



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

SAMARA SILVA SOARES

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO E  
CONSERVAÇÃO AMBIENTAL EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO BIOMA  
CERRADO**

GOIÂNIA

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

[ ] Dissertação      [ X ] Tese

#### 2. Nome completo do autor

**Samara Silva Soares**

#### 3. Título do trabalho

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO BIOMA CERRADO**

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento [ X ] SIM      [ ] NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

**a)** consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

**b)** novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Samara Silva Soares, Discente**, em 04/07/2023, às 11:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nilson Clementino Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 04/07/2023, às 11:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3867792** e o código CRC **17B6FF5F**.

Referência: Processo nº 23070.032205/2023-21

SEI nº 3867792

SAMARA SILVA SOARES

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO E  
CONSERVAÇÃO AMBIENTAL EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO BIOMA  
CERRADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Pró-Reitoria de Pós-Graduação, da Universidade Federal de Goiás (UFG) como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Estrutura e Dinâmica Ambiental.

Linha de Pesquisa: Análise e Monitoramento de Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira

GOIÂNIA

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Soares, Samara Silva

Identificação de áreas prioritárias para recuperação e conservação ambiental em uma bacia hidrográfica do bioma Cerrado [manuscrito] / Samara Silva Soares. - 2023.

216 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Pró-reitoria de Pós-graduação (PRPG), Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, 2023.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui siglas, mapas, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Mudança no uso e cobertura da terra. 2. Áreas Prioritárias para Conservação. 3. Vulnerabilidade Socioambiental. 4. Erosão do solo. 5. Fronteira Agrícola. I. Ferreira, Nilson Clementino, orient. II. Título.

CDU 502/504



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

## GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

## ATA DE DEFESA DE TESE

Ata Nº **016/2023** da sessão de Defesa de Tese de **Samara Silva Soares** que confere o título de Doutora em **Ciências Ambientais**, na área de concentração em **Estrutura e Dinâmica Ambiental**.

Aos **vinte e nove dias do mês de junho do ano de 2023**, a partir das **16 horas**, na plataforma **Google Meet**, cuja participação ocorreu através de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada **“ANÁLISE TEMPORAL DA DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA ANTROPIZADA: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE”**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Nilson Clementino Ferreira (EECA/UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora **Karla Maria Silva de Faria (IESA/UFG)**, membro titular interno; Professor Doutor **Klebber Teodomiro Martins Formiga (EECA/UFG)**, membro titular interno; Professor Doutor **Lindon Fonseca Mathias (UNICAMP)**, membro titular externo; Professora Doutora **Roberta Mara Oliveira Vergara (UFT)**, membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **sugeriram** alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Nilson Clementino Ferreira**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos **vinte e nove dias do mês de junho do ano de 2023**.

## TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO BIOMA CERRADO**

Documento assinado eletronicamente por **Samara Silva Soares, Discente**, em 06/07/2023, às 14:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **ROBERTA MARA DE OLIVEIRA VERGARA, Usuário Externo**, em 06/07/2023, às 14:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Karla Maria Silva De Faria, Professora do Magistério Superior**, em 06/07/2023, às 18:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lindon Fonseca Matias, Usuário Externo**, em 18/07/2023, às 11:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nilson Clementino Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 25/07/2023, às 11:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Klebber Teodomiro Martins Formiga, Professor do Magistério Superior**, em 25/07/2023, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3874709** e o código CRC **3A83F83C**.

---

Referência: Processo nº 23070.032205/2023-21

SEI nº 3874709

*Dedico este trabalho ao meu eterno e amado avô Rodolfo Justino da Silva, um exemplo admirável de bondade e honestidade.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter abençoado todos os dias da minha vida, por iluminar meu caminho e me dar forças para seguir sempre em frente.

Aos meus familiares, amigos e colegas que ouviram minhas aspirações durante esses anos de doutorado. Agradeço especialmente aos colegas da turma de doutorado do ano de 2018, do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCIAMB), pelo apoio e incentivo durante as disciplinas e ideias agregadas à tese.

À Universidade Federal de Goiás, ao PPGCIAMB pela imensa contribuição na minha formação acadêmica e intelectual. Sou igualmente grata às políticas públicas em educação instituídas nos últimos governos, que, desde 2011, me proporcionou acesso ao ensino superior gratuito e de qualidade.

Sou grata ao apoio dos professores do PPGCIAMB e sobretudo ao professor Nilson Clementino Ferreira pelo incentivo, motivação e orientação nesta caminhada acadêmica e por acreditar no meu potencial e na minha pesquisa, apesar de todas as minhas dificuldades.

Agradeço também ao professor Paulo Sérgio Scalize pelo apoio e coorientação nas atividades acadêmicas e pela minha permanência no Laboratório de Análises de Água (LANA) na Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA).

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida durante os anos do curso.

## RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Meia Ponte é uma das mais importantes para o estado de Goiás, pois ela abastece toda a Região Metropolitana de Goiânia, onde reside a maior parte da população do estado. O rápido e intenso desenvolvimento socioeconômico, sem a adequada gestão ambiental, resultou num alto nível de antropização que se distribuiu por praticamente toda a bacia hidrográfica do rio Meia Ponte. Esses impactos podem contribuir com o aumento de processos erosivos hídricos dos solos e aumento das áreas de alta vulnerabilidade ambiental que carecem de recuperação e conservação. Assim, o objetivo desse trabalho foi definir as áreas prioritárias para recuperação e conservação socioambiental e avaliar os mecanismos existentes para a preservação ambiental considerando o processo de ocupação da UPGRH Meia Ponte, nos últimos 30 anos. Para isso foi estimada a perda de solos influenciada por mudanças temporais no uso e cobertura da terra (LULC) a partir de dados do Projeto Mapbiomas, Coleção 3.0, para os anos de 1987, 1997, 2007 e 2017 e empregando a Equação Universal de Perda de Solos (USLE). As áreas prioritárias para recuperação e conservação foram definidas a partir do potencial de recarga hídrica subterrânea, a vulnerabilidade ambiental e a vulnerabilidade social da bacia utilizando a metodologia de análise multicriterial (AHP) integradas às ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas – SIG. A expansão de áreas agrícolas ocorreu em 14% das áreas de pastagens. Essa conversão ocorreu nas áreas de menores declividades, de 0° a 5°, (relevos planos e suavemente ondulados) e solos considerados com maior aptidão para agricultura mecanizada, como os Latossolos. Os usos mantiveram-se inalterados em 66 % da bacia, houve 7 % de reflorestamento e 9% de desmatamento corroborando a expressiva antropização da bacia. Foi constatado o aumento na taxa de perda dos solos de 1987 a 2017, devido ao aumento de áreas agriculturáveis promovido pelas políticas agrícolas implantadas na época. As taxas toleráveis de perda de solos foram excedidas para agricultura e pastagem em todas as condições estudadas. As áreas agriculturáveis também possuem as maiores áreas prioritárias para recuperação. Os resultados são úteis para os planejadores e gestores de uso da terra para tomar decisões apropriadas no estabelecimento de políticas de preservação ambiental. O desenvolvimento econômico dos municípios possui uma correlação significativa, porém fraca com a contabilização de áreas prioritárias para conservação. No entanto, os mecanismos de pagamento por serviços ambientais (PSA) e a compensação ambiental se mostram viáveis para recomposição dessas áreas.

**Palavras-chave:** Mudança no uso e cobertura da terra; Fronteira Agrícola; SIG; Erosão do solo; (USLE) Vulnerabilidade Socioambiental; Áreas Prioritárias para Conservação; Compensação Ambiental; Pagamento por Serviços Ambientais - PSA

## ABSTRACT

The watershed of the Meia Ponte River is one of the most important hydrographic basins for the state of Goiás and has a high level of anthropization influenced by the process of expansion of the agricultural frontier, which can result in increased erosive processes of soils by water and increase of areas of high environmental vulnerability that lack recovery and conservation. Thus, the objective of this work was to define the priority areas for socio-environmental recovery and conservation and to evaluate the existing mechanisms for environmental preservation considering the process of occupation of UPGRH Meia Ponte in the last 30 years. For this, soil loss influenced by temporal changes in land use and cover (LULC) was estimated from data from the Mapbiomas Project, Collection 3.0, for the years 1987, 1997, 2007 and 2017 and using the Universal Soil Loss Equation (USLE). The priority areas for recovery and conservation were defined based on the potential for underground water recharge, the environmental vulnerability and the social vulnerability of the basin using the multicriteria analysis methodology (AHP) integrated with the tools of Geographic Information Systems – GIS. The expansion of agricultural areas occurred in 14% of the pasture areas. This conversion occurred in areas of lower slopes, from 0° to 5°, (flat and gently undulating reliefs) and soils considered more suitable for mechanized agriculture, such as Oxisols. The uses remained unchanged in 66% of the basin, there was 7% of reforestation and 9% of deforestation corroborating the expressive anthropization of the basin. The increase in the rate of soil loss from 1987 to 2017 was observed, due to the increase in arable areas promoted by the agricultural policies implemented at the time. The tolerable rates of soil loss were exceeded for agriculture and pasture under all studied conditions. Agricultural areas also have the highest priority areas for recovery. The results are useful for land use planners and managers to make appropriate decisions in establishing environmental preservation policies. The economic development of the municipalities has a significant but weak correlation with the accounting of priority areas for conservation. However, the mechanisms of payment for environmental services (PES) and environmental compensation are viable for the restoration of these areas.

**Keywords:** Change in land use and land cover; Agricultural Frontier; SIG; Soil erosion; (USLE) Socio-environmental vulnerability; Priority Areas for Conservation; Environmental Compensation; Payment for Environmental Services - PES.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da UPGRH do Rio Meia Ponte. Fonte: SIEG, 2017. Elaborado por Samara S. Soares.....	53
Figura 2 – Mapa hipsométrico (a) e mapa de declividade (b) da UPGRH do Rio Meia Ponte. Fonte: Topodata (2012). Elaborado por Samara S. Soares. ....	54
Figura 3 – Mapa de solos da UPGRH do Rio Meia Ponte. ....	56
Figura 4 – Mapa do uso e cobertura da terra nos anos de 1987 (a), 1997 (b), 2007 (c) e 2017 (d) na UPGRH do Rio Meia Ponte.....	60
Figura 5 – Distribuição das classes de uso e cobertura da terra nas regiões UPGRH do Rio Meia Ponte (a), RAMP (b), RMMP (c) e na RBMP (d).....	62
Figura 6 - Mapa de mudança do uso e cobertura da terra na UPGRH Meia Ponte entre 1987 e 2017.....	65
Figura 7 – Representação gráfica da mudança de uso e cobertura da terra na UPGRH Meia Ponte entre 1987 e 2017 em porcentagem (%) de área alterada em relação à área total da bacia.....	66
Figura 8 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte no estado de Goiás, Brasil e a identificação das estações climatológicas utilizadas para obter o fator de erosividade da chuva (R).. ....	76
Figura 9 – Fluxograma da metodologia geral utilizada neste estudo. * Foram calculados para as séries temporais de 1987, 1997, 2007 e 2017. ....	77
Figura 10 – Mapa da distribuição da erosividade da chuva média na bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte para as séries temporais de (a) 1978-1987, (b) 1988-1997, (c) 1998-2007 e (d) 2008-2017. ....	82
Figura 11 – Mapa do (a) fator de erodibilidade do solo (K) e (b) fator topográfico (LS) para a bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte. ....	83
Figura 12 – Mapa do fator CP para cada condição de mudança e cobertura do solo em (a) 1987, (b) 1997, (c) 2007 e (d) 2017 para a bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte.....	85
Figura 13– Mapa da estimativa de perda de solos para cada condição de mudança e cobertura do solo em (a) 1987, (b) 1997, (c) 2007 e (d) 2017 para a bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte.....	86
Figura 14 - Fluxograma das etapas para criação do mapa de áreas de recarga hídrica subterrânea na UPGRH Meia Ponte. ....	103
Figura 15 – Precipitação média anual da UPGRH Meia Ponte.....	105

Figura 16 – Distância à hidrografia em metros da UPGRH Meia Ponte.....	106
Figura 17 – Mapa de declividade classificado em porcentagem (%) de acordo com a Embrapa (2018) da UPGRH Meia Ponte.....	108
Figura 18 – Mapa das unidades geológicas da UPGRH Meia Ponte. ....	109
Figura 19 – Mapa dos sistemas de aquíferos profundos da UPGRH Meia Ponte e a respectiva contribuição das áreas.....	110
Figura 20 – Mapa do nível de fraturamento da litologia da UPGRH Meia Ponte e a respectiva contribuição das áreas.....	111
Figura 21 – Mapa dos tipos de solos da UPGRH Meia Ponte. Fonte: Resende 2016.....	112
Figura 22 - Mapa da densidade de lineamento da UPGRH Meia Ponte. ....	114
Figura 23 – Mapa das seis variáveis normalizadas pela função fuzzify associação linear ....	116
Figura 24 – Fluxograma das etapas para criação do mapa de vulnerabilidade social na UPGRH Meia Ponte.....	119
Figura 25 – Mapa do Grupo A –IVS Capital Humano da UPGH Meia Ponte.....	121
Figura 26 - Mapa do Grupo B –IVS Infraestrutura e Moradia da UPGH Meia Ponte.....	123
Figura 27 - Mapa do Grupo C –IVS Renda da UPGH Meia Ponte.....	124
Figura 28 - Mapa do IVS - Índice de Vulnerabilidade Social por setor censitário da UPGH Meia Ponte.....	126
Figura 29 – Mapa do Índice de Vulnerabilidade Social – IVS por município da UPGRH Meia Ponte.....	128
Figura 30 - Fluxograma das etapas para criação do mapa do índice de vulnerabilidade ambiental na UPGRH Meia Ponte. ....	129
Figura 31 – Mapa do fator de erosividade da chuva (R), fator de erodibilidade do solo (K) e do fator topográfico (LS) para a UPGRH Meia Ponte. ....	131
Figura 32 – Mapa do potencial natural de erosão na UPGRH Meia Ponte.....	132
Figura 33 – Densidade de focos de calor registrados entre janeiro de 2010 e dezembro de 2022 na UPGRH Meia Ponte. ....	133
Figura 34 – Mapa do uso e cobertura da terra da UPGRH Meia Ponte no ano de 2021.....	135
Figura 35 – Mapa da densidade de drenagem da UPGRH Meia Ponte.....	136
Figura 36 - Mapa das quatro variáveis normalizadas de 0 a 1 pela função fuzzify associação linear para obtenção do índice de vulnerabilidade ambiental. a) PNE=Potencial Natural à Erosão, b) FC= Focos de Calor, c) UCS=Uso e Cobertura do Solo, d) DD=Densidade de Drenagem.....	137
Figura 37 - Mapa do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) da UPGRH Meia Ponte. ....	138

Figura 38 – Mapa do Potencial de Recarga Hídrica Subterrânea na UPGRH Meia Ponte. ...	139
Figura 39 – Mapa do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental na UPGRH Meia Ponte. ..	140
Figura 40 - Mapa das Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação na UPGRH Meia Ponte.....	141
Figura 41 – Gráfico das áreas prioritárias para recuperação e conservação ambiental por categoria de uso. ....	143
Figura 42 – Mapa das áreas prioritárias para conservação no município de Itumbiara. ....	145
Figura 43 - Mapa das áreas prioritárias para conservação na APA João Leite. ....	147
Figura 44 – Mapa das áreas prioritárias para conservação na zona de amortecimento do Parque Municipal Governador Mauro Borges Teixeira. ....	148
Figura 45 - Mapa das áreas prioritárias para conservação no Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP)/Parque Estadual João Leite (PJOL). ....	151

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Novas Classes de identificação da mudança de uso da terra na UPGRH do rio Meia Ponte.....	58
Quadro 2 - Detalhes dos dados coletados para obtenção do potencial de recarga hídrica, fontes e sua finalidade.....	103
Quadro 3 - Detalhes dos dados coletados para obtenção do índice de vulnerabilidade ambiental, fontes e sua finalidade .....	129

