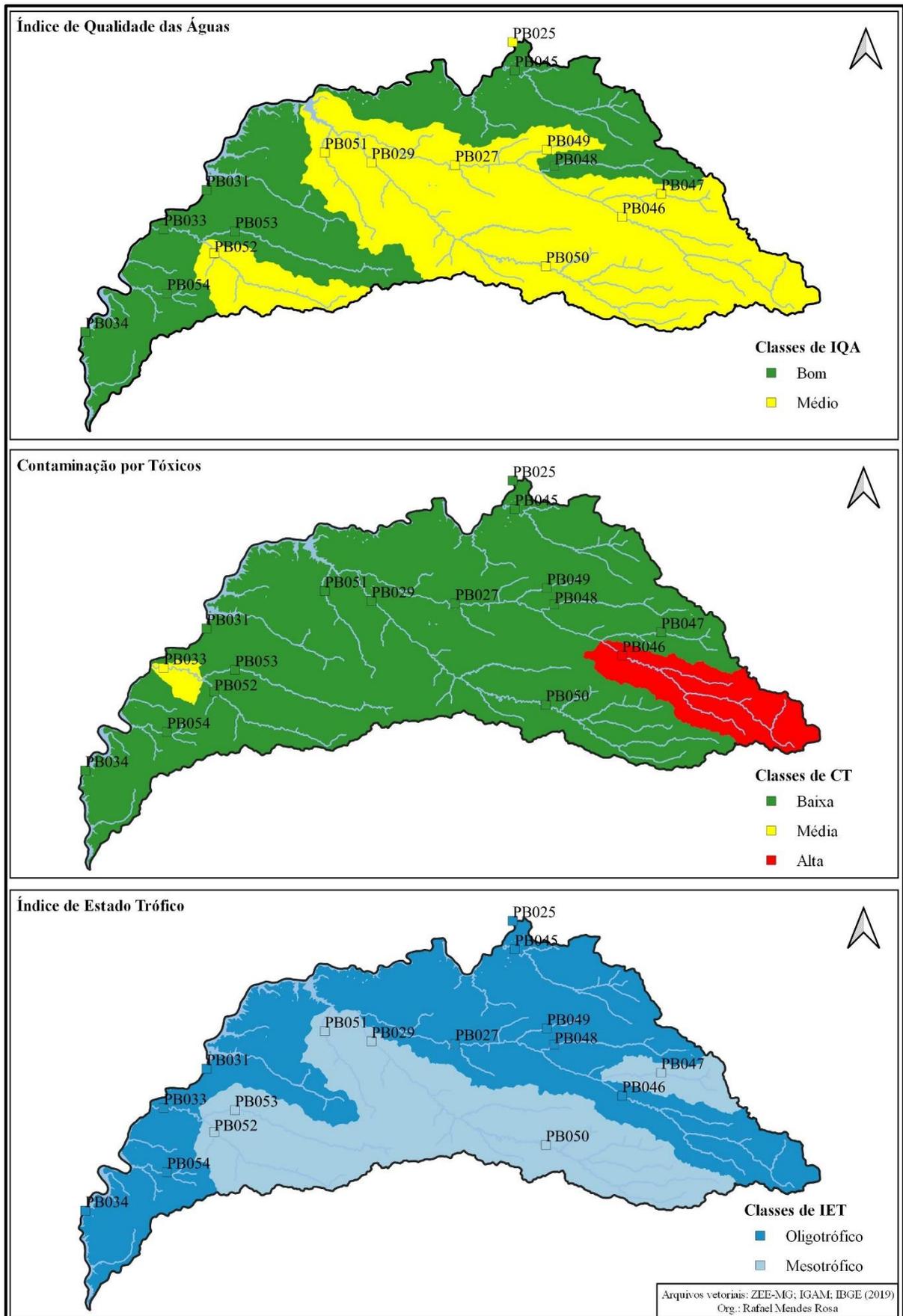
Quadro 30. Resultados dos pontos de monitoramento da UPGRH PN3.

Corpo d'água	Estação	Município	Indicadores			Parâmetros fora do padrão legal			Classe de enquadramento
			IQA	CT	IET	Contaminação fecal	Enriquecimento orgânico	Substâncias tóxicas	
Ribeirão Monte Alegre	PB049	Monte Alegre de Minas	58,5	Baixa	51,7	<i>Escherichia coli</i>	-	-	Classe 2
Ribeirão Volta Grande	PB054	Limeira do Oeste	72,2	Baixa	49,8	-	-	-	Classe 2
Rio Arantes	PB053	União de Minas	70,8	Baixa	54,1	-	-	-	Classe 2
Rio Babilônia	PB048	Monte Alegre de Minas	70,9	Baixa	51,1	-	-	-	Classe 2
Rio da Prata	PB029	Gurinhata, Ituiutaba	68	Baixa	52,2	<i>Escherichia coli</i>	-	-	Classe 2
	PB050	Prata	57	Baixa	53,1	<i>Escherichia coli</i>	-	-	Classe 2
Rio Dourado	PB047	Uberlândia	61,4	Baixa	52,7	<i>Escherichia coli</i>	-	-	Classe 2
Rio Paranaíba	PB025	Araporã	66	Baixa	51,8	<i>Escherichia coli</i>	-	Zinco total	Classe 2
	PB031	Santa Vitória	70,7	Baixa	48,8	-	-	-	Classe 2
	PB034	Carneirinho	82,6	Baixa	50,1	-	-	Zinco total	Classe 2
Rio Piedade	PB045	Araporã	72,6	Baixa	50,1	-	-	-	Classe 2
Rio São Domingos	PB033	Limeira do Oeste, Santa Vitória	76,2	Média	50,6	-	-	Zinco total	Classe 2
	PB052	Limeira do Oeste	65,8	Baixa	52,8	<i>Escherichia coli</i>	-	-	Classe 2
Rio São Jerônimo	PB051	Gurinhata	64,2	Baixa	53,8	<i>Escherichia coli</i>	Fósforo total	-	Classe 2
Rio Tijuco	PB027	Ituiutaba	68,2	Baixa	52	<i>Escherichia coli</i>	Fósforo total	-	Classe 2
	PB046	Uberlândia	67,8	Alta	49,8	<i>Escherichia coli</i>	-	Zinco total	Classe 2

Fonte: Adaptado de IGAM (2019a).

A partir dos dados dos pontos de monitoramento para IQA, CT e IET, apresentados no quadro anterior, a Figura 16 contempla a síntese e a espacialização dos resultados das bacias hidrográficas da UPGRH PN3.

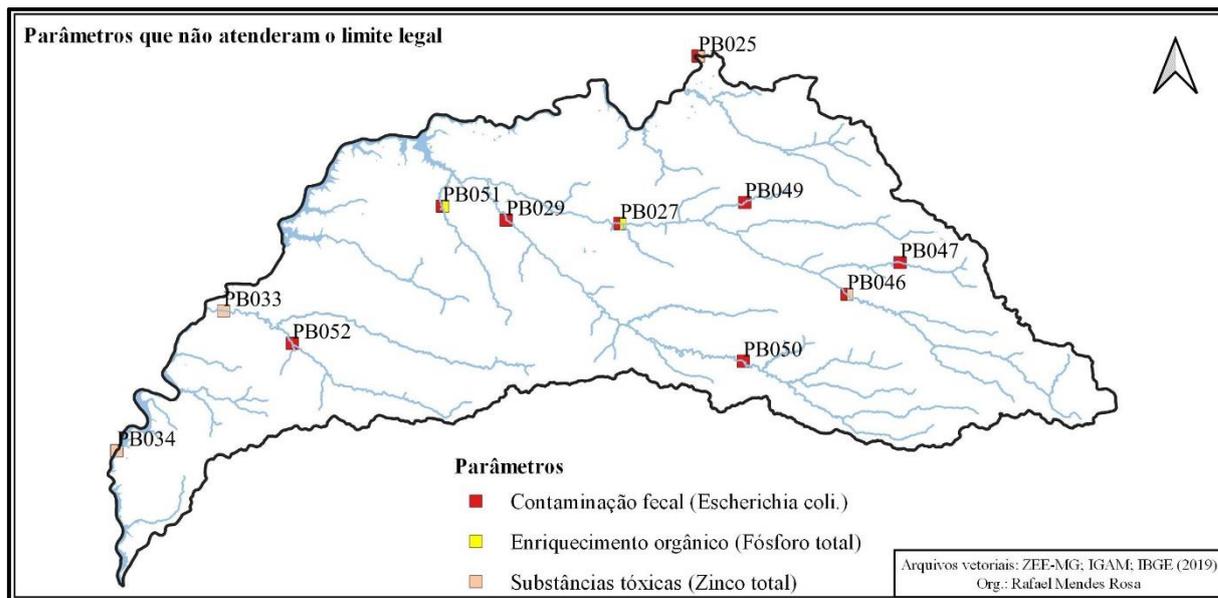
Figura 16. Indicadores de IQA, CT e IET da UPGRH PN3 conforme dados do IGAM (2019a).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sobre os parâmetros que não atenderam ao limite do CONAMA (2005), a contaminação fecal (*Escherichia coli*) é a mais significativa, pois o resultado se encontra em nove pontos de monitoramento, constituindo um problema da área como um todo. O enriquecimento orgânico, especialmente por fósforo total, um dos responsáveis pela eutrofização, está fora em dois pontos, e substâncias tóxicas, como o zinco total, em quatro pontos, conforme a Figura 17.

Figura 17. Parâmetros que não atenderam ao limite legal do CONAMA (2005) na UPGRH PN3.



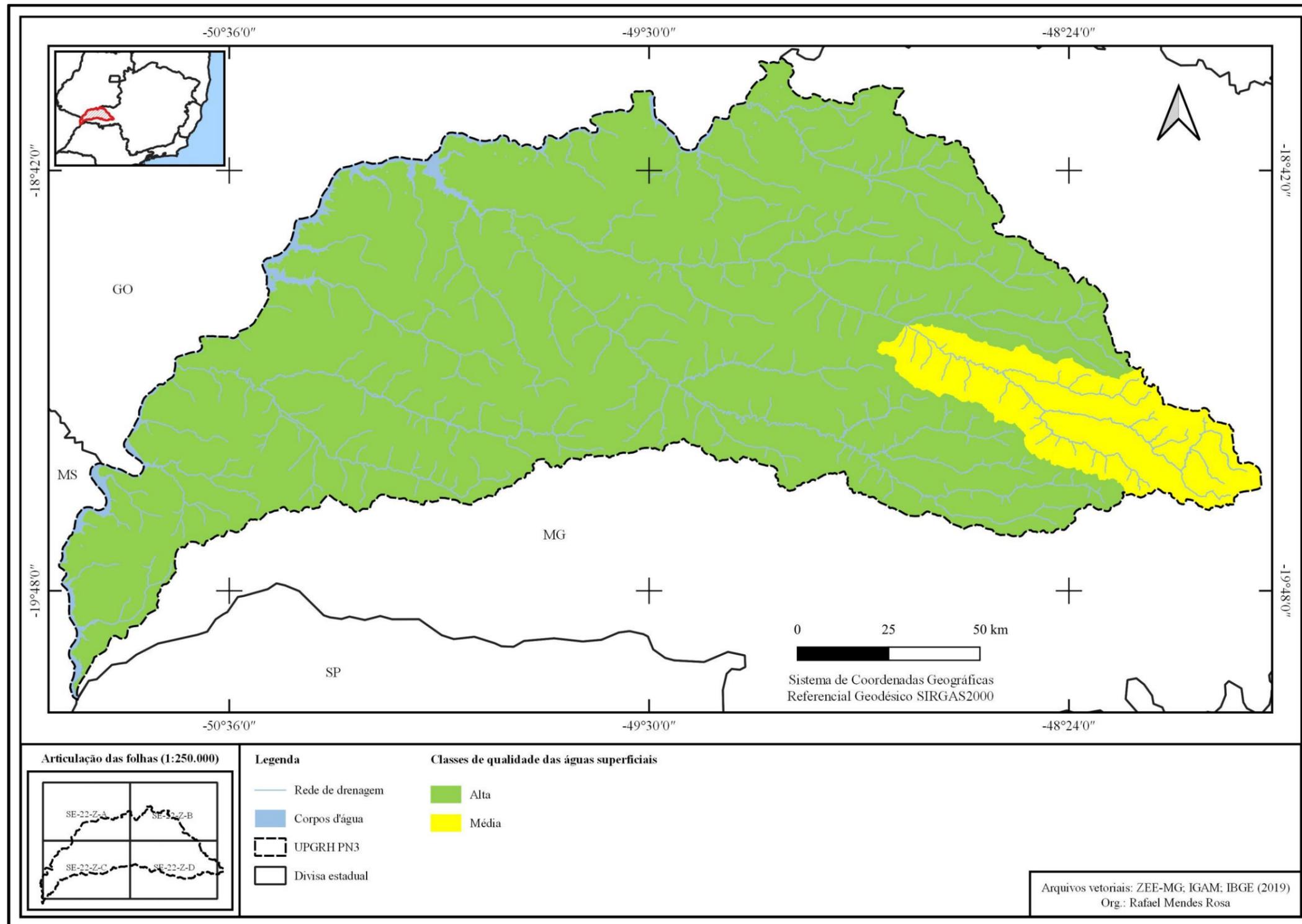
Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando todos os resultados apresentados da qualidade das águas superficiais da UPGRH PN3 (IQA, CT, IET e parâmetros fora do limite legal), o relatório do IGAM (2019a, p. 185) descreve as seguintes causas e soluções:

Os resultados verificados estão associados aos lançamentos de esgotos sanitários, sobretudo dos municípios de Ituiutaba, Monte Alegre de Minas, Prata, Gurinhatã e Limeira do Oeste, e às atividades de agropecuária. A qualidade das águas pode ter sido agravada também pelas atividades industriais desenvolvidas, principalmente, indústrias de cerâmica e laticínio. Além disso, as cargas difusas, os processos erosivos e o assoreamento também contribuem para impactar a qualidade das águas. Dessa forma, para que as águas sejam devolvidas às suas adequadas condições de qualidade, são necessários investimento em saneamento básico, melhoria na eficiência do tratamento dos efluentes industriais, manejo adequado do solo, preservação da vegetação marginal e ações de educação ambiental.

Diante do exposto, o Mapa 11 apresenta o resultado da sobreposição dos mapas de IQA, CT e IET, servindo como síntese da qualidade média das águas da UPGRH PN3.

Mapa 11. Qualidade das águas superficiais da UPGRH PN3.



De modo geral, o resultado demonstra que, em grande parte, a UPGRH PN3 possui águas superficiais com alta qualidade, com exceção das águas da bacia do alto rio Tijuco, que obteve uma qualidade média. A CT foi uma variável determinante nesse resultado, pois se constituiu no pior indicador, possivelmente devido à presença de usina sucroalcooleira e de cultivos de cana-de-açúcar nessa bacia. Nos demais cursos d'água, a CT foi baixa e, somente em um pequeno trecho, média, ao passo que o IQA e o IET não foram determinantes para diminuir a qualidade das águas. Esse resultado está compatível com a classificação do IGAM (2019a), classe 2 conforme o CONAMA (2005), cujas águas podem servir ao abastecimento público, após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas e recreação.

3.2. Levantamento das vulnerabilidades à perda de solos e das águas superficiais

3.2.1. Vulnerabilidade natural à perda de solos

A UPGRH PN3 é composta por arenitos em 76,78% de seu território, cujo valor de estabilidade/vulnerabilidade de Crepani *et al.* (2001) é de 2,4. Considerando esse valor atribuído aos arenitos, uma porção significativa da área de estudo é moderadamente vulnerável. Já os basaltos, presentes em 20,21%, são classificados como moderadamente estáveis. Por fim, os depósitos aluviais e as coberturas indiferenciadas, bem menos representativos, possuem o maior valor de vulnerabilidade: 3,0 (vulnerável). A Tabela 4 expõe os valores atribuídos.

Tabela 4. Valores de vulnerabilidade das unidades geológicas da UPGRH PN3.

Unidades geológicas	Rochas principais	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
Depósitos aluviais				
Qa - Aluviões Holocênicos	Aluviões	95,15 km ²	0,36%	3,0
Coberturas indiferenciadas				
ENdl - Cobertura Detritico-Laterítica	Lateritas	156,16 km ²	0,58%	3,0
Grupo Bauru				
K2bm - Formação Marília	Arenitos	4.499,89 km ²	16,73%	2,4
K2bvp - Formação Vale do Rio do Peixe	Arenitos	16.141,09 km ²	60,02%	2,4
Grupo Caiuá				
K2csa - Formação Santo Anastácio	Arenitos	7,12 km ²	0,03%	2,4
Grupo São Bento				
Klôsg - Formação Serra Geral	Basaltos	5.435,87 km ²	20,21%	1,5
Corpos d'água	-	557,11 km ²	2,07%	-
Total	-	26.892,39 km ²	100%	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

O componente relevo da UPGRH PN3 apresentou quatro valores de vulnerabilidade, conforme Crepani *et al.* (2001). Por se tratar de uma adaptação do referido autor, as classes de relevo correspondem aos intervalos de declividade, estabelecidos objetivamente por Santos *et al.* (2018). Os valores baseiam-se na susceptibilidade a processos erosivos referentes à tangente de inclinação da superfície em relação a um plano horizontal, sendo quanto maior o percentual de declividade, maior a vulnerabilidade natural à perda de solos. A Tabela 5 exibe os valores de vulnerabilidade atribuídos às classes de declividade.

Tabela 5. Valores de vulnerabilidade das classes de declividade da UPGRH PN3.

Classes de relevo (declividade)	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
Plano (0% a 3%)	3.640,60 km ²	13,54%	1,0
Suave ondulado (3% a 8%)	13.832,61 km ²	51,44%	1,5
Ondulado (8% a 20%)	8.021,14 km ²	29,82%	2,0
Forte ondulado (20% a 45%)	840,93 km ²	3,13%	2,5
Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%	-
Total	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os solos da maior parte da UPGRH PN3 são considerados estáveis por 80,67% de seu território ser constituído de LATOSSOLOS VERMELHOS, uma vez que Crepani *et al.* (2001) atribuíram valor de 1,0 à referida classe. Os ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS, presentes em 13,96% da área de estudo, têm um valor intermediário (2,0), sendo atribuído o grau medianamente estável/vulnerável. As porções de maior vulnerabilidade são representadas pelos CAMBISSOLOS HÁPLICOS de valor 2,5 (moderadamente vulnerável), e as classes de maior vulnerabilidade, os GLEISSOLOS HÁPLICOS e os NEOSSOLOS LITÓLICOS, de valor 3,0 (vulnerável). Todos os valores de vulnerabilidade estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de vulnerabilidade das classes de solos da UPGRH PN3.

Classes de solos	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
CAMBISSOLOS HÁPLICOS			
CXbe - CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutróficos	162,84 km ²	0,61%	2,5
GLEISSOLOS HÁPLICOS			
GXbd - GLEISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos	1,41 km ²	0,01%	3,0
GXve - GLEISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos	259,85 km ²	0,96%	3,0

Continua

LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS			
LVAd - LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos	78,39 km ²	0,30%	1,0
LATOSSOLOS VERMELHOS			
LVd - LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos	16.908,71 km ²	62,88%	1,0
LVdf - LATOSSOLOS VERMELHOS Distroférricos	1.416,02 km ²	5,26%	1,0
LVw - LATOSSOLOS VERMELHOS Ácricos	918,96 km ²	3,42%	1,0
LVwf - LATOSSOLOS VERMELHOS Acriférricos	2.450,32 km ²	9,11%	1,0
ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS			
PVAd - ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos	3.684,27 km ²	13,70%	2,0
PVAe - ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos	71,46 km ²	0,26%	2,0
ARGISSOLOS VERMELHOS			
PVe - ARGISSOLOS VERMELHOS Eutróficos	192,38 km ²	0,71%	2,0
NEOSSOLOS LITÓLICOS			
RLd - NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos	59,67 km ²	0,22%	3,0
RLe - NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos	64,08 km ²	0,24%	3,0
NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS			
RQo - NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos	66,92 km ²	0,25%	3,0
Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%	-
Total	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir do diagnóstico das condições climáticas, foi possível estabelecer as classes de intensidade pluviométrica por meio da relação entre a pluviosidade média anual e a duração do período chuvoso. Assim, a base do cálculo da intensidade pluviométrica (mínima e máxima) é de Crepani *et al.* (2001), pois os autores indicam que boa parte da UPGRH PN3 apresenta de sete a nove meses de período chuvoso. A Tabela 7 demonstra que a variação da intensidade pluviométrica, por intervalos, não consistiu em uma diferença significativa, pois os valores atribuídos (1,6 e 1,7), com base em Crepani *et al.* (2001), são moderadamente estáveis.

Tabela 7. Valores de vulnerabilidade da intensidade pluviométrica da UPGRH PN3.

Precipitação média anual	Duração do período chuvoso	Intensidade pluviométrica		Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
		Mínima	Máxima			
1.250 – 1.300 mm	7 a 9 meses	138,88 mm	185,71 mm	800,04 km ²	2,97%	1,6
1.301 – 1.350 mm	7 a 9 meses	144,55 mm	192,85 mm	7.410,07 km ²	27,56%	1,6
1.351 – 1.400 mm	7 a 9 meses	150,11 mm	200,00 mm	4.098,07 km ²	15,24%	1,6
1.401 – 1.450 mm	7 a 9 meses	155,66 mm	207,14 mm	6.664,84 km ²	24,78%	1,7
1.451 – 1.500 mm	7 a 9 meses	161,22 mm	214,28 mm	5.596,48 km ²	20,81%	1,7
1.501 – 1.550 mm	7 a 9 meses	166,77 mm	221,42 mm	2.322,89 km ²	8,64%	1,7
Total	-	-	-	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

As classes de cobertura e o uso da terra da UPGRH PN3 apresentam discrepâncias nos valores de vulnerabilidade. A vegetação nativa é uma ocupação natural, por isso os valores de vulnerabilidade são consideravelmente inferiores aos de usos da terra (agricultura, pastagens, entre outros). Baseado em Crepani *et al.* (2001), atribuiu-se o valor de 1,7 (moderadamente estável) para a vegetação nativa. Os demais valores variam de 2,6 (moderadamente vulnerável) a 2,8 (vulnerável), pois as alterações antrópicas provocam as maiores vulnerabilidades. A Tabela 8 apresenta os valores atribuídos às classes cobertura e uso da terra.

Tabela 8. Valores de vulnerabilidade das classes de cobertura e uso da terra da UPGRH PN3.

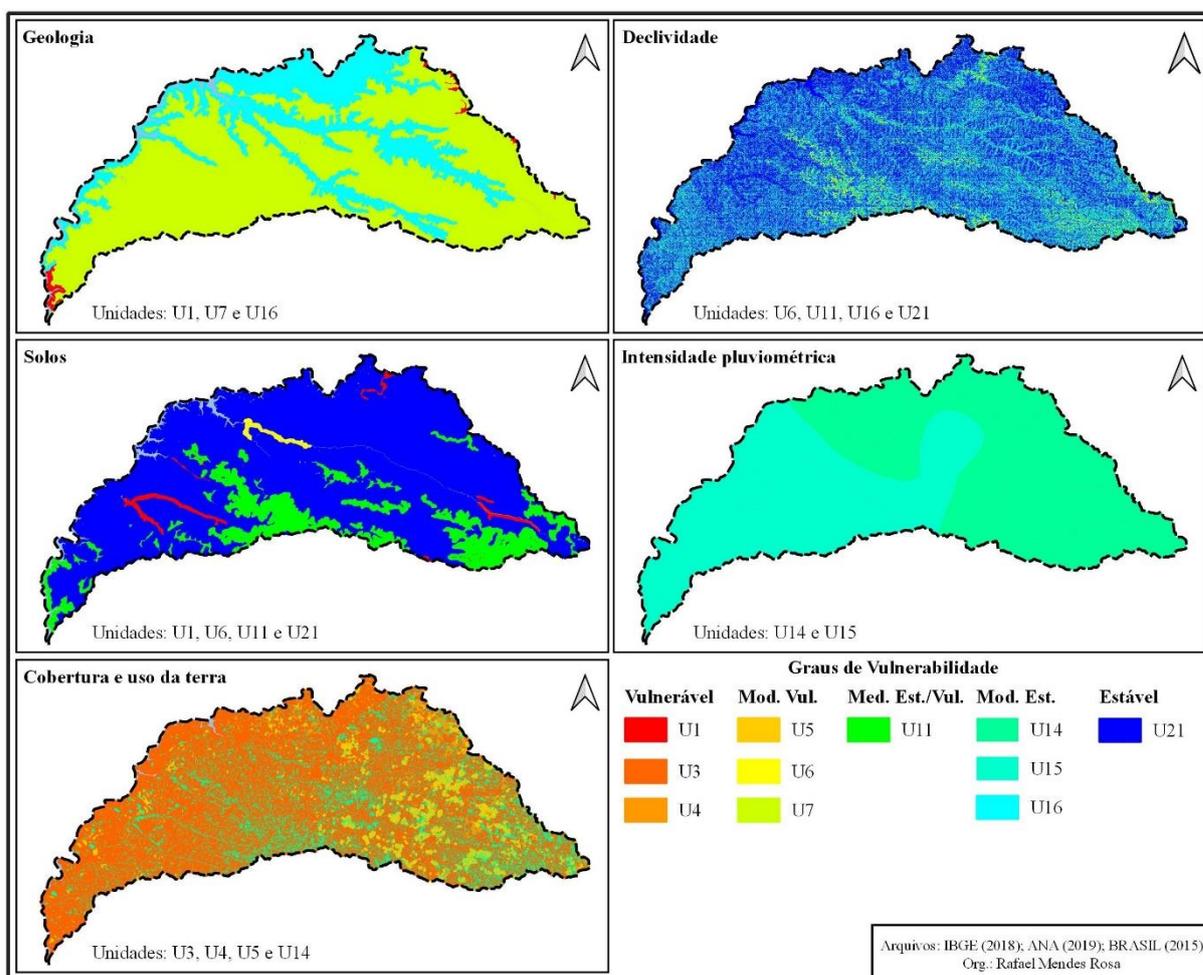
Classes de cobertura e uso da terra	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
Áreas urbanizadas	63,61 km ²	0,24%	2,8
Culturas temporárias	2.417,12 km ²	8,99%	2,7
Culturas permanentes	2.539,12 km ²	9,44%	2,6
Pastagens	15.429,21 km ²	57,38%	2,8
Silvicultura	551,08 km ²	2,05%	2,6
Vegetação nativa	5.335,14 km ²	19,83%	1,7
Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%	-
Total	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir das indicações dos valores de estabilidade/vulnerabilidade, conforme a escala estabelecida por Crepani *et al.* (2001), os componentes físico-geográficos podem apresentar 21 possibilidades (graus de vulnerabilidade). De modo geral, fica evidente que a declividade e os solos, se considerados isoladamente, são os componentes que possuem variáveis com tendência à estabilidade, ao passo que a camada de uso da terra apresenta variáveis com os maiores graus de vulnerabilidade. Ocorrem discrepâncias em relação à geologia, pois as diferenças nos valores de vulnerabilidade são significativas de uma rocha para outra. Já a intensidade pluviométrica é o componente mais homogêneo, devido à pouca variação da pluviosidade na UPGRH PN3.