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variação em % da expansão das classes de uso e cobertura da terra no intervalo de 10 anos e a variação total de 30 anos em relação à área das regiões RAMP, RMMP RMP e da UPGRH-RMP.....	64
Tabela 2 – Mudança de uso e cobertura da terra na UPGRH Meia Ponte entre 1987 e 2017 em termo de área (km <sup>2</sup> ) e percentagem (%) da área total da bacia. ....	64
Tabela 3 – Localização das estações climáticas e a precipitação média anual para cada década de mudança de uso e cobertura da terra (1987, 1997, 2007 e 2017). ....	78
Tabela 4 – Valores de erodibilidade conforme a classe de solo.....	79
Tabela 5 – Valor do fator C utilizado para cada classe de uso e cobertura da terra. ....	80
Tabela 6 – Categorias do fator topográfico (LS) para a bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte e as áreas correspondentes.....	83
Tabela 7 – Valor do fator CP para cada classe de mudança de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte. ....	84
Tabela 8 – Categorias de perda de solo aplicadas na bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte. Fonte: Perović <i>et al.</i> , (2013). ....	86
Tabela 9 – Soil loss classes in Meia Ponte watershed and the area under each soil loss class.	87
Tabela 10 – Média da perda de solo por mudança de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte para cada classificação de perda de solo.....	88
Tabela 11 – Taxa média da perda de solos por mudança do uso e cobertura do solo (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) na bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte, montante total de solo erodido (SLA, t) e o percentual de cada um deles (%). ....	89
Tabela 12 - Escala padrão da importância relativa atribuída aos critérios. ....	102
Tabela 13 - Pesos atribuídos para a variável categórica de Geologia / Hidrogeologia para obtenção das áreas de recarga na UPGRH Meia Ponte. ....	111
Tabela 14 - Pesos atribuídos para a variável categórica de tipo de solos para obtenção das áreas de recarga na UPGRH Meia Ponte. ....	113
Tabela 15 - Pesos relativos da análise AHP para obtenção das áreas de recarga na UPGRH Meia Ponte. ....	115
Tabela 16 - Pesos finais atribuídos a cada critério, ordem de importância e razão de consistência da análise AHP para obtenção das áreas de recarga hídrica subterrânea na UPGRH Meia Ponte.....	117

Tabela 17 – Valores de mínimo, média e máximo das variáveis que compoem o índice de vulnerabilidade social por setores censitários da UPGRH Meia Ponte.....	118
Tabela 18 - Pesos atribuídos às variáveis para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Social para a UPGRH Meia Ponte.....	122
Tabela 19 - Escala de valores atribuídos para as classes de uso do solo do Mapbiomas (2021) de acordo com o grau de proteção. (ROSS, MOROZ, 1996).....	134
Tabela 20 - Pesos relativos da análise AHP para obtenção do índice de vulnerabilidade ambiental (IVA) na UPGRH Meia Ponte.....	137
Tabela 21 - Pesos finais atribuídos a cada critério, ordem de importância e razão de consistência da análise AHP para obtenção do índice de vulnerabilidade ambiental na UPGRH Meia Ponte.....	137
Tabela 22 – Matriz de correlação de Pearson entre o Índice de Desempenho dos Municípios - IDM –e as Áreas Prioritárias para Conservação APC para a UPGRH Meia Ponte. ....	143

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APPs	Áreas de Preservação Permanente
BHO	Base Hidrográfica Ottocodificada
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRA	Cota de Reserva Ambiental
EUPS	Equação Universal de Perda de Solo Vide USLE
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FOMENTAR	Fundo de Participação e Fomento à Industrialização do Estado de Goiás
IDW	Inverse Distance Weighting
IC	Índice de Consistência
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LULC	Land use and land change
MapBiomas	Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
MDE	Modelo Digital de Elevação
PNDs	Planos Nacionais de Desenvolvimento
PNPSA	Plano Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
PRODUZIR	Programa de Desenvolvimento Industrial do Estado de Goiás
RAMP	Região Alto Meia Ponte
RC	Razão de Consistência
RBMP	Região Baixo Meia Ponte
RMMP	Região Médio Meia Ponte
RMP	Rio Meia Ponte
SCP	Semi-Automatic Classification Plugin
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
UPGRH	Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos
USLE	Equação Universal de Perda de Solo Vide EUPS
UTM	Universal Transversa de Mercato

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Taxa de erosão do solo ( $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ )
C	Fator de gestão e cobertura da terra (sem unidade)
EI <sub>30</sub>	Média mensal do índice de erosividade ( $MJ\ mm\ h^{-1}\ yr^{-1}$ )
K	Fator de erodibilidade do solo ( $Mg\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ )
L	Comprimento da encosta (sem unidade)
P	Fator de práticas de conservação (sem unidade)
P	Média anual da precipitação (mm)
R	Fator de erosividade da chuva ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ )
r	Média mensal da precipitação (mm)
S	Declividade da encosta (sem unidade)
$\beta$	Inclinação da superfície da terra ( $^{\circ}$ )

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>19</b>
<b>2. PROBLEMA DE PESQUISA .....</b>	<b>20</b>
<b>3. QUESTÕES E HIPÓTESES DA PESQUISA .....</b>	<b>21</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>22</b>
<b>5. ESTRUTURA DA TESE .....</b>	<b>23</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>26</b>
<b>1.1 Histórico do Uso e Ocupação da terra de Goiás e Fronteira Agrícola.....</b>	<b>26</b>
1.1.1 Mudanças do uso e ocupação da terra no Cerrado .....	27
<b>1.2 SIG – Sistemas de Informações Geográficas nas análises ambientais .....</b>	<b>29</b>
<b>1.3 Estudo de Caso: UPGRH do Rio Meia Ponte.....</b>	<b>30</b>
<b>1.4 Áreas Prioritárias para recuperação e conservação ambiental.....</b>	<b>31</b>
<b>1.5 Áreas Legalmente Protegidas .....</b>	<b>33</b>
1.5.1 Áreas de Preservação Permanente (APP's).....	33
1.5.2 Reserva Legal.....	34
<b>1.6 Mecanismos para recuperação e conservação ambiental .....</b>	<b>35</b>
1.6.1 Compensação Ambiental no âmbito do licenciamento ambiental do Estado de Goiás     35	
1.6.2 Pagamento por Serviços Ambientais no âmbito da Política Nacional e Estadual .	39
<b>Referências .....</b>	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO 2 DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE: UMA ANÁLISE TEMPORAL DE 1987- 2017 49</b>	
<b>Resumo .....</b>	<b>49</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>49</b>
<b>2.1 Introdução .....</b>	<b>50</b>
<b>2.2 Material e Métodos .....</b>	<b>51</b>
2.2.1 Caracterização da área de estudo .....	52
2.2.1.1 Hipsometria e declividade .....	53
2.2.1.2 Distribuição das Classes de solo .....	55
2.2.2 Classificação do uso e ocupação da terra .....	56
2.2.3 Mudanças no uso e ocupação da terra.....	57
<b>2.3 Resultados e discussão .....</b>	<b>58</b>
2.3.1 Dinâmica do uso e ocupação da terra na UPGRH do Rio Meia Ponte .....	58
2.3.2 Aspectos Físicos do uso do solo na UPGRH do Rio Meia Ponte .....	66
<b>2.4 Considerações finais .....</b>	<b>67</b>

<b>Agradecimentos .....</b>	<b>68</b>
<b>Referências .....</b>	<b>68</b>
<b>CAPÍTULO 3 ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO PELO USO DA TERRA E MUDANÇAS NA COBERTURA DA TERRA EM 1987–2017 NO CERRADO BRASILEIRO: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO MEIA PONTE, BRASIL....</b>	<b>72</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>72</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>72</b>
<b>3.1 Introdução .....</b>	<b>73</b>
<b>3.2 Material e Métodos .....</b>	<b>75</b>
3.2.1 Área de Estudo .....	75
3.2.2 Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) .....	76
3.2.2.1 Fator de erosividade da chuva (R).....	77
3.2.2.2 Fator erodibilidade do solo (K) .....	78
3.2.2.3 Fator topográfico (LS).....	79
3.2.2.4 Fator cobertura do solo (C) e índice de prática de suporte (P).....	80
3.2.3 Processamento dos dados .....	80
<b>3.3 Resultados e discussão .....</b>	<b>81</b>
3.3.1 Fator de erosividade da chuva (R) .....	81
3.3.2 Fator erodibilidade do solo (K) .....	82
3.3.3 Fator topográfico (LS).....	83
3.3.4 Fator Cobertura do solo (C) e Índice de prática de suporte(P) .....	84
3.3.5 Mudança da estimativa da erosão do solo.....	85
<b>3.4 Conclusão.....</b>	<b>89</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>90</b>
<b>Referências .....</b>	<b>90</b>
<b>CAPÍTULO 4 Determinação de áreas prioritárias para recuperação e conservação de acordo com o potencial socioeconômico da bacia do Rio Meia Ponte, no Cerrado brasileiro</b>	<b>96</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>96</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>97</b>
<b>4.1 Introdução .....</b>	<b>97</b>
<b>4.2 Material e Métodos .....</b>	<b>100</b>
4.2.1 Aplicação da análise multicritério - AHP - Analytic Hierarchy Process .....	101
4.2.2 Áreas potenciais para recarga hídrica .....	103
4.2.2.1 Precipitação .....	104
4.2.2.2 Distância à hidrografia .....	105
4.2.2.3 Declividade.....	107
4.2.2.4 Geologia / Hidrogeologia .....	108
4.2.2.5 Tipo de solo .....	112
4.2.2.6 Densidade de Lineamento .....	113
4.2.2.7 Análise multicritério AHP para as áreas de recarga.....	114
4.2.3 IVS – Índice de Vulnerabilidade Social.....	117

4.2.3.1 Grupo A: IVS – Capital Humano na UPGRH Meia Ponte .....	120
4.2.3.2 Grupo B: IVS – Infraestrutura e Moradia na UPGRH Meia Ponte.....	121
4.2.3.3 Grupo C: IVS – Renda na UPGRH Meia Ponte.....	123
4.2.3.4 Cálculo do IVS para a UPGRH Meia Ponte.....	125
4.2.4 IVA – Índice de Vulnerabilidade Ambiental .....	128
4.2.4.1 Potencial Natural à Erosão .....	129
4.2.4.2 Densidade de focos de calor do INPE .....	132
4.2.4.3 Uso e cobertura da terra.....	134
4.2.4.4 Densidade de drenagem.....	135
4.2.4.5 Análise multicritério AHP para o IVA.....	136
<b>4.3 Resultados e Discussão .....</b>	<b>139</b>
4.3.1 Potencial de Recarga hídrica Subterrânea na UPGRH Meia Ponte .....	139
4.3.2 Índice de Vulnerabilidade Socioambiental da UPGRH Meia Ponte.....	140
4.3.3 Áreas prioritárias para recuperação e conservação na UPGRH Meia Ponte .....	141
4.3.3.1 Áreas de preservação permanente .....	144
4.3.3.2 Reserva Legal .....	149
4.3.3.3 Agricultura.....	152
4.3.3.4 Pastagem.....	152
<b>4.4 Conclusão.....</b>	<b>153</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>155</b>
<b>Referências .....</b>	<b>155</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS .....</b>	<b>161</b>
<b>APÊNDICE A – INFORMAÇÕES DO HIDROWEB .....</b>	<b>164</b>
<b>APÊNDICE B – índice de vulnerabilidade social dos municípios .....</b>	<b>167</b>
<b>Apêndice C – Áreas prioritárias por município .....</b>	<b>168</b>
<b>Apêndice D - Áreas prioritárias em unidades de conservação .....</b>	<b>169</b>
<b>Apêndice E - Áreas prioritárias em zonas de amortecimento de unidades de conservação</b> <b>170</b>	
<b>Apêndice F – índice de DESENVOLVIMENTO dos MUNICÍPIOS da UPGRH Meia</b> <b>Ponte 171</b>	
<b>Apêndice G – Mapas das áreas prioritárias por município na UPGRH Meia Ponte.....</b>	<b>172</b>
<b>Apêndice H – Mapas das áreas prioritárias por unidades de conservação na UPGRH</b> <b>Meia Ponte.....</b>	<b>211</b>
<b>Apêndice I – Mapa das áreas prioritárias por Zonas de Amortecimento na UPGRH</b> <b>Meia Ponte.....</b>	<b>220</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

As mudanças de usos e coberturas dos solos (LULC) são as principais expressões das atividades antrópicas e representam o uso potencial dos recursos naturais (CHATTERJEE, KRISHNA, et al., 2014). A produção de alimentos para suprir as demandas do crescimento populacional intensifica as alterações no uso do solo e da terra e aumenta o efeito prejudicial sobre os recursos naturais (FERREIRA, Manuel Eduardo, FERREIRA, et al., 2013).

Os principais fatores das mudanças no uso do solo e cobertura dos solos são as variáveis naturais, fatores econômicos e tecnológicos, fatores demográficos, fatores institucionais (políticas, jurídicas, econômicas e tradicionais) e fatores culturais dentro do contexto de relações econômicas e políticas globalizadas (LAMBIN, GEIST, et al., 2003). A globalização exerce expressiva influência nas mudanças do uso da terra, pois amplificam ou atenuam os fatores locais (LAMBIN, TURNER, et al., 2001).

As principais classes de usos e coberturas dos solos que ocorrem no bioma Cerrado são as pastagens cultivadas, a agricultura, a silvicultura, áreas urbanas e os solos expostos (KLINK, MACHADO, 2005), as quais são consideradas formas de mudança rápida de cobertura da terra (LAMBIN, GEIST, et al., 2003). A ocorrência e distribuição das áreas cobertas por vegetação nativa são, em geral, bem correlacionados com as características fisiográficas da paisagem (FERREIRA, Manuel E., FERREIRA, et al., 2016). Além disso, o bioma cerrado compõe quase toda a extensão territorial do estado de Goiás e abriga as nascentes das principais bacias hidrográficas brasileiras.

Na busca pela gestão dos recursos hídricos as bacias hidrográficas foram instituídas como unidade territorial para implementação das Políticas de Recursos Hídricos e no estado de Goiás elas foram definidas como Unidades de Planejamento e Gestão do Recursos Hídricos (UPGRH). A UPGRH do Rio Meia Ponte possui aproximadamente 90% de sua área localizada no bioma Cerrado, no entanto, cerca de 73% de sua área total foi desmatada, permanecendo apenas 23% da área coberta por vegetação nativa.

A UPGRH do Rio Meia Ponte é considerada uma das mais importantes bacias hidrográficas do estado de Goiás por ser responsável pelo abastecimento de água para 40% da população goiana, garantindo a manutenção de grande parte das relações econômicas que ocorrem no estado (GOIÁS, 2019b). A porção norte da bacia hidrográfica é a parte mais

urbanizada, pois nela está localizada a região metropolitana da Goiânia, enquanto a porção sul concentra grandes áreas de pastagens e agricultura (GOIÁS, 2019b).

Em virtude do alto grau de antropização e a problemática de contaminação das águas superficiais que são destinadas ao abastecimento dos municípios, bem como, do alto risco de erosão do solo pela água, se faz necessário um estudo mais detalhado de análise temporal da dinâmica dos usos e coberturas dos solos da UPGRH do rio Meia Ponte e seus riscos potenciais à erosão do solo.

Além da importância da análise do uso e ocupação da terra e dos riscos potenciais à erosão do solo em bacias hidrográficas como a UPGRH do Rio Meia Ponte, é essencial definir áreas prioritárias para recuperação e ou conservação ambiental. As áreas prioritárias para recuperação são aquelas que foram danificadas por atividades humanas, como desmatamento, poluição, erosão do solo e outros impactos negativos, e que requerem atenção especial para serem restauradas. De acordo com Ross (1994), são ambientes instáveis que sofrem desequilíbrio principalmente pelas alterações humanas.

É importante destacar que as áreas prioritárias para recuperação e conservação ambiental podem ser utilizadas juntamente com mecanismos existentes de recuperação e conservação ambiental, como a compensação ambiental e o pagamento por serviços ambientais (PSA). Esses mecanismos também podem ser aplicados no âmbito do sistema de licenciamento ambiental (GOIÁS, 2019a).

Nesse contexto, a partir do processo de ocupação da UPGRH do Rio Meia Ponte nos últimos 30 anos, o objetivo geral desse estudo é definir as áreas prioritárias para recuperação e conservação socioambiental e avaliar os mecanismos existentes para a recuperação e preservação ambiental dessas áreas.

## **2. PROBLEMA DE PESQUISA**

O cerrado brasileiro já sofreu e ainda sofre grandes mudanças no uso e cobertura da terra, e a ocorrência das áreas cobertas por vegetação nativa é cada vez mais escassa (BRITO, SILVA, 2019, MACHADO, RAMOS NETO, et al., 2004). Neste cenário, a análise de uso e ocupação de áreas já antropizadas, como a UPGRH do Rio Meia Ponte (DA SILVA, GIONGO, et al., 2019, GOMES, OLIVEIRA, et al., 2023, SANTOS, Patrícia Tinoco, MARTINS, 2022), e a definição de áreas prioritárias para recuperação e/ou conservação que possuem alta vulnerabilidade ambiental é essencial para análise das políticas públicas para conservação e

preservação do Cerrado (DE ALMEIDA, SILVEIRA, et al., 2020, LEITE, BEREZUK, et al., 2022, SANTOS, Matheus Bleza, FARIA, 2020). Assim, é fundamental considerar a UPGRH do Rio Meia Ponte como uma unidade integrada para implementar áreas destinadas ao uso sustentável ou à conservação do bioma Cerrado (SANTOS, Patrícia Tinoco, MARTINS, 2022).

### 3. QUESTÕES E HIPÓTESES DA PESQUISA

**Pressuposto:** A UPGRH do Rio Meia Ponte é a bacia hidrográfica mais urbanizada do estado de Goiás e apresenta ocupação territorial expressiva devido às atividades de pecuária e agricultura, e conseqüentemente, possui a necessidade de recuperar áreas de importância ambiental e ecossistêmica.