De modo a representar esse resultado, a Figura 18 expõe a estabilidade/vulnerabilidade dos componentes físico-geográficos separadamente, ou seja, anteriormente à sobreposição de seus respectivos mapas (geologia, declividade, solos, intensidade pluviométrica e cobertura e uso da terra). A partir da metodologia de Crepani *et al.* (2001), 11 unidades de paisagem foram contempladas pelos cinco mapas, abrangendo desde a unidade com a maior estabilidade (U21) até a unidade de maior vulnerabilidade (U1). Unidades intermediárias também estão presentes, contemplando, assim, todos os graus possíveis de estabilidade/vulnerabilidade.

Figura 18. Vulnerabilidade dos componentes físico-geográficos da UPGRH PN3.

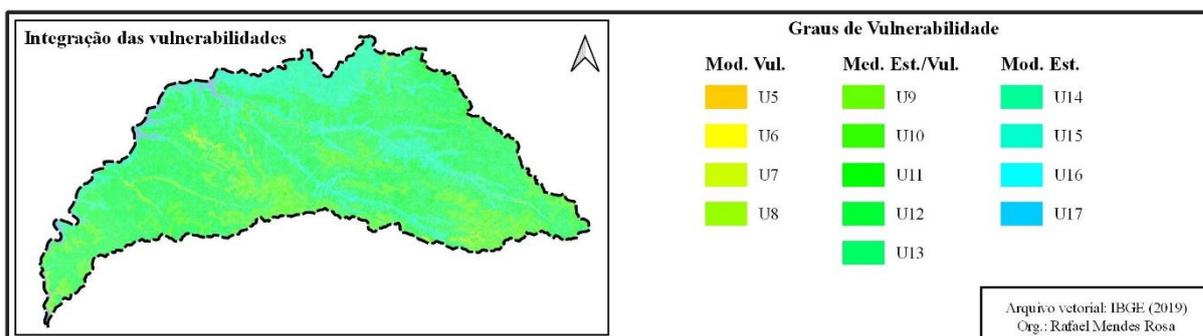


Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a realização do procedimento de sobreposição das estabilidades/vulnerabilidades dos componentes físico-geográficos, a UPGRHP PN3 resumiu-se a 13 unidades de paisagem, de Crepani *et al.* (2001). Utilizou-se a calculadora *raster* do *software* QGIS 3.4.13 with GRASS 7.6.1, cujos valores das unidades dos componentes físico-geográficos foram somados e, em seguida, divididos pela quantidade de componentes, no caso, dividido por cinco. Dessa maneira, foram obtidas 13 categorias (unidades de paisagem), mas com a agregação das unidades, prevaleceram somente três graus de estabilidade/vulnerabilidade.

A partir do processamento no *software* QGIS 3.4.13 with GRASS 7.6.1, esses três graus de estabilidade/vulnerabilidade correspondem às áreas moderadamente estáveis, medianamente estáveis/vulneráveis e moderadamente vulneráveis, de acordo com Crepani *et al.* (2001). Com a realização do procedimento de sobreposição dos cinco mapas, destaca-se que todas as unidades de paisagem referentes às áreas medianamente estáveis/vulneráveis (U9, U10, U11, U12 e U13) estão presentes na UPGRH PN3, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19. Integração das vulnerabilidades dos componentes físico-geográficos da UPGRH PN3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para melhor análise e utilização do produto cartográfico da vulnerabilidade natural à perda de solos, realizou-se a agregação das unidades de paisagem inseridas em um dos três graus de estabilidade/vulnerabilidade. Como, na área de estudo, os graus estável e vulnerável não estão presentes, foram agrupadas as unidades que se encontram nos graus moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável e moderadamente vulnerável. Assim, a Tabela 9 indica as agregações realizadas em cada grau de estabilidade/vulnerabilidade.

Tabela 9. Unidades agregadas dos graus de vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3.

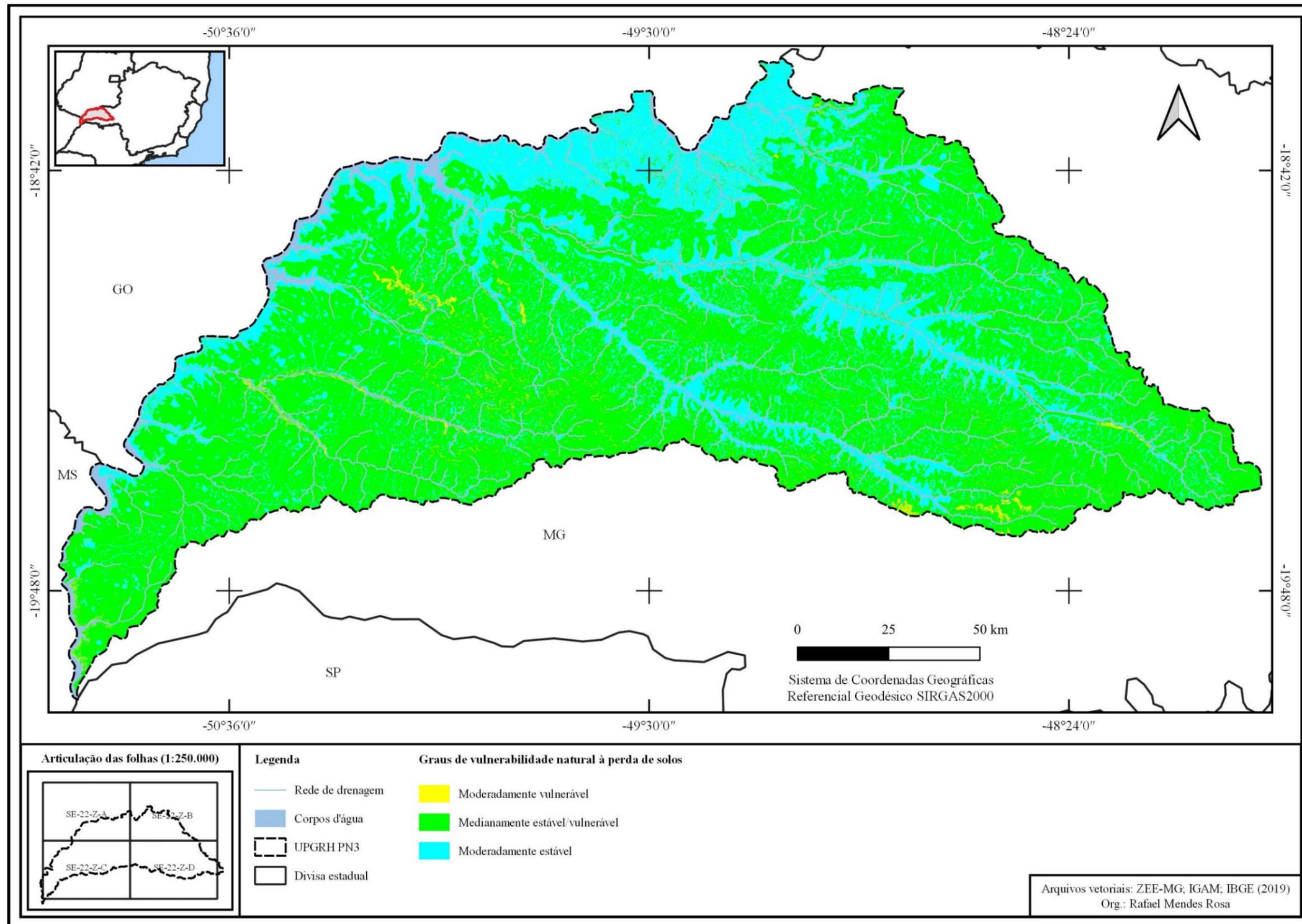
Graus de vulnerabilidade	Unidades agregadas*	Áreas	Percentuais
Moderadamente vulnerável	U5, U6, U7 e U8	304,83 km ²	1,13%
Medianamente estável/vulnerável	U9, U10, U11, U12 e U13	19.840,89 km ²	73,78%
Moderadamente estável	U14, U15, U16 e U17	6.189,56 km ²	23,02%
Corpos d'água	-	557,11 km ²	2,07%
Total	-	26.892,39 km ²	100%

* Unidades resultantes da média simples após a sobreposição dos componentes físico-geográficos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A UPGRH PN3 apresentou, em 73,78% de seu território, uma vulnerabilidade natural à perda de solos classificada como medianamente estável/vulnerável. Essa vulnerabilidade pode ser encontrada em porções dos divisores topográficos e vertentes das bacias hidrográficas de cursos d'água de até 4ª ordem. O grau moderadamente estável, presente em 23,02%, situa-se em áreas de relevo plano a suave, vales de rios de no mínimo 4ª ordem, além das áreas de vegetação nativa, que constitui uma cobertura de maior estabilidade. Convém ressaltar que o grau de maior vulnerabilidade à perda de solos na área de estudo é o moderadamente vulnerável, porém em apenas 1,13%, presente nas áreas mais declivosas, sendo insignificante no território da unidade de planejamento. Essas características podem ser observadas no Mapa 12, que apresenta o resultado da vulnerabilidade natural à perda de solos da área de estudo.

Mapa 12. Vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3.



Com o estabelecimento das vulnerabilidades de cada variável dos componentes físico-geográficos e, posteriormente, a sobreposição dos temas no *software* QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1, a vulnerabilidade à perda de solos revelou aspectos importantes, passíveis de análise, até para justificativa do resultado obtido. Enquanto a declividade, a maioria das classes de solos e a intensidade pluviométrica apresentaram tendência à estabilidade, grande parte das rochas e das classes de cobertura e uso da terra convergiram à vulnerabilidade. Diante da soma dos valores de vulnerabilidade e, em seguida, da divisão pela quantidade de componentes físico-geográficos, houve uma propensão aos graus intermediários. Para fins exemplificativos, o Quadro 31 demonstra situações que levaram ao resultado da sobreposição dos temas.

Quadro 31. Exemplos de sobreposições da vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3.

Geologia (rochas)	Classes de relevo (declividade)	Classes de solos	Intensidade pluviométrica	Cobertura e uso da terra	Cálculos da estabilidade/vulnerabilidade	Resultados (Crepani <i>et al.</i> , 2001)
Arenitos	0% a 20%	NEOSSOLOS	1.501 – 1.550 mm	Pastagem	$\frac{(2,4 + 2,0 + 3,0 + 1,7 + 2,8)}{5} = 2,3$	U8 (Moderadamente vulnerável)
Arenitos	3% a 8%	LATOSSOLOS	1.301 – 1.350 mm	Pastagem	$\frac{(2,4 + 1,5 + 1,0 + 1,6 + 2,8)}{5} = 1,8$	U13 (Medianamente estável/vulnerável)
Basaltos	3% a 8%	LATOSSOLOS	1.401 – 1.450 mm	Culturas temporárias	$\frac{(1,5 + 1,5 + 1,0 + 1,7 + 2,7)}{5} = 1,6$	U15 (Moderadamente estável)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se que, de forma pontual, algumas variáveis foram decisivas para determinar a estabilidade/vulnerabilidade da UPGRH PN3, como as diferentes rochas para definir as áreas moderadamente estáveis e medianamente estáveis/vulneráveis e a classe de solo para obtenção das áreas moderadamente vulneráveis. Entre as áreas moderadamente estáveis e medianamente estáveis/vulneráveis, os valores de vulnerabilidade atribuídos às variáveis são similares, exceto para as rochas. Com o valor de 1,5 atribuído aos basaltos e 2,4, aos arenitos, o cálculo enquadrou o grau moderadamente estável para porções onde se encontram os basaltos e medianamente estável/vulnerável onde predominam-se arenitos. As áreas moderadamente vulneráveis tiveram a propensão ao referido grau de enquadramento devido ao valor 3,0 ter sido imposto à classe dos NEOSSOLOS, variável essa que influenciou o resultado em áreas bastante restritas.

Os graus de maior ocorrência na UPGRH PN3 (moderadamente estável e medianamente estável/vulnerável) possuem certa tendência a seguir limites estabelecidos por tipos de rochas e também pela cobertura vegetal nativa. As áreas moderadamente estáveis, por exemplo, ocorrem basicamente onde predominam os basaltos. De modo fragmentado, esse grau de estabilidade/vulnerabilidade também está presente onde há cobertura vegetal nativa. As áreas medianamente estáveis/vulneráveis localizam-se, em geral, nas porções onde há predomínio de

arenitos. A cobertura vegetal não foi determinante nesse caso, pois apresentou-se com tendência a estabilidade (moderadamente estável).

3.2.2. Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais

A disponibilidade natural das águas superficiais das principais bacias hidrográficas da UPGRH PN3 apresenta as cinco classes de vulnerabilidade possíveis, sendo: quanto maior a disponibilidade (considerando a $Q_{7,10}$), menor a vulnerabilidade. É importante destacar que as classes antagônicas muito baixa e muito alta apresentam os maiores percentuais: 28,50% e 28,02%, respectivamente. Essas condições revelam situações opostas em significativas porções da área de estudo, o que indica uma heterogeneidade quanto à disponibilidade das águas.

Enquanto as áreas de maior vulnerabilidade (classe muito baixa) não são contíguas, presentes na maioria das bacias hidrográficas cujo curso d'água principal é de até 5ª ordem, a área de menor vulnerabilidade (classe muito alta) concentra-se em parte da bacia do rio Tijuco, que também apresenta a classe alta para a bacia hidrográfica de um de seus afluentes, o rio da Prata. De modo a completar os resultados, os valores de vulnerabilidade referente a cada classe de disponibilidade natural das águas superficiais estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Valores de vulnerabilidade da disponibilidade natural das águas superficiais ($Q_{7,10}$) da UPGRH PN3.

Disponibilidade natural das águas superficiais ($Q_{7,10}$)	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
Muito baixa	7.664,45 km ²	28,50%	3,0
Baixa	1.759,20 km ²	6,54%	2,5
Média	3.554,11 km ²	13,22%	2,0
Alta	5.821,54 km ²	21,65%	1,5
Muito alta	7.535,98 km ²	28,02%	1,0
Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%	-
Total	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de vulnerabilidade das áreas de conflito pelo uso da água são basicamente atribuídos às bacias que possuem e não possuem conflito declarado. Ao todo, são sete áreas de conflito, sendo três na bacia hidrográfica do rio Piedade e outras quatro na bacia do ribeirão Douradinho, cuja soma representa 9,97% da área de estudo. Os outros 87,96% são bacias hidrográficas sem conflito declarado. Por isso, aplicou-se o valor máximo para as bacias em

conflito declarado e o mínimo para aquelas que não possuem conflito formalizado. Assim, para o procedimento de sobreposição considera-se que a UPGRH PN3 possui apenas duas bacias com conflito pelo uso da água (bacias do rio Piedade e ribeirão Douradinho). Os valores de vulnerabilidade relacionados às áreas de conflito pelo uso da água estão na Tabela 11.

Tabela 11. Valores de vulnerabilidade das áreas de conflito pelo uso da água da UPGRH PN3.

Áreas de conflito pelo uso da água	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
Bacias com conflito declarado	2.681,86 km ²	9,97%	3,0
Bacias sem conflito declarado	23.653,42 km ²	87,96%	1,0
Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%	-
Total	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

As águas superficiais apresentam uma qualidade alta em bacias que ocupam 88,90% da UPGRH PN3. Por isso, foi aplicado um valor de vulnerabilidade baixo nas bacias hidrográficas que possuem essa classificação. Somente na bacia do alto rio Tijuco, que representa 9,03% da área de estudo, foi atribuído um valor intermediário devido ao resultado da sobreposição dos dados de qualidade das águas. Assim, os valores de vulnerabilidade relacionados à qualidade das águas superficiais da UPGRH PN3 se encontram na Tabela 12.

Tabela 12. Valores de vulnerabilidade da qualidade das águas superficiais da UPGRH PN3.

Qualidade das águas superficiais	Áreas	Percentuais	Valores de vulnerabilidade
Alta	23.907,49 km ²	88,90%	1,5
Média	2.427,79 km ²	9,03%	2,0
Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%	-
Total	26.892,39 km²	100%	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos valores de vulnerabilidade atribuídos aos intervalos de cada componente físico-geográfico relacionado aos recursos hídricos da UPGRH PN3, foi realizada a integração dos temas com a calculadora *raster* do *software* QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1. Considerando a equação em que os valores de vulnerabilidade são somados e, posteriormente, divididos pela quantidade de componentes relacionados às águas superficiais, obteve-se a vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais. Destaca-se, que nesse caso, a divisão foi por três, por

justamente serem três os componentes (disponibilidade natural das águas superficiais, áreas de conflito pelo uso da água e qualidade das águas superficiais).

Após a obtenção do resultado do cálculo da referida equação, realizou-se a agregação dos valores de vulnerabilidade, sendo identificadas quatro classes de vulnerabilidade associada tanto à qualidade quanto à quantidade de águas superficiais (vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais). Destaca-se que somente a classe baixa necessitou de agregação por ser a única a apresentar dois valores de vulnerabilidade após o cálculo da equação. Dessa forma, as quatro classes (alta, média, baixa e muito baixa), juntamente com a indicação dos valores agregados, estão apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13. Valores agregados dos graus de vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3.

Vulnerabilidades	Valores de vulnerabilidade agregados*	Áreas	Percentuais
Alta	2,4	1.759,20 km ²	6,54%
Média	1,9	8.587,11 km ²	31,93%
Baixa	1,4 e 1,5	11.803,44 km ²	43,90%
Muito baixa	1,2	4.185,53 km ²	15,56%
Corpos d'água	-	557,11 km ²	2,07%
Total	-	26.892,39 km ²	100%

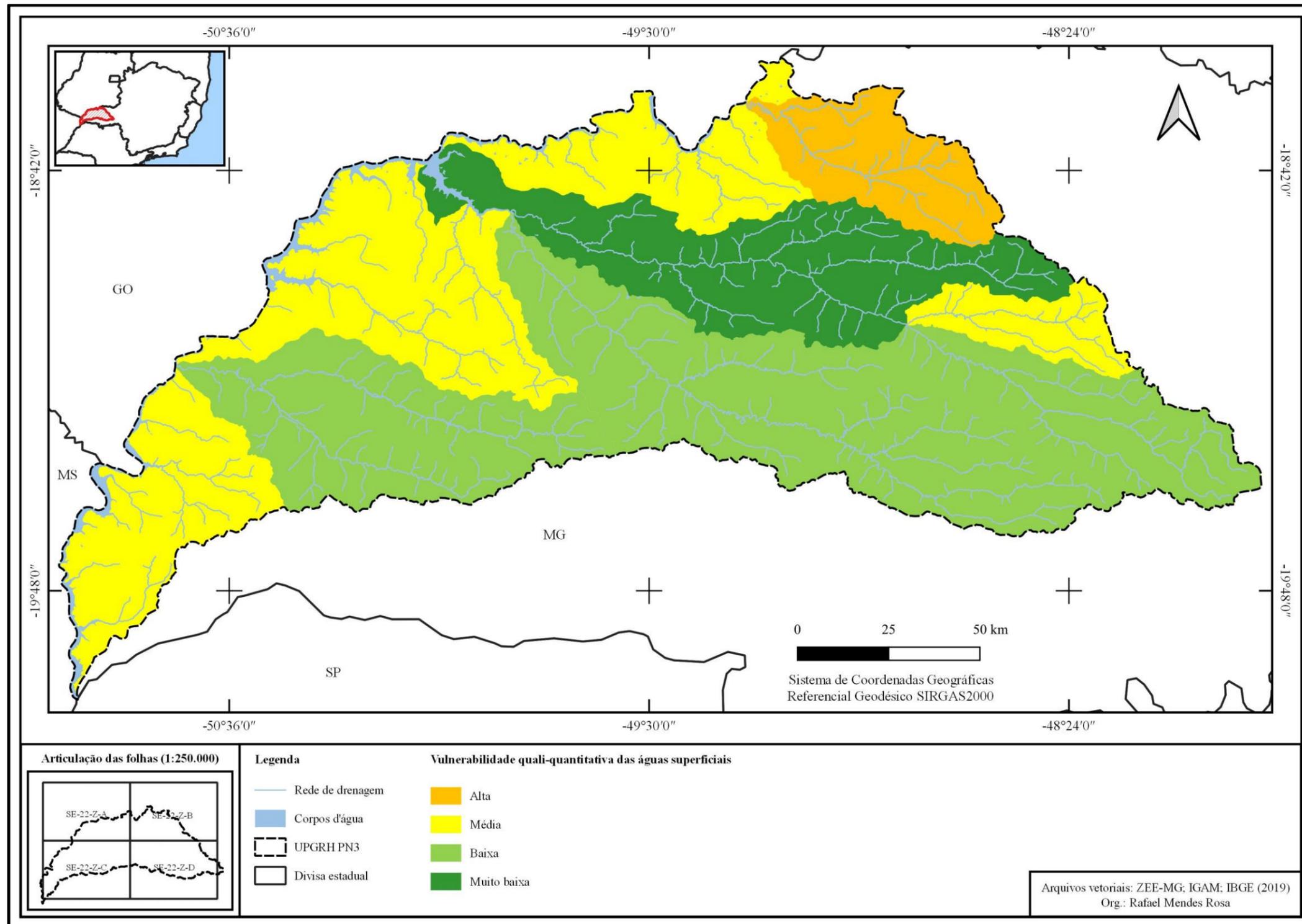
* Valores resultantes da média simples após a sobreposição dos componentes físico-geográficos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A vulnerabilidade alta, presente em 6,54% da UPGRH PN3, é encontrada somente na bacia do rio Piedade. As áreas de vulnerabilidade média, que abrangem 31,93% da área de estudo, representam bacias dos córregos da Formiga, Congonhas, Taboca, ribeirões da Reserva, da Lama, dos Patos, do Canal, São Jerônimo (porções oeste e central), além dos córregos do Brumado ou do Paiol, Condungo ou do Cerrado (norte) e ribeirão Douradinho (leste). Em 43,90%, tem-se a vulnerabilidade baixa, encontrada nas bacias dos rios Arantes (oeste), da Prata (central) e do alto rio Tijuco (leste). A vulnerabilidade muito baixa, presente em 15,56% do território da UPGRH PN3, está restrita a uma parte da bacia do rio Tijuco.

Esse resultado, obtido pela integração de dados de disponibilidade e qualidade das águas superficiais, indicam as bacias hidrográficas pertencentes à UPGRH PN3, que necessitam de ações específicas para a melhoria dos recursos hídricos. Nesse sentido, a bacia hidrográfica do rio Piedade consiste na porção territorial de maior vulnerabilidade, até mesmo comprovada por possuir as DACs mais antigas da área de estudo. Diante do exposto, o Mapa 13 apresenta a localização das vulnerabilidades quali-quantitativas das águas superficiais.

Mapa 13. Vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3.



Para justificar o resultado, algumas situações podem ser comparadas, como uma bacia que possui uma baixa disponibilidade natural de águas superficiais, possui DAC, porém a qualidade das águas é alta. Somando-se os valores de vulnerabilidade e dividindo-se por três, tem-se como resultado uma vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais alta. Com a utilização do *software* QGIS 3.4.13 *with* GRASS 7.6.1 para esse procedimento, alguns resultados podem ser exemplificados pelas sobreposições apresentadas no Quadro 32.

Quadro 32. Exemplos de sobreposições da vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3.

Disponibilidade natural das águas superficiais (Q _{7,10})	Áreas de conflito pelo uso da água	Qualidade das águas superficiais	Cálculos para obtenção da vulnerabilidade	Resultados
Baixa	Bacia em conflito	Alta	$\frac{(2,5 + 3,0 + 1,5)}{3} = 2,3$	Alta
Muito baixa	Bacia sem conflito	Alta	$\frac{(3,0 + 1,0 + 1,5)}{3} = 1,8$	Média
Média	Bacia sem conflito	Alta	$\frac{(2,0 + 1,0 + 1,5)}{3} = 1,5$	Baixa
Muito alta	Bacia sem conflito	Alta	$\frac{(1,0 + 1,0 + 1,5)}{3} = 1,1$	Muito baixa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os componentes de disponibilidade natural das águas superficiais e áreas de conflito pelo uso da água foram os mais importantes para obtenção dos resultados, visto que a qualidade alta das águas superficiais é relativamente homogênea na UPGRH PN3 (88,90%). Inclusive, na bacia hidrográfica do alto rio Tijuco, que ocupa 9,03% da área de estudo, e que possui uma qualidade média das águas superficiais, a sobreposição dos três temas não foi determinante para mudar o resultado final. Porém, destaca-se que essa condição ocorreu porque a área de estudo apresenta semelhanças na qualidade das águas. Assim, ao aplicar o procedimento em outra unidade de planejamento que apresente diferenças significativas na qualidade das águas entre as bacias, esse componente poderia indicar um resultado diferente ao apresentado nesta tese.

3.3. Áreas legalmente protegidas

As áreas legalmente protegidas da UPGRH PN3 abrangem Unidades de Conservação, Reservas Legais e APPs. Há uma Unidade de Conservação de Proteção Integral (Refúgio de Vida Silvestre dos Rios Tijuco e da Prata) e seis de Uso Sustentável (RPPNs), conforme a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que estabelece o SNUC (BRASIL, 2000). As Reservas Legais delimitadas são as averbadas e/ou aprovadas e as APPs foram delimitadas de acordo com a Lei

nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que instituiu o Novo Código Florestal (BRASIL, 2012). As ocupações e as áreas legalmente protegidas estão apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14. Ocupações das áreas legalmente protegidas e não protegidas.

Áreas legalmente protegidas	Nome	Áreas	Percentuais
Unidade de Conservação de Proteção Integral: Refúgio de Vida Silvestre	Refúgio de Vida Silvestre dos Rios Tijuco e da Prata (IEF)	97,50 km ²	0,36%
	Cambráia (IEF)	0,95 km ²	
	Arizona (IEF)	1,79 km ²	
Unidades de Conservação de Uso Sustentável: Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs)	Fazenda Ecológica (IEF)	1,19 km ²	
	Reserva Britagem São Salvador (IEF)	0,09 km ²	0,03%
	Reserva Félix (IEF)	0,80 km ²	
Reservas Legais	Reserva Ecológica do Panga (ICMBio)	4,09 km ²	
	Averbadas e aprovadas	1.848,29 km ²	6,88%
Áreas de Preservação Permanente (APPs)	Faixas marginais de cursos d'água e reservatórios artificiais, nascentes e encostas com declividade superior a 45°	1.279,94 km ²	4,76%
Demais áreas	Áreas não protegidas	23.100,64 km ²	85,90%
	Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%
Total	-	26.892,39 km ²	100%

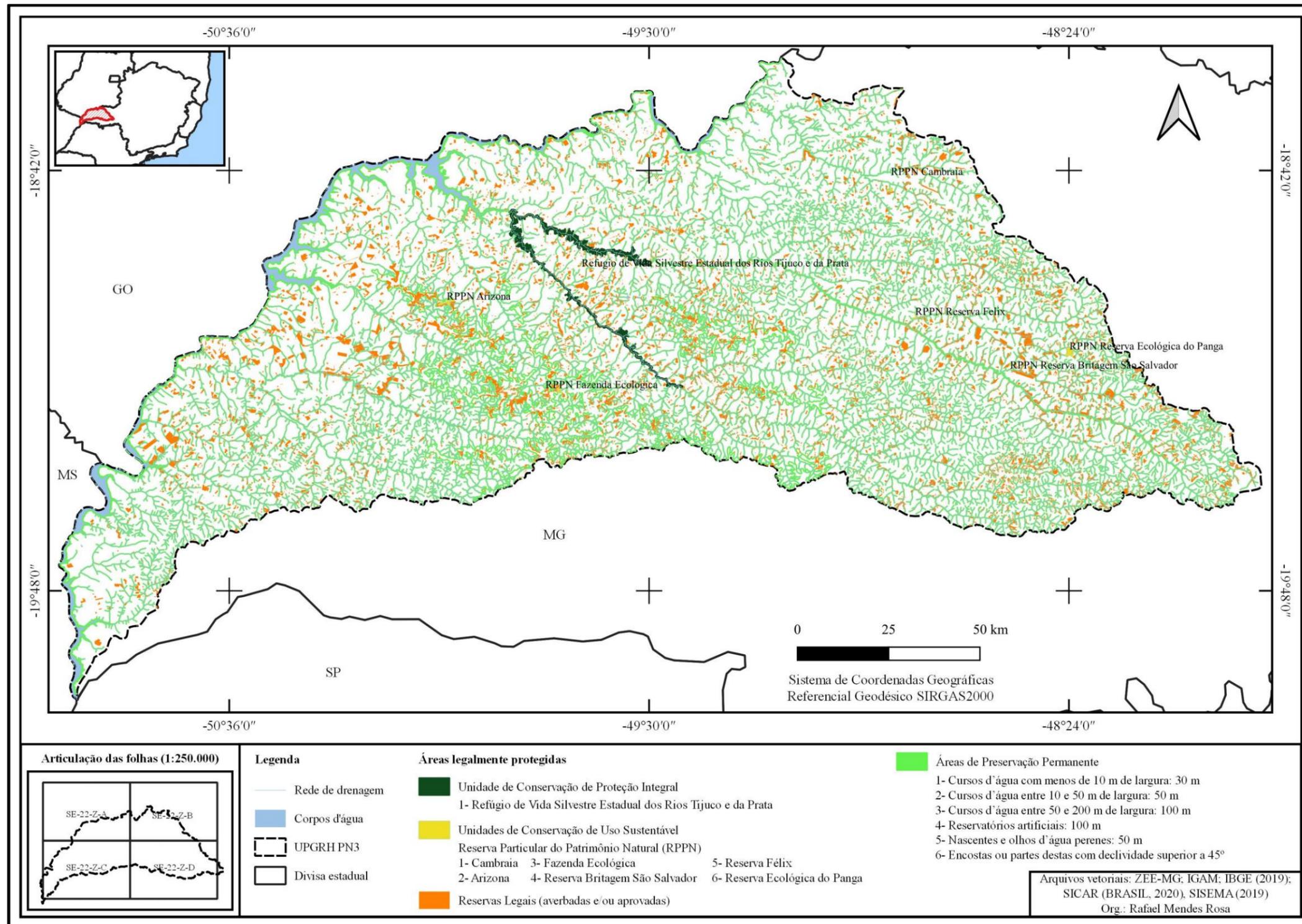
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre⁶⁹ Estadual dos Rios Tijuco e da Prata foi criada pelo Decreto nº 45.568, de 22 de março de 2011 (MINAS GERAIS, 2011a), alterado pelo Decreto nº 45.719, de 02 de setembro de 2011 (MINAS GERAIS, 2011b). Em relação às RPPNs⁷⁰, somente a Reserva Ecológica do Panga é Federal, reconhecida pela Portaria IBAMA nº 72, de 4 de junho de 1997 (IBAMA, 1997). Essa RPPN, pertencente à UFU, é utilizada para pesquisas e ensino e constitui a maior da UPGRH PN3. As outras cinco RPPNs (Cambráia, Arizona, Fazenda Ecológica, Reserva Britagem São Salvador e Reserva Félix) foram instituídas por Portarias do IEF, cuja soma de suas áreas é inferior à RPPN federal. Além das Unidades de Conservação, as demais áreas protegidas estão apresentadas no Mapa 14.

⁶⁹ O Art. 13 do SNUC estabelece que o “Refúgio de Vida Silvestre tem como objetivo proteger ambientes naturais onde se asseguram condições para a existência ou a reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória”.

⁷⁰ Conforme o Art. 21 do SNUC, a “Reserva Particular do Patrimônio Natural é uma área privada, gravada com perpetuidade, com o objetivo de conservar a diversidade biológica”.

Mapa 14. Áreas legalmente protegidas da UPGRH PN3.



A criação do Refúgio de Vida Silvestre Estadual dos Rios Tijuco e da Prata inviabilizou a implantação de PCHs previstas para a bacia do rio Tijuco, principalmente por ser um trecho de vulnerabilidade para a ictiofauna. Já as Unidades de Conservação de Uso Sustentável, as RPPNs, constituem reservas particulares, implantadas por iniciativa dos proprietários rurais, empresas ou instituições. Dessa forma, enquanto a gestão do Refúgio de Vida Silvestre dos Rios Tijuco e da Prata é do IEF, o manejo das RPPNs cabe aos proponentes das unidades, uma vez assumida a responsabilidade de conservação e de aproveitamento sustentável das áreas.

Conforme mencionado anteriormente, foram consideradas somente as Reservas Legais averbadas e aprovadas pelo CAR⁷¹ (BRASIL, 2020), visto que as demais ainda são passíveis de aprovação junto ao órgão ambiental. Já as APPs foram definidas a partir das larguras dos cursos d'água, das margens de reservatórios artificiais, das nascentes e dos olhos d'água perenes e das encostas com declividade superior a 45° (ou 100%).

Em relação às APPs definidas pela largura dos cursos d'água, é imposto uma restrição de 30 m, coincidentemente àqueles de até 4ª ordem na UPGRH PN3, por apresentarem largura inferior a 10 m. Os cursos d'água de 5ª ordem em diante, como o ribeirão da Reserva, os rios Arantes, Piedade e trecho do rio da Prata têm APPs de 50 m pelas larguras serem entre 10 e 50 m. As exceções são o baixo rio da Prata e o rio Tijuco, cujas larguras encontram-se entre 50 e 200 m, sendo que nesse caso a APP é de 100 m. Em todas as veredas e nascentes, deve-se ter obrigatoriamente faixa de 50 m. Às APPs dos reservatórios artificiais foram atribuídos cem metros, embora o Novo Código Florestal tenha alterado determinações anteriores⁷². As encostas com declividade superior a 45° correspondem a alguns trechos de escarpas das serras residuais.

A manutenção da APP antiga dos reservatórios artificiais deve permanecer para fins de ganho ambiental, visto que o retrocesso, caracterizado por Andrade (2017), tem apresentado impactos ambientais no entorno desses reservatórios. No caso particular do reservatório da UHE São Simão, analisado por Andrade (2017), a APP que era de cem metros passou para 80 cm (cota máxima maximorum), sendo que o restante da antiga faixa de APP de cem metros tem sido utilizado para criação de gado, cultivo e expansão da atividade sucroenergética. Ressalta-

⁷¹ O CAR, descrito no Art. 29 do Novo Código Florestal (BRASIL, 2012), corresponde a um “registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento”.

⁷² De acordo com o Art. 62 do Novo Código Florestal (BRASIL, 2012), “os reservatórios artificiais de água destinados a geração de energia ou abastecimento público que foram registrados ou tiveram seus contratos de concessão ou autorização assinados anteriormente à Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, a faixa da Área de Preservação Permanente será a distância entre o nível máximo operativo normal e a cota máxima maximorum”. Antes dessa lei, os reservatórios artificiais de empreendimentos hidrelétricos seguiam a determinação da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 302, de 20 de março de 2002, que prevê a implantação de faixas de APPs de cem metros.

se que as APPs (e também as Reservas Legais) não necessariamente apresentam cobertura vegetal nativa em suas extensões, o que indica ocupações irregulares nessas áreas protegidas.

3.4. Conflitos entre uso da terra, vulnerabilidades e áreas legalmente protegidas

3.4.1. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos

O resultado do conflito entre o uso da terra e a vulnerabilidade natural à perda de solos foi alto em 48,38% da UPGH PN3 (classe de maior representatividade), principalmente devido à presença de pastagens em áreas medianamente estáveis/vulneráveis. A segunda classe em abrangência, 23,79%, corresponde ao conflito médio, onde as pastagens encontram-se em áreas moderadamente estáveis, além de culturas (temporárias e permanentes) e silvicultura em áreas medianamente estáveis/vulneráveis. O conflito baixo, presente em 4,84%, localiza-se nas porções onde há culturas (temporárias e permanentes) e silvicultura em áreas moderadamente estáveis. Por fim, nas áreas urbanizadas, localizadas em terrenos medianamente estáveis, e pastagens, em áreas moderadamente vulneráveis, tem-se um conflito muito alto, em 1,07% da área de estudo. As áreas dos conflitos analisados estão apresentadas na Tabela 15.

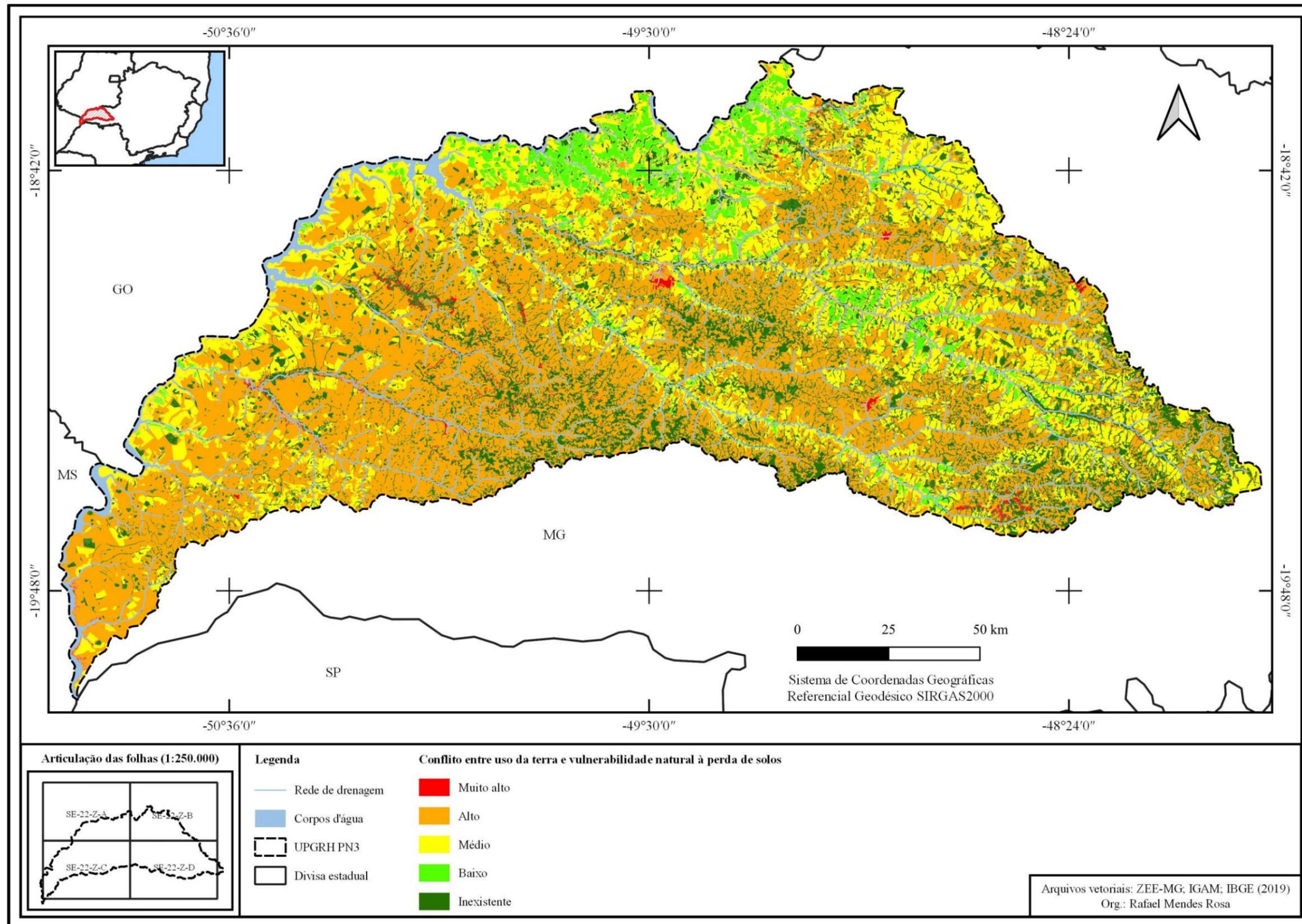
Tabela 15. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3.

Conflitos	Áreas	Percentuais
Muito alto	289,48 km ²	1,07%
Alto	13.011,06 km ²	48,38%
Médio	6.398,54 km ²	23,79%
Baixo	1.301,06 km ²	4,84%
Inexistente	5.892,25 km ²	21,92%
Total	26.892,39 km²	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os conflitos refletem as condições que cada uso da terra interfere no desencadeamento de processos erosivos, não somente nas pastagens, mas também nas culturas que não possuem manejo adequado e áreas urbanas com expansão desordenada. Contudo, a ocupação expressiva por pastagens, sobretudo aquelas mal manejadas, indica que se trata de áreas susceptíveis à perda de solos e, conseqüentemente, o carreamento dos sedimentos aos cursos d'água. Diante dessas considerações, todos os conflitos da UPGRH PN3 estão identificados no Mapa 15.

Mapa 15. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos da UPGRH PN3.



Conforme mencionado anteriormente, por meio da interseção dos componentes uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos, o conflito alto foi obtido pelas pastagens em áreas medianamente estáveis/vulneráveis. Santos e Baccaro (2004), por exemplo, apontam as influências das pastagens na bacia hidrográfica do rio Tijuco, concluindo que a implantação das mesmas contribuiu para a aceleração de processos erosivos. Nesse caso, os autores acrescentam que o manejo inadequado dos solos aumentou a susceptibilidade à erosão na referida bacia. Os demais usos da terra também se inserem nessa concepção, uma vez que, sem as ações de manejo a tendência é intensificar a vulnerabilidade à perda de solos na unidade de planejamento.

3.4.2. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais

O conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais demonstra que há uma reciprocidade entre os usos da terra e as vulnerabilidades das bacias hidrográficas. O conflito médio, presente em 46,23% da UPGRH PN3, ocorre onde as culturas permanentes estão em bacias com vulnerabilidade média, além das áreas urbanizadas, culturas, pastagens e silvicultura em bacias com vulnerabilidade baixa. O conflito alto, em 25,96%, incide onde há culturas permanentes, pastagens e silvicultura em bacias de vulnerabilidade alta, além de áreas urbanas, culturas temporárias e pastagens em bacias de vulnerabilidade média. O conflito muito alto, em 2,97%, ocorre onde as culturas temporárias são desenvolvidas na única bacia de vulnerabilidade alta e o conflito baixo, em 2,92%, onde as culturas e silvicultura estão nas bacias de vulnerabilidade baixa. Os dados dos conflitos encontram-se na Tabela 16.

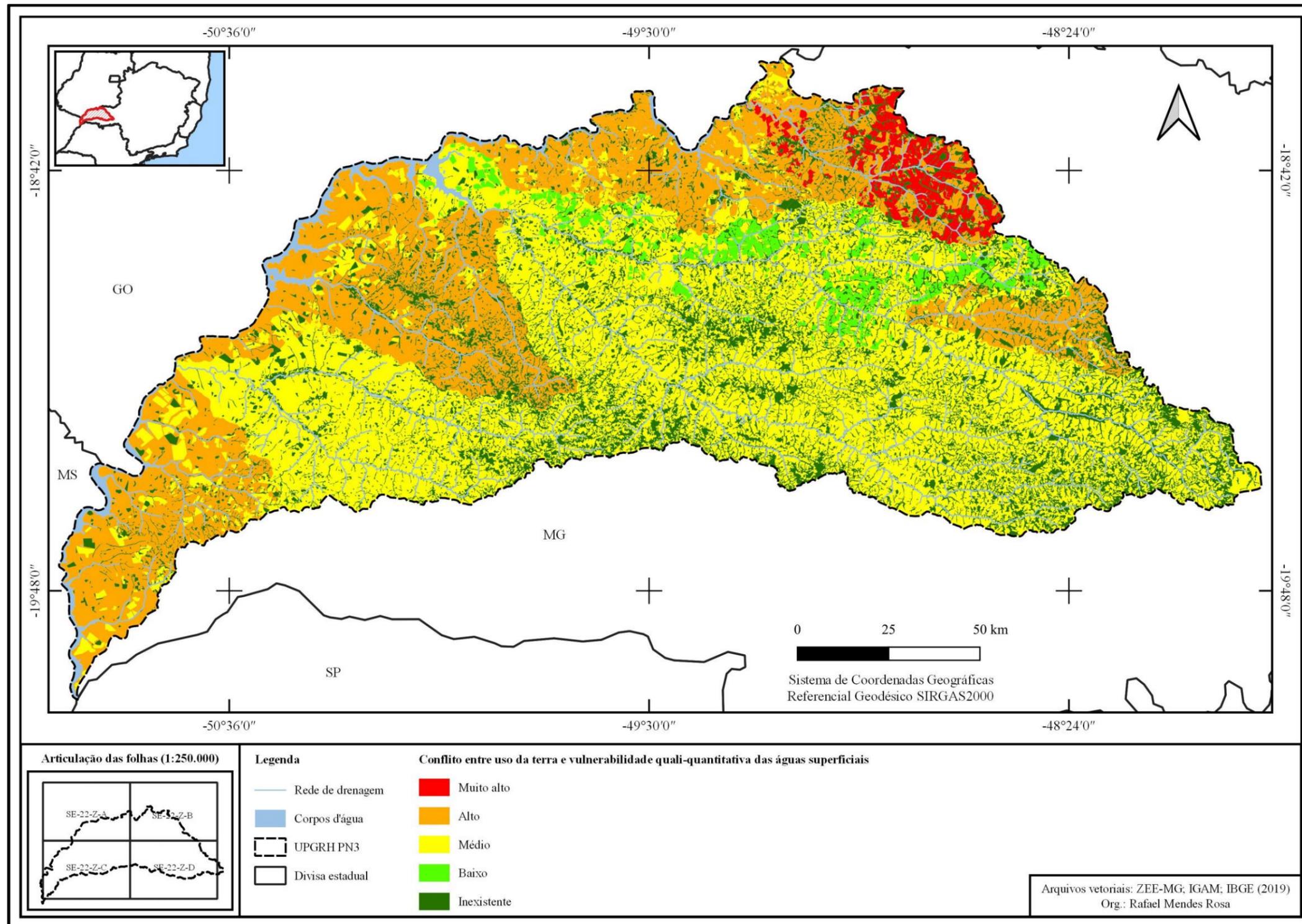
Tabela 16. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3.

Conflitos	Áreas	Percentuais
Muito alto	799,61 km ²	2,97%
Alto	6.980,78 km ²	25,96%
Médio	12.434,57 km ²	46,23%
Baixo	785,18 km ²	2,92%
Inexistente	5.892,25 km ²	21,92%
Total	26.892,39 km²	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Mapa 16 a seguir demonstra a espacialização dos conflitos na área de estudo.

Mapa 16. Conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais da UPGRH PN3.



Considerando o resultado dos conflitos, convém destacar que o uso da terra interfere, de algum modo, na qualidade e/ou na quantidade das águas superficiais e, ao mesmo tempo, o quanto a qualidade e/ou a quantidade desse recurso pode comprometer o desenvolvimento de atividades econômicas. As áreas com conflito muito alto, como ocorre na bacia do rio Piedade, refletem essa perspectiva, pois retrata a bacia de maior conflito pelo uso da água na UPGRH PN3. Na bacia do rio Piedade, há uma significativa demanda de água para as atividades econômicas, mas ocorre uma baixa disponibilidade de águas superficiais. Dessa forma, a pressão sobre os recursos hídricos constitui um conflito a ser identificado e mitigado por meio de ações de recuperação e manejo. Para sintetizar a ideia, foram estabelecidos os conflitos das bacias hidrográficas a partir da classe de maior conflito apresentada, conforme a Tabela 17.