**Questão 1)** Como evoluiu a ocupação da UPGRH do Rio Meia Ponte nos últimos 30 anos, considerando um intervalo temporal de 10 anos (1987, 1997, 2007, 2017)?

**Hipótese:** a evolução da ocupação da UPGRH do Rio Meia Ponte nos últimos 30 anos foi expressiva em relação a alterações entre os tipos de cobertura da terra. Devido a implementação de vários programas governamentais no final da década de 1960 e início da década de 1970, estimulados pela mudança da capital federal para Brasília, em 1987 a UPGRH do Rio Meia já apresentava um expressivo processo de antropização da vegetação nativa.

**Questão 2)** Qual a relação entre os aspectos físicos como, tipo de solo e declividade da UPGRH do Rio Meia Ponte e sua ocupação nesses últimos 30 anos?

**Hipótese:** na maioria dos casos a ocupação da UPGRH Meia Ponte pode ter sido influenciada pelos aspectos físicos, pois na agricultura há uma preferência por solos profundos e mecanizáveis, que ocorrem em relevos de pouca declividade. Na urbanização são preferíveis áreas planas e distantes de locais sujeitos a inundações e/ou alagamentos. Há a possibilidade de as áreas de pastagens ocuparem áreas de relevos de maiores declividades e solos pouco favoráveis ao manejo.

**Questão 3)** A ocupação da UPGRH do Rio Meia Ponte nesses últimos 30 anos esteve de acordo com as taxas toleráveis de perda de solos?

**Hipótese:** As taxas de perda de solos podem ter aumentado devido as alterações das classes antrópicas do uso e cobertura da terra, principalmente para a atividade agropecuária.

**Questão 4)** Quais as áreas prioritárias para recuperação e/ou conservação na UPGRH do Rio Meia Ponte e qual a proposta metodológica apropriada para definição dessas áreas?

**Hipótese:** As áreas prioritárias para recuperação e conservação ambiental geralmente são as áreas de alta vulnerabilidade socioambiental, que sofreram processos antrópicos sem o

devido planejamento. Como a ocupação é um processo socioambiental, onde as variáveis consideradas no processo assumem diferentes graus de importância, a abordagem metodológica para delimitação dessas áreas necessita considerar as questões socioambientais da área de estudo, preferencialmente adotando a ponderação de critérios, considerando a distribuição geográfica.

**Questão 5)** Quais os melhores mecanismos legais para recuperação e/ou conservação das áreas de alta vulnerabilidade socioambiental?

**Hipótese:** Considerando a recente legislação do estado de Goiás no âmbito do licenciamento ambiental e as normativas subsequentes, os melhores mecanismos para implantar ações de recuperação e conservação ambiental na UPGRH do Rio Meia Ponte serão as compensações ambientais e o pagamento por serviços ambientais.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GERAL**

Considerando o processo de ocupação da UPGRH do Rio Meia Ponte, nos últimos 30 anos, o objetivo geral desse estudo é definir áreas prioritárias para recuperação e conservação socioambiental e avaliar os mecanismos existentes para a preservação ambiental dela.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para atingir o objetivo geral da tese, deverão ser considerados os seguintes objetivos específicos:

- I. identificar e contabilizar quais foram as mudanças nos tipos de uso e ocupação da terra na UPGRH do Rio Meia Ponte;
- II. analisar se as mudanças no uso e ocupação da terra da UPGRH do Rio Meia Ponte ocorreram considerando os aspectos físicos;
- III. verificar as áreas mais vulneráveis a erosão do solo e quais são as classes que possuem as maiores taxas de perda de solos para propor um zoneamento na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte;
- IV. delimitar quais as áreas prioritárias para recuperação e conservação ambiental de acordo com o potencial socioeconômico; e
- V. identificar quais instrumentos podem ser aplicados para uma utilização mais sustentável da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte e identificar quais seriam os impactos socioeconômicos a serem enfrentados.

## 5. ESTRUTURA DA TESE

Esta tese está estruturada em tópicos introdutórios, 4 capítulos e um apêndice. Os capítulos compreendem a fundamentação teórica e 3 artigos científicos para facilitar os meios de publicação. Os tópicos introdutórios são compostos por: introdução geral que discutirá uma revisão objetiva sobre o tema de pesquisa; o problema de pesquisa; as questões e hipóteses da pesquisa; os objetivos gerais e específicos. O Capítulo I aborda a fundamentação teórica essencial para a discussão do tema de pesquisa. O Capítulo II está relacionado ao primeiro artigo, o Capítulo III ao segundo artigo e o Capítulo IV ao terceiro artigo. Os capítulos possuem os temas descritos a seguir:

**CAPÍTULO I :** Fundamentação Teórica - aponta os conceitos teóricos que são objeto da tese e sua função é proporcionar uma visão geral dos temas centrais abordados, necessários para se compreender os conceitos básicos.

**CAPÍTULO II:** Dinâmica do uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte: uma análise temporal de 1987-2017 -

**CAPÍTULO III:** Estimativa da perda de solo pelo uso da terra e mudanças na cobertura da terra em 1987–2017 no cerrado brasileiro: Estudo de caso na bacia do rio Meia Ponte, Brasil

**CAPÍTULO IV:** Determinação de áreas prioritárias para recuperação e conservação de acordo com o potencial socioeconômico da bacia do Rio Meia Ponte, no Cerrado brasileiro.

## 6. REFERÊNCIAS

BRITO, B. N. de, SILVA, E. B. da. "Análise multitemporal de uso e cobertura da terra na Reserva da Biosfera do Cerrado", **Ateliê Geográfico**, v. 13, n. 2, p. 73–91, 2019. DOI: 10.5216/ag.v13i2.54747.

CHATTERJEE, S., KRISHNA, A. P., SHARMA, A. P. "Geospatial assessment of soil erosion vulnerability at watershed level in some sections of the Upper Subarnarekha river basin, Jharkhand, India", **Environmental Earth Sciences**, v. 71, n. 1, p. 357–374, 10 jan. 2014. DOI: 10.1007/s12665-013-2439-3. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s12665-013-2439-3>.

DA SILVA, B. A., GIONGO, P. R., MARTINS, P. T. de A., et al. "Soil erosion vulnerability in the southern part of the Meia Ponte watershed, Goiás, Brazil", **Idesia (Arica)**, v. 37, n. 2, p. 81–86, jun. 2019. DOI: 10.4067/S0718-34292019000200081. Disponível em: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292019000200081&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292019000200081&lng=en&nrm=iso&tlng=en).

DE ALMEIDA, F. C., SILVEIRA, E. M. D. O., ACERBÍ JUNIOR, F. W., et al. "Análise Multicritério na definição de áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais", **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 81, 5 fev. 2020. DOI: 10.31413/nativa.v8i1.8130.

FERREIRA, M. E., FERREIRA, L. G., LATRUBESSE, E. M., et al. "Considerations about the land use and conversion trends in the savanna environments of Central Brazil under a geomorphological perspective", **Journal of Land Use Science**, v. 11, n. 1, p. 33–47, 2 jan. 2016. DOI: 10.1080/1747423X.2013.845613.

FERREIRA, M. E., FERREIRA, L. G., MIZIARA, F., et al. "Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: Future scenarios and perspectives for conservation", **Journal of Land Use Science**, v. 8, n. 4, p. 403–421, 2013. DOI: 10.1080/1747423X.2012.675363. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/1747423X.2012.675363>.

GOIÁS. Lei n° 20.694, de 26 de dezembro de 2019. Dispõe sobre normas gerais para o Licenciamento Ambiental do Estado de Goiás e dá outras providências. Goiânia, Brasil, **Diário Oficial do Estado de Goiás**, Goiânia, GO. , 26 dez. 2019a

GOIÁS. Planos de Recursos Hídricos das Unidades de Planejamento e estão de Recursos Hídricos do Estado de Goiás Afluentes ao Rio Paranaíba: **Diagnóstico da UPGRH do Rio Meia Ponte (Produto 2)**. Goiânia, SEMAD, 2019b. Disponível em: [http://pbapgo.meioambiente.go.gov.br/?page\\_id=1689](http://pbapgo.meioambiente.go.gov.br/?page_id=1689).

GOMES, R. P., OLIVEIRA, T. R., RODRIGUES, A. B., et al. "Occurrence of Antibiotic Resistance Genes, Antibiotics-Resistant and Multi-Resistant Bacteria and Their Correlations in One River in Central-Western Brazil", **Water**, v. 15, n. 4, p. 747, 14 fev. 2023. DOI: 10.3390/w15040747. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/4/747>.

KLINK, C. A., MACHADO, R. B. "Conservation of the Brazilian Cerrado", **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707–713, jun. 2005. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>.

LAMBIN, E. F., GEIST, H. J., LEPERS, E. "Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions", **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, p. 205–241, 2003. DOI: 10.1146/annurev.energy.28.050302.105459. .

LAMBIN, E. F., TURNER, B. L., GEIST, H. J., et al. "The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths", **Global Environmental Change**, v. 11, n. 4, p. 261–269, 2001. DOI: 10.1016/S0959-3780(01)00007-3. .

LEITE, E. F., BEREZUK, A. G., SILVA, C. A. da. "A vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Miranda, Mato Grosso do Sul", **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 5, p. 2613, 29 ago. 2022. DOI: 10.26848/rbgf.v15.5.p2613-2639. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/253665>.

MACHADO, R. B., RAMOS NETO, M. B., PEREIRA, P. G. P., et al. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. . Brasília, DF, Embrapa, jul. 2004. Disponível em: <http://cmbbc.cpac.embrapa.br/RelatDesmatamCerrado%20CIBrasil%20JUL2004.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2022.

ROSS, J. L. S. "Análise empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados", **Revista Do Departamento De Geografia**, v. 8, p. 63–74, 1994. DOI: 10.7154/RDG.1994.0008.0006. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>.

SANTOS, M. B., FARIA, K. M. S. "Vulnerabilidades ambientais do Bioma Cerrado: Estudo da região Norte Goiano - Goiás.", **Acta Geográfica**, v. 14, n. 34, p. 242–258, 2020. DOI: 10.5654/acta.v14i34.5260.

SANTOS, P. T., MARTINS, A. P. "Análise socioeconômica e espacial da bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte (GO) Socioeconomic and spatial analysis of the Meia Ponte river catchment (GO)", **Revista Geografias**, v. 18, n. 2, p. 20, 2022. DOI: 10.35699/2237-549X.2022.37885. Disponível em: <https://doi.org/10.35699/2237-549X.2022.37885>.

## **CAPÍTULO 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo tem como objetivo apresentar conceitos fundamentais relacionados às alterações de uso e cobertura da terra, bem como ferramentas para avaliar essas mudanças. Além disso, serão discutidas as áreas prioritárias para a recuperação e conservação ambiental, juntamente com os critérios selecionados para defini-las. Também serão apresentados os mecanismos disponíveis de recuperação e conservação ambiental oferecidos pelas políticas públicas existentes.

Outro tópico abordado neste capítulo é o histórico do uso e ocupação da terra no Estado de Goiás, incluindo a expansão da Fronteira Agrícola. Além disso, será feito um levantamento das pesquisas relevantes na área de estudo, que é a Unidade de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos (UPGRH) do Rio Meia Ponte.

### **1.1 HISTÓRICO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DE GOIÁS E FRONTEIRA AGRÍCOLA**

Para melhor compreensão das mudanças dos usos e coberturas dos solos é necessário considerar o processo histórico de ocupação da terra no estado de Goiás. A ocupação do território goiano se iniciou na busca pelo ouro, mas esse ciclo de exploração foi breve. A população abandonou a mineração e passou a se dedicar a atividades rurais, e a pecuária se tornou uma importante forma de ocupação e uma das principais atividades econômicas do estado até quase a década de 50 do século XX. Após esse período, a melhoria da malha viária, as construções de usinas hidrelétricas, a construção de Brasília e da rodovia Transbrasiliana, além da construção de outras obras de infraestrutura e o processo de urbanização, foram fatores que contribuíram para a expansão das áreas agrícolas em Goiás (CAMPOS, 1998).

Nas décadas subsequentes, até meados da década de 1970, a incorporação de novas tecnologias de agricultura mecanizada, possibilitaram a implantação de extensas áreas agrícolas nas porções de relevos de baixas declividades e solos mecanicamente manejáveis, impulsionadas pelos aumentos na demanda do mercado global de alimentos (CAMPOS, 1998). Além disso, foram criados programas de incentivo fiscal para fomentar os investimentos industriais, como o Fundo de Participação e Fomento à Industrialização do Estado de Goiás (FOMENTAR) e o Programa de Desenvolvimento Industrial do Estado de Goiás (PRODUZIR), os quais foram implementados depois dos anos 1980 (PIRES, 2019).

Tais iniciativas eram contempladas nos Planos Nacionais de Desenvolvimento (PNDs), os quais propunham recompor o território com a inserção de infraestrutura econômica e incentivo ao aumento da produção agropecuária (SILVA, MIZIARA, 2011). Nesse contexto, Goiás já era considerado importante fronteira agrícola a se ocupar, uma vez que apresenta condições topográficas e solos favoráveis à mecanização, além de dispor, regionalmente, de maior infraestrutura e reservas minerais que potencializam a expansão da agricultura (DE ALBUQUERQUE PRADO, MIZIARA, *et al.*, 2012).

Desse modo, grande parte do desmatamento da vegetação nativa do estado de Goiás ocorreu ao longo das áreas aptas para a implantação de agricultura extensiva mecanizada, o que causou fragmentação de habitats, comprometimento de serviços ambientais, além de impactos sobre recursos ambientais importantes tais como hidrografia e solos (GARRETT, KOH, *et al.*, 2018). Além disso, o estado de Goiás está localizado, majoritariamente, no bioma Cerrado, o qual é considerado um dos hotspots mundiais para conservação da biodiversidade, pois apresenta elevada riqueza da biodiversidade e altos níveis de endemismo (KLINK, MACHADO, 2005, SANO, RODRIGUES, *et al.*, 2019). O desmatamento ainda é uma preocupação recorrente, pois pode aumentar expressivamente nas próximas décadas (FERREIRA M., FERREIRA, L. *et al.*, 2013).

A expansão da fronteira agrícola no Estado de Goiás tem ocorrido tanto sobre novas áreas (desmatamentos), quanto sobre áreas previamente convertidas (FERREIRA, N. *et al.*, 2009). Esse processo de expansão da fronteira agrícola depende de algumas variáveis como: tecnologia e investimento, e as condições naturais do solo (MIZIARA, 2000). O Estado de Goiás é considerado importante fronteira agrícola a se ocupar, uma vez que apresenta condições topográficas favoráveis à mecanização, solos mais adequados, regiões com maior infraestrutura, além de riquezas minerais que potencializam a expansão da agricultura (DE ALBUQUERQUE PRADO, MIZIARA, *et al.*, 2012).

### **1.1.1 Mudanças do uso e ocupação da terra no Cerrado**

As principais classes de usos e coberturas dos solos que ocorrem no bioma Cerrado são as pastagens cultivadas, a agricultura, a silvicultura, áreas urbanas e os solos expostos (KLINK, MACHADO, 2005), as quais são consideradas formas de mudança rápida de cobertura da terra (LAMBIN, GEIST, *et al.*, 2003). A ocorrência e distribuição das áreas cobertas por vegetação nativa são, em geral, bem correlacionados com as características fisiográficas da paisagem (FERREIRA, M., FERREIRA, L. *et al.*, 2016).

As pastagens cultivadas estão espalhadas por todo o Cerrado e a conversão de terras para a agricultura ultrapassa 30% na maioria das ecorregiões do Cerrado, as quais foram estabelecidas em uma pesquisa de Sano *et al.* (2019) com a finalidade de dividir o Cerrado em diferentes regiões que refletem a heterogeneidade ambiental, com o intuito de aplicar práticas de conservação.

A partir de uma análise temporal de três décadas de mudanças de usos e coberturas dos solos nos biomas brasileiros, realizada por Souza *et al.* (2020), a classe de solo exposto (área não vegetada) foi a que mostrou um aumento rápido em área de 1985 a 2017 com um aumento de 2% ao ano para o bioma Cerrado. A expansão das pastagens se deu a uma taxa de 0,9% de aumento percentual ao ano, mas as taxas de expansão agrícola foram mais elevadas no período de 1985 a 2005 com 1,3% de expansão anual, após 2005 a taxa de expansão anual da agropecuária caiu para 0,4%. O bioma Cerrado também apresentou a taxa anual mais rápida de redução da floresta (-0,6%,  $s \pm 0,56$ ).

Souza *et al.* (2020) também mapearam cinco tipos de mudanças nas classes usos e coberturas dos solos no Brasil, como: perda de vegetação, ganho de vegetação, transição água-terra, mudança no uso da terra e dinâmica da vegetação. A segunda maior perda de vegetação nativa ocorreu no bioma Cerrado (33,8%), ficando aquém apenas da Amazônia (41,8%). Por outro lado, o bioma Cerrado contribui com 30% da área total com ganho de vegetação para o território brasileiro. As transições água-terra no bioma Cerrado foram de 12,6%, segunda maior contribuição, mas bem abaixo da Amazônia (57,5%). A mudança no uso da terra no bioma Cerrado entre 1985 e 2017 foi de 36,1%, e a dinâmica da vegetação natural foi a mais elevada dentre os outros biomas brasileiros, correspondendo a 37,3%.