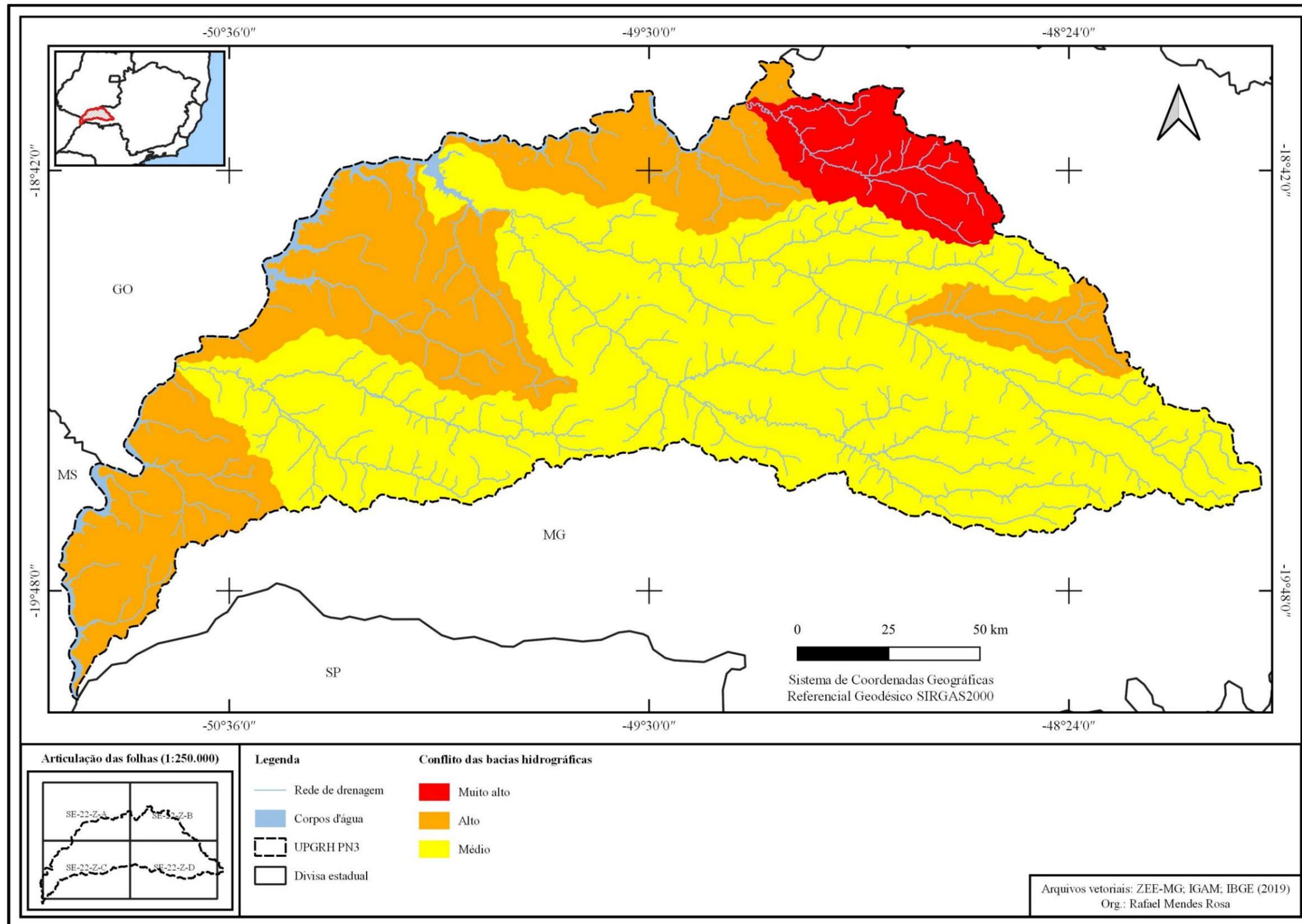
Tabela 17. Definição dos conflitos das bacias hidrográficas da UPGRH PN3.

Bacias hidrográficas	Conflitos entre uso da terra e águas superficiais	Áreas	Percentuais	Conflitos das bacias hidrográficas
Bacia do rio Piedade (1.759,20 km ²)	Muito alto	799,61 km ²	45,45%	Muito alto
	Alto	579,22 km ²	32,93%	
	Inexistente	380,37 km ²	21,62%	
Bacias dos rios Tijuco (parcialmente) e Arantes (15.988,97 km ²)	Médio	11.316,85 km ²	70,78%	Médio
	Baixo	783,27 km ²	4,90%	
	Inexistente	3.888,85 km ²	24,32%	
Bacia do ribeirão Douradinho (922,66 km ²)	Alto	566,69 km ²	61,43%	Alto
	Médio	66,70 km ²	7,22%	
	Baixo	1,91 km ²	0,20%	
Demais bacias hidrográficas (8.221,56 km ²)	Inexistente	287,36 km ²	31,15%	Alto
	Alto	5.834,87 km ²	70,97%	
	Médio	1.051,02 km ²	12,78%	
Total	-	26.892,39 km ²	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

O conflito muito alto da bacia hidrográfica do rio Piedade deve-se ao fato de que 45,45% de seu território constitui esse mesmo grau de conflito entre uso da terra e vulnerabilidade qualitativa das águas superficiais. Parte da bacia do rio Tijuco (incluindo a bacia de um de seus principais afluentes, o rio da Prata) e a totalidade da bacia do rio Arantes apresentam conflitos médios, que juntas representam 70,78% dessa porção da UPGRH PN3. O conflito alto foi determinado para a bacia do ribeirão Douradinho e as demais bacias da área de estudo por possuírem os maiores percentuais desse grau de conflito, respectivamente 61,43% e 70,97%. O Mapa 17 apresenta os graus de conflito para as bacias hidrográficas, considerando percentuais predominantes do conflito entre uso da terra e águas superficiais.

Mapa 17. Conflito das bacias hidrográficas da UPGRH PN3.



As classes de conflito obtidas pelo procedimento não refletem somente a disponibilidade das águas superficiais, mas também o quão os usos da terra podem ser impactantes, consistindo, portanto, em uma reciprocidade, conforme abordado anteriormente. As bacias que já possuem DACs, como a do rio Piedade e do ribeirão Douradinho, são aquelas que devem ter, indispensavelmente, ações voltadas à melhoria da qualidade ambiental, para que seja refletido na situação quali-quantitativa dos recursos hídricos. Assim, a definição dos conflitos visou identificar aquelas bacias hidrográficas que apresentam impactos significativos para estabelecer prioridades de ações de recuperação e manejo.

3.4.3. Conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas

O levantamento do conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas na UPGRH PN3 demonstrou que o conflito médio, em 3,02% da área de estudo, ocorre onde basicamente se encontram culturas (temporárias e permanentes) em Reservas Legais e APPs, pastagens em Reservas Legais e silvicultura em APPs. As pastagens em APPs correspondem ao conflito baixo em 2,12% e pequenas áreas de culturas na Unidade de Conservação, cerca 0,01% da UPGRH PN3, representam o conflito alto. Foi definido no procedimento de interseção que o conflito é inexistente quando as áreas legalmente protegidas apresentam vegetação nativa, condição essa que ocupa 6,88% da unidade planejamento (Tabela 18).

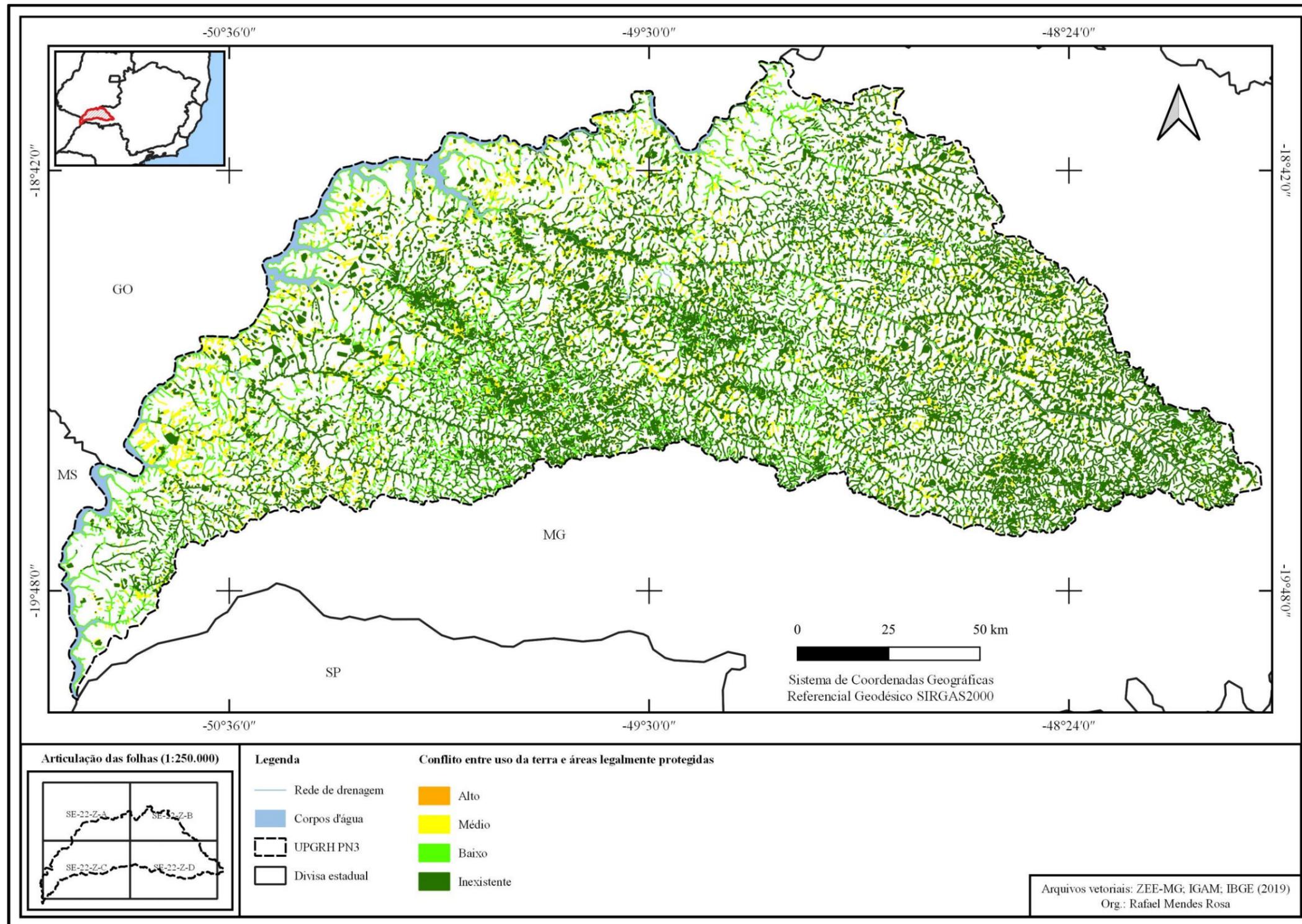
Tabela 18. Conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas da UPGRH PN3.

Conflitos	Áreas	Percentuais
Alto	2,66 km ²	0,01%
Médio	813,15 km ²	3,02%
Baixo	570,76 km ²	2,12%
Inexistente	1.848,07 km ²	6,88%
Demais áreas	23.657,75 km ²	87,97%
Total	26.892,39 km²	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o cálculo das áreas e os respectivos percentuais, convém destacar que as ocupações irregulares na UPGRH PN3 ocorrem em 42,86% das áreas legalmente protegidas, ao passo que os demais 57,14% consistem em cobertura vegetal nativa (conflito inexistente). As pastagens representam o uso da terra mais conflitante, seja em Unidades de Conservação, Reservas Legais ou APPs. Diante disso, o Mapa 18 demonstra o conflito abordado.

Mapa 18. Conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas da UPGRH PN3.



No caso da UPGRH PN3, os conflitos médio e baixo nas áreas legalmente protegidas, especialmente provocados pelas pastagens, consistem no problema a ser solucionado de modo mais imediato, pois as pastagens possuem as maiores ocupações conflituosas em APPs. Embora os conflitos provenientes das culturas (temporária e permanente) e silvicultura também estejam presentes em APPs e outras áreas legalmente protegidas, a recuperação pode não ter a mesma urgência das pastagens, visto que as ocupações irregulares por culturas e silvicultura são mais restritas em termos de área. As culturas situadas em áreas legalmente protegidas, por exemplo, apresentam os maiores graus de conflito, mas correspondem a áreas muito pequenas.

3.5. Proposição do zoneamento ambiental

A proposta de zoneamento ambiental da UPGRH PN3 considerou os critérios ecológico, econômico e legal. Com base no diagnóstico e integração dos componentes físico-geográficos, na delimitação de áreas legalmente protegidas e na identificação de conflitos (considerando o uso da terra como o principal componente nas interseções), foram constituídas duas zonas. A primeira, zona de conservação ou de intervenções recuperativas, corresponde às áreas protegidas, sendo estabelecida por condições ecológicas e legais. A outra, zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas, definida pelo aspecto econômico, refere-se às ocupações que se encontram estabelecidas e, simultaneamente, são voltadas às atividades econômicas desde que sejam implantadas práticas adequadas de manejo, além da adequação aos preceitos legais previstos.

Na zona de conservação ou de intervenções recuperativas, o estabelecimento do conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas permitiu a indicação das áreas com necessidade de recuperação e a respectiva urgência. Para a zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas, o conflito entre uso da terra e vulnerabilidade natural à perda de solos possibilitou o apontamento das aptidões e das restrições das atividades produtivas. O conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais demonstrou as bacias hidrográficas com prioridade à recuperação e ao manejo. Essa última determinação visa a organização do direcionamento das ações na unidade territorial estudada.

A vegetação nativa encontrada na zona de conservação ou de intervenções recuperativas deve continuar sendo preservada, ao passo que as áreas ocupadas por culturas (temporárias e permanentes), pastagens e silvicultura devem ser recuperadas. As áreas inaptas na zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas também devem ser recuperadas e aquelas consideradas aptas são passíveis de restrições, devendo-se empregar medidas adequadas à

qualidade ambiental. Dessa forma, foram estabelecidas subdivisões nas duas zonas, em que há diferentes urgências de recuperação (zona de conservação ou de intervenções recuperativas) e de restrição (zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas). Os cálculos das áreas e dos percentuais das subdivisões estão apresentados na Tabela 19.

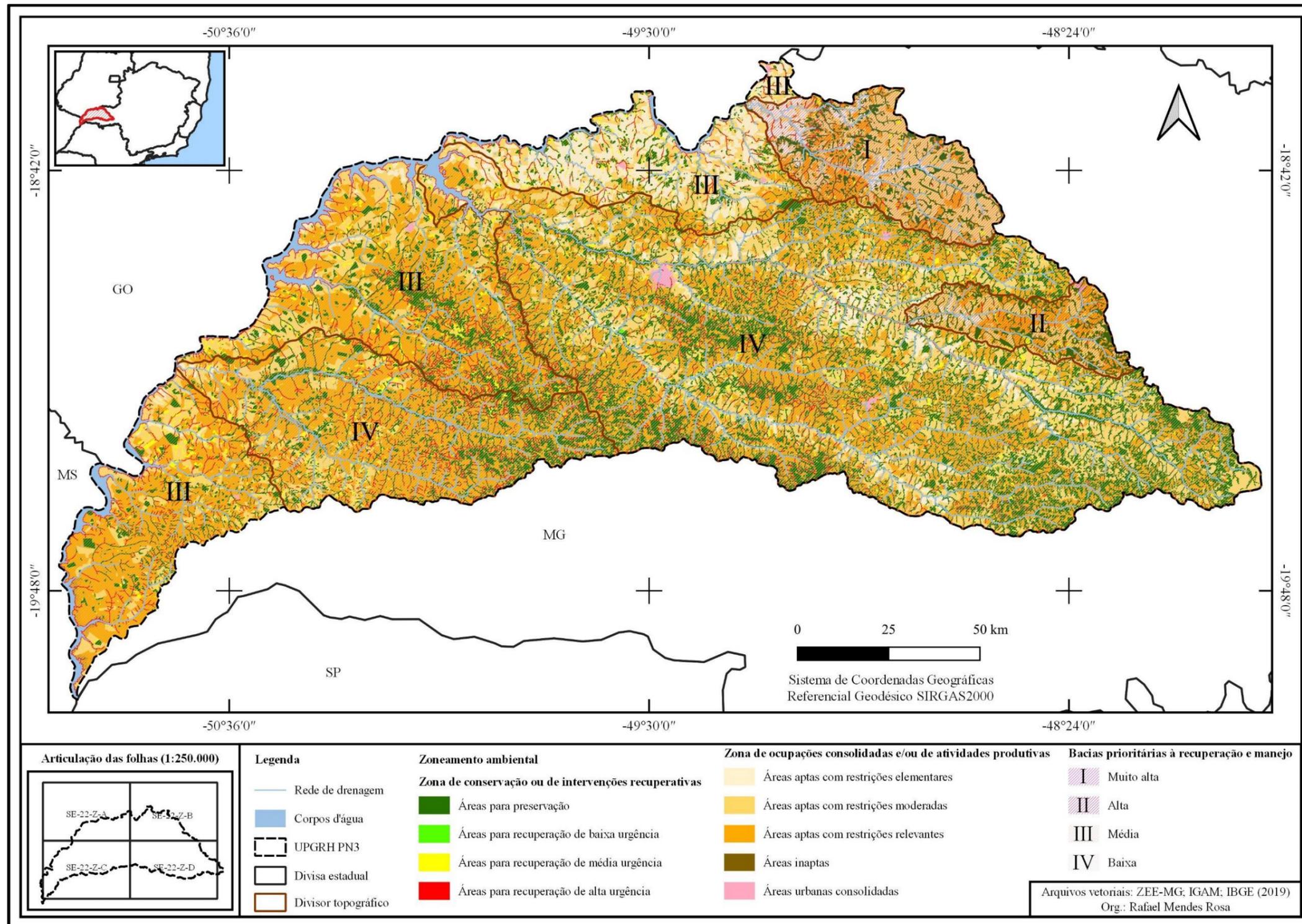
Tabela 19. Zonas e bacias prioritárias às ações de recuperação e manejo da UPGRH PN3.

Zona de conservação ou de intervenções recuperativas		
Subdivisão da zona (subzona)	Áreas	Percentuais
Áreas para preservação	5.335,14 km ²	19,84%
Áreas para recuperação de baixa urgência	1,27 km ²	0,01%
Áreas para recuperação de média urgência	953,29 km ²	3,54%
Área para recuperação de alta urgência	563,77 km ²	2,09%
Total	6.853,47 km²	25,48%
Zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas		
Subdivisão da zona (subzona)	Áreas	Percentuais
Áreas aptas com restrições elementares	1.076,45 km ²	4,01%
Áreas aptas com restrições moderadas	6.252,17 km ²	23,25%
Áreas aptas com restrições relevantes	11.890,15 km ²	44,22%
Áreas inaptas	199,43 km ²	0,74%
Áreas urbanas consolidadas	63,61 km ²	0,23%
Total	19.481,81 km²	72,45%
Corpos d'água		
Corpos d'água	557,11 km ²	2,07%
Total (zonas + corpos d'água)	26.892,39 km²	100%
Bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo		
Prioridades	Áreas	Percentuais
Muito alta (bacia do rio Piedade)	1.759,20 km ²	6,54%
Alta (bacia do ribeirão Douradinho)	922,66 km ²	3,43%
Média (demais bacias hidrográficas)	8.221,56 km ²	30,57%
Baixa (bacias dos rios Tijucu e Arantes)	15.988,97 km ²	59,46%
Total	26.892,39 km²	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

As áreas para recuperação da zona de conservação ou de intervenções recuperativas e as áreas aptas com restrições da zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas da bacia hidrográfica do rio Piedade devem ser prioritárias na UPGRH PN3. A bacia do ribeirão Douradinho é a segunda em prioridade, seguida das demais. A partir dos resultados e discussões apresentados, o Mapa 19 contempla o zoneamento ambiental da UPGRH PN3.

Mapa 19. Zoneamento ambiental da UPGRH PN3.



O zoneamento ambiental proposto consiste em uma ferramenta com sugestões objetivas ao planejamento e à gestão ambiental da UPGRH PN3. Com o estabelecimento das duas zonas, ações específicas de melhoria da qualidade ambiental de cada uma delas foram delineadas. A zona de conservação ou de intervenções recuperativas foi subdividida em quatro áreas e a zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas, em cinco, cuja organização dos trabalhos de recuperação e manejo deve ter como critério as bacias hidrográficas prioritárias à execução das medidas. Diante dessas considerações, estão descritas a seguir as características das áreas de cada zona e as diretrizes gerais a serem realizadas, porém específicas a cada delimitação.

3.5.1. Zona de conservação ou de intervenções recuperativas

3.5.1.1. Áreas para preservação

As áreas para preservação basicamente consistem na cobertura vegetal nativa existente, encontrada, em grande parte, nas áreas legalmente protegidas, como Unidades de Conservação, Reservas Legais e APPs. Do total de áreas ocupadas por vegetação nativa, 51,85% situa-se em áreas medianamente estáveis/vulneráveis, onde pastagens são predominantes e formas erosivas são encontradas. Parte considerável da vegetação nativa está nos terrenos de maior estabilidade, composta pelas áreas moderadamente estáveis, com 47,85% da cobertura vegetal. O restante, 0,30% da vegetação nativa, está em terrenos moderadamente vulneráveis, sobretudo próximo às escarpas dos relevos residuais. A Tabela 20 exhibe os percentuais de cobertura vegetal nativa a ser preservada em cada compartimento de vulnerabilidade natural à perda de solos.

Tabela 20. Cobertura vegetal nativa a ser considerada como áreas para preservação.

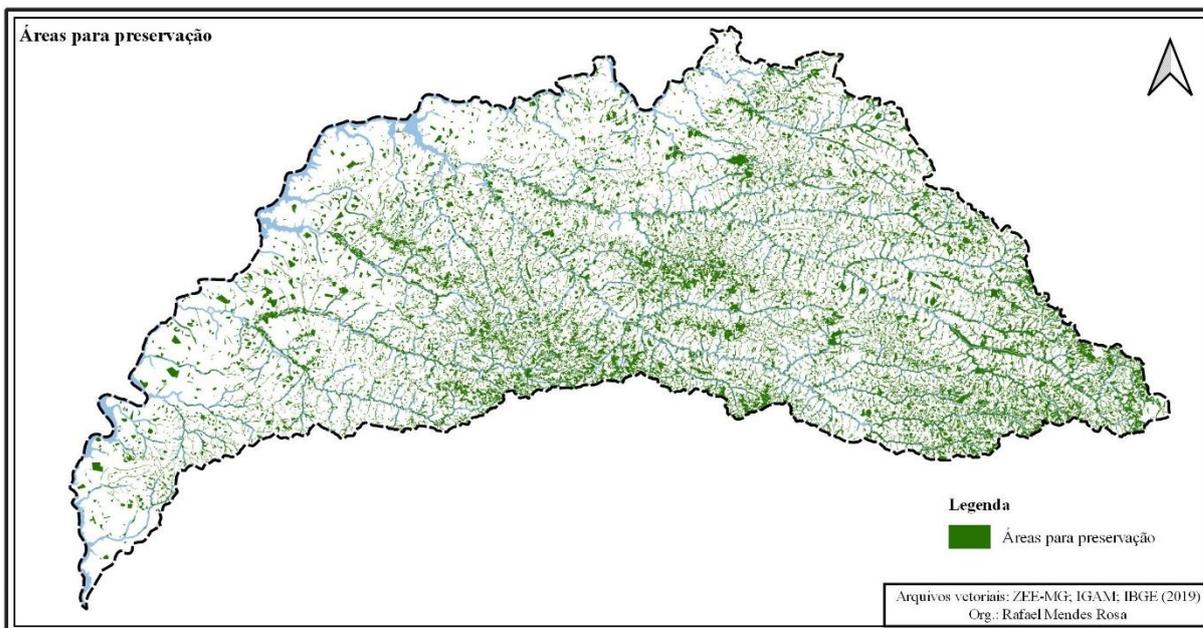
Cobertura da terra a ser preservada	Vulnerabilidades à perda de solos	Áreas	Percentuais
Vegetação nativa	Moderadamente vulnerável	16,03 km ²	0,30%
	Medianamente estável/vulnerável	2.766,14 km ²	51,85%
	Moderadamente estável	2.552,97 km ²	47,85%
Total		5.335,14 km ²	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a efetividade das áreas para preservação, têm-se a proteção dos habitats, a prevenção de processos erosivos, a melhoria da qualidade do ar e efetiva contribuição para a qualidade e a disponibilidade das águas. De modo geral, a cobertura vegetal nativa, considerada

para preservação no zoneamento ambiental proposto, se encontra bem distribuída na unidade de planejamento. Contudo, observa-se que a porção central e leste apresentam relativamente uma maior concentração de cobertura vegetal nativa, conforme demonstrado na Figura 20.

Figura 20. Áreas para preservação na UPGRH PN3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, destaca-se que embora a legislação ambiental permita intervenções em casos de utilidade pública⁷³, o intuito da definição das áreas para preservação é evitar desmatamentos, invasão de espécies exóticas e demais impactos físico-ambientais resultantes de manejo inadequado, constituindo porções voltadas à manutenção da cobertura vegetal nativa existente.

3.5.1.2. Áreas para recuperação de baixa urgência

As áreas para recuperação de baixa urgência são bastante restritas, ocorrentes em locais dispersos na Unidade de Conservação de Proteção Integral Refúgio de Vida Silvestre Estadual dos Rios Tijuco e da Prata. Em alguns trechos do entorno da referida Unidade de Conservação, o desenvolvimento de culturas encontra-se em parte dessa área legalmente protegida, sendo 94,49% da ocupação irregular composta por culturas permanentes. Os dados de ocupação das culturas temporárias e permanentes estão apresentados na Tabela 21.

⁷³ A Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), prevê em seu Art. 8º que a “intervenção ou a supressão de vegetação nativa em Área de Preservação Permanente somente ocorrerá nas hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental previstas nesta Lei”.