Os impactos das mudanças dos usos e coberturas dos solos são consideráveis e podem impactar vários processos do ambiente. A urbanização pode intensificar os processos erosivos dos solos por meio do aumento da área impermeável, a qual acelera o acúmulo e o fluxo de água (CHATTERJEE, KRISHNA, *et al.*, 2014). A expansão agrícola, da mesma forma, atua como impulsor dos processos erosivos dos solos pela água. No Cerrado brasileiro a taxa média de perdas de solos aumentou 15% em aproximadamente uma década e os locais com culturas semiperenes, silvicultura e culturas perenes apresentam as maiores taxas de perdas de solos (GOMES, SIMÕES, *et al.*, 2019).

Além disso, a diminuição da produtividade agrícola, associada aos solos severamente erodidos aumentou significativamente (GOMES, SIMÕES, *et al.*, 2019). A conversão de

paisagens naturais em pastagens aumenta os fluxos de carbono e nutrientes, como o potássio, no bioma (NÓBREGA, GUZHA, *et al.*, 2018).

Ademais, vários estudos já verificaram que as mudanças no padrão dos usos e coberturas dos solos foram relatadas como o principal fator de degradação da qualidade da água (BERTOSSO, CECÍLIO, *et al.*, 2013, HUNKE, MUELLER, *et al.*, 2015, NÓBREGA, GUZHA, *et al.*, 2017, 2018, NÓBREGA, ZIEMBOWICZ, *et al.*, 2020, PRATT, CHANG, 2012, VREBOS, BEAUCHARD, *et al.*, 2017). Normalmente, a agricultura e as áreas urbanas são as principais categorias responsáveis pela degradação da qualidade da água no Brasil (GIRI, QIU, *et al.*, 2018, MENEZES, BITTENCOURT, *et al.*, 2016). Contudo, a mineração exerce um alto impacto na diminuição da qualidade da água apesar de representar uma pequena porcentagem do território (MELLO, TANIWAKI, *et al.*, 2020, NAMUGIZE, JEWITT, *et al.*, 2018).

## **1.2 SIG – SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NAS ANÁLISES AMBIENTAIS**

O Sensoriamento Remoto (SR), integrado com a cartografia digital, e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) têm sido bastante utilizado e se mostrou viável no acompanhamento das mudanças dos usos e coberturas dos solos, além da avaliação dos impactos ambientais. Entretanto, as abordagens da caracterização do uso da terra utilizando apenas o sensoriamento remoto não são suficientes para compreender as mudanças nas funções socioeconômicas (ROUNSEVELL, PEDROLI, *et al.*, 2012). Além do mais, é necessário abordar os aspectos culturais dos padrões da paisagem, a influência disso nos processos de tomada de decisão e considerar como as instituições e a governança estão envolvidos na gestão territorial (ROUNSEVELL, PEDROLI, *et al.*, 2012).

As séries temporais de dados de sensoriamento remoto revelam que as mudanças dos usos e coberturas dos solos nem sempre ocorrem de forma progressiva e gradual, mas podem mostrar intervalos de mudança rápida e abrupta seguidos por uma rápida recuperação dos ecossistemas ou por uma trajetória de desequilíbrio (LAMBIN, GEIST, *et al.*, 2003). Os modelos, como Land Change Modeler, permitem a análise espaço-temporal das mudanças de usos e coberturas dos solos estão e vem se tornando cada vez mais importantes, proporcionando o melhor entendimento das mudanças atuais e futuras, especialmente na agricultura (PEROVIĆ, JAKŠIĆ, *et al.*, 2018). Assim, a cartografia multitemporal da cobertura e uso da terra fornece subsídios para a proposição de medidas destinadas à gestão territorial (SOUSA, FERREIRA, 2014).

Várias soluções estão sendo propostas por diversos pesquisadores ao avaliarem o comportamento e os impactos das mudanças nos usos e coberturas dos solos no espaço geográfico. A restauração florestal pode melhorar a qualidade da água dos rios (MELLO, TANIWAKI, *et al.*, 2020) e as políticas governamentais devem ser direcionadas para garantir o uso sustentável do solo e a conservação ambiental no bioma Cerrado, principalmente nas regiões consolidadas agrícolas, onde as áreas com erosões de alto risco estão aumentando, (FERREIRA, Manuel Eduardo, FERREIRA, *et al.*, 2013, GOMES, Luciene, SIMÕES, *et al.*, 2019), bem como, incentivar o pagamento por serviços ambientais aos proprietários de terras que preservam fragmentos nativos do Cerrado (FERREIRA, Manuel Eduardo, FERREIRA, *et al.*, 2013).

As geotecnologias e as ferramentas de SIG tornaram-se primordiais para determinar a fragilidade ou vulnerabilidade ambiental e a definição de áreas prioritárias para conservação ou até mesmo para propor um zoneamento ecológico-econômico (ZEE). Para a fragilidade ambiental, as ferramentas de SIG são capazes de criar índices e classificar o nível de fragilidade de áreas definidos por diversos critérios (CAMPOS, A. *et al.*, 2019; COCHECI *et al.*, 2019; DALLA CORTE *et al.*, 2015; LEÃO DE SOUZA *et al.*, 2020; MACEDO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2022)

### **1.3 ESTUDO DE CASO: UPGRH DO RIO MEIA PONTE**

A UPGRH do Rio Meia Ponte possui aproximadamente 90% de sua área localizada no bioma Cerrado, no entanto, cerca de 73% de sua área total foi desmatada, permanecendo apenas 23% da área coberta por vegetação nativa. Ela é considerada uma das mais importantes bacias hidrográficas do Estado de Goiás por ser responsável pelo abastecimento de água para 40% da população do estado de Goiás, garantindo a manutenção de grande parte das relações econômicas que ocorrem no estado (GOIÁS, 2019b). A porção norte da bacia hidrográfica, por se encontrar a região metropolitana de Goiânia, é a parte mais urbanizada, enquanto a porção sul concentra grandes áreas de pastagens e agricultura (GOIÁS, 2019b).

Ao avaliar a influência do uso do solo sobre a qualidade da água na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, uma das subbacias da UPGRH do rio Meia Ponte, Rabelo *et al.* (2009) constataram baixa qualidade da água em comparação com bacias hidrográficas menos antropizadas. Bailão *et al.* (2020) também averiguaram a qualidade da água do Rio Meia Ponte e demonstraram altos níveis nos parâmetros físicos, químicos e toxicológicos quando comparados aos padrões da legislação brasileira e ainda demonstraram muita citotoxicidade e

genotoxicidade, destacando a urgência de adoção de medidas para a manutenção da qualidade da água do Rio Meia Ponte.

Em outro estudo, as análises físico-químicas da água no perímetro urbano do município de Goiânia apresentaram alguns parâmetros fora dos limites das regulamentações ambientais instituídas pelo Ministério da Saúde do Brasil e um potencial genotóxico. Essa genotoxicidade representa um risco para a biota aquática e os seres humanos, uma vez que os agentes genotóxicos em amostras de água podem causar a perda de integridade do DNA, induzindo danos e rupturas de DNA (GOMES, R., *et al.*, 2019).

Outros estudos recentes realizados em regiões e subbacias pertencentes à UPGHR do Rio Meia Ponte, dentre eles, estudos hidrossedimentológicos (AMARAL, 2019), estudos sobre a morfologia dos cursos d'água (CHEREM, SILVA, *et al.*, 2018), estudos sobre a vulnerabilidade de erosão dos solos (DA SILVA, Breno Amaro, GIONGO, *et al.*, 2019) e estudos sobre os usos e ocupações dos solos (RUDKE, FUJITA, *et al.*, 2019) não abordam a expansão da fronteira agrícola no contexto do alto grau de antropização da bacia e a perda de solos devido às mudanças temporais dos usos e coberturas dos solos.

Um recente estudo no Rio Meia Ponte objetivou avaliar a ocorrência de bactérias resistentes a antibióticos e genes de resistência a antibióticos (ARBs e ARGs). Os resultados mostraram que os genes de resistência a antibióticos estavam presentes em todas as amostras de água, e que havia uma correlação entre a presença desses genes e a presença de bactérias resistentes a antibióticos e multirresistentes (GOMES, OLIVEIRA, *et al.*, 2023). A contaminação por coliformes fecais também foi alta, indicando poluição por esgoto doméstico. As análises estatísticas indicaram que o Rio Meia Ponte está sofrendo um grande impacto antropogênico e medidas como monitoramento, despoluição, gestão e preservação desse rio importante devem ser tomadas (GOMES, OLIVEIRA, *et al.*, 2023).

## **1.4 ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL**

As áreas prioritárias para recuperação são aquelas que foram danificadas por atividades humanas, como desmatamento, poluição, erosão do solo e outros impactos negativos, e que requerem atenção especial para serem restauradas. De acordo com Ross (1994), são ambientes instáveis que sofrem desequilíbrio principalmente pelas alterações humanas.

Já as áreas prioritárias para conservação, são áreas que ainda não sofreram intervenções humanas, mantêm a cobertura natural de vegetação, mas possuem aspectos físicos ou da biodiversidade que as caracterizam como prioritárias. A seleção dessas áreas depende de vários fatores, incluindo a biodiversidade, a importância ecológica, a presença de espécies ameaçadas, a recuperabilidade, a viabilidade financeira e a capacidade de implementação (MMA, 2023).

Existem diversas metodologias disponíveis na literatura científica para seleção de áreas prioritárias para recuperação e conservação em bacias hidrográficas (ALMEIDA *et al.*, 2020; MESQUITA *et al.*, 2020). Todas têm em comum a utilização de ferramentas de SIG e seleção de critérios que serão adaptadas com a realidade da área de estudo e de acordo com a finalidade dessas áreas.

As metodologias mais amplamente utilizadas no Brasil para avaliar a fragilidade ou vulnerabilidade ambiental e realizar o zoneamento econômico e ecológico foram desenvolvidas por Crepani *et al.* (1996) e Ross (1994). No presente estudo, foi empregada uma adaptação da metodologia mais atual, usada na bacia do Alto Araguaia, para identificar as áreas prioritárias de recuperação ambiental (MESQUITA *et al.*, 2020).

Essa metodologia foi desenvolvida pela Universidade Federal de Viçosa e financiada pelo Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR) para o Programa Juntos pelo Araguaia (MESQUITA *et al.*, 2020) e leva em consideração uma série de fatores físicos, sociais e legais da bacia. Com base nesses fatores, são gerados produtos intermediários, como áreas de recarga hídrica, índice de fragilidade ambiental e vulnerabilidade social, que são cruzados para definir as áreas prioritárias para intervenção em relação às áreas de reserva legal, áreas de preservação permanente e uso e cobertura da terra, como pastagens e agricultura.

O primeiro fator, as áreas potenciais para recarga hídrica, são regiões onde a água da superfície e da chuva penetra no subsolo e atinge o lençol freático, aumentando a reserva subterrânea do aquífero. Essa reserva pode ser permanente ou temporária, sendo a última considerada como reserva reguladora ou renovável e explorável (MELO NETO; CHAGAS; JÚNIOR, 2013). A qualidade e quantidade de água disponível em uma área de recarga hídrica estão diretamente relacionadas à preservação do ecossistema e à gestão dos recursos hídricos na superfície. O potencial de recarga hídrica subterrânea tem sido avaliado em diversas partes do mundo por meio de estudos recentes (DE VARGAS *et al.*, 2023; KISIKI *et al.*, 2022; MINEA *et al.*, 2022; SHAO *et al.*, 2020; VISHWAKARMA; GOSWAMI; PRADHAN, 2021; ZIMIK *et al.*, 2022).

O segundo fator, a vulnerabilidade ambiental aplicada à uma bacia hidrográfica é a medida de quão suscetível determinada área é a danos e perda dos recursos ambientais devido a eventos climáticos extremos, erosão, desertificação, mudanças no uso do solo e outros fatores. Para Aquino, Paletta e Almeida (2017), a vulnerabilidade ambiental não engloba apenas isso, mas também a compreensão de como qualquer sistema pode se relacionar com outro. Ela é determinada por uma combinação de fatores, incluindo o clima, o tipo de solo, a vegetação, o uso do solo, e a presença de infraestrutura (LEITE; BEREZUK; SILVA, 2022; SANTOS; FARIA, 2020; SILVA, Marcus Vinicius Silva da; SILVA; LIMA, 2020).

A análise da vulnerabilidade ambiental tornou-se tão importante que o novo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012) exige que os proprietários considerem as áreas de maior fragilidade ambiental como um dos critérios para a escolha de novas áreas de Reserva Legal (AQUINO; PALETTA; ALMEIDA, 2017).

E por último, a vulnerabilidade social refere-se à exposição e sensibilidade de indivíduos, famílias e comunidades aos fatores sociais, econômicos e políticos que afetam negativamente sua segurança, bem-estar e oportunidades de desenvolvimento. Isso pode incluir falta de renda, falta de acesso a recursos básicos, discriminação, desigualdade, desemprego, pobreza, más condições de saúde e habitação, entre outros (BARBOSA, GONÇALVES, *et al.*, 2019, COSTA, MARGUTI, 2015a, JULIÃO, LIMA, 2020). Quando se integra a vulnerabilidade ambiental e a vulnerabilidade social, temos a denominada vulnerabilidade socioambiental (ALVES, Humberto Prates da Fonseca, 2021; MEDEIROS, 2018).

## **1.5 ÁREAS LEGALMENTE PROTEGIDAS**

### **1.5.1 Áreas de Preservação Permanente (APP's)**

A Área de Preservação Permanente (APP), definida pela Lei nº 12.651/2012, Código Florestal Brasileiro, é uma área legalmente protegida coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

As áreas consideradas como APP estão localizadas nas faixas marginais cursos d'água natural perene e intermitente com largura mínima a depender da largura do rio; as áreas em torno de lagos, reservatórios, veredas e nascentes; áreas de encostas com declividade acima de

45 graus, áreas de topo de morros, montanhas e serras, áreas com altitude acima de 1800 m, entre outras.

Adicionalmente, é importante ressaltar que no Estado de Goiás, há diferenças entre o Código Florestal Estadual e o Código Florestal Nacional, uma vez que a legislação estadual considera os murundus ou covais e a faixa de cinquenta metros de largura em sua projeção horizontal como áreas de preservação permanente (APP), conforme estabelecido pela Lei nº 20.773/2020, que institui o Regime Extraordinário de Licenciamento Ambiental (REL) como medida de enfrentamento da situação extrema de âmbito econômico no Estado de Goiás (GOIÁS, 2020, 2013).

A definição de campo de murundus ou covais, de acordo com a Lei 18.104/2013, que trata do Código Florestal Estadual, é a seguinte: uma fitofisionomia do Bioma Cerrado que apresenta uma área plana (campo limpo) que é inundável durante o período chuvoso e que contém uma grande quantidade de microrrelevos ou morrotes (murundus) cobertos por vegetação lenhosa típica do cerrado (GOIÁS, 2013).

A fim de auxiliar na identificação dessas áreas, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) incentivou um projeto de mapeamento dos remanescentes de Campos de Murundus, conduzido pela Universidade Federal de Goiás - UFG (SILVA, Elaine Barbosa da; FERREIRA; RIBEIRO, 2022). A metodologia empregada envolveu a determinação do potencial das áreas para alagamentos e/ou inundações, a segmentação de imagens de satélite, a inspeção visual e classificação dos segmentos, a criação de uma chave de interpretação das imagens e a validação em campo. O resultado foi a disponibilização de um mapa atualizado para o ano de 2020 com acurácia superior a 95% dos campos de murundus, que pode ser acessado na plataforma do Sistema de Informações Geográficas Ambientais do Estado de Goiás - SIGA GO, e que é utilizado para determinar a viabilidade ambiental nos processos de licenciamento no Estado de Goiás.

### **1.5.2 Reserva Legal**

A Reserva Legal é conceituada pela Lei nº 12.651/2012 como uma área situada dentro de uma propriedade ou posse rural, cujo objetivo é garantir o uso sustentável dos recursos naturais do imóvel, preservar e recuperar os processos ecológicos, conservar a biodiversidade e proteger a fauna e flora silvestres (BRASIL, 2012).

Para alocar e delimitar as áreas de Reserva Legal, é necessário levar em consideração diversos estudos e critérios, tais como: plano de bacia hidrográfica; o Zoneamento Ecológico-Econômico; a formação de corredores ecológicos com outra Reserva Legal, com APP, com UC, ou com outra área legalmente protegida; as áreas de maior importância para conservação da biodiversidade, e as áreas de maior fragilidade ambiental.

A fim de compor a Reserva Legal nas propriedades rurais do Estado de Goiás, é necessário manter uma área com cobertura de vegetação nativa, respeitando percentuais mínimos de 35% em imóveis situados em áreas de cerrado na Amazônia Legal acima do paralelo 13 e 20% em outras regiões do Estado, com exceções previstas no código florestal goiano (GOIÁS, 2013). Além disso, é obrigatória a inscrição da Reserva Legal no órgão ambiental competente por meio do Cadastro Ambiental Rural - CAR, que faz parte do Sistema Nacional de Informações sobre Meio Ambiente. O CAR tem a finalidade de integrar informações ambientais de propriedades rurais, criando uma base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico, bem como o combate ao desmatamento (BRASIL, 2012).

## **1.6 MECANISMOS PARA RECUPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL**

A finalidade de identificar áreas prioritárias para recuperação ambiental na UPGRH Meia Ponte é integrá-las aos mecanismos já existentes de recuperação e conservação ambiental, de acordo com as políticas públicas, como a compensação ambiental e o pagamento por serviços ambientais (PSA). Esses mecanismos podem ser implementados no âmbito do sistema de licenciamento ambiental do Estado de Goiás (GOIÁS, 2019a) para garantir a proteção ambiental adequada.

### **1.6.1 Compensação Ambiental no âmbito do licenciamento ambiental do Estado de Goiás**

A compensação ambiental foi abordada inicialmente pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em 1987 por meio da Resolução 10, que exigia das obras de grande porte a implantação de Estações Ecológicas como compensação (BRASIL, 1988). No entanto, a compensação ambiental foi estabelecida como lei no ano 2000 (art. 36 da Lei nº 9.985/2000) a partir do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) (BRASIL,

2000). No Estado de Goiás a compensação ambiental é regulamentada pela Lei nº 14.247/2002 (GOIÁS, 2002).

A compensação ambiental é um instrumento que exige aos empreendimentos com potencial de causar significativo impacto ambiental destinarem recursos financeiros para apoiar a criação e manutenção de unidades de conservação de proteção integral. No Estado de Goiás, esses recursos também são usados para reparar danos causados por impactos ambientais não mitigáveis na fauna, conforme estabelecido pelo artigo 35 da Lei Estadual nº 14.247/2002 (GOIÁS, 2002). Recentemente o estado de Goiás criou uma lei para utilizar a compensação ambiental na regularização da supressão da vegetação nativa realizada sem a prévia autorização do órgão ambiental competente, conforme a Lei nº 21.231/2022 (GOIÁS, 2022).

De modo Geral, a Lei nº 21.231/2022 apresenta diversas formas de compensação florestal que estão condicionados à dois fatores. O primeiro fator diz respeito a finalidade da supressão irregular: se foi para implantação de atividades de agricultura, pecuária extensiva ou silvicultura; ou se foi para implantação de outras atividades. O segundo fator refere-se aos marcos legais, ou seja, se a supressão irregular ocorreu entre os dias 22 de julho de 2008 e 27 de dezembro de 2019, e após a data de 27 de dezembro de 2019. O primeiro marco legal está presente no código florestal brasileiro, Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012), que define o que é área consolidada, e o segundo marco legal é dado a partir da regulamentação da nova lei de licenciamento ambiental no Estado, Lei nº 20.694/2019 (GOIÁS, 2019a).

Para a regularização da conversão do uso do solo para implantação de atividades de agricultura, pecuária extensiva ou silvicultura, realizada sem prévia autorização entre os dias 22 de julho de 2008 e 27 de dezembro de 2019, as formas de compensação serão realizadas de acordo com a localização da supressão, conforme dispostos nos incisos I a VI do Art. 13 da Lei nº 21.231/2022 (GOIÁS, 2022).

Se a supressão irregular ocorreu em áreas de preservação permanente – APP, a recuperação ambiental deve ser realizada na mesma área em que ocorreu a supressão irregular. Em áreas de reserva legal, existem diversas possibilidades: a compensação poderá ser na mesma área em que ocorreu a supressão ilegal ou a compensação é estabelecida pelos Arts. 28, 29, 35 e seguintes da Lei estadual nº 18.104, de 2013 (GOIÁS, 2013) que são respectivamente, a compensação ou remanejamento da reserva legal para extra propriedade rural (Art. 28), a compensação da reserva legal dentro da propriedade rural (Art. 29), recompor a reserva legal utilizando as áreas de preservação permanente para o cálculo do percentual da reserva legal, permitir a regeneração natural da vegetação na área de reserva legal, compensar mediante Cota

de Reserva Ambiental – CRA, arrendamento de área sob regime de servidão ambiental ou reserva legal, doação de área localizada no interior de Unidades de Conservação de domínio público pendente de regularização fundiária ou para criação de Unidade de Conservação (Art. 35).

Quando a intervenção na reserva legal for permitida por lei, será determinada a recuperação da própria área ou a compensação nos termos do inciso II do art. 30 da Lei nº 18.104, de 2013, ou seja, serão aceitas como medidas compensatórias a realocação da reserva legal dentro da propriedade, a compensação da reserva extrapropriedade ou a doação de área para Unidade de Conservação (GOIÁS, 2022).

Se a supressão irregular ocorreu em áreas localizadas no interior de unidades de conservação, caberão, quando exigidas, as compensações regidas pelo plano de manejo da unidade. Se a supressão ocorreu por meio de modificações de significativo impacto ambiental sem autorização ou licença por empreendimento e/ou conversão do uso do solo, será aplicada a compensação ambiental de que trata o art. 36 da Lei federal nº 9.985/2000, e os Arts. 45 e seguintes da Lei estadual nº 20.694/2019, ou seja, o empreendedor é obrigado a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do Grupo de Proteção Integral, e a compensação convertida em obrigação de pagar, ou mediante a entrega de produtos e serviços, conforme dispuser regulamento do órgão licenciador (GOIÁS, 2022).

No entanto, se a supressão ocorreu em áreas passíveis de supressão para uso alternativo do solo, objeto de regularização, ainda sob as perspectivas do Art. 13 (atividades de agricultura, pecuária extensiva ou silvicultura), a lei não prevê nenhuma forma de compensação, ou seja, não será devida a compensação florestal, compensação por danos, nem deverá ser recuperada a área desmatada sem prévia autorização.

Para as demais atividades, as que não se classificam em de agricultura, pecuária extensiva ou silvicultura, a supressão realizada sem prévia autorização entre os dias 22 de julho de 2008 e 27 de dezembro de 2019, possuem formas de compensação que também variam de acordo com a área afetada, sejam elas APP's, áreas de reserva legal, áreas de unidades de conservação de proteção integral, áreas de unidades de conservação de uso sustentável, área de proteção ambiental (APA's), zonas de amortecimento de unidades de conservação e áreas passíveis de supressão para uso alternativo do solo. Em suma, deverá ser realizada a compensação florestal (GOIÁS, 2022).

A compensação florestal e compensação por danos ambientais, com exceção das hipóteses em que seja obrigatória a recuperação da própria área desmatada sem autorização ou licença, poderão ser realizadas mediante os seguintes aspectos: servidão ambiental perpétua; doação de imóvel no interior de unidades de conservação para regularização fundiária; plantio compensatório com espécies nativas vinculado a servidão ambiental perpétua; recuperação de área degradada no interior de unidade de conservação de proteção integral; participação em projetos de revitalização de bacias hidrográficas ou de recuperação ambiental, inclusive em áreas de mananciais de captação para abastecimento público; e depósito em conta específica vinculada ao fundo de compensação ambiental (compensação financeira).

Além da compensação ambiental para regularizar a supressão da vegetação nativa realizada sem autorização, a Lei 21.231/2022, estabelece os parâmetros para compensação por meio de licença, quando aplicável. Para essa situação a compensação de áreas com pedido de supressão pode ser realizada por meio de diversas ações, tais como: servidão ambiental; doação de imóvel no interior de unidade de conservação para regularização fundiária; plantio compensatório com espécies nativas, vinculado a servidão ambiental perpétua; recuperação de área degradada no interior de unidade de conservação de proteção integral; participação em projetos de revitalização de bacias hidrográficas ou de recuperação ambiental, inclusive em áreas de mananciais de captação para abastecimento público; depósito em conta específica vinculada ao fundo de compensação ambiental (compensação financeira).

A Lei nº 21.231/2022 prevê, além da compensação florestal e a compensação por danos ambientais, uma compensação financeira que segue o marco legal estabelecido em 27 de dezembro de 2019. Essa compensação é aplicada quando ocorre conversão de solo sem autorização ou licença, antes ou depois da data mencionada. Para a conversão de solo sem autorização ou licença anterior a 27 de dezembro de 2019, é estipulado um valor devido por hectare de área suprimida. Já para a conversão após essa data, o valor devido por hectare de área suprimida é o dobro do caso anterior.

É importante lembrar que a compensação ambiental não é uma solução para todos os impactos ambientais e não pode ser usada como uma licença para causar danos ao meio ambiente, mas deve ser vista como uma ferramenta complementar em uma abordagem mais ampla de gestão ambiental.

## **1.6.2 Pagamento por Serviços Ambientais no âmbito da Política Nacional e Estadual**

O segundo mecanismo citado, no qual podemos aplicar as áreas prioritárias para recuperação e conservação delimitadas para a UPGRH Meia Ponte é o pagamento por serviços ambientais (PSA). O PSA é um mecanismo financeiro que recompensa os proprietários de terra ou as comunidades que mantêm práticas ambientalmente sustentáveis ou que preservam áreas verdes e ecossistemas importantes.

De acordo com a recente Lei Federal nº 14.119/2021, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), a definição de pagamento por serviços ambientais é “transação de natureza voluntária, mediante a qual um pagador de serviços ambientais transfere a um provedor desses serviços recursos financeiros ou outra forma de remuneração, nas condições acertadas, respeitadas as disposições legais e regulamentares pertinentes” (BRASIL, 2021).

Nos últimos anos, um número crescente de municípios e estados brasileiros tem adotado o pagamento por serviços ambientais (PSA). Em relação aos PSA hídricos, há uma maior concentração no sul e sudeste, com tendência de expansão para outras regiões, especialmente para o centro-oeste. A aprovação da recente Lei 14.119/2021, traz diretrizes e abre novas oportunidades para a expansão e melhoria dos programas de PSA no Brasil (COELHO *et al.*, 2021).

Pela Lei Federal, pode-se considerar passíveis de PSA as seguintes áreas: aquelas com cobertura vegetal nativa; áreas que necessitam de restauração ecossistêmica, recuperação da cobertura vegetal nativa ou plantio agroflorestal; unidades de conservação de proteção integral, reservas extrativistas e reservas de desenvolvimento sustentável, conforme Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000; terras indígenas, territórios quilombolas e outras áreas ocupadas por populações tradicionais, com consulta prévia de acordo com a Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) sobre Povos Indígenas e Tribais; paisagens cênicas de grande beleza, preferencialmente em áreas de interesse turístico; áreas de exclusão de pesca, ou seja, aquelas interditadas ou reservas onde a atividade pesqueira é proibida por meio de ato do poder público, de forma transitória, periódica ou permanente; e áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade, conforme definido por ato do poder público (BRASIL, 2021).

As áreas de Preservação Permanente, Reserva Legal e outras que são limitadas administrativamente pela legislação ambiental são elegíveis para receber pagamento por

serviços ambientais com uso de recursos públicos, de acordo com a regulamentação. A preferência será dada às áreas localizadas em bacias hidrográficas consideradas críticas para o abastecimento público de água, definidas pelo órgão competente, ou em áreas prioritárias para a conservação da diversidade biológica em processo de desertificação ou fragmentação avançada (BRASIL, 2021).

As receitas oriundas da cobrança pelo uso dos recursos hídricos de que trata a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (Política Nacional dos Recursos Hídricos) poderão ser destinadas a ações de pagamento por serviços ambientais que promovam a conservação e a melhoria da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos e deverão ser aplicadas conforme decisão do comitê da bacia hidrográfica (BRASIL, 2021).

Apesar da falta de uma legislação federal sobre o assunto, o Estado de Goiás conta com o Decreto nº 9.130/2017, que estabelece o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PEPSA), porém, sem a definição das áreas aptas para a implementação do PSA (GOIÁS, 2017), o que evidencia a necessidade de melhorias. A evolução desse tema em Goiás pode ser observada por meio das políticas municipais de PSA que estão sendo implementadas ou discutidas em algumas cidades, como Silvânia e Ceres (ALVES, Rafael Rodrigues, 2021; EECBIO - UFG, 2018).

## Referências

ALVES, H. P. da F. Socio-environmental vulnerability in the São Paulo Macro-metropolis' three main metropolitan regions: a socio-environmental indicators analysis. **Ambiente & Sociedade**, vol. 24, 2021. DOI 10.1590/1809-4422asoc20200030r2vu2021111ao. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-753X2021000100301&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2021000100301&tlng=en).

ALVES, R. R. **Políticas públicas de gestão ambiental municipal: aplicação do mecanismo de pagamento por serviços ambientais no município de Ceres - GO**. 2021. 90 f. Dissertação (mestrado) – Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA), Anápolis, GO, 2021.

AMARAL, A. K. N. **Estudo hidrossedimentológico em rios da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte - Goiás, Brasil**. 2019. 109 f. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

AQUINO, A. R. de; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. de. **Vulnerabilidade ambiental**. 1a. São Paulo: Blucher, 2017.

BAILÃO, E. F. L. C.; ZAGO, L. de M. S.; SILVA, N. C.; MACHADO, K. B.; D'ABADIA, P. L.; OLIVEIRA, P. H. F. de; NABOUT, J. C.; ALMEIDA, L. M. de. Urban Occupation Increases Water Toxicity of an Important River in Central Brazil. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, vol. 9, no 1, p. 73–86, 4 mar. 2020. DOI

10.21664/2238-8869.2020v9i1.p73-86. Disponível em:

<http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/2792>.

BERTOSSI, A. P. A.; CECÍLIO, R. A.; NEVES, M. A.; GARCIA, G. de O. Qualidade da água em microbacias hidrográficas com diferentes coberturas do solo no sul do Espírito Santo. **Revista Árvore**, vol. 37, no 1, p. 107–117, fev. 2013. DOI 10.1590/S0100-67622013000100012. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84875838801&partnerID=40&md5=9af21ef000fe26a950e9606033e92077>.

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. Brasil: **Diário Oficial da União**, 18 jul. 2000.

BRASIL. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1966. Brasília, DF, Brasil: **Diário Oficial da União** de 28/05/2012, 2012. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm). Acessado em: 14 nov. 2019.

BRASIL. Lei no 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nos 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Brasil: **Diário Oficial da União** - Seção 1 - 14/1/2021, Página 7, 2021.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 010 de 03 de dezembro de 1987. Dispõe sobre o ressarcimento de danos ambientais causados por obras de grande porte. Brasília, Brasil: **Diário Oficial da União**, 18 mar. 1988. Disponível em: <https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/41/1987%20Resolu%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o%20CONAMA%20N%C3%82%C2%BA%20010%2087.pdf>. Acessado em: 26 mar. 2023.

CAMPOS, F. I. Goiás, formas de ocupação: “... uma população sem-terra, numa terra despovoada...” **Sociedade e Cultura**, vol. 1, no 1, p. 71–80, 1998. .

CAMPOS, J. A.; AIRES, U. R. V.; DA SILVA, D. D.; CALIJURI, M. L. Environmental fragility and vegetation cover dynamics in the Lapa Grande state park, MG, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, vol. 91, no 2, 2019. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920170940>.

CHATTERJEE, S.; KRISHNA, A. P.; SHARMA, A. P. Geospatial assessment of soil erosion vulnerability at watershed level in some sections of the Upper Subarnarekha River basin, Jharkhand, India. **Environmental Earth Sciences**, vol. 71, no 1, p. 357–374, 10 jan. 2014. DOI 10.1007/s12665-013-2439-3. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s12665-013-2439-3>.

CHEREM, L. F. S.; SILVA, G. B.; ZANCOPÉ, M. H. C.; ROSA, L. E. CONTROLE LITOESTRUTURAL NA MORFOLOGIA HOLOCÊNICA DE PLANÍCIE E CANAL NO ALTO CURSO DO RIO MEIA PONTE (GOIÁS). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 19, no 4, 1 out. 2018. <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1456>.

COCHECI, R.-M.; IANOȘ, I.; SÂRBU, C. N.; SORENSEN, A.; SAGHIN, I.; SECĂREANU, G. Assessing environmental fragility in a mining area for specific spatial planning purposes. **Moravian Geographical Reports**, vol. 27, no 3, p. 169–182, 1 set. 2019. DOI 10.2478/mgr-2019-0013. Disponível em: <https://www.sciendo.com/article/10.2478/mgr-2019-0013>.

COELHO, N. R.; GOMES, A. da S.; CASSANO, C. R.; PRADO, R. B. Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol. 26, no 3, p. 409–415, jun. 2021. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220190055>.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. De; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico-econômico. Salvador, Brasil, INPE: [s. n.], 14 abr. 1996.