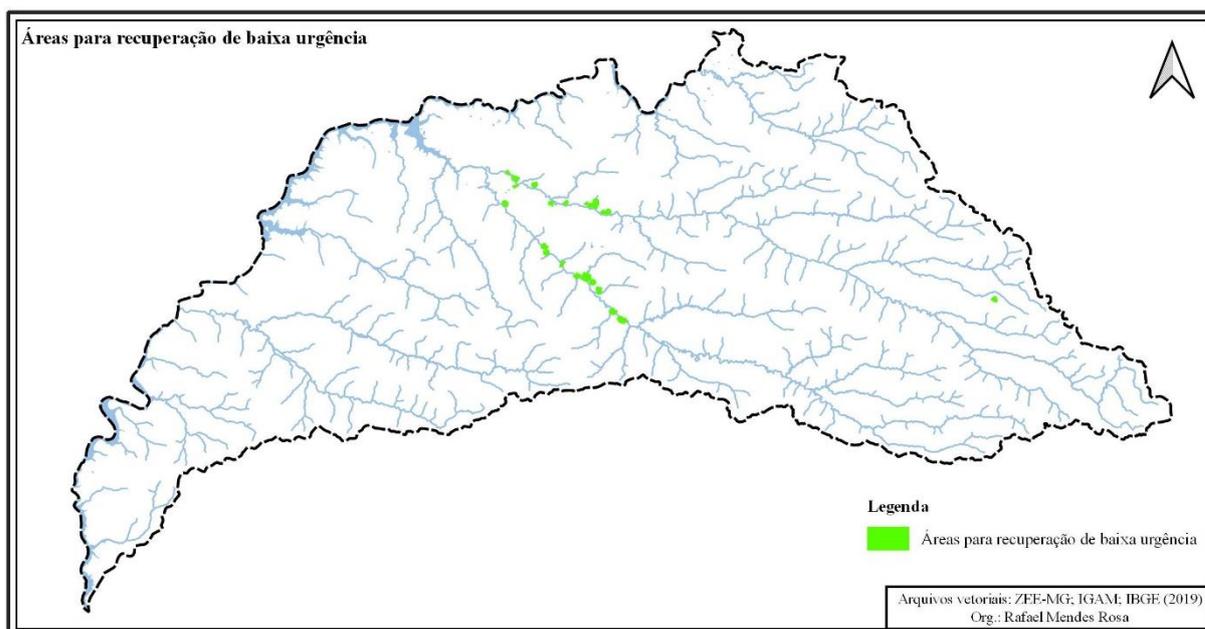
Tabela 21. Usos da terra a serem convertidos em áreas para preservação com baixa urgência.

Usos da terra a serem convertidos em áreas para preservação	Vulnerabilidades à perda de solos	Áreas	Percentuais
Culturas temporárias	Medianamente estável/vulnerável	0,05 km ²	3,94%
	Moderadamente estável	0,02 km ²	1,57%
Culturas permanentes	Medianamente estável/vulnerável	0,48 km ²	37,79%
	Moderadamente estável	0,72 km ²	56,70%
Total		1,27 km ²	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

As intervenções de culturas, tanto temporárias quanto permanentes, são encontradas em intervalos mais ou menos regulares, próximos às bordas da Unidade de Conservação Refúgio de Vida Silvestre Estadual dos Rios Tijuco e da Prata, de acordo com a Figura 21.

Figura 21. Áreas para recuperação de baixa urgência na UPGRH PN3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A baixa urgência da conversão das culturas (temporárias e permanentes), localizadas na Unidade de Conservação de Proteção Integral, em áreas de preservação, não significa que não seja importante, pois a ocupação é ilegal. O intuito é que, por serem áreas muito pequenas frente às demais, definiu-se que os esforços se iniciem nas áreas com os maiores percentuais de ocupação de conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas.

3.5.1.3. Áreas para recuperação de média urgência

As áreas para recuperação de média urgência constituem as maiores porções ocupadas (usos da terra) que devem ser convertidas em áreas para preservação na zona de conservação ou de intervenções recuperativas. Os principais usos da terra correspondem às pastagens em terrenos medianamente estáveis/vulneráveis, ocorrentes em 45,99% da delimitação das áreas para recuperação de média urgência, seguidos de culturas permanentes em locais medianamente estáveis/vulneráveis, em 20,14%. As demais ocupações com média urgência à recuperação consistem também em pastagens e culturas permanentes, porém em menor percentual nas áreas moderadamente estáveis e vulneráveis. Além disso, ressalta-se que outros usos da terra, como culturas temporárias e silvicultura, se encontram nessa delimitação considerada de urgência média à recuperação, cujos percentuais estão apresentados na Tabela 22.

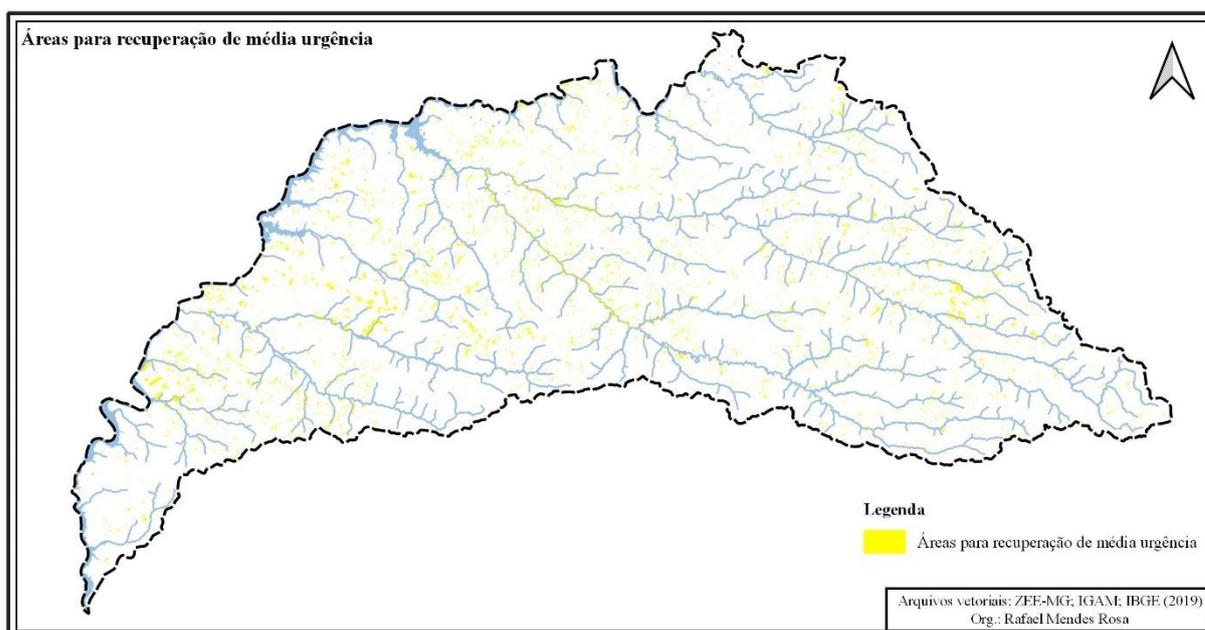
Tabela 22. Usos da terra a serem convertidos em áreas para preservação com média urgência.

Usos da terra a serem convertidos em áreas para preservação	Vulnerabilidades à perda de solos	Áreas	Percentuais
Culturas temporárias	Moderadamente vulnerável	0,44 km ²	0,05%
	Medianamente estável/vulnerável	84,52 km ²	8,87%
	Moderadamente estável	68,82 km ²	7,23%
Culturas permanentes	Moderadamente vulnerável	0,48 km ²	0,05%
	Medianamente estável/vulnerável	191,97 km ²	20,14%
	Moderadamente estável	9,43 km ²	0,99%
Pastagens	Moderadamente vulnerável	50,25 km ²	5,28%
	Medianamente estável/vulnerável	438,06 km ²	45,99%
	Moderadamente estável	86,52 km ²	9,09%
Silvicultura	Moderadamente vulnerável	0,60 km ²	0,06%
	Medianamente estável/vulnerável	19,54 km ²	1,96%
	Moderadamente estável	2,66 km ²	0,29%
Total		953,29 km²	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A maior parte das áreas voltadas para recuperação de média urgência se encontra nas Reservas Legais, mas APPs também apresentam significativas intervenções, principalmente pelos usos da terra mencionados. Observa-se, a partir da Figura 22 a seguir, que a distribuição dessas áreas é bastante homogênea ao longo da UPGRH PN3, cuja recuperação contribuirá significativamente para a qualidade ambiental da unidade de planejamento.

Figura 22. Áreas para recuperação de média urgência na UPGRH PN3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por constituírem porções significativas e devido à importância do reestabelecimento das funções ecológicas das Reservas Legais, atribuiu-se uma urgência média à recuperação pela proposta do zoneamento ambiental. Ressalta-se que essas áreas devem ser consideradas em uma perspectiva de organização que inclua o caráter de média urgência, considerando o cronograma dos trabalhos de recuperação que envolvem todo o território da unidade de planejamento.

3.5.1.4. Áreas para recuperação de alta urgência

As áreas para recuperação de alta urgência constituem pastagens em APPs, cuja maior parte localiza-se em terrenos medianamente estáveis/vulneráveis, em 74,13% das áreas de alta urgência à recuperação. O restante dos percentuais nos demais terrenos estão na Tabela 23.

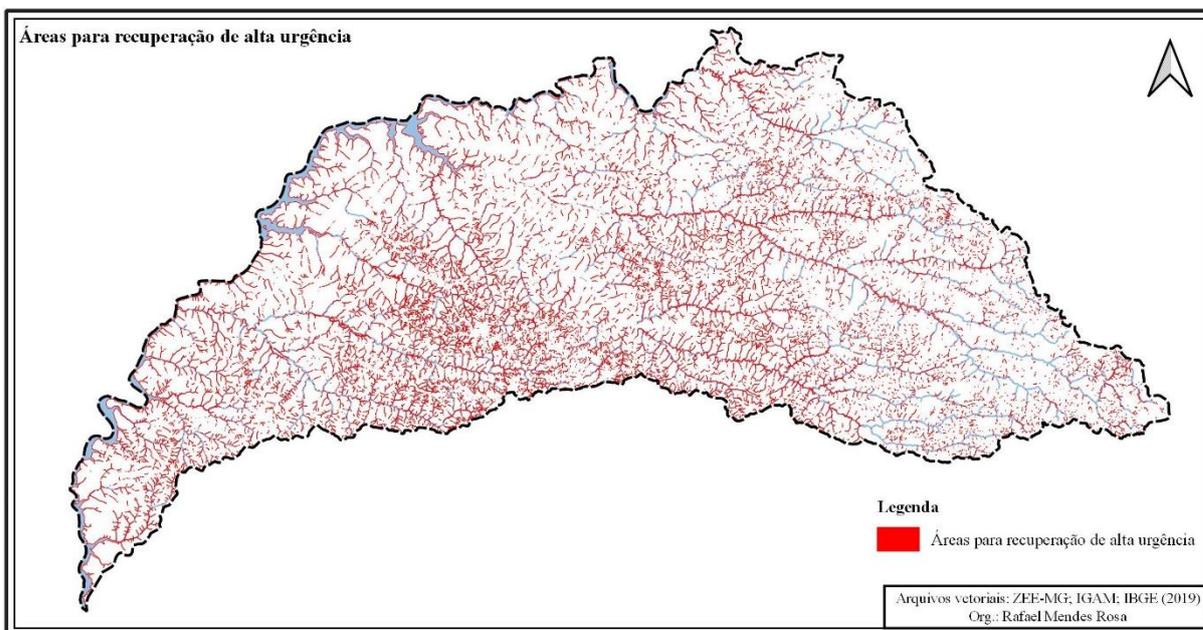
Tabela 23. Usos da terra a serem convertidos em áreas para preservação com alta urgência.

Uso da terra a ser convertido em áreas para preservação	Vulnerabilidades à perda de solos	Áreas	Percentuais
Pastagens	Moderadamente vulnerável	4,47 km ²	0,79%
	Medianamente estável/vulnerável	417,95 km ²	74,13%
	Moderadamente estável	141,35 km ²	25,08%
Total		563,77 km ²	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas principais bacias hidrográficas da UPGRH PN3 encontram-se pastagens em APPs, o que caracteriza uma certa uniformidade das áreas com alta urgência à recuperação em áreas significativas da unidade de planejamento, conforme evidenciado na Figura 23.

Figura 23. Áreas para recuperação de alta urgência na UPGRH PN3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como as pastagens são ocupações irregulares recorrentes nas APPs, atribuiu-se o caráter de alta urgência à recuperação. Ressalta-se que algumas medidas são de fácil realização imediata, como o cercamento de todas as pastagens para evitar a presença de bovinos nas APPs.

3.5.2. Zona de ocupações consolidadas e/ou de atividades produtivas

3.5.2.1. Áreas aptas com restrições elementares

As áreas aptas com restrições elementares correspondem majoritariamente às culturas temporárias, em 59,97% dessa delimitação, seguidas de culturas permanentes, em 35,16%. Pastagens e silvicultura também com representação quase insignificante estão presentes, com 0,81% e 4,06%, respectivamente. Diante dos dados apresentados, por serem a maior ocupação das áreas aptas com restrições, é importante que as ações de manejo sejam priorizadas nas culturas temporárias e permanentes. A Tabela 24 apresenta os percentuais de ocupação dos usos da terra em relação à vulnerabilidade natural à perda de solos.

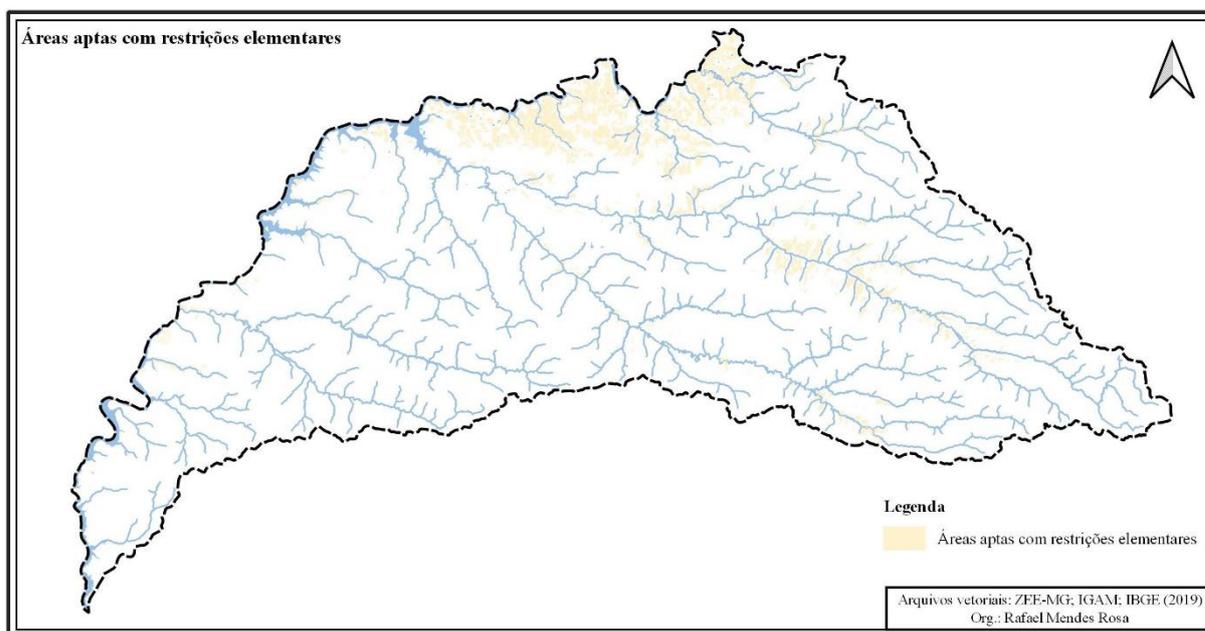
Tabela 24. Usos da terra com restrições elementares.

Usos da terra com restrições elementares	Vulnerabilidades à perda de solos	Áreas	Percentuais
Culturas temporárias	Moderadamente estável	645,59 km ²	59,97%
Culturas permanentes	Moderadamente estável	378,51 km ²	35,16%
Pastagens	Moderadamente estável	8,68 km ²	0,81%
Silvicultura	Moderadamente estável	43,67 km ²	4,06%
Total		1.076,45 km²	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A localização de áreas aptas com restrições elementares está concentrada ao norte da UPGRH PN3, justamente onde se encontram grande parte das culturas temporárias. Contudo, na bacia do rio Tijuco, também há atividades agrícolas em terrenos moderadamente estáveis. Por isso, foram consideradas como áreas aptas com restrições elementares. Diante do exposto, as referidas áreas com restrições elementares podem ser analisadas na Figura 24.

Figura 24. Áreas aptas com restrições elementares.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A condição para serem consideradas áreas aptas com restrições elementares reside no fato de que se situam em terrenos moderadamente estáveis, sendo indicadas, no mínimo, ações básicas de manejo, dado que se encontram em áreas com relativa estabilidade à perda de solos. Destaca-se que, por serem ações bastante convencionais, possivelmente medidas elementares já têm sido implementadas, mas a indicação contribui para a efetivação do planejamento.

3.5.2.2. Áreas aptas com restrições moderadas

As áreas aptas com restrições moderadas, em grande parte, correspondem às pastagens em terrenos moderadamente estáveis, encontradas em 35,60% de sua abrangência. Além disso, culturas permanentes (30,79%) e temporárias (25,80%) também estão incluídas nas áreas aptas com restrições moderadas. Assim, os dados de ocupação completos, considerando os terrenos em que cada uso da terra se situa, encontram-se na Tabela 25.

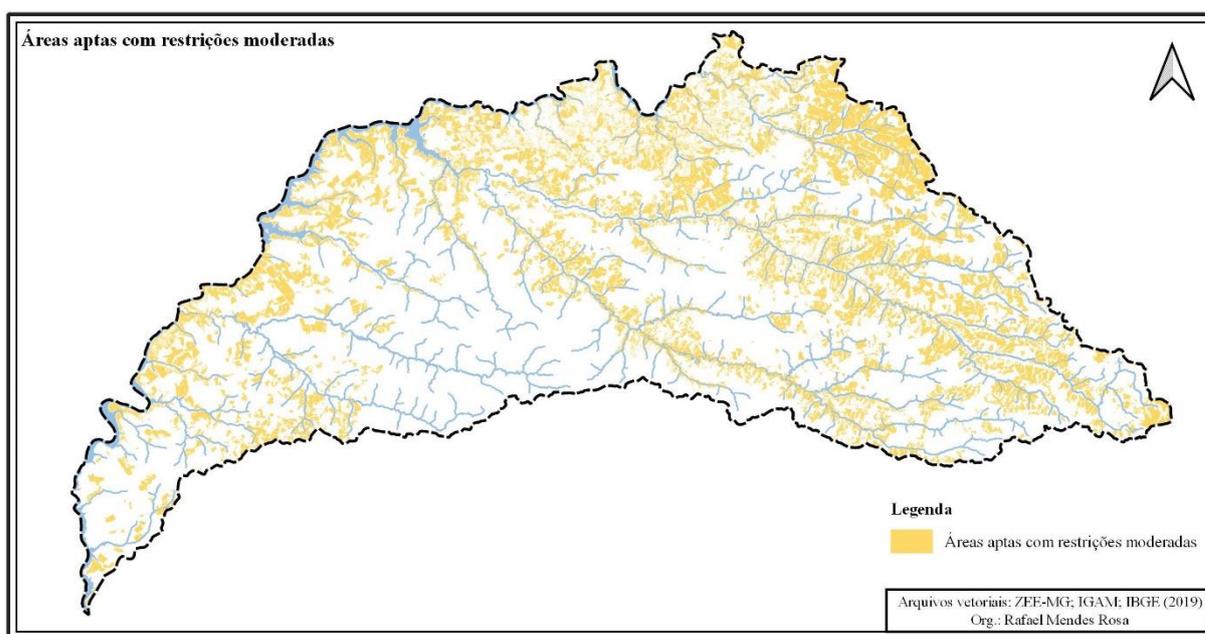
Tabela 25. Usos da terra com restrições moderadas.

Usos da terra com restrições moderadas	Vulnerabilidades à perda de solos	Áreas	Percentuais
Culturas temporárias	Medianamente estável/vulnerável	1.613,19 km ²	25,80%
Culturas permanentes	Medianamente estável/vulnerável	1.924,83 km ²	30,79%
	Moderadamente estável	4,07 km ²	0,06%
Pastagens	Moderadamente estável	2.225,47 km ²	35,60%
Silvicultura	Medianamente estável/vulnerável	484,61 km ²	7,75%
Total		6.252,17 km²	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com exceção de porções centrais significativas da UPGRH PN3, as áreas aptas com restrições moderadas estão relativamente bem distribuídas, conforme a Figura 25.

Figura 25. Áreas aptas com restrições moderadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nessa delimitação, onde encontram-se pastagens em terrenos moderadamente estáveis e culturas em terrenos medianamente estáveis/vulneráveis, é importante que práticas conservacionistas de maior efetividade sejam implementadas.

3.5.2.3. Áreas aptas com restrições relevantes

As áreas aptas com restrições relevantes são amplamente representadas pelas pastagens, constituindo 99,72% da totalidade das referidas áreas. De modo restrito, essas áreas também são representadas por culturas temporárias e permanentes, conforme apresentado na Tabela 26.

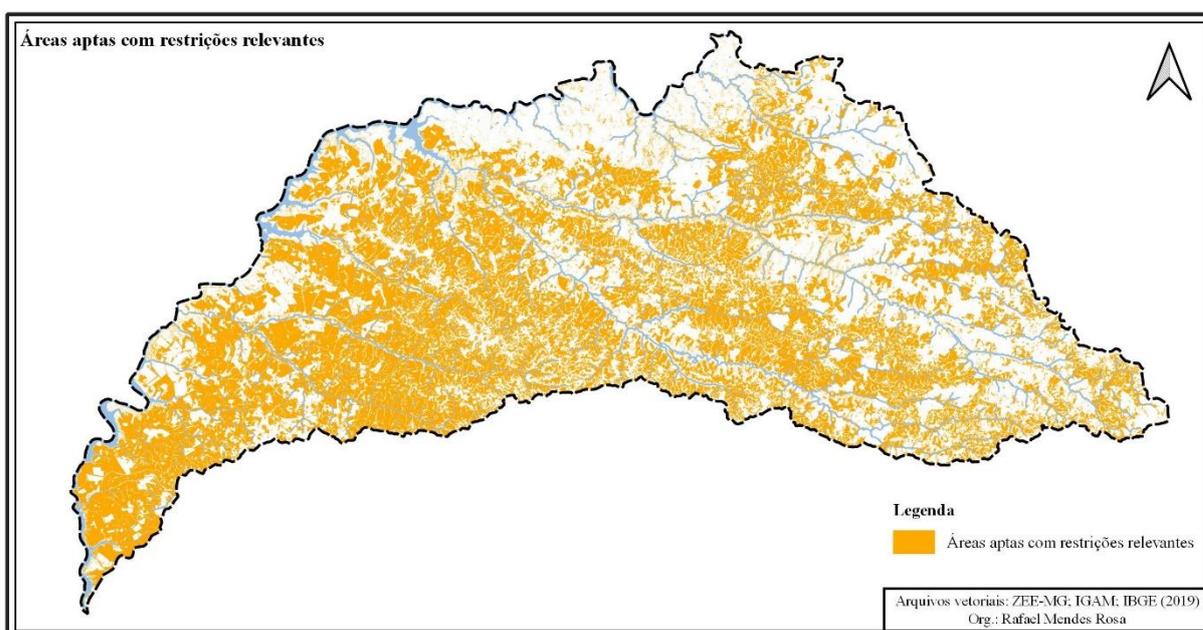
Tabela 26. Usos da terra com restrições relevantes.

Usos da terra com restrições relevantes	Vulnerabilidades à perda de solos	Áreas	Percentuais
Culturas temporárias	Moderadamente vulnerável	4,49 km ²	0,04%
Culturas permanentes	Moderadamente vulnerável	28,63 km ²	0,24%
Pastagens	Medianamente estável/vulnerável	11.857,03 km ²	99,72%
Total		11.890,15 km ²	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

As pastagens em terrenos medianamente estáveis/vulneráveis são bastante homogêneas na UPGRH PN3, com exceção de porções ao norte, conforme apresentado na Figura 26.

Figura 26. Áreas aptas com restrições relevantes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As restrições relevantes foram atribuídas porque as pastagens correspondem ao uso da terra em que os processos erosivos são mais recorrentes, sobretudo nas pastagens não manejadas adequadamente. Sabe-se que pastagens degradadas interferem na dinâmica hidrológica.

3.5.2.4. Áreas inaptas

As áreas inaptas são pastagens localizadas em terrenos moderadamente vulneráveis, em que devem ser convertidas em áreas para preservação, dada a instabilidade natural de processos erosivos. A Tabela 27 indica que se trata de áreas relativamente restritas da UPGRH PN3.