DA SILVA, B. A.; GIONGO, P. R.; MARTINS, P. T. de A.; BARBOSA, T. A.; MORAES, V. H.; CAVALCANTE, T. J.; MARCOMINI GIONGO, A. M. Soil erosion vulnerability in the southern part of the Meia Ponte watershed, Goias, Brazil. **Idesia (Arica)**, vol. 37, no 2, p. 81–86, jun. 2019. DOI 10.4067/S0718-34292019000200081. Disponível em: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292019000200081&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292019000200081&lng=en&nrm=iso&tlng=en).

DALLA CORTE, A. P.; KLEIN HENTZ, Â. M.; DOUBRAWA, B.; SANQUETTA, C. R. Environmental fragility of Iguazu River watershed, Paraná, Brazil. **Bosque (Valdivia)**, vol. 36, no 2, p. 287–297, 18 set. 2015. DOI 10.4067/S0717-92002015000200014. Disponível em: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002015000200014&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002015000200014&lng=en&nrm=iso&tlng=en).

DE ALBUQUERQUE PRADO, L.; MIZIARA, F.; FERREIRA, M. E. Expansão da fronteira agrícola e mudanças no uso do solo na região sul de Goiás: ação antrópica e características naturais do espaço. **Boletim Goiano de Geografia**, vol. 32, no 1, p. 151–165, 15 jun. 2012. <https://doi.org/10.5216/bgg.v32i1.18962>.

DE ALMEIDA, F. C.; SILVEIRA, E. M. D. O.; ACERBÍ JUNIOR, F. W.; FRANÇA, L. C. D. J.; BUENO, I. T.; TERRA, B. J. O. Análise multicritério na definição de áreas prioritárias para recuperação florestal na Bacia do Rio Doce, em Minas Gerais. **Nativa**, vol. 8, no 1, p. 81, 5 fev. 2020. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i1.8130>.

DE VARGAS, T.; SGORLA, V.; BELLADONA, R.; VEDANA, L. A. Mapas de zonas potenciais de recarga da água subterrânea como uma nova ferramenta para a segurança hídrica do abastecimento público. **Águas Subterrâneas**, vol. 37, no 1, 29 jan. 2023. DOI 10.14295/ras.v37i1.30152. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/30152>.

EECBIO - UFG. **Aprovada lei para Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no município de Silvânia, GO**. 2018. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) em Ecologia, Evolução e Conservação da Biodiversidade (EECBio) . Disponível em: <https://eecbio.ufg.br/n/112932-aprovada-lei-para-pagamento-por-servicos-ambientais-psa-no-municipio-de-silvania-go>. Acessado em: 28 mar. 2023.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; LATRUBESSE, E. M.; MIZIARA, F. Considerations about the land use and conversion trends in the savanna environments of Central Brazil under

a geomorphological perspective. **Journal of Land Use Science**, vol. 11, no 1, p. 33–47, 2 jan. 2016. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2013.845613>.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; MIZIARA, F.; SOARES-FILHO, B. S. Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: Future scenarios and perspectives for conservation. **Journal of Land Use Science**, vol. 8, no 4, p. 403–421, 2013. DOI 10.1080/1747423X.2012.675363. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/1747423X.2012.675363>.

GARRETT, R. D.; KOH, I.; LAMBIN, E. F.; LE POLAIN DE WAROUX, Y.; KASTENS, J. H.; BROWN, J. C. Intensification in agriculture-forest frontiers: Land use responses to development and conservation policies in Brazil. **Global Environmental Change**, vol. 53, no October 2017, p. 233–243, 1 nov. 2018. DOI 10.1016/j.gloenvcha.2018.09.011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.09.011>. Acessado em: 9 jul. 2020.

GIRI, S.; QIU, Z.; ZHANG, Z. Assessing the impacts of land use on downstream water quality using a hydrologically sensitive area concept. **Journal of Environmental Management**, vol. 213, p. 309–319, 2018. DOI 10.1016/j.jenvman.2018.02.075. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.075>.

GOIÁS. Decreto nº 9.130 de 29 de dezembro de 2017. Dispõe sobre o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais – PEPSA e dá outras providências. Brasil: **Diário Oficial do Estado de Goiás**, Goiânia, Brasil, 27 dez. 2017.

GOIÁS. Lei nº 20.694, de 26 de dezembro de 2019. Dispõe sobre normas gerais para o Licenciamento Ambiental do Estado de Goiás e dá outras providências. Goiânia, Brasil: **Diário Oficial do Estado de Goiás**, Goiânia, GO, 26 dez. 2019a.

GOIÁS. Lei nº 20.773 de 08 de maio de 2020. Institui o Regime Extraordinário de Licenciamento Ambiental - REL como medida de enfrentamento da situação extrema de âmbito econômico no Estado de Goiás, provocada em razão da decretação de estado de calamidade pública, decorrente da infecção humana pelo Novo Coronavírus (COVID-19). Brasil: **Diário Oficial do Estado de Goiás**, Goiânia, GO, 11 maio 2020.

GOIÁS. Lei nº 14.247, de 29 de julho de 2002. Institui o Sistema Estadual de Unidades de Conservação no Estado de Goiás e dá outras providências. Brasil: **Diário Oficial do Estado de Goiás**, Goiânia, GO, 5 ago. 2002.

GOIÁS. Lei no 18.104 de 18 de julho de 2013. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, institui a nova Política Florestal do Estado de Goiás e dá outras providências. Brasil : **Diário Oficial do Estado de Goiás**, Goiânia, GO, 23 jul. 2013.

GOIÁS. Lei no 21.231 de 10 de janeiro de 2022. Dispõe sobre a regularização de passivos ambientais de imóveis rurais e urbanos, [...], também a definição dos parâmetros da compensação florestal e da reposição florestal no Estado de Goiás. Brasil: **Diário Oficial do Estado de Goiás**, Goiânia, GO, 10 jan. 2022.

GOIÁS. **Planos de Recursos Hídricos das Unidades de Planejamento e estão de Recursos Hídricos do Estado de Goiás Afluentes ao Rio Paranaíba: Diagnóstico da UPGRH do Rio Meia Ponte (Produto 2)**. Goiânia: SEMAD, 2019b. Disponível em: [http://pbapgo.meioambiente.go.gov.br/?page\\_id=1689](http://pbapgo.meioambiente.go.gov.br/?page_id=1689).

GOMES, L.; SIMÕES, S. J. C.; DALLA NORA, E. L.; DE SOUSA-NETO, E. R.; FORTI, M. C.; OMETTO, J. P. H. B. Agricultural expansion in the Brazilian Cerrado: Increased soil and nutrient losses and decreased agricultural productivity. **Land**, vol. 8, no 1, p. 1–26, 2019. <https://doi.org/10.3390/land8010012>.

GOMES, R. P.; DE PAULA SILVA, J. A.; CARVALHO JUNIOR, M. C.; ALBURQUERQUE, W. C. A.; SCALIZE, P. S.; GALVÃO FILHO, A. R.; DE JESUS PIRES, D.; VIEIRA, J. D. G.; CARNEIRO, L. C. Evaluation of the raw water quality: physicochemical and toxicological approaches. **Environmental Geochemistry and Health**, vol. 41, no 6, p. 2425–2442, 13 dez. 2019. DOI 10.1007/s10653-019-00292-9. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10653-019-00292-9>.

GOMES, R. P.; OLIVEIRA, T. R.; RODRIGUES, A. B.; FERREIRA, L. M.; VIEIRA, J. D. G.; CARNEIRO, L. C. Occurrence of Antibiotic Resistance Genes, Antibiotics-Resistant and Multi-Resistant Bacteria and Their Correlations in One River in Central-Western Brazil. **Water**, vol. 15, no 4, p. 747, 14 fev. 2023. DOI 10.3390/w15040747. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/4/747>.

HUNKE, P.; MUELLER, E. N.; SCHRÖDER, B.; ZEILHOFER, P. The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. **Ecohydrology**, vol. 8, no 6, p. 1154–1180, 26 set. 2015. DOI 10.1002/eco.1573. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/eco.1573>.

KISIKI, C. P.; BEKELE, T. W.; AYENEW, T.; MJEMAH, I. C. Geospatial application on mapping groundwater recharge zones in Makutupora basin, Tanzania. **Heliyon**, vol. 8, no 10, p. e10760, 1 out. 2022. DOI 10.1016/j.heliyon.2022.e10760. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844022020485>. Acessado em: 18 dez. 2022.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, vol. 19, no 3, p. 707–713, jun. 2005. DOI 10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPEERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. **Annual Review of Environment and Resources**, vol. 28, p. 205–241, 2003. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>.

LEÃO DE SOUZA, D. S.; DELLARGINE, F. L.; MIRA, I. R. C. de; TEÓFILO GUEDES SILVA, G.; SILVA, M. L. Análise e Mapeamento da Fragilidade Ambiental no Município de Inconfidentes – MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 13, no 5, p. 2269, 9 out. 2020. DOI 10.26848/rbgf.v13.5.p2269-2292. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/246364>.

LEITE, E. F.; BEREZUK, A. G.; SILVA, C. A. da. A vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Miranda, Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 15, no 5, p. 2613, 29 ago. 2022. DOI 10.26848/rbgf.v15.5.p2613-2639. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/253665>.

MACEDO, D. R.; HUGHES, R. M.; KAUFMANN, P. R.; CALLISTO, M. Development and validation of an environmental fragility index (EFI) for the neotropical savannah biome. **Science of the Total Environment**, vol. 635, p. 1267–1279, 1 set. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.216>.

- MEDEIROS, C. N. de. **Mapeamento da vulnerabilidade socioambiental utilizando ferramentas de geoprocessamento**. 2018. Textos para Discussão n° 126 [...]. Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), 2018. p. 37. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/>.
- MELLO, K. de; TANIWAKI, R. H.; PAULA, F. R. de; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; MACEDO, D. R.; LEAL, C. G.; RODRIGUES, C. B.; HUGHES, R. M. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, vol. 270, 15 set. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>. Acessado em: 9 jul. 2020.
- MELO NETO, J. O.; CHAGAS, R. M.; JÚNIOR, A. V. M. Delimitação de áreas potenciais de recarga subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Siriri, Sergipe. **SCIENTIA PLENA**, vol. 9, no 7, 2013. Disponível em: [www.scientiaplenu.org.br](http://www.scientiaplenu.org.br).
- MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. de S.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Relação entre padrões de uso e ocupação da terra e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol. 21, no 3, p. 519–534, 2016. DOI 10.1590/S1413-41522016145405. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522016000300519&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016000300519&lng=pt&tlng=pt).
- MESQUITA, D.; SIMÕES, J. A.; ESSER, J. de O.; ROSA, L. A. da S. Metodologia de Definição de Áreas Prioritárias para Recuperação Ambiental. Programa Juntos Pelo Araguaia, Viçosa, , p. 132, 2020.
- MINEA, I.; BOICU, D.; CHELARIU, O.-E.; IOSUB, M.; ENEA, A. Assessment of recharge capacity potential of groundwater using comparative multi-criteria decision analysis approaches. **Journal of Geographical Sciences**, vol. 32, no 4, p. 735–756, 29 abr. 2022. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-1970-0>.
- MIZIARA, F. Condições estruturais e opção individual na formulação do conceito de “Fronteira Agrícola”. In: SILVA, L. S. D. (org.). **Relações Cidade Campo: Fronteiras**. Goiânia: CEGRAF, 2000. p. 273–289.
- MMA. Áreas Prioritárias para Biodiversidade. 2023. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/servicosambientais/ecossistemas-1/conservacao-1/areas-prioritarias>. Acessado em: 26 mar. 2023.
- NAMUGIZE, J. N.; JEWITT, G.; GRAHAM, M. Effects of land use and land cover changes on water quality in the uMngeni river catchment, South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth**, vol. 105, no April 2017, p. 247–264, 2018. DOI 10.1016/j.pce.2018.03.013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.03.013>.
- NÓBREGA, R. L. B.; GUZHA, A. C.; LAMPARTER, G.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E. G.; HUGHES, H. J.; JUNGKUNST, H. F.; GEROLD, G. Impacts of land-use and land-cover change on stream hydrochemistry in the Cerrado and Amazon biomes. **Science of The Total Environment**, vol. 635, p. 259–274, 1 set. 2018. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.03.356. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969718311161>. Acessado em: 9 jul. 2020.

NÓBREGA, R. L. B.; GUZHA, A. C.; TORRES, G. N.; KOVACS, K.; LAMPARTER, G.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E.; GEROLD, G. Effects of conversion of native cerrado vegetation to pasture on soil hydro-physical properties, evapotranspiration and streamflow on the Amazonian agricultural frontier. **PLoS ONE**, 2017. DOI 10.1371/journal.pone.0179414. Disponível em: <https://www.mendeley.com/catalogue/5b6338cd-5382-3868-8e8b-62eeb9187bb9/>.

NÓBREGA, R. L. B.; ZIEMBOWICZ, T.; TORRES, G. N.; GUZHA, A. C.; AMORIM, R. S. S.; CARDOSO, D.; JOHNSON, M. S.; SANTOS, T. G.; COUTO, E.; GEROLD, G. Ecosystem services of a functionally diverse riparian zone in the Amazon–Cerrado agricultural frontier. **Global Ecology and Conservation**, vol. 21, p. e00819, 1 mar. 2020. DOI 10.1016/j.gecco.2019.e00819. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351989419305001>. Acessado em: 9 jul. 2020.

PEROVIĆ, V.; JAKŠIĆ, D.; JARAMAZ, D.; KOKOVIĆ, N.; ČAKMAK, D.; MITROVIĆ, M.; PAVLOVIĆ, P. Spatio-temporal analysis of land use/land cover change and its effects on soil erosion (Case study in the Oplenac wine-producing area, Serbia). **Environmental Monitoring and Assessment**, vol. 190, no 11, p. 675, 26 nov. 2018. DOI 10.1007/s10661-018-7025-4. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10661-018-7025-4>.

PIRES, M. J. de S. **Estratégia de transformação econômica do centro-oeste: o caminho externo**. Rio de Janeiro: IPEA, 2019.

PRATT, B.; CHANG, H. Effects of land cover, topography, and built structure on seasonal water quality at multiple spatial scales. **Journal of Hazardous Materials**, vol. 209–210, p. 48–58, 30 mar. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.12.068>. Acessado em: 12 mar. 2020.

RABELO, C.; FERREIRA, M. E.; ARAUJO, J. V.; STONE, L. F.; SILVA, S.; GOMES, M. Influência do uso do solo na qualidade da água no bioma Cerrado: um estudo comparativo entre bacias hidrográficas no Estado de Goiás, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, vol. 4, no 2, p. 172–187, 30 ago. 2009. DOI 10.4136/ambi-agua.96. Disponível em: <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/239/342>.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Geography Department, University of Sao Paulo**, , p. 63–74, 1994. DOI 10.7154/RDG.1994.0008.0006. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>.

ROUNSEVELL, M. D. A.; PEDROLI, B.; ERB, K. H.; GRAMBERGER, M.; BUSCK, A. G.; HABERL, H.; KRISTENSEN, S.; KUEMMERLE, T.; LAVOREL, S.; LINDNER, M.; LOTZE-CAMPEN, H.; METZGER, M. J.; MURRAY-RUST, D.; POPP, A.; PÉREZ-SOBA, M.; REENBERG, A.; VADINEANU, A.; VERBURG, P. H.; WOLFSLEHNER, B. Challenges for land system science. **Land Use Policy**, vol. 29, no 4, p. 899–910, 2012. DOI 10.1016/j.landusepol.2012.01.007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.01.007>.

RUDKE, A. P.; FUJITA, T.; ALMEIDA, D. S. de; EIRAS, M. M.; XAVIER, A. C. F.; RAFEE, S. A. A.; SANTOS, E. B.; MORAIS, M. V. B. de; MARTINS, L. D.; SOUZA, R. V. A. de; SOUZA, R. A. F.; HALLAK, R.; FREITAS, E. D. de; UVO, C. B.; MARTINS, J. A.

Land cover data of Upper Parana River Basin, South America, at high spatial resolution. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, vol. 83, no February, p. 101926, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101926>.

SANO, E. E.; RODRIGUES, A. A.; MARTINS, E. S.; BETTIOL, G. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; BEZERRA, A. S.; COUTO, A. F.; VASCONCELOS, V.; SCHÜLER, J.; BOLFE, E. L. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, vol. 232, no December 2018, p. 818–828, fev. 2019. DOI 10.1016/j.jenvman.2018.11.108. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>. Acessado em: 12 jul. 2020.

SANTOS, M. B.; FARIA, K. M. S. Vulnerabilidades ambientais do Bioma Cerrado: Estudo da região Norte Goiano - Goiás. **Acta Geográfica**, vol. 14, no 34, p. 242–258, 2020. <https://doi.org/10.5654/acta.v14i34.5260>.

SHAO, Z.; HUQ, Md. E.; CAI, B.; ALTAN, O.; LI, Y. Integrated remote sensing and GIS approach using Fuzzy-AHP to delineate and identify groundwater potential zones in semi-arid Shanxi Province, China. **Environmental Modelling & Software**, vol. 134, p. 104868, 1 dez. 2020. DOI 10.1016/j.envsoft.2020.104868. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815220309257>. Acessado em: 18 dez. 2022.

SILVA, A. A.; MIZIARA, F. Avanço Do Setor Sucroalcooleiro e Expansão Da Fronteira Agrícola Em Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, vol. 41, no 3, p. 399–407, 2011. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i3.11054>.

SILVA, E. B. da; FERREIRA, N. C.; RIBEIRO, N. V. Relatório técnico: mapeamento dos remanescentes de campos de murundus ou covais no Estado de Goiás. Goiânia: [s. n.], 2022.

SILVA, E. R. dos S. da; OLIVEIRA, V. F. R. de; VICK, E. P.; LIMA, C. G. da R.; BACANI, V. M.; CHÁVEZ, E. S. Geotecnologías aplicadas al análisis de la fragilidad ambiental a los procesos erosivos. Cuadernos de Geografía: **Revista Colombiana de Geografía**, vol. 31, no 1, p. 222–240, 1 jan. 2022. DOI 10.15446/rcdg.v31n1.85654. Disponível em: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/85654>.

SILVA, M. V. S. da; SILVA, B. C. S. da; LIMA, I. F. Análise da vulnerabilidade ambiental do município São João da Ponta, Pará: O uso do geoprocessamento na gestão de unidades de conservação. **Revista Cerrados**, vol. 18, no 01, p. 159–188, 29 abr. 2020. DOI 10.22238/rc2448269220201801159188. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/1200>.

SOUSA, S. B. de; FERREIRA, L. G. Mapeamento da cobertura e uso da terra: uma abordagem utilizando dados de sensoriamento remoto óptico multitemporais e provenientes de múltiplas plataformas. **Revista Brasileira de Cartografia**, vol. 66, no 2, p. 321–336, 2014.

SOUZA, C. M.; Z. SHIMBO, J.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; A. ALENCAR, A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; G. FERREIRA, L.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; DE OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. v.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; ... AZEVEDO, T. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, vol. 12, no 17, p.

2735, 25 ago. 2020. DOI 10.3390/rs12172735. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735>.

VISHWAKARMA, A.; GOSWAMI, A.; PRADHAN, B. Prioritization of sites for Managed Aquifer Recharge in a semi-arid environment in western India using GIS-Based multicriteria evaluation strategy. **Groundwater for Sustainable Development**, vol. 12, p. 100501, 1 fev. 2021. DOI 10.1016/j.gsd.2020.100501. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352801X20303295>. Acessado em: 18 dez. 2022.

VREBOS, D.; BEAUCHARD, O.; MEIRE, P. The impact of land use and spatial mediated processes on the water quality in a river system. **Science of The Total Environment**, vol. 601–602, p. 365–373, dez. 2017. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.05.217. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.217>.

ZIMIK, H. V.; ANGCHUK, T.; MISRA, A. K.; RANJAN, R. Kr.; WANJARI, N.; BASNETT, S. GIS-based identification of potential watershed recharge zones using analytic hierarchy process in Sikkim Himalayan region. **Applied Water Science**, vol. 12, no 11, p. 248, 6 nov. 2022. DOI 10.1007/s13201-022-01758-5. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s13201-022-01758-5>.

## **CAPÍTULO 2    DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MEIA PONTE: UMA ANÁLISE TEMPORAL DE 1987-2017**

---

### **Resumo**

A bacia hidrográfica do rio Meia Ponte está localizada em uma importante porção do estado de Goiás e sua ocupação nas últimas décadas, resultou em um alto nível de antropização. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar a evolução do uso e do processo de ocupação da terra da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte para um período de 30 anos (1987 – 2017) e correlacionar as classes de uso com a declividade e os tipos de solo. Para isso, as classes de uso do solo foram obtidas a partir de série temporal de mapeamentos, elaborada pela iniciativa Mapbiomas, para os anos de 1987, 1997, 2007 e 2017. As alterações do uso do solo foram determinadas pela ferramenta Semi-Automatic Classification Plugin – SCP no QGIS. A expansão da fronteira agrícola ocorreu em 14% das áreas de pastagem. Essa conversão se deu nas áreas de menor declividade, de 0° a 5°, (relevos planos e suaves ondulados) e solos considerados com maior aptidão agrícola, como os Latossolos. A maior taxa de expansão ocorreu na primeira grande expansão da fronteira agrícola (1970), e a vegetação nativa manteve-se constante no período estudado. A UPGRH do Rio Meia Ponte apresentou alto percentual da área que manteve a classe de uso inalterada ressaltando o alto nível de antropização da bacia.

**Palavras-chave:** uso da terra, fronteira agrícola, solos, declividade, bacia do rio Meia Ponte

### **Land use and occupation dynamics of the Meia Ponte river basin: a temporal analysis from 1987-2017**

### **Abstract**

The watershed of the Meia Ponte river is an important basin for the state of Goiás and has an elevated level of anthropization. Thus, this work aims to analyze the evolution of the land use and occupation process of the Meia Ponte river basin over a period of 30 years (1987 - 2017) and to correlate the classes of use with the slope and types of soil. For this, land use classes were determined from data from MapBiomas, Collection 3.0, for the years 1987, 1997, 2007 and 2017. Changes in land use were determined by the Semi-Automatic Classification Plugin

– SCP tool without QGIS. The expansion of the agricultural frontier occurred in 14% of the pasture areas. This conversion took place in areas with a lower slope, from 0° to 5°, (flat and gently undulating reliefs) and soils considered to be subject to greater agricultural traffic, such as Oxisols. The highest expansion rate occurred in the first major expansion of the agricultural frontier (1970), and native vegetation remained constant during the period studied. The UPGRH of Rio Meia Ponte presented a high percentage of area that kept the class of use unchanged, emphasizing the high level of anthropization of the basin.

**Keywords:** land use, agricultural frontier, soil, slope, Meia Ponte river basin

## 2.1 INTRODUÇÃO

O estado de Goiás é um dos principais produtores de grãos no país, e tem na agropecuária uma atividade importante, pois configura uma parte significativa da renda gerada. Por outro lado, mantém apenas 35% de sua vegetação nativa (SANO et al., 2008). Esse fator é preocupante, pois a expansão da fronteira agrícola tem ocorrido tanto sobre novas áreas (desmatamentos), quanto sobre áreas previamente convertidas (FERREIRA, L. G. et al., 2009). Além disso, visando o crescimento econômico, o cenário para o estado é de aumentar essa taxa de conversão.

A primeira grande expansão da fronteira agrícola ocorreu em meados dos anos 1970 e 1980, sob influências de programas de incentivo fiscal para fomentar os investimentos industriais, como o Fundo de Participação e Fomento à Industrialização do Estado de Goiás (FOMENTAR) e o Programa de Desenvolvimento Industrial do Estado de Goiás (PRODUZIR), os quais foram implementados no estado depois dos anos 1980 (PIRES, 2019). Tais iniciativas eram contempladas nos Planos Nacionais de Desenvolvimento (PNDs), as quais propunham recompor o território com a inserção de infraestrutura econômica e incentivo ao aumento da produção agropecuária (SILVA, A. A.; MIZIARA, 2011).

Para compreender melhor o processo de expansão agrícola, Miziara (2000) afirma que as variáveis tecnologia e investimento, e as condições naturais do solo, explicam o processo de expansão da fronteira agrícola. Neste contexto, Goiás é considerado importante fronteira agrícola a se ocupar, uma vez que apresenta condições topográficas favoráveis à mecanização, solos mais adequados, regiões com maior infraestrutura, além de riquezas minerais que potencializam a expansão da agricultura (DE ALBUQUERQUE PRADO; MIZIARA; FERREIRA, 2012).

Considerando os aspectos demográficos e socioeconômicos, a bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte é a principal Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do estado de Goiás, concentrando aproximadamente 40% da população (GOIÁS, 2018). Dispõe de um elevado grau de antropização, apresenta cerca de 73% de área total desmatada com apenas 23% de vegetação nativa (GOIÁS, 2019). Existem ainda conflitos de uso do solo por intervenções antrópicas nas APPs de subbacias do Rio Meia Ponte e a pastagem é a classe que mais ocupa essas áreas (SANTOS et al., 2019). A agricultura e a pastagem representam por volta de 72,5% da área total da bacia (GOIÁS, 2019).

Vários estudos recentes foram realizados em regiões e subbacias hidrográficas pertencentes à UPGHR do Rio Meia Ponte, dentre eles, estudos hidrossedimentológicos, análise da morfologia dos cursos d'água, vulnerabilidade de erosão do solo e, uso e ocupação da terra (AMARAL, 2019; CHEREM et al., 2018; DA SILVA, B. A. et al., 2019; RUDKE et al., 2019). Mas tais estudos não abordam a expansão da fronteira agrícola no contexto do alto grau de antropização da bacia.

A avaliação dos aspectos naturais, como topografia e classes de solo, é essencial para o entendimento da dinâmica do uso e ocupação da terra e podem explicar a tendência da expansão da fronteira agrícola. Além disso, o uso de geotecnologias para tal análise direciona a implementação de políticas públicas e ações de mitigação aos problemas ambientais recorrentes da ocupação desordenada do solo.

Portanto, o objetivo desse estudo foi avaliar a evolução do uso e cobertura da terra, bem como o processo de ocupação da terra da UPGRH do Rio Meia Ponte para um período de 30 anos (1987 – 2017), correlacionando-os com a declividade e o tipo de solo da bacia hidrográfica. Para isto, foi considerado uma resolução temporal de 10 anos, composto pelos anos de 1987, 1997, 2007 e 2017.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

Foi realizado um levantamento da base de dados existente, posterior processamento das imagens e elaboração dos mapas temáticos em SIG, seguida da análise da dinâmica do uso e ocupação da terra. Para a extração dos dados referentes aos perímetros das bacias hidrográficas do estado de Goiás, rede de drenagem, tipo de solos e limites municipais e estaduais foram utilizados dados vetoriais em formato shapefile, disponibilizados pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás – SIEG (SIEG, 2017).

O tratamento dos dados ambientais foi realizado em ambiente SIG por meio do software de geoprocessamento Arc Map 10.5 e do QGIS 3.4.10, no qual todos os dados geográficos foram projetados para o sistema de projeções cartográficas Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SIRGAS 2000 e fuso 22 Sul.

### **2.2.1 Caracterização da área de estudo**

O presente estudo foi realizado na UPGRH do Rio Meia Ponte, localizada na região centro-sul do estado de Goiás e limitada pelas latitudes 48°46' e 49°44' Sul e longitude 16°06' e 18°32' Oeste e, compreende uma área de aproximadamente 14.500 km<sup>2</sup>, que ocupa cerca de 4% do território estadual. A bacia hidrográfica é composta pelos biomas Cerrado e Mata Atlântica, sendo o Cerrado a maior parte da área total, 89% e a Mata Atlântica representando os 11% restantes da sua área total (GOIÁS, 2019).

Existem 29 principais municípios na UPGRH, incluindo a maior parte da região metropolitana de Goiânia. Se contabilizarmos os municípios que só tem uma parte do território dentro da área da bacia, esse número sobe para 38 municípios. Dentre os municípios, três não possuem as sedes dentro dos limites da unidade. O rio Meia Ponte nasce na Serra dos Brandões, no município de Itauçu e percorre uma extensão de aproximadamente 472 km até desaguar no Rio Paranaíba, no município de Cachoeira Dourada. Os seus principais afluentes são os ribeirões João Leite, Santa Maria e Campanha e os rios Dourados e Caldas (ANA, 2013).

O clima da UPGRH – RMP, conforme a classificação climática de Köppen, é caracterizado por “Aw”, que corresponde ao clima tropical com inverno seco. A precipitação pluvial média anual é cerca de 1.565 mm com sazonalidade bem definida, ou seja, estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (ANA, 2013).

Devido à extensão da UPGRH – RMP no presente estudo a bacia hidrográfica foi dividida em 3 regiões: Alto, Médio e Baixo Meia Ponte. A Região Alto Meia Ponte – RAMP é formada pelas subbacias identificadas na Figura 1 de 1 a 7, a Região Médio Meia Ponte – RMMP é composta pelas subbacias 8, 9 e 10, e as subbacias 11 e 12 integram a Região Baixo Meia Ponte – RBMP. As subbacias hidrográficas apresentadas foram definidas no novo plano bacias hidrográficas do estado (GOIÁS, 2019).

### 2.2.1.1 Hipsometria e declividade

Para a elaboração das variáveis morfométricas (hipsometria e declividade) foi utilizado o Modelo Digital de Elevação TOPODATA do INPE (VALERIANO; ROSSETTI, 2012), armazenado em estrutura matricial e resolução espacial de 30 metros.

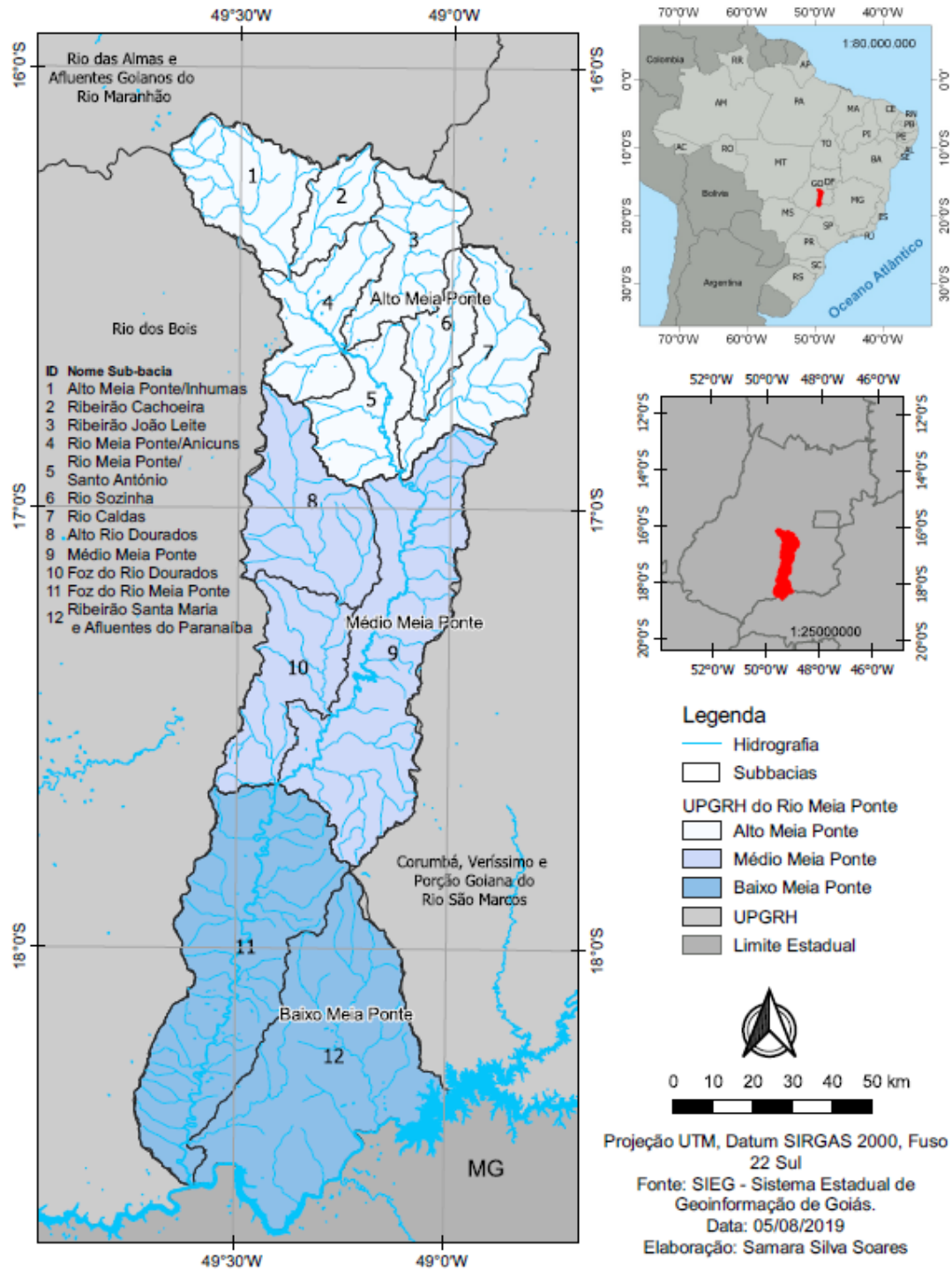


Figura 1 – Mapa de localização da UGRH do Rio Meia Ponte. Fonte: SIEG, 2017. Elaborado por Samara S. Soares.

A partir do MDE referido foi gerado o mapa hipsométrico da área de pesquisa com uma resolução espacial de 30 metros e formato matricial, de acordo com as mesmas referências espaciais do MDE. As classes de altitude foram divididas em intervalos iguais de 100 m a partir das altitudes mínima e máxima identificadas.