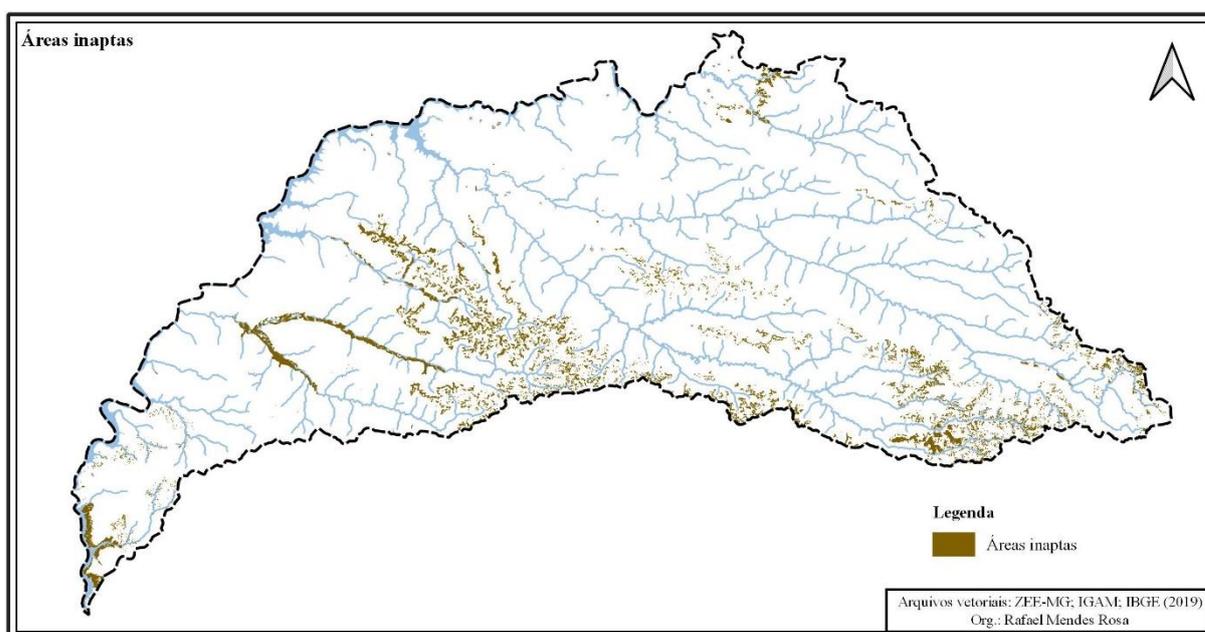
Tabela 27. Uso da terra a ser convertido em áreas para preservação.

Uso da terra a ser convertido em áreas para preservação	Vulnerabilidades à perda de solos	Áreas	Percentuais
Pastagens	Moderadamente vulnerável	199,43 km ²	100%
Total		199,43 km ²	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se, a partir da Figura 27, que as pastagens consideradas como áreas inaptas se situam nas proximidades das escarpas, nos GLEISSOLOS da bacia do ribeirão Arantes, nos depósitos aluviais e dispersamente em outras porções com moderada vulnerabilidade à erosão.

Figura 27. Áreas inaptas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma, é proposta a conversão das pastagens situadas em terrenos moderadamente vulneráveis para preservação, sendo primeiramente necessária a recuperação e, em seguida, a inclusão na zona de conservação ou de intervenções recuperativas (áreas para preservação).

3.5.2.5. Áreas urbanas consolidadas

As áreas urbanas consolidadas são encontradas nos três graus de vulnerabilidade natural à perda de solos, mas a maior parte das cidades no interior da UPGRH PN3 está situada em terrenos medianamente estáveis/vulneráveis, conforme demonstrado na Tabela 28.

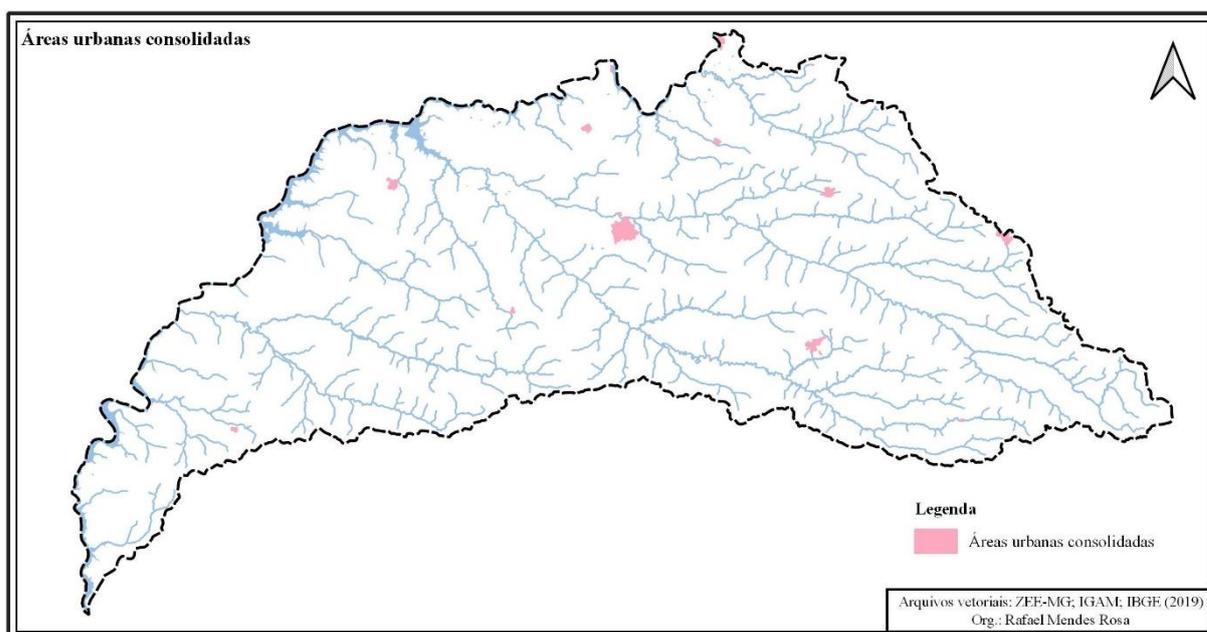
Tabela 28. Usos da terra passível de ações específicas.

Uso da terra passível de ações específicas	Vulnerabilidades à perda de solos	Áreas	Percentuais
Áreas urbanizadas	Moderadamente vulnerável	0,01 km ²	0,01%
	Medianamente estável/vulnerável	42,52 km ²	66,85%
	Moderadamente estável	21,08 km ²	33,14%
Total		63,61 km²	100%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 28 indica a localização pontual e dispersa das áreas urbanizadas, sendo a cidade de Ituiutaba (situada na porção central) a maior da UPGRH PN3.

Figura 28. Áreas urbanas consolidadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A melhoria da qualidade ambiental em áreas urbanas carece de ações específicas, visto que as cidades apresentam significativos impactos ambientais, embora alguns de forma pontual. Destacam-se a impermeabilização, a compactação dos solos e a alteração da dinâmica hidrológica (infiltração e escoamento) e da qualidade das águas como os impactos recorrentes.

3.5.3. Bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo

O zoneamento ambiental da UPGRH PN3 contempla as bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo. Inicialmente, foram considerados os componentes físico-geográficos relacionados às águas superficiais para determinação da vulnerabilidade quali-quantitativa. Para a definição das bacias hidrográficas com prioridade à recuperação e ao manejo, procedeu-se outra etapa complementar, em que foi estabelecido o conflito entre uso da terra e vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais. O levantamento dos conflitos mais relevantes não é o único critério para a obtenção do nível de prioridade, cuja definição considera ainda se a bacia hidrográfica possui DAC e seu tempo de formalização.

Conforme indicado previamente no zoneamento ambiental, a bacia hidrográfica do rio Piedade é a que apresenta a maior prioridade, principalmente pelo nível de conflito com maior relevância ser muito alto, além de apresentar os DACs mais antigos da UPRGH PN3. Justamente por não ter os DACs mais antigos, estabeleceu-se para a bacia hidrográfica do ribeirão Douradinho um nível abaixo da bacia do rio Piedade. Parte da bacia hidrográfica do rio Tijuco e a totalidade da bacia do rio Arantes foram enquadradas com uma baixa prioridade por apresentarem os menores níveis de conflito e não possuírem DAC. Como as demais bacias têm conflitos de maior relevância, determinou-se uma prioridade intermediária. A Tabela 29 expõe os resultados do processo de definição de prioridades das bacias hidrográficas.

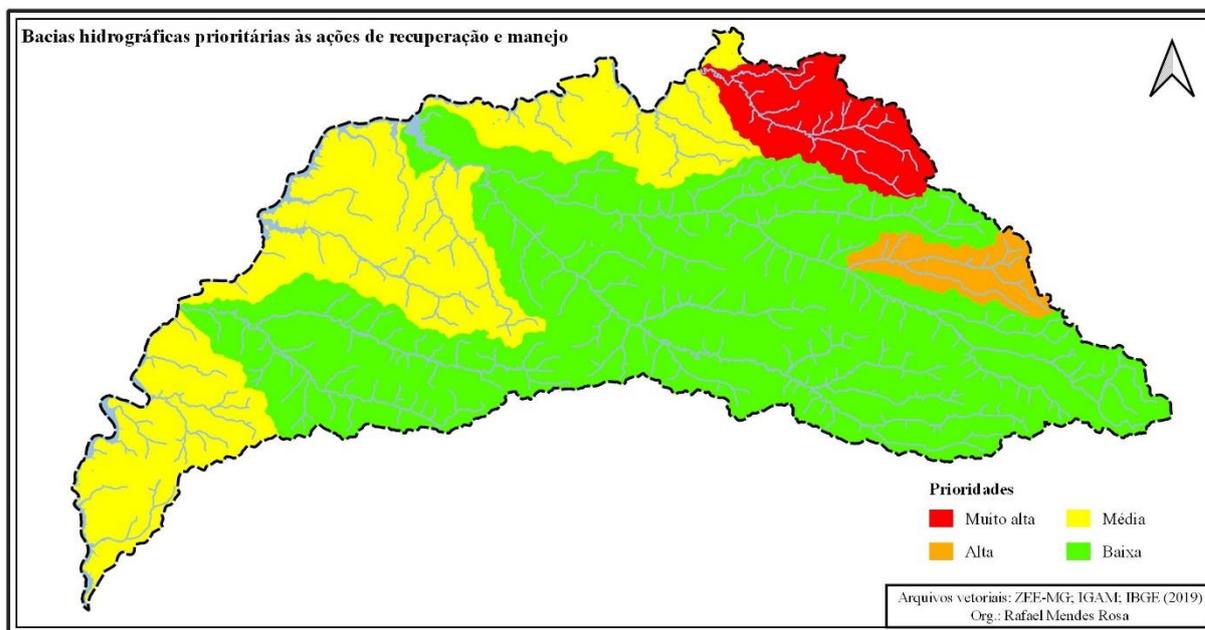
Tabela 29. Definição das bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo da UPGRH PN3.

Bacias hidrográficas	Áreas	Percentuais	Níveis de conflito relevantes	Conflitos das bacias hidrográficas	Prioridades à recuperação e manejo
Bacia do rio Piedade	1.759,20 km ²	6,54%	Muito alto e alto	Muito alto	Muito alta
Bacias dos rios Tijuco (parcialmente) e Arantes	15.988,97 km ²	59,46%	Médio e baixo	Médio	Baixa
Bacia do ribeirão Douradinho	922,66 km ²	3,43%	Alto e médio	Alto	Alta
Demais bacias hidrográficas	8.221,56 km ²	30,57%	Alto e médio	Alto	Média
Total	26.892,39 km²	100%	-		-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para melhor identificação das bacias hidrográficas e as respectivas prioridades às ações de recuperação e manejo previamente definidas, apresenta-se a Figura 29.

Figura 29. Bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base no resultado apresentado, é importante enfatizar que o intuito da indicação das bacias hidrográficas prioritárias a receberem medidas de recuperação e manejo é direcionar e organizar os trabalhos de planejamento e gestão da UPGRH PN3. Caso adotem-se as sugestões apresentadas, os trabalhos de recuperação deverão ser realizados mediante planos e projetos, o que abrange, dentre outros aspectos, um cronograma de execução.

3.6. Diretrizes de recuperação e manejo sugeridas a partir do zoneamento ambiental

A partir do zoneamento ambiental foram estabelecidas diretrizes de recuperação e manejo. Assim, determinaram-se duas diretrizes para a zona de conservação ou de intervenções recuperativas: 1) manutenção da vegetação nativa; 2) recomposição da vegetação nativa das áreas de incompatibilidade legal. Para a zona de ocupações consolidadas e/ou de atividades produtivas, definiram-se três diretrizes: 1) manejo de culturas e pastagens para áreas com restrições; 2) recomposição da vegetação nativa das áreas inaptas; 3) melhoria ambiental das áreas urbanizadas. No escopo dessas diretrizes, foram propostas ações para a melhoria da qualidade ambiental da UPGRH PN3, conforme resumido no Quadro 33.

Quadro 33. Diretrizes de preservação, recuperação e manejo da UPGRH PN3.

Zona	Área (subzona)	Cobertura e uso da terra	Diretrizes de preservação ou recuperação	Ações de preservação ou recuperação
Zona de conservação ou de intervenções recuperativas	Áreas para preservação	Vegetação nativa (100%)	Manutenção da vegetação nativa	Medidas gerais de proteção da cobertura vegetal nativa
	Áreas para recuperação de baixa urgência	Culturas temporárias (5,51%) Culturas permanentes (94,49%)	Recomposição da vegetação nativa das áreas de incompatibilidade legal	Regeneração natural sem manejo Semeadura direta Enriquecimento
	Áreas para recuperação de média urgência	Culturas temporárias (16,15%) Culturas permanentes (21,18%) Pastagens (60,36%) Silvicultura (2,31%)		Adensamento Nucleação Plantio por mudas
	Áreas para recuperação de alta urgência	Pastagens (100%)		Controle das plantas competidoras
Zona	Área (subzona)	Cobertura e uso da terra	Diretrizes de manejo do uso da terra	Ações de manejo do uso da terra
Zona de ocupações consolidadas e/ou de atividades produtivas	Áreas aptas com restrições elementares	Culturas temporárias (59,97%) Culturas permanentes (35,16%) Pastagens (0,81%) Silvicultura (4,06%)	Manejo de culturas e pastagens para áreas com restrições elementares	Plantio direto Aplicação controlada de agrotóxicos e fertilizantes Técnicas de terraceamento Plantio em nível
	Áreas aptas com restrições moderadas	Culturas temporárias (25,80%) Culturas permanentes (30,85%) Pastagens (35,60%) Silvicultura (7,75%)	Manejo de culturas e pastagens para áreas com restrições moderadas	Plantio direto Integração lavoura-pecuária Aplicação controlada de agrotóxicos e fertilizantes Técnicas de terraceamento Técnicas de plantio e formação de pastagens Técnicas de controle de processos erosivos Plantio em nível e corte controlado da silvicultura
	Áreas aptas com restrições relevantes	Culturas temporárias (0,04%) Culturas permanentes (0,24%) Pastagens (99,72%)	Manejo de culturas e pastagens para áreas com restrições relevantes	Plantio direto Integração lavoura-pecuária Aplicação controlada de agrotóxicos e fertilizantes Técnicas de terraceamento Técnicas de plantio e formação de pastagens Adoção da capacidade de suporte das pastagens Técnicas de controle de processos erosivos
	Áreas inaptas	Pastagens (100%)	Recomposição da vegetação nativa das áreas inaptas	Regeneração natural sem manejo Semeadura direta Enriquecimento Adensamento Nucleação Plantio por mudas Controle das plantas competidoras
	Áreas urbanas consolidadas	Áreas urbanizadas (100%)	Melhoria ambiental das áreas urbanizadas	Redução relativa da impermeabilização do solo urbano Ampliação do sistema de tratamento de esgoto Gestão efetiva dos resíduos sólidos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante do exposto, apresentam-se a descrição das diretrizes e suas respectivas ações para preservação, recuperação e manejo do uso da terra sugeridas para a UPGRH PN3:

3.6.1. Diretrizes de preservação ou recuperação

3.6.1.1. Manutenção da vegetação nativa

A manutenção da vegetação nativa é uma diretriz proposta nesta tese para a preservação da cobertura vegetal nativa existente. Parte das ações já são indicadas para propriedades rurais e Unidades de Conservação, cujas aplicações devem ser realizadas conforme as necessidades das diferentes porções territoriais da unidade de planejamento. Nesse sentido, as ações a serem aplicadas devem estar baseadas nas diferentes situações das bacias hidrográficas e, localmente dos empreendimentos (propriedades rurais), em relação ao uso da terra e à cobertura vegetação nativa. Assim, as ações definidas para esta diretriz estão descritas na sequência:

Impedimento do desmatamento

Com exceção dos casos de utilidade pública, previsto pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), o intuito dessa medida é impedir não somente o desmatamento ilegal, mas também evitar que ocorram novas supressões no território da unidade de planejamento. As ações correspondem a procedimentos gerais de proteção da cobertura vegetal, com destaque às áreas legalmente protegidas. Dessa maneira, sugere-se que a liberação de novas supressões por parte do órgão ambiental responsável ocorra somente em casos de extrema necessidade, além de uma ampliação dos monitoramentos e fiscalizações, inclusive para sustentar outras medidas já previstas, como a aplicação de multas e enquadramentos na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, conhecida como Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998). Sugere-se também a instalação de placas em algumas localidades, indicando a presença de APP, Reserva Legal ou Unidade de Conservação, até mesmo com as penas a quem ocasionar danos às áreas protegidas.

Cercamento das pastagens

Dentre as medidas basilares, aconselha-se que as pastagens sejam cercadas para evitar que bovinos tenham livre acesso às APPs e aos demais fragmentos de vegetação nativa, exceto a partir de um caminho exclusivo para a dessedentação dos animais. O Art. 9º da Lei nº 12.651,

de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), permite o acesso de pessoas e animais às APPs para obtenção de água, bem como outras atividades de baixo impacto ambiental. O cercamento de pastagens é uma medida realizada em muitas propriedades rurais não apenas para ter o controle dos animais, mas também para evitar danos às áreas legalmente protegidas. Por isso, nas propriedades rurais que desenvolvem a criação de bovinos em pastagens, o cercamento deve ser uma condição obrigatória para a continuidade da atividade na unidade de planejamento.

Combate às queimadas

É importante a elaboração de um plano básico de combate às queimadas em pastagens, evitando propagação para a cobertura vegetal. O plano deve abranger ações específicas para os proprietários rurais sob recomendação de uma equipe técnica e monitoramento, sobretudo no período seco. Assim, dentre as medidas básicas, é importante que sejam implementados aceiros no entorno da cobertura vegetal nativa e a instalação de placas nas proximidades da vegetação indicando possíveis contatos de combate aos focos de queimada, além de penas a quem, de forma proposital, ocasionar queimadas. Ressalta-se que nas propriedades que desenvolvem silvicultura, o plano de controle às queimadas torna-se ainda mais necessário.

Controle de plantas competidoras e do efeito de borda

Em fragmentos de vegetação nativa não manejados adequadamente é possível que haja a proliferação de plantas competidoras. Dessa forma, o controle é inevitável para uma melhor qualidade da cobertura vegetal, pois caso contrário as espécies nativas perdem espaço para as invasoras do entorno, sendo necessária a realização de técnicas de manejo, como a eliminação das plantas indesejáveis, a adubação e a descompactação dos solos. Com a realização dessas ações, as áreas manejadas podem iniciar um processo de recomposição, iniciado a partir de agentes dispersores que contribuem com sementes (VIEIRA *et al.*, 2016).

Outra condição que normalmente ocorre em fragmentos de vegetação nativa é o efeito de borda. Conforme Murcia (1995), o efeito de borda ocorre nas margens da cobertura vegetal fragmentada, o que envolve os efeitos abióticos e biológicos (diretos e indiretos). Os efeitos abióticos correspondem ao aumento da incidência de luz, de temperatura e de velocidade dos ventos e à diminuição da umidade relativa do ar. Os efeitos biológicos diretos abrangem as alterações na quantidade e na distribuição de espécies provocadas pelos efeitos abióticos, ao passo que os biológicos indiretos envolvem mudanças nas interações das espécies (predação,

parasitismo, competição etc.). Assim, sugere-se a contenção das espécies vegetais que surgem de forma descontrolada nas bordas, como os cipós, seguida da adubação e da correção dos solos.

Estabelecimento de corredores ecológicos

Os corredores ecológicos, conforme definição da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, são ecossistemas naturais, ou mesmo seminaturais, que se ligam a Unidades de Conservação e possibilitam o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a manutenção daquelas que dependem de uma maior extensão espacial (BRASIL, 2000). Mesmo que o destaque da referida lei seja para as Unidades de Conservação, o intuito da proposta é que sejam implementados corredores ecológicos também entre as APPs e as Reservas Legais. Para mitigar impactos à biodiversidade, é sugerido o estabelecimento de corredores ecológicos a partir da contiguidade da cobertura vegetal nativa existente, estabelecendo conexões entre todas as áreas legalmente protegidas (APPs, Reservas Legais e Unidades de Conservação). As novas Reservas Legais devem estar conectadas aos outros fragmentos de vegetação nativa.

3.6.1.2. Recomposição da vegetação nativa das áreas de incompatibilidade legal e inaptas

A recomposição da vegetação nativa é uma medida já prevista na legislação brasileira, por exemplo, na Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), e no Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017, que institui a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (BRASIL, 2017). Assim, os trabalhos de recomposição deverão ocorrer nas áreas com algum conflito entre uso da terra e áreas legalmente protegidas, independentemente da urgência (zona de conservação ou de intervenções recuperativas), além das áreas inaptas (zona de ocupações consolidadas e/ou de atividades produtivas). Com base nessa perspectiva, são apresentados sete métodos de recomposição da vegetação nativa descritos pela Embrapa (VIEIRA *et al.*, 2016):

Regeneração natural sem manejo

A regeneração natural sem manejo consiste em deixar os processos naturais ocorrerem sem qualquer interferência para impulsionar a proliferação de espécies. Em geral, para indicar a regeneração natural enquanto método de recomposição da vegetação nativa, os locais devem minimamente ter densidade e diversidade de espécies nativas regenerantes para condicionar a rebrota, solos pouco compactados e baixa presença de espécies invasoras. É importante que

haja o isolamento das áreas que se encontram nessas condições para haver restabelecimento da cobertura vegetal. O resultado satisfatório dependerá das condições de rebrota, da presença de agentes dispersores e de monitoramento para observar a proliferação de plantas competidoras, como as pastagens exóticas (VIEIRA *et al.*, 2016).

Semeadura direta

A semeadura direta é um método em que as sementes de espécies nativas são plantadas em grande quantidade para o reestabelecimento da cobertura vegetal. As formas podem variar, devendo atender às condições da área a ser recomposta. Para atingir grandes porções utiliza-se normalmente o lanço de sementes, mas a opção de serem plantadas em talhões contribui para a melhor distribuição. Outras maneiras de distribuição do plantio também podem ser estudadas para garantir diversidade significativa e abranger as áreas mais necessitadas. Em alguns meses, podem aparecer indivíduos arbóreos de tamanhos variados devido às diferenças de crescimento de cada espécie. Contudo, é imprescindível o monitoramento das áreas em que o método foi aplicado, pois o preparo do solo inadequado e/ou o plantio ou lanço sob condições do tempo desfavoráveis podem ocasionar uma baixa germinação (VIEIRA *et al.*, 2016).

Enriquecimento

O enriquecimento é a introdução de espécies dos estádios finais da sucessão ecológica, a ser aplicado em áreas que apresentem melhores condições em relação à presença da cobertura vegetal nativa, mas que não se encontre em níveis adequados de diversidade. O método basicamente consiste em preencher espaços com falhas de regeneração natural por sementes ou mudas, para aumento da biodiversidade, além de suprimir espécies indesejáveis. Caso seja observado por meio de monitoramento, um bom resultado após alguns meses, podem-se encontrar condições em que agentes dispersores contribuam com sementes, aumentando ainda mais a qualidade ambiental nas áreas com enriquecimento. Ressalta-se que as espécies invasoras sempre constituem um risco durante a aplicação do método (VIEIRA *et al.*, 2016).

Adensamento

O adensamento constitui um método de introdução de espécies do estágio inicial de sucessão nos espaços com falhas. O preenchimento pode ser realizado com espécies pioneiras

de crescimento rápido e boa cobertura, a partir de semeadura direta ou plantio de mudas. A adição das espécies pioneiras contribui para a melhoria dos solos e o aumento da diversidade em áreas que estão distantes de remanescentes de vegetação nativa. Assim como no método de enriquecimento, no adensamento, é possível encontrar uma maior riqueza de espécies a partir de agentes dispersores de sementes após alguns meses, sobretudo se o monitoramento realizado apresentar o resultado esperado. No método de adensamento, a principal ameaça também é a vegetação competidora, bem como as formigas cortadeiras (VIEIRA *et al.*, 2016).

Nucleação

A nucleação é a formação de núcleos de vegetação (“ilhas”) com espécies que possuem a capacidade de melhorar o ambiente, facilitando a ocupação da área onde se aplica o método por outras espécies. A ideia é que, a partir dessas “ilhas”, a vegetação secundária se expanda e acelere o processo de sucessão natural. O núcleo pode ser formado por plantio de sementes ou mudas de espécies pioneiras, galharia, transposição de solo, de sementes, além de implantação de poleiros. Tais núcleos, quando estabelecidos em áreas de maior degradação dos solos ou onde ocorrem capins “agressivos”, podem estar em menos de 10% da área a ser recomposta, caso contrário, o ideal é estabelecer “ilhas” entre 10% e 50% (VIEIRA *et al.*, 2016).

Em relação ao manejo a partir da aplicação do método, pode-se substituir a vegetação “agressiva” por uma menos “agressiva” facilitando a expansão dos núcleos e a chegada de novas plantas. Após alguns meses, os núcleos podem expandir de forma heterogênea, sendo que a estrutura da vegetação florestal poderá acontecer internamente ou próximo aos núcleos, devendo-se monitorar a proliferação de espécies invasoras (VIEIRA *et al.*, 2016).

Plantio por mudas

O método de recomposição da vegetação nativa por plantio de mudas pode ocorrer tanto de forma aleatória quanto sistemática (em linhas), com diversos espaçamentos que variam em função das condições do relevo e da vegetação encontrada previamente. Os espaçamentos mais utilizados são 2 m x 2 m e 3 m x 2 m, o que abrange 2.500 mudas/ha e 1.667 mudas/ha, respectivamente. Pode-se realizar plantios com diferentes arranjos de espécies conforme a função da ecologia e a disponibilidade de mudas, considerando-se as espécies de crescimento rápido, linhas de cobertura alternadas com espécies fixadoras de nitrogênio e também linhas de espécies de maior diversidade, com diferentes grupos sucessionais (VIEIRA *et al.*, 2016).

Para eficiência do plantio, é importante que haja monitoramento e controle de gramíneas e demais espécies competidoras até que o capim seja sombreado. Em alguns meses, as espécies pioneiras ou de preenchimento normalmente germinam com mais facilidade e as demais iniciam a floração e a frutificação atraindo os dispersores de sementes. Nesse estágio, as gramíneas africanas “agressivas” podem não necessitar de controle. Dentre os riscos da recomposição por plantio de mudas, destaca-se a falta de cuidado com as mudas, desde a seleção, passando pela forma de transporte, pelo manuseio e pela inserção na cova (VIEIRA *et al.*, 2016).

Controle das plantas competidoras

O controle de plantas competidoras deve ocorrer quando os indivíduos presentes no local, oriundos da rebrota de raízes ou de sementes, estão em alta quantidade, mas tais espécies não têm boas taxas de crescimento. Dessa forma, essas espécies começam a perder espaço para as plantas competidoras ruderais, sendo necessário implementar estratégias específicas de manejo para eliminação das plantas indesejáveis, adubação dos regenerantes, bem como descompactação dos solos. Em poucos meses, esperam-se agentes dispersores para contribuir com sementes e, por conseguinte, controlar as plantas competidoras. No entanto, em caso de monitoramento e manejo inadequados, pode-se haver a proliferação das plantas invasoras, além de formigas cortadeiras, comprometendo a qualidade da área (VIEIRA *et al.*, 2016).

3.6.2. Diretrizes de manejo do uso da terra

3.6.2.1. Manejo de culturas e pastagens para áreas com restrições

O manejo adequado de culturas e pastagens contribui tanto para o desenvolvimento das atividades produtivas quanto para a melhoria da qualidade ambiental. Nessa perspectiva, são sugeridos métodos normalmente indicados para propriedades rurais que desenvolvem culturas temporárias, permanentes e bovinocultura extensiva (criação de gado em pastagens). O intuito é que essas ações sejam efetivamente implementadas na unidade de planejamento conforme as atividades de cada propriedade rural e a respectiva localização (nível de restrição). Dessa forma, apresenta-se a seguir a descrição dos métodos de manejo de culturas e pastagens, incluindo as particularidades de cada nível de restrição estabelecido pelo zoneamento ambiental:

Plantio direto

Para Salton, Hernani e Fontes (1998), o plantio direto corresponde a um sistema que se fundamenta no não revolvimento dos solos para evitar processos erosivos, principalmente em culturas temporárias. Trata-se de uma semeadura sem preparo dos solos, com a presença de cobertura morta ou palha (restos vegetais oriundos da cultura anterior). Além da perda de solos, sua aplicação evita o carreamento de material particulado para cursos d'água, que, juntamente com adubos e agrotóxicos, constituem fonte de poluição das águas superficiais. É considerado um manejo que visa tanto o aumento da produtividade quanto a conservação dos solos, além da melhoria na qualidade ambiental nas áreas de culturas temporárias.

Embora o plantio direto seja um método pesquisado no Brasil desde a década de 1970, o intuito dessa ação é que a prática seja adotada como uma ação permanente de manejo das culturas temporárias (SALTON; HERNANI; FONTES, 1998). Por isso, sugere-se que todas as áreas (subzonas) da unidade de planejamento que tenham culturas temporárias adotem o plantio direto como manejo, independentemente das restrições estabelecidas no zoneamento ambiental. Contudo, é importante que a técnica seja efetivamente implementada nas áreas com restrições moderadas e relevantes por apresentarem uma maior vulnerabilidade à perda de solos.

Integração lavoura-pecuária

A integração lavoura-pecuária corresponde a um método de manejo em que se associa os cultivos agrícolas e a criação bovinos em pastagens, cuja ideia básica é se apresentar como uma via sustentável e voltada à recuperação de lavouras e pastagens degradadas (VOLK *et al.*, 2014). Dentre os benefícios da integração lavoura-pecuária destaca-se que se trata de um sistema que possui a capacidade de incrementar a resiliência ambiental com base no aumento da diversidade de culturas com eficiência na ciclagem de nutrientes, contribuindo ainda com a melhoria da qualidade dos solos (CARVALHO *et al.*, 2011; VOLK *et al.*, 2014).

Dessa maneira, quando bem realizada tecnicamente, a integração lavoura-pecuária serve como uma forma de melhoria das condições físicas, químicas e biológicas dos solos, quando comparada com áreas degradadas ou com monoculturas, contribuindo em grande parte pela redução do processo de erosão hídrica (VOLK *et al.* 2014). Diante dessas considerações, a integração lavoura-pecuária é proposta como uma alternativa para aquelas propriedades rurais situadas nas áreas com restrições moderadas e relevantes que desenvolvam culturas temporárias e criação de bovinos. Ressalta-se que, por se tratarem de porções amplamente ocupadas por

pastagens, o intuito de propor essa alternativa para as áreas com restrições relevantes decorre do fato de que se trata de uma recomendação caso haja cultivos futuros nas atuais pastagens.

Aplicação controlada de agrotóxicos e fertilizantes

A aplicação descontrolada de agrotóxicos e fertilizantes nos cultivos agrícolas e fertilizantes nas pastagens formadas com critérios técnicos pode contribuir para a poluição dos cursos d'água a partir do carreamento de materiais nas áreas que apresentam perdas de solos, por exemplo erosão laminar. A partir dos processos erosivos que podem ocorrer principalmente nas áreas de maior vulnerabilidade à perda de solos, os materiais erodidos podem atingir, de alguma forma, os cursos d'água mais próximos. Dessa forma, conforme já previsto pelo Plano de Recursos Hídricos da UPGRH PN3 (CBH PARANAÍBA, 2017b), espera-se que as aplicações de agrotóxicos e fertilizantes sejam realizadas com acompanhamento técnico e também que as embalagens sejam descartadas adequadamente. Este método contempla as áreas com diferentes restrições (elementares, moderadas e relevantes), pois em todas essas áreas são desenvolvidas atividades agrícolas e criação de bovinos em pastagens.

Técnicas de terraceamento

De acordo com Machado e Wadt (2016), o terraceamento de lavouras consiste em um método de combate à erosão a partir da construção de terraços com a finalidade de controlar o volume de escoamento das águas das chuvas. Para os autores, a prática do plantio direto não evita totalmente a ocorrência de erosões, uma vez que a enxurrada pode ser expressiva quando houver chuvas de alta intensidade, sendo importante para complementar o plantio direto com terraços. Embora a maioria das recomendações de terraceamento sejam voltadas às áreas de culturas temporárias e permanentes, o método também deve estar presente nas pastagens.

As técnicas de terraceamento sugeridas podem variar conforme os diferentes tipos de solo e a vulnerabilidade natural à perda de solos das áreas (subzonas). Em relação às funções estabelecidas por Machado e Wadt (2016), recomenda-se o terraço em nível, de retenção ou de infiltração às culturas e às pastagens que estão situadas em solos com boa permeabilidade, por exemplo a classe dos LATOSSOLOS. Já o terraço em gradiente, desnível, de escoamento ou de drenagem é indicado para as porções onde são desenvolvidas culturas e pastagens em solos com permeabilidade moderada ou lenta, como os CAMBISSOLOS e ARGISSOLOS.

É importante ressaltar que, para as áreas com restrições moderadas sugere-se que o terraceamento seja realizado por trabalhos mais simples, como a construção dos terraços apenas com trator arado. Para as áreas com restrições relevantes, deve-se implementar o terraceamento mediante critérios mais exigentes do ponto de vista procedimental. Dessa maneira, para as áreas com restrições relevantes, é importante que se obtenha a textura dos solos a partir de análises laboratoriais, seguida do levantamento da declividade do terreno para, enfim, possibilitar a definição da distância dos terraços, tanto nas lavouras quanto nas pastagens.

Técnicas de plantio e formação de pastagens

A formação de pastagens e seu manejo inicial são etapas elementares para o sucesso de uma propriedade que desenvolva a criação de bovinos de forma extensiva. Nesse sentido, as principais causas da baixa produtividade e da degradação de uma determinada pastagem advêm tanto de equívocos na formação quanto da realização de um manejo inadequado. Para uma boa formação de pastagens, deve-se, por exemplo, obter sementes de qualidade, realizar a semeadura em época adequada e as sementes devem estar na profundidade certa. Ademais, não se pode misturar mais de um tipo de capim para formação de pastagens (DIAS-FILHO, 2012).

Como este método sugerido está indicado tanto para as áreas com restrições moderadas quanto para as áreas com restrições relevantes, algumas ações mais simples devem ser adotadas para a primeira, ao passo que outras mais complexas devem ser realizadas na segunda. Com base em Dias Filho (2012), nas pastagens das áreas com restrições moderadas, sugerem-se apenas as adubações fosfatadas e potássicas. Já as pastagens das áreas com restrições relevantes devem ser alvo de plantios com sementes selecionadas de apenas uma espécie, na profundidade correta e no período do ano adequado, seguido de adubações fosfatadas e potássicas.

Adoção da capacidade suporte das pastagens

Para as áreas com restrições relevantes, indica-se o cálculo da capacidade de suporte como medida de manejo das pastagens plantadas, conforme recomendado por Dias-Filho (2012), pois a ausência de um planejamento pode ocasionar a degradação das pastagens. Com a adoção da capacidade de suporte das pastagens situadas nas áreas com restrições relevantes, o proprietário deve indicar uma taxa de lotação que não comprometa a produtividade nem a capacidade de recuperação. Nesse sentido, a capacidade de suporte das pastagens está associada

à disponibilidade de forragem. Por isso, é necessário o cálculo da capacidade para se obter a quantidade de forragem e o quanto cada animal consome (DIAS-FILHO, 2012).

Técnicas de controle de processos erosivos

Conforme Araújo, Almeida e Guerra (2013), a perda da camada superficial dos solos, tanto pelo escoamento superficial da água quanto pelo deslocamento de partículas pela ação do vento, constitui a forma mais comum de erosão. Os referidos autores ressaltam que a água pode ocasionar deformações no terreno, desde ravinas (sulcos passíveis de recuperação) até mesmo voçorocas (canais profundos de difícil ou impossível recuperação). Diante da vulnerabilidade à perda de solos apresentada na unidade de planejamento, considera-se a possibilidade de que os processos erosivos existentes possam ser intensificados ou mesmo outros possam surgir a partir das atividades desenvolvidas. Assim, as técnicas visam recompor os solos na paisagem e como componente de produção, além de evitar que os solos erodidos atinjam os cursos d'água.

As abordagens convencionais de controle de processos erosivos descritas por Araújo, Almeida e Guerra (2013) contemplam as categorias de construções vivas (plantio de gramas), mistas (uso da bioengenharia) e inertes (utilização de sistemas mecânicos). Com base em Gray e Sotir (1996), as construções vivas são realizadas pelo plantio convencional, como a semeadura de gramíneas. As construções mistas abrangem a associação de plantas como reforço e barreira ao movimento dos solos, por exemplo estacas vivas, caniçadas vivas e camadas de ramos. Por fim, as construções inertes podem ser estruturas de concreto, gabiões, mantas, *rip-rap* (rochas e cascalhos) e paliçadas (GRAY; SOTIR, 1996; ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2013).

Diante dessas indicações gerais de controle de processos erosivos, convém destacar que independentemente das restrições definidas no zoneamento ambiental (subzonas), as técnicas de recuperação devem ser aplicadas conforme a intensidade da erosão. Dessa forma, as técnicas devem considerar o uso da terra e o processo erosivo, pois, em locais com erosões incipientes, pode-se aplicar, por exemplo, a semeadura de gramíneas, ao passo que erosões mais complexas, em muitos casos, dependem de diferentes técnicas a serem realizadas conjuntamente.

Plantio em nível e corte controlado da silvicultura

A silvicultura necessita de algumas ações de plantio e manejo para evitar ou controlar a ocorrência de processos erosivos, com destaque ao eucalipto por ser a principal composição na unidade de planejamento. Dentre as ações sugeridas destaca-se o plantio em nível, que, segundo

Pires *et al.* (2006), o eucalipto plantado em nível aproxima-se da mata nativa em relação à perda de solos. Dessa maneira, como a silvicultura é encontrada nas áreas com restrições elementares e moderadas, recomenda-se a adoção do plantio em nível em ambas as áreas e o corte controlado especificamente na silvicultura desenvolvida nas áreas com restrições moderadas. Assim, é previsto que o corte seja realizado gradualmente sem a utilização intensiva de máquinas e também que a rebrota seja priorizada como uma alternativa ao corte raso, o que evitaria o revolvimento e a exposição dos solos nas áreas com restrições moderadas.

3.6.2.2. Melhoria ambiental das áreas urbanizadas

A melhoria ambiental das áreas urbanizadas é uma diretriz voltada especificamente para as 13 sedes administrativas situadas na unidade planejamento, sendo indicadas ações exclusivas para a melhoria da qualidade ambiental dos espaços urbanos. Embora seja possível que algumas ações ou parte delas já se encontrem implementadas pelos governos municipais, o intuito da diretriz é que as medidas aqui propostas sejam realmente efetivadas nas áreas urbanas. Dessa forma, na sequência estão descritas as ações sugeridas para as áreas urbanizadas:

Redução da impermeabilização do solo urbano

O processo de urbanização inevitavelmente ocasiona, de forma mais intensa que outras ocupações, a compactação e a impermeabilização dos solos, o que altera os processos naturais de infiltração e escoamento superficial. Em Ituiutaba, por exemplo, que possui a maior área urbana da unidade de planejamento, Venceslau e Miyazaki (2019) apontam que a expansão da cidade vem contribuindo para o desequilíbrio da bacia hidrográfica onde se situa a maior parte da urbana. A construção de novos bairros, conforme os autores, ampliou a impermeabilização e a exposição dos solos, cujos efeitos são observados durante o período chuvoso, quando ocorre carreamento de sedimentos das partes mais altas para as mais baixas da vertente. Dessa forma, sugere-se que se amplie os locais de infiltração nas áreas urbanas, como a efetivação de um percentual mínimo de impermeabilização de construções, praças e canteiros. Além disso, devem-se realizar projetos de arborização urbana e criação de espaços arborizados nos locais de maior infiltrabilidade natural, além do manejo das águas, por exemplo a captação das águas pluviais.

Ampliação do sistema de tratamento de esgoto

Como medida relacionada à melhoria do saneamento das áreas urbanizadas da unidade de planejamento, é importante que seja ampliado o sistema de tratamento de esgoto. De acordo com CBH Paranaíba (2017b), que contempla o Plano Diretor de Recursos Hídricos da UPGRH PN3, Ituiutaba, Cachoeira Dourada e União de Minas possuem as melhores condições quanto à coleta e ao tratamento de esgoto. No entanto, enquanto Araporã, Centralina e Limeira do Oeste apresentam uma situação parcial, Canápolis, Capinópolis, Gurinhatã, Ipiaçu, Monte Alegre de Minas, Prata e Santa Vitória não possuem ainda qualquer tratamento de esgoto. Nesses casos, há lançamento de esgoto diretamente nos solos e nos cursos d'água (CBH PARANAÍBA, 2017b). Nesse cenário, deve-se estabelecer metas de ampliação do sistema de tratamento de esgoto, dando às proposições do Plano Diretor de Recursos Hídricos, que prevê investimentos para melhoria do saneamento diante do crescimento populacional (CBH PARANAÍBA, 2017b).

Gestão efetiva dos resíduos sólidos

A gestão dos resíduos sólidos dos municípios da unidade de planejamento necessita de uma melhoria imediata, visto que há problemas na coleta e na disposição final. Embora seja uma medida que deva contemplar a abrangência municipal, independente das sedes administrativas se situarem no interior da UPGRH PN3, as principais ações devem ocorrer nas áreas urbanas, pois é onde boa parte dos resíduos sólidos é gerada. Dentre as medidas, ressalta-se a ampliação da coleta seletiva para todos os municípios, sendo Ituiutaba o único que possui esse sistema de coleta (CBH PARANAÍBA, 2017b).

Para exemplificar a situação da disposição final de resíduos sólidos, segundo a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2019), dos 21 municípios com porções territoriais situadas na unidade de planejamento, nove possuem lixões como destino (Tupaciguara, Monte Alegre de Minas, Centralina, Cachoeira Dourada, Capinópolis, Ipiaçu, Gurinhatã, Campina Verde e Carneirinho). Ainda conforme a FEAM (2019), com exceção de cinco municípios que possuem aterro sanitário regularizado (Uberlândia, Uberaba, Veríssimo, Campo Florido e Santa Vitória), os demais não possuem áreas de disposição ou tratamento de resíduos sólidos regularizados. Dessa forma, é urgente a melhoria na coleta e na regularização da disposição final de resíduos sólidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese apresentou resultados de uma proposição metodológica de zoneamento ambiental para bacias hidrográficas, importante instrumento a ser considerado no âmbito dos Planos Diretores de Recursos Hídricos. A metodologia foi aplicada na UPGRH PN3 não apenas para fins demonstrativos, mas também como uma contribuição às futuras revisões do Plano Diretor de Recursos Hídricos da referida unidade de planejamento. O zoneamento ambiental pode contribuir para o planejamento e a gestão das bacias hidrográficas, pois o instrumento é capaz de indicar diferenças paisagísticas do território, condição básica para a tomada de decisão no âmbito do meio ambiente e, em especial, dos recursos hídricos.

A integração de componentes físico-geográficos e ambientais consiste em um princípio de qualquer metodologia de zoneamento ambiental. O desafio é estabelecer quais componentes são relevantes e quais procedimentos são adequados para atingir os objetivos propostos. Nesta pesquisa, os componentes selecionados estão, de alguma forma, relacionados às questões que sintetizam a paisagem e a situação dos recursos hídricos (em especial das águas superficiais), além das áreas legalmente protegidas. Os resultados obtidos demonstram que há possibilidade de se obter um produto cartográfico a partir da integração de componentes físico-geográficos e ambientais variados, especialmente vinculados funcionalmente à dinâmica hidrológica, pois foram capazes de fornecer diferentes graus de vulnerabilidades e conflitos.

Os primeiros resultados obtidos correspondem à vulnerabilidade natural à perda de solos e à vulnerabilidade quali-quantitativa das águas superficiais. Esses resultados, juntamente com as áreas legalmente protegidas, foram utilizados para a determinação de conflitos, etapa essa desenvolvida nesta tese. A divisão em duas zonas foi concebida pela restrição legal dos espaços protegidos por lei (zona de conservação ou de intervenções recuperativas) e pelas ocupações e atividades desenvolvidas nos demais espaços (zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas). Os conflitos contribuíram para a subdivisão das zonas (subzonas), possibilitando a indicação das condições de recuperação e manejo. Conjuntamente, a situação quali-quantitativa das águas superficiais definiu a prioridade de recuperação e manejo das bacias hidrográficas.

Diante do detalhamento de informações obtidas com a delimitação das subzonas, pode-se considerar que o enfoque do zoneamento ambiental elaborado é tático. Esse enfoque constitui um modelo operacional que transcende linhas estratégicas gerais de planejamento, incluindo uma organização ativa do território da UPGRH PN3. Embora a escala de trabalho definida para este zoneamento ambiental seja de 1:250.000, escala que abrange tanto a abordagem estratégica quanto a tática, o caráter ativo das ações determinou o enfoque do trabalho. Essa condição foi

possível porque o procedimento metodológico possibilita a definição de áreas (subzonas) com restrições e medidas claras a serem implementadas na unidade de planejamento.

Dessa forma, a apresentação do zoneamento ambiental possibilitou uma combinação de aspectos ecológicos e econômicos, visto que são estabelecidos critérios objetivos de recuperação e manejo a serem aplicados conforme a situação de cada área (subzona). Enquanto a zona de conservação ou de intervenções recuperativas possui duas diretrizes com ações ecologicamente fortes, a zona de ocupações consolidadas e/ou atividades produtivas apresenta diretrizes com ações voltadas à sustentabilidade das áreas (subzonas), o que configura o tratamento das relações ecológicas e econômicas esperadas em um zoneamento ambiental. Por isso, este produto cartográfico pode ser considerado pelos gestores da unidade de planejamento devido à possibilidade de aplicação enquanto política pública.

É importante ressaltar que a adoção do zoneamento ambiental proposto não inviabiliza as ações já indicadas pelo Plano Diretor de Recursos Hídricos da UPGRH PN3, devendo-se tratar como uma complementação das recomendações em futuras revisões. Além das medidas para gestão dos recursos hídricos e das atividades dos setores produtivo e governamental, o presente zoneamento ambiental retira a flexibilidade de implementação das indicações. Essa rigidez foi determinada pelo levantamento da vulnerabilidade natural à perda de solos e também pelas ocupações inapropriadas das áreas legalmente protegidas, complementado pela definição das bacias hidrográficas prioritárias às ações de recuperação e manejo.

Por se colocar como uma contribuição ao Plano Diretor de Recursos Hídricos, pode-se inclusive incentivar que as atividades de educação ambiental (já previstas pelo referido documento) indiquem o conteúdo do zoneamento ambiental, não somente aos componentes do setor produtivo. É importante que as informações do instrumento, caso seja acatado pelo Poder Público, sejam compreendidas pela população, pois minimamente é necessário o entendimento de que as áreas legalmente protegidas não podem ser ocupadas e as demais precisam atender critérios de sustentabilidade. A divulgação atenderia tanto a finalidade do instrumento quanto a efetivação de sua utilidade, que é contribuir para a melhoria da qualidade ambiental.

Entende-se que o zoneamento ambiental proposto pode ser uma ferramenta útil de planejamento e gestão da área de estudo, principalmente se integrada com outros instrumentos de política ambiental. De qualquer modo, ressalta-se que as possíveis críticas deste trabalho são indispensáveis para aperfeiçoamento dos procedimentos metodológicos e, por conseguinte, para o avanço das pesquisas em geografia e meio ambiente. Por fim, espera-se que as ideias aqui desenvolvidas sejam utilizadas para futuras revisões do Plano Diretor de Recursos Hídricos da UPGRH PN3 ou para que a metodologia seja aplicada em unidades territoriais análogas.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 7. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2012. 158 p.
- AB'SÁBER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, n. 18, p. 1-14, 1969.
- AB'SÁBER, A. N. Zoneamento ecológico e econômico da Amazônia: questões de escala e método. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 3, n. 5, 1989.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40141989000100002>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- ALCÂNTARA, D. C. B. G. *et al.* **Relatório da Folha Prata SE.22-Z-D-II, escala 1:100.000**. Belo Horizonte: CODEMIG/UFMG, 2017, 32 p.
- AMORIM, R. R. Um novo olhar na geografia para os conceitos e aplicações de geossistemas, sistemas antrópicos e sistemas ambientais. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 4, p. 80-101, 2012.
- ANDRADE, V. C. S. **O Novo Código Florestal e os impactos ambientais no entorno do reservatório de São Simão em consequência da expansão canavieira**. 167 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências Integradas do Pontal, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 10ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013, 322 p.
- BACCARO, C. A. D. Unidades geomorfológicas do Triângulo Mineiro: estudo preliminar. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 3, n. 5 e 6, p. 37-42, 1991.
- BASTIAN, O.; STEINHARDT, U. (Ed.). **Development and perspectives of landscape ecology**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002.
- BATEZELLI, A. **Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes**. 183 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, 2003.
- BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Brasília: SAE/MMA, 1996. 40 p.

BEROUTCHACHVILI, N. L.; BERTRAND, G. Le géosystème ou système territorial naturel. **Revue Géographique des Pyrénées et du sud-ouest**, Toulouse, v. 49, p. 167-180, 1978.

BERTALANFFY, L. **General System Theory**: foundations, development and applications. New York: George Braziler, 1968, 289 p.

BERTRAND, G.; BERTRAND, C. **Uma geografia transversal e de travessias**: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades. (Tradução: Messias Modesto dos Passos). Maringá: Ed. Massoni, 2009. 332 p.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. (Tradução: Olga Cruz). **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 13, 1972.

BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique. **Revue Géographique des Pyrénées et sud-ouest**, Toulouse, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de outubro de 1988. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil** Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 21 out. 2019.

BRASIL. Decreto nº 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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4297.htm. Acesso em: 22 mar. 2019.

BRASIL. Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017. Institui a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/D8972.htm. Acesso em: 27 ago. 2020.

BRASIL. Decreto nº 99.193, de 27 de março de 1990. Dispõe sobre as atividades relacionadas ao zoneamento ecológico-econômico, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1990-1994/D99193.htm. Acesso em: 20 ago. 2019.

BRASIL. Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm. Acesso em: 20 ago. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em: 20 ago. 2019.

BRASIL. Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964. Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4504.htm. Acesso em: 20 ago. 2019.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de janeiro de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 22 mar. 2019.

BRASIL. Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7661.htm. Acesso em: 20 ago. 2019.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 23 mar. 2019.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm. Acesso em: 01 set. 2020.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 20 ago. 2019.

BRASIL. **Mapeamento do uso e cobertura da terra do Cerrado**: Projeto TerraClass Cerrado 2013. Brasília: MMA, 2015. 67 p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/tccerrado>. Acesso em: 15 fev. 2019.

BRASIL. **Sistema Nacional de Cadastro Ambiental**. Disponível em: <http://www.car.gov.br/publico/municipios/downloads>. Acesso em: 15 mar. 2020.

CAILLEUX, A.; TRICART, J. **Le problème de la classification des faits géomorphologiques**. *Annales de Géographie*. n. 349, LXV, année, p. 162-185, 1956.

CALASANS, N. A. R.; LEVY, M. C. T; MOREAU, M. Interrelações entre clima e vazão. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2005, p. 67-90.

CÂMARA, G. *et al.* Álgebra de mapas. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Orgs.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CARVALHO, P. C. F. *et al.* **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil**. Porto Alegre: Gráfica RJR, 2011. 60 p.

CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 95 p.

CAVALCANTI, L. C. S. **Da descrição de áreas à teoria dos geossistemas: uma abordagem epistemológica sobre sínteses naturalistas**. 216 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

CETRA, M. Uso do índice de integridade biótica no gerenciamento de bacia hidrográfica. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2005, p. 179-192.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. *Physical Geography: a systems approach*. **Prentice-Hall International**, London, 370 p., 1971. <https://doi.org/10.1002/qj.49709841818>

CHRISTIAN, C. S.; STEWART, G. A. **Methodology of integrated surveys**. Toulouse: Conference on principles and methods of integrated aerial surveys of natural resources for potential development, 1964, 146 p. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000153986>. Acesso em: 18 set. 2019.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo: Hucitec-Edusp, 1979. 106 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236 p.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAGUARI. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari**. Araguari: Monte Plan, 2007.

Disponível em: <http://www.cbharaguari.org.br/gestao-das-aguas/instrumentos-de-gestao/plano-diretor>. Acesso em: 06 mai. 2020.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. Deliberação Normativa nº 01, de 09 de fevereiro de 2012. Define as Unidades Territoriais Estratégicas – UTE, da bacia hidrográfica do Rio das Velhas. **CBH RIO DAS VELHAS**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://cbhvelhas.org.br/images/CBHVELHAS/deliberacoes/dn01-2012%20unidades%20territoriais.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2019.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas**: resumo executivo. Belo Horizonte: CBH Rio das Velhas, 2015, 223 p.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA. **Apresentação do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari**. Monte Plan, 2009, 62 slides. Disponível em: http://cbhparanaiba.org.br/uploads/documentos/Reunioes_CTPI/2009/4Reuniao-12e13.02.09-Nova%20Ponte-MG/PRHAraguari.pdf. Acesso em: 06 mai. 2020.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão Hídrica Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba 2013**: elaborado por COBRAPE, aprovado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba em março de 2017. Itumbiara: CBH Paranaíba, 2017a, 188 p.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA. **Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão Hídrica Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba 2013**: elaborado por COBRAPE, revisado e aprovado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba em maio de 2017. Itumbiara: CBH Paranaíba, 2017b, 188 p.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS; COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS. **Mapa geológico do estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000**. Belo Horizonte: CPRM (Serviço Geológico do Brasil), CODEMIG, 2014. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20786>. Acesso em: 05 jan. 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 302, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=298>. Acesso em: 16 mar. 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF,

Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 21 out. 2019.

CONTI, J. B. Geografia e paisagem. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 36 Ed. Especial, p. 239-245, 2014. [DOI:10.5902/2179460X13218](https://doi.org/10.5902/2179460X13218)

COSTA, M. H.; BOTTA, A.; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins river, southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 283, p. 206-217, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00267-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00267-1)

CREPANI, E. *et al.* **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996. 18 p.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.

DEL PRETTE, M. E. Diagnóstico para planejamento e estudos interdisciplinares: a contribuição das disciplinas socioeconômicas. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 10, p. 109-116, 1996. <https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0009>

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Rodovias do Brasil**. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>. Acesso em: Acesso em: 19 nov. 2018.

DIAS-FILHO, M. B. **Formação e manejo de pastagens**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2012.

DIAS, V. S. B.; SILVA, A. B. AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do mini corredor ecológico Serra das Onças (BA). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 6, p. 1363-1377, 2014.

ERHART, H. Biostasie et rhexistasie: esquisse d'une théorie sur le rôle de pedogenése en tant que phénomène géologique. **C. R. Séanc. Acad. Sci.**, v. 241, p. 1218-20, 1955.

FELMER, M.; FERREIRA, V. G.; QUINTÃO, D. A. **Relatório das Folhas Ituiutaba - Itumbiara SE.22-Z-B-IV – SE.22-Z-B-I, escala 1:100.000**. Belo Horizonte: CODEMIG/UFGM, 2017, 42 p.

FERNANDES, M. R. **Manejo integrado de bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações**, Belo Horizonte: SMEA/CREA, 2010.

FERREIRA, V. O. A abordagem da paisagem no âmbito dos estudos ambientais integrados. **GeoTextos**, Salvador, vol. 6, n. 2, p. 187-208, 2010. <https://dx.doi.org/10.9771/1984-5537geo.v6i2.4836>

FERREIRA, V. O.; CUPOLILLO, F. Diagnóstico, zoneamento, planejamento e gestão ambiental na dimensão territorial: diferenças e complementos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 09, n. 05, p. 1428-1440, 2016.

<http://dx.doi.org/10.5935/1984-2295.20160098>

FINKLER, R. **Planejamento, manejo e gestão de bacias**: unidade 2 – instrumentos de planejamento e manejo de bacia hidrográfica. Brasília: ANA, 2012. 87 p.

FORBES, F. J.; HODGES, R. C. New approaches to comprehensive planning in Canada. **Water Resources Bulletin**, v. 7, n. 5, 1971.

<http://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1971.tb05026.x>

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (Cartografia). **Situação de tratamento e/ou disposição final dos resíduos sólidos urbanos**: Minas Gerais 2018. Belo Horizonte: SEMAD, 2019. Disponível em: <http://www.feam.br/component/content/233?task=view>. Acesso em: 05 set. 2020.

GENELETTI, D.; DUREN, I. V. Protected area zoning for conservation and use: a combination of spatial multicriteria and multiobjective evaluation. **Landscape and Urban Planning**, China, v. 85, p. 97-110, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.10.004>

GÓMEZ, M.; BARREDO, J. **Sistemas de información geográfica y evaluación multicritério en la ordenación del territorio**. 2. ed. Madrid: Editorial Ra-Ma, 2005, 304 p.

GRAY, D. H.; SOTIR, R. B. **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization**: a practical guide for erosion control. Nova York: Wiley Interscience, 1996.

GRAZHDANI, D. Using multi-criteria analysis method for assessment the impacts of integrated land-use/cover management on the provision of ecosystem services in protected area of lakes Prespa. **Journal of International Environmental Application and Science**, v. 12, n. 4, p. 299-307, 2017.

INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS; SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Infraestrutura de dados espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Belo Horizonte: IDE-SISEMA, 2019. Disponível em: idesisema.meioambiente.mg.gov.br. Acesso em: 02 dez. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Arquivo vetorial do território brasileiro**. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>. Acesso em: 15 set. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias**. Rio de

Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em:

https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/. Acesso em: 06 mai. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha SE-22-Z-A Quirinópolis (escala 1:250.000)**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979a. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br>. Acesso em: 14 fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha SE-22-Z-B Uberlândia (escala 1:250.000)**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979b. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br>. Acesso em: 14 fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha SE-22-Z-C Iturama (escala 1:250.000)**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979c. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br>. Acesso em: 14 fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha SE-22-Z-D Prata (escala 1:250.000)**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979d. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br>. Acesso em: 14 fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de Geologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1998. 306 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 175 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de Pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 425 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de clima do Brasil escala 1:5.000.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 1978. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15817-clima.html?=&t=downloads>. Acesso em: 01 fev. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapeamento de recursos naturais do Brasil escala 1:250.000**. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2018. 8 p. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Portaria IBAMA nº 72, de 4 de junho de 1997. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, Disponível em:

http://sistemas.icmbio.gov.br/site_media/portarias/2010/07/01/PortRPPNReservaEcol%C3%B3gicoPampa.pdf. Acesso em: 03 abr. 2020.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Avaliação da qualidade das águas superficiais em Minas Gerais em 2018**: resumo executivo anual. Belo Horizonte: Igam, 2019a. 327 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Comitês e Unidades de Planejamento**. Belo Horizonte: IGAM, 2010a. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/83?task=view>. Acesso em: 19 out. 2019.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Portaria nº 48, de 04 de outubro de 2019. **Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49719>. Acesso em: 22 out. 2019b.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Rede de drenagem de Minas Gerais em formato shapefile**. Belo Horizonte: Igam, 2012. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 19 set. 2019.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Séries Históricas de Monitoramentos da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais (1º, 2º, 3º e 4º trimestres de 2018)**. Belo Horizonte: Igam, 2018. Planilhas.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais**. Belo Horizonte: IGAM, 2010b. Disponível em: http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/images/UPGRH_Minis_Completa.png. Acesso em: 19 out. 2019.

ISACHENKO, A. G. **Principles of landscape science and physical geographic regionalization**. Melbourne: MUP, 1973. 311 p.

KING, L. C. A. Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro. v. 18, n. 2, p. 147-266, 1956.

KNAUER, L. G. *et al.* **Relatório da Folha Gurinhatã SE.22-Z-C-III, escala 1:100.000**. Belo Horizonte: CODEMIG/UFMG, 2017, 48 p.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. (Tradução: Hermann Kux). São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 424 p.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de bacia hidrográfica**: aspectos conceituais e metodológicos. Brasília: IBAMA, 1995. 170 p.

LANNA, A. E. L. Sistemas de gestão de recursos hídricos: análise de alguns arranjos institucionais. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 1, n. 21, p. 21-56, 2000.

LEITE, E. F. **Caracterização, diagnóstico e zoneamento ambiental**: o exemplo da bacia hidrográfica do rio Formiga-TO. 2011. 228 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

LIMA, M. M. P.; SILVA, L. Análise da vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do rio Banabuiú, com apoio de geotecnologia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 11, n. 4, p. 1442-1457, 2018. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1442-1457>

LOPES, E. R. do N. *et al.* Caminhos e entraves do Zoneamento Ecológico-Econômico no Brasil. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n. 69, p. 342-359, 2019. <https://doi.org/10.14393/RCG206941305>

LOPES, J. L. S.; CESTARO, L. A.; KELTING, F. M. S. Zoneamento ambiental como instrumento de uso da terra do município de Aquiraz-CE. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 32, n. 1, p. 93-104, 2012. <https://doi.org/10.5216/bgg.v32i1.18958>

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros para gerenciamento de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Ilhéus: Editus, 2005, p. 37-65.

MACHADO, P. L. O. A.; WADT, P. G. **Boas práticas agrícolas**: terraceamento. Rio Branco: Embrapa Acre, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/13599347/ID01.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2020.

MAPBIOMAS. **Coleção 3 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil**. 2018. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 15 dez. 2019.

MAKHDOUM, M. F. Landscape ecology or environmental studies (Land Ecology) (European Versus Anglo-Saxon schools of thought). **Journal of International Environmental Application and Science**, v. 3, n. 3, p. 147-160, 2008.

MARQUES NETO, R. Considerações sobre a paisagem enquanto recurso metodológico para a geografia física. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 26, p. 243-255, 2008.

MATERANO, L. C. S. **Zoneamento ambiental para a bacia hidrográfica do rio Castán em Trujillo – Venezuela**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

MATOS, A. C. O. C. **Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de geodésia e geofísica na América do Sul**. 355 f. Tese (Doutorado), Curso de Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.

MILANI, E. J. *et al.* Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

MINAS GERAIS. Decreto nº 45.568, de 22 de março de 2011a. Cria o Refúgio de Vida Silvestre Estadual dos Rios Tijuco e da Prata, e dá outras providências. **Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=DEC&num=45568&comp=&ano=2011>. Acesso em: 15 mar. 2020.

MINAS GERAIS. Decreto nº 45.719, de 02 de setembro de 2011b. Altera o Decreto nº 45.568, de 22 de março de 2011, que cria o Refúgio de Vida Silvestre Estadual dos Rios Tijuco e da Prata, e dá outras providências. **Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=DEC&num=45719&comp=&ano=2011>. Acesso em: 15 mar. 2020.

MINAS GERAIS. Decreto nº 46.650, de 19 de novembro de 2014. Aprova a Metodologia Mineira de Caracterização Socioeconômica e Ambiental de Sub-bacias Hidrográficas, denominada Zoneamento Ambiental Produtivo – ZAP – e dá outras providências. **Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2017/GESTAO_AMBIENTAL/Depa/Decreto_46650_2014.pdf. Acesso em: 03 out. 2019.

MINAS GERAIS. Decreto nº 47.705, de 4 de setembro de 2019. Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais. **Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=49498>. Acesso em: 22 out. 2019.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 129, de 27 de novembro de 2008. Dispõe sobre o Zoneamento Ecológico Econômico – ZEE como instrumento de apoio ao planejamento e à gestão das ações governamentais para a proteção do meio ambiente do Estado de Minas Gerais. **Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8733>. Acesso em: 20 ago. 2019.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 229, de 10 de dezembro de 2018. Dispõe sobre a Avaliação Ambiental Integrada como instrumento de apoio ao planejamento da implantação de novos empreendimentos hidrelétricos no Estado de Minas Gerais. **Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=47298>. Acesso em: 06 mai. 2020.

MINAS GERAIS. Diretiva do COPAM nº 02, de 25 de maio de 2009. Estabelece diretrizes para revisão das normas regulamentares do Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM especialmente aquelas referentes aos mecanismos e critérios para a classificação de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente sujeitos à regularização ambiental, sem prejuízo do disposto na Diretiva do COPAM nº 1, de 7 de julho de 2008 e suas deliberações normativas derivadas, que trata da listagem G – Atividades agrossilvipastoris. **Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9674>. Acesso em: 20 ago. 2019.

MINAS GERAIS. Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Publicação – Diário do Executivo – Minas Gerais**. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>. Acesso em: 17 out. 2019.

MINAS GERAIS. **Metodologia para elaboração do Zoneamento Ambiental e Produtivo: ZAP de sub-bacias hidrográficas**. 2. ed. SEMAD/SEAPA-MG, 2016. 81 p. Disponível em: http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2016/ZAP/Metodologia_ZAP_-_2_edicao.pdf. Acesso em: 01 out. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Diretrizes metodológicas para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil**. 2006. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/PZEE/_arquivos/diretrizes_2006_parte1.pdf. Acesso em: 16 ago. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Histórico do ZEE**. 2011a. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/gestao-territorial/zoneamento-territorial/item/8186-historico-do-zee?tmpl=component&print=1>. Acesso em: 15 abr. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Princípios norteadores do ZEE**. 2011b. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/8187-princ%C3%ADpios-norteadores-do-zee.html>. Acesso em: 16 abr. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa ZEE Brasil**. 2011c. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/endere%C3%A7os-importantes/item/7531-programa-zee-brasil>. Acesso em: 15 abr. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Situação do ZEE no Brasil**. 2018. Disponível em: https://www.mma.gov.br/images/arquivo/80253/Estados/Informacoes_ZEE_2018_novo.pdf. Acesso em: 16 ago. 2019.

MONGE, F. S. Propuesta de zonificación ambiental del corredor biológico interurbano río María Aguilar, Costa Rica. **Revista de Ciencias Ambientales**, v. 51, n. 1, p. 33-50, 2017. <https://doi.org/10.15359/rca.51-1.3>

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas**: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000. 127 p.

MORAES, M. E. B. de. **Zoneamento ambiental de bacias hidrográficas**: uma abordagem metodológica aplicada na bacia do rio Bonito (SP). 130 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

MOREIRA, V. B.; PEREZ FILHO, A. Das superfícies de aplainamento aos pulsos climáticos holocênicos: a evolução da paisagem em relevos de chapada. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 32, p. 176-195, 2020. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-46867>

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)88977-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6)

NGUYEN, A. K. *et al.* Zoning eco-environmental vulnerability for environmental management and protection. **Ecological Indicators**, v. 69, p. 100-117, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.026>

NISHIYAMA, L. Geologia do município de Uberlândia e áreas adjacentes. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 9-16, 1989.

NOBRE, M. F. **O Zoneamento Ecológico-Econômico como instrumento de planejamento e gestão ambiental: uma proposta para a bacia hidrográfica do rio Corumbataí (SP)**. 249 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

OLIVEIRA, I. P. O.; NOVO, T. A. **Relatório das Folhas Cachoeira da Mutuca, Jales, Paranaíba e Aparecida do Tabuado SE.22-Z-C-IV, SF.22-X-A-I, SE.22-Y-D-VI, SF.22-V-B-III, escala 1:100.000**. Belo Horizonte: CODEMIG/UFMG, 2017, 30 p.

OLIVEIRA, J. L. **Análise sobre a vulnerabilidade erosiva da bacia hidrográfica do ribeirão Conquistinha no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba**. 97 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

PELLÉ, J. M. **RGB Color Code according to the Commission for the Geological Map of the World (CGMW)**. France, 2012. Disponível em: <https://engineering.purdue.edu/Stratigraphy/charts/RGB.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2018.

PEREZ FILHO, A. Sistemas naturais e Geografia. In: SILVA, J. B.; LIMA, L. C.; ELIAS, D. (org.). **Panorama da Geografia brasileira**. São Paulo: Annablume, 2007, v. 01, p. 333-336.

PIRES, J. S. R. **Análise ambiental voltada ao planejamento e gerenciamento do ambiente rural**: abordagem metodológica aplicada ao município de Luiz Antônio-SP. 166 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1995.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Ilhéus: Editus, 2005, p. 17-35.

PIRES, L. S. *et al.* Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 687-695, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000400021>

RANIERI, V. E. L. *et al.* O zoneamento ambiental como instrumento de política e gestão ambiental. In: ESPÍNDOLA, E. L. G.; WENDLAND, E. (Orgs.). **PPG-SEA: Trajetórias e perspectivas de um curso multidisciplinar**. São Carlos: Rima, 2005, v. 4, p. 109-136.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Conceitos básicos de modelagem hidrológica. In: MEIRELLES, M. S. P. **Geomática**: modelos e aplicações ambientais. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007, p. 529-556.

RESENDE, M. *et al.* **Pedologia**: base para distinção de ambientes. Lavras: Editora UFLA, 2014, 378 p.

RICHÉ, G.; TONNEAU, J. P. Stratification du milieu. L'exemple de Ouricuri. **Les Cahiers de la Recherche Développement**. n. 24, p. 57-76, 1989.

ROCHA, A. C. Bacias em conflito pelo uso da água no estado de Minas Gerais. In: DI MAURO, C. A.; ROSOLEN, V.; FERREIRA, V. O. (Org.) **Planejamento e gestão de recursos hídricos**: exemplos mineiros. Uberlândia: Assis Editora, 2012, p. 197-215.

RODRÍGUEZ, E. V. *et al.* Ordenamiento territorial como instrumento, para la zonificación ambiental a través de la Estructura Ecológica Principal, como apoyo a la formulación de los POTs y los POMCAS en Colombia. **Revista de Tecnología**, v. 14, n. 2, p. 49-76, 2015. [DOI:10.18270/rt.v14i2.1870](https://doi.org/10.18270/rt.v14i2.1870)

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 2. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2007. 222 p.

ROSA, R. Análise espacial em geografia. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação em Geografia (ANPEGE)**, v. 7, n. 1, p. 275-289, 2011. <https://doi.org/10.5418/RA2011.0701.0023>

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 81-90, 2005. <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0009>

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 6ª ed. Uberlândia: EDUFU, 2007. 248 p.

ROSA, R. M.; FERREIRA, V. O. Análise crítica da definição das unidades de paisagem do Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP) de Minas Gerais. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia Física e as Mudanças Globais**. Fortaleza: Editora UFC, 2019, p. 115-127. Disponível em: <http://www.editora.ufc.br/images/images/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/115.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2019.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 8, p. 63-74, 1994. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>

ROSS, J. L. S.; DEL PRETTE, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 12, p. 89-121, 2016. <https://doi.org/10.7154/RDG.1998.0012.0005>

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 208 p.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. (Org.). **Sistema Plantio Direto**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa, 1998.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 5ª ed., 2018.

SANTOS, L.; BACCARO, C. A. D. Caracterização geomorfológica da bacia do rio Tijuco. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 5, n. 11, p. 1-21, 2004.

SANTOS, M. R. R.; RANIERI, V. E. L. Critérios para análise do zoneamento ambiental como instrumento de planejamento e ordenamento territorial. **Ambiente e Sociedade**, v. 16, n. 4, p. 43-62, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2013000400004>

SANTOS, P. T.; MARTINS, A. P. Análise da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Claro (GO) utilizando geotecnologias. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 36, p. 155-170, 2018. <https://doi.org/10.11606/rdg.v36i0.143665>

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

SAUER, C. O. The morphology of landscape. In: WIENS, J.A.; MOSS, M. R.; TURNER, M. G.; MLADENOFF, D. J. (Orgs.) **Foundation papers in landscape ecology**. New York: Columbia University Press, 2006, p. 36-70.

SCOLFORO, J. R. *et al.* Zoneamento Ecológico-Econômico de Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D. (Ed.). **Zoneamento Ecológico-Econômico do estado de Minas Gerais: zoneamento e cenários exploratórios**. Lavras: UFLA, 2008. Cap. 1, p. 7-20. Disponível em: <http://www.zee.mg.gov.br>. Acesso em: 15 mar. 2019.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Avaliação Ambiental Integrada dos aproveitamentos hidrelétricos da UPRH rio Araguari: caracterização socioambiental**. Belo Horizonte: Sete Soluções e Tecnologia Ambiental LTDA, 2017. 715 p.

SEER, H. J.; MORAES, L. C. **Geologia regional do Triângulo Mineiro**. Belo Horizonte: CODEMIG/UFMG, 2017, 123 p.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 21, n. 2, p. 221-263, 2004.

SILVA NETO, J. C. A. **Zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do rio Salobra, Serra da Bodoquena-MS**. 291 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2013.

SILVA, N. R. **Caracterização do regime climático regional: uma análise dos parâmetros de temperatura, precipitação e balanço hídrico do Triângulo Mineiro-MG**. 59 f. Monografia (Graduação), Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: EDUSP, 1993, p. 35-52.

SOTCHAVA, V. B. Algumas noções e termos da Geografia Física. **Relatórios do Instituto de Geografia da Sibéria e do Extremo Oriente**. 1963. 53 p.

SOTCHAVA, V. B. Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia**, n. 14, São Paulo, 1978.

SOUZA, D. A. **Zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do alto São Francisco-MG**. 82 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SOUZA, S. M. T. **Deflúvios superficiais no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Hidrosistemas, 1993, 264 p.

SOUZA, M. J. L. O território: sobre espaço e poder, autonomia e desenvolvimento. In: CASTRO, I. E.; GOMES, P. C. C.; CORRÊA, R. L. (Orgs.). **Geografia: conceitos e temas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001, p. 77- 116.

SOUZA, M. P. **Instrumentos de gestão ambiental**: fundamentos e prática. São Carlos: Editora Riani Costa, 2000. 112 p.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude): analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 1117-1142, 1952.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1977. 97 p.

TRICART, J. **Paisagem e ecologia**. Inter-Facies: escritos e documentos. São José do Rio Preto: Ed. UNESP, 1982. 55 p.

TROLL, C. A paisagem geográfica e sua investigação. **Espaço e Cultura**, Rio de Janeiro, n. 4, p. 1-7, 1997. <https://doi.org/10.12957/espacoecultura.1997.6770>

TROPPIAIR, H. Ecossistemas e geossistemas do estado de São Paulo. **Boletim de Geografia Teórica**, Rio Claro, v. 13, p. 27-36, 1983.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc-Second Global**. Courtesy of the U.S. Geological Survey. Disponível em: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM1Arc>. Acesso em: 18 nov. 2019.

VENCESLAU, F. R.; MIYAZAKI, L. C. P. Processos, análises e gestão de bacias hidrográficas em ambientes urbanos: o caso do córrego São José – Ituiutaba/MG. **Revista Geografia em Atos**, Presidente Prudente, v. 02, n. 09, p. 71-92, 2019. <https://doi.org/10.35416/geoatos.v2i9.6342>

VEYRET, Y.; VIGNEAU, J. P. **Geographie physique**: milieux et environnement dans le systeme terre. Paris: Armand Colin, 2002. 368 p.

VIEIRA, D. L, M. *et al.* **Métodos de recomposição da vegetação nativa**. Brasília: Embrapa, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1063546/metodos-de-recomposicao-da-vegetacao-nativa>. Acesso em: 26 ago. 2020.

VOLK, L. B. S. *et al.* Manejo da pastagem em ILP e seu impacto nos atributos de solo e da produção. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão**: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 523-529.

ZONNEVELD, I. S. The land unit: a fundamental concept in landscape ecology, and its applications. **Landscape Ecology**, v. 3, p. 67-86, 1989.