Quanto às características hipsométricas gerais da bacia destacam-se relevos com altitude variando de 394 a 1.161 m (Figura 2a) e aproximadamente 68% da área total da bacia com altitudes compreendidas entre 600 e 900 m. As maiores altitudes (acima de 1000 m) estão concentradas na porção norte da UPGRH e as menores altitudes (abaixo de 400 m) encontram-se no deságue com o rio Paranaíba.

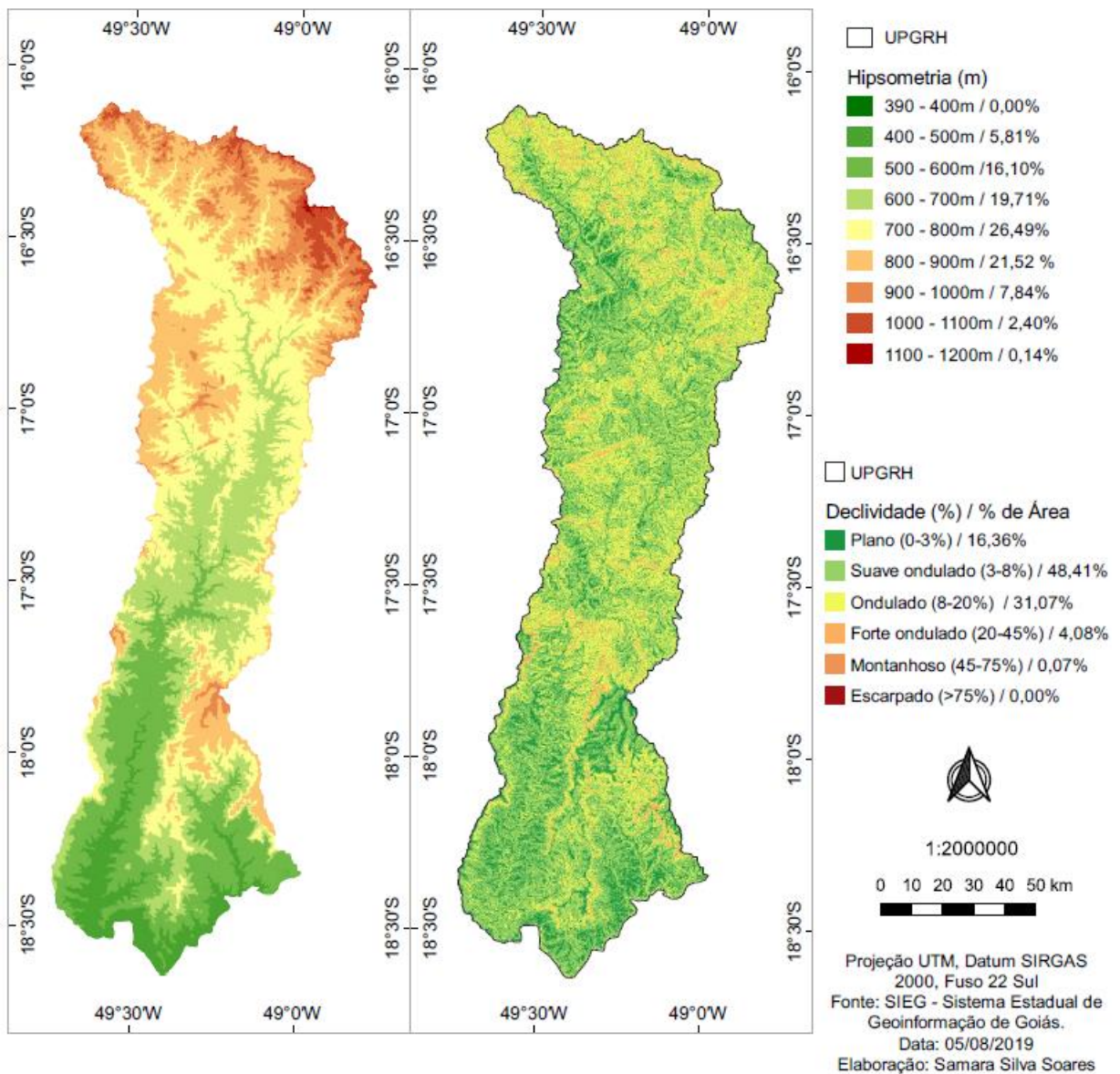


Figura 2 – Mapa hipsométrico (a) e mapa de declividade (b) da UPGRH do Rio Meia Ponte. Fonte: Topodata (2012). Elaborado por Samara S. Soares.

Os intervalos de classes da declividade foram baseados na proposta da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, que categoriza o relevo conforme seis faixas de declividade: relevo plano (0% a 3% de declividade); relevo suave ondulado (3% a 8%); relevo ondulado (8% a 20%); relevo forte ondulado (20% a 45%); relevo montanhoso (45% a 75%) e relevo escarpado (> 75%) (SANTOS, H. G. dos et al., 2018).

Observa-se na Figura 2b, que cerca de 65% da área de pesquisa apresenta valores baixos de declividade (de 0% a 8%), o que indica a predominância de relevos do tipo plano a suave-ondulado. Cerca de 30% da UPGRH – RMP possui relevo ondulado e apenas 4% da área da bacia possui declividades acima de 20%. A região RAMP concentra 45,65% das áreas nos relevos ondulado e forte ondulado, enquanto, a RBMP possui 77 % dos relevos plano a suave-ondulado, e a RMMP apresenta 60% dos relevos plano a suave-ondulado e 39% dos relevos ondulados a forte ondulados.

### ***2.2.1.2 Distribuição das Classes de solo***

Os dados sobre a distribuição da classe de solos foram obtidos a partir de Resende (2016), e disponibilizados pelo SIEG, na escala de 1:250.000, que atualmente oferece maiores informações e mais atualizadas. Para a classificação foram empregadas as recomendações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS, H. G. dos et al., 2018).

A composição do solo da UPGRH – RMP (Figura 3) é formada majoritariamente por Latossolos, cerca de 65% da área total, seguido por Argissolos com aproximadamente 19,5%, Cambissolos com 7,5% e poucas formações das classes de Nitossolos, Neossolos e Gleissolos. A RAMP compreende toda a classe de Gleissolos da UPGRH e a área da RBMP é 80% formada por Latossolos e ainda concentra a classe de Nitossolos da UPGRH.

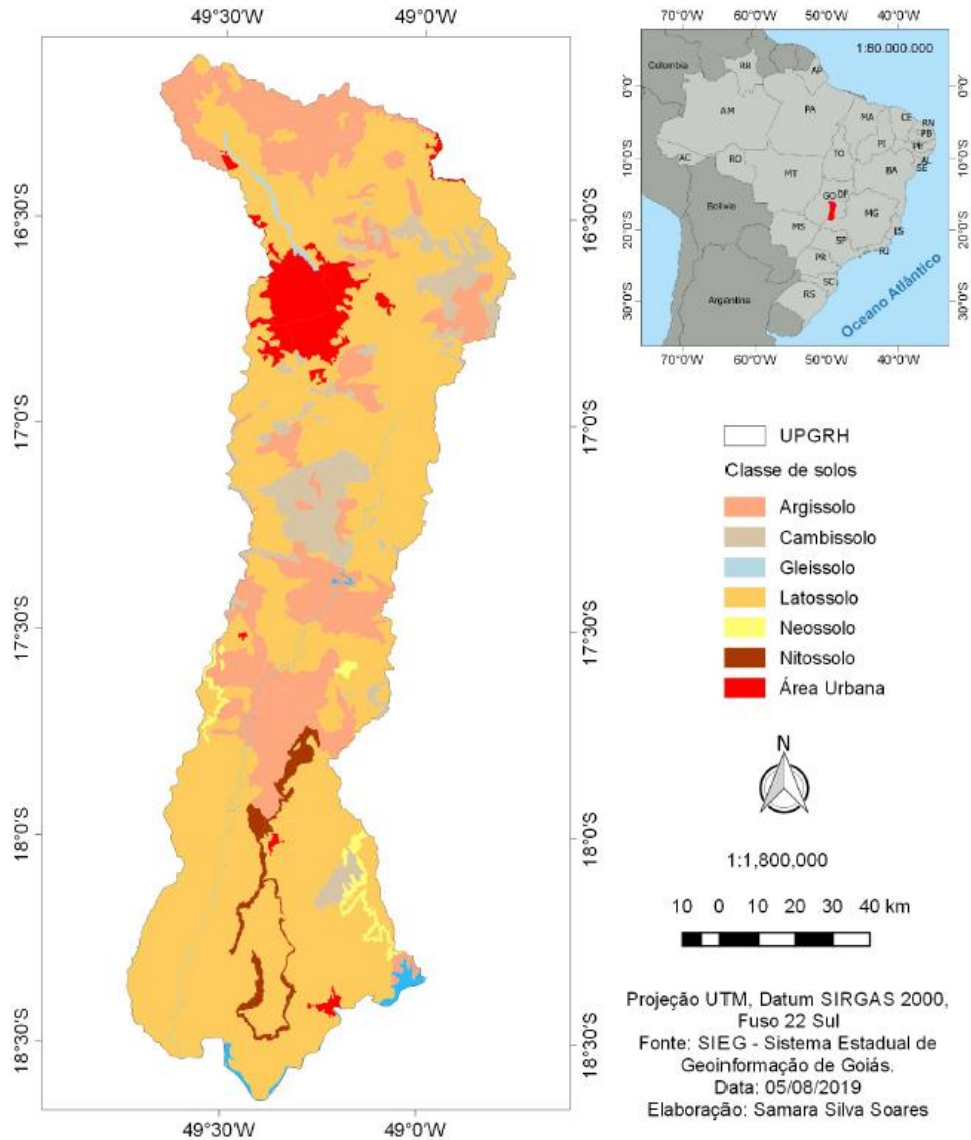


Figura 3 – Mapa de solos da UPGRH do Rio Meia Ponte.

### 2.2.2 Classificação do uso e ocupação da terra

Para definir as classes de uso do solo foram utilizados os dados do Projeto Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MAPBIOMAS, 2017). A coleção adquirida foi a Coleção 3.0, disponibilizada em 2018, que cobriu as dinâmicas de uso da terra dos biomas brasileiros no período de 1985 a 2017, gerando 27 classes de uso. A Metodologia de classificação de imagens do MapBiomias é desenvolvida com base em algoritmos, chaves de classificação e padrões espectrais.

Optou-se pelo MapBiomias por possuir um conceito uso e cobertura da terra mais amplo e ter como resultado um mapeamento mais abrangente, indicado na identificação de áreas de plantio e recomposição de floresta nativa para criação de corredores locais, análises de

fragmentação dos remanescentes florestais e análises da situação ambiental de bacias hidrográficas e proteção de corpos d'água (ROSA, 2016).

Os dados disponibilizados em estrutura matricial de resolução espacial de 30m foram convertidos em arquivos de estrutura vetorial, e posteriormente foi feito o recorte geográfico, considerando a área da UPGRH – RMP nos anos de 1987, 1997, 2007 e 2017. Em seguida, as vinte e sete classes iniciais foram agrupadas em apenas oito classes, como pastagem, vegetação nativa, agricultura, área urbana, silvicultura, mineração, corpo hídrico e solo exposto. Foi calculada ainda a variação da área (%) ocupada por cada classe entre os intervalos de tempo de 10 anos e variação total dos anos de 1987 e 2017 para cada região e para a bacia.

### **2.2.3 Mudanças no uso e ocupação da terra**

Para avaliar as alterações dos usos nas classes de cobertura do solo entre 1987 e 2017, utilizou-se uma ferramenta de extensão do programa computacional QGIS, o Semi-Automatic Classification Plugin – SCP. Ele fornece um conjunto de ferramentas para classificação semiautomática de imagens, como classificação supervisionada e não supervisionada, extração de recursos e análise pós-classificação. Muitos trabalhos vêm utilizando essa ferramenta para avaliar as mudanças de uso e cobertura da terra porque, além de ser um software livre, é de fácil manuseio (AHMAD et al., 2022; NDLOVU et al., 2019; PEREIRA et al., 2021; SANTIAGO et al., 2023).

Utilizou-se as opções de pós processamento a partir da ferramenta Land Cover Change, que permite a comparação entre duas classificações para avaliar as mudanças na cobertura da terra. A saída é um raster de mudança de cobertura da terra (ou seja, um arquivo .tif mostrando as mudanças no mapa, onde cada pixel representa uma categoria de comparação (ou seja, combinações) entre as duas classificações, que é o Código de Mudança nas estatísticas de mudança de cobertura da terra) e um arquivo de texto contendo as estatísticas de mudança de cobertura da terra (ou seja, um arquivo .csv separado por tabulação, com o mesmo nome definido para o arquivo .tif).

Esta ferramenta foi aplicada a partir do mapa de referência do ano de 2017 para o raster inicial, de 1987. No entanto, foi necessário reclassificar e agrupar as classes de uso e ocupação da terra em três novas categorias: Natural, Antrópico e Água para facilitar a identificação das alterações entre os usos. Assim, as oito classes definidas anteriormente foram resumidas de acordo com o Quadro 1 e alteração de ganho de vegetação nativa foi classificada como reflorestamento e perda de vegetação nativa como desmatamento, fazendo analogia aos novos

valores. As classes em que não houve transição para outra classe, ou seja, permaneceu o mesmo uso entre os anos de 1987 e 2017, foram definidas como inalterado.

Quadro 1 - Novas Classes de identificação da mudança de uso da terra na UPGRH do rio Meia Ponte.

ID	Classes	Grupos
1	Vegetação Nativa	Natural
2	Silvicultura	Antrópico
3	Pastagem	Antrópico
4	Agricultura	Antrópico
5	Corpo hídrico	Água
6	Área Urbana	Antrópico
7	Solo Exposto	Antrópico
8	Mineração	Antrópico

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Dinâmica do uso e ocupação da terra na UPGRH do Rio Meia

#### Ponte

A evolução do uso e cobertura da terra da UPGRH – RMP nos anos de 1987, 1997, 2007 e 2017 (Figura 4) resultante dos mapeamentos elaborados pelo MapBiomias mostrou que a pastagem foi a classe com maior percentual de áreas em todos os anos analisados, apesar de apresentar tendência de queda na participação. Em 1987 representou 66% da área total da bacia hidrográfica (Figura 5a), mas reduziu a uma taxa de 22% (Tabela 1), e em 2017 participou em 52% da composição da bacia hidrográfica. A taxa de redução da pastagem pode ser explicada pelo aumento quase proporcional na classe de agricultura.

Observa-se um aumento na redução da classe pastagem em relação às subdivisões das regiões adotadas neste trabalho. Na RAMP (Figura 5b), a classe pastagem manteve-se constante nos anos de 1987 a 2007, próximo de 60% e em 2017 ocupava cerca de 56% da bacia hidrográfica, uma redução total de 9%. Sousa e Ferreira (2014) obtiveram para os municípios da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite localizados na RAMP, por meio de uma abordagem multitemporal, uma redução de aproximadamente 3% na área ocupada com pastagens, no período de 1984 e 2011.

Já na RMMP (Figura 5c) a pastagem compunha 71% da área em 1987 e atingiu 60%, retraindo cerca de 15%. Na RBMP (Figura 5d) a redução foi mais expressiva, cerca de 39%, integrando 67% da região em 1987 e apenas 41% em 2017.

A agricultura constituía aproximadamente 6% da área da bacia em 1987 e em 2017, ocupava 21%, uma expansão total de 260%. Logo, a representatividade da classe agricultura na RAMP em 1987 era ínfima, menos de 1% abrangendo uma área de 28,4 km<sup>2</sup> e, atingiu em 2017, 6,35% da região correspondente a 302,5 km<sup>2</sup>. A RMMP apresentava em 1987, 1,07% da área da região ocupada com agricultura e passou a apresentar 13,22%, um aumento de 11,33 vezes a área ocupada anteriormente. A RBMP é a que ocupava em 1987 a maior classe agricultura, cerca de 14% e em 2017 chegou a compor cerca de 40% da região, com aumento de 177,8%. Percebe-se assim, que a classe agricultura já era consolidada na região.

A dinâmica do uso e cobertura da terra da UPGRH – RMP nos anos de 1987, 1997, 2007 e 2017 pode ser melhor visualizado pelos mapas da Figura 4, destacando a grande abrangência da agricultura na região centro-sul da UPGRH.

A segunda classe de maior representatividade na UPGRH – RMP em 1987 é vegetação nativa, que representava 25% da área da bacia hidrográfica e sofre uma queda de 2% da composição da área em 1997 e mantém-se constante até 2017, com cerca de 23% da bacia com uma redução geral de 9,38%. Mas, em relação às regiões, percebe-se uma redução mais brusca da vegetação nativa na RAMP, que representava em 1997 cerca de 33% da região e passou a representar em 2017, 27,69% com 15,46% de redução.

Ainda assim, a maior área de vegetação nativa está localizada na RAMP, sendo isso, devido a Área de Proteção Ambiental do Ribeirão João Leite, a responsável pela proteção e manutenção da qualidade da água da barragem do João Leite.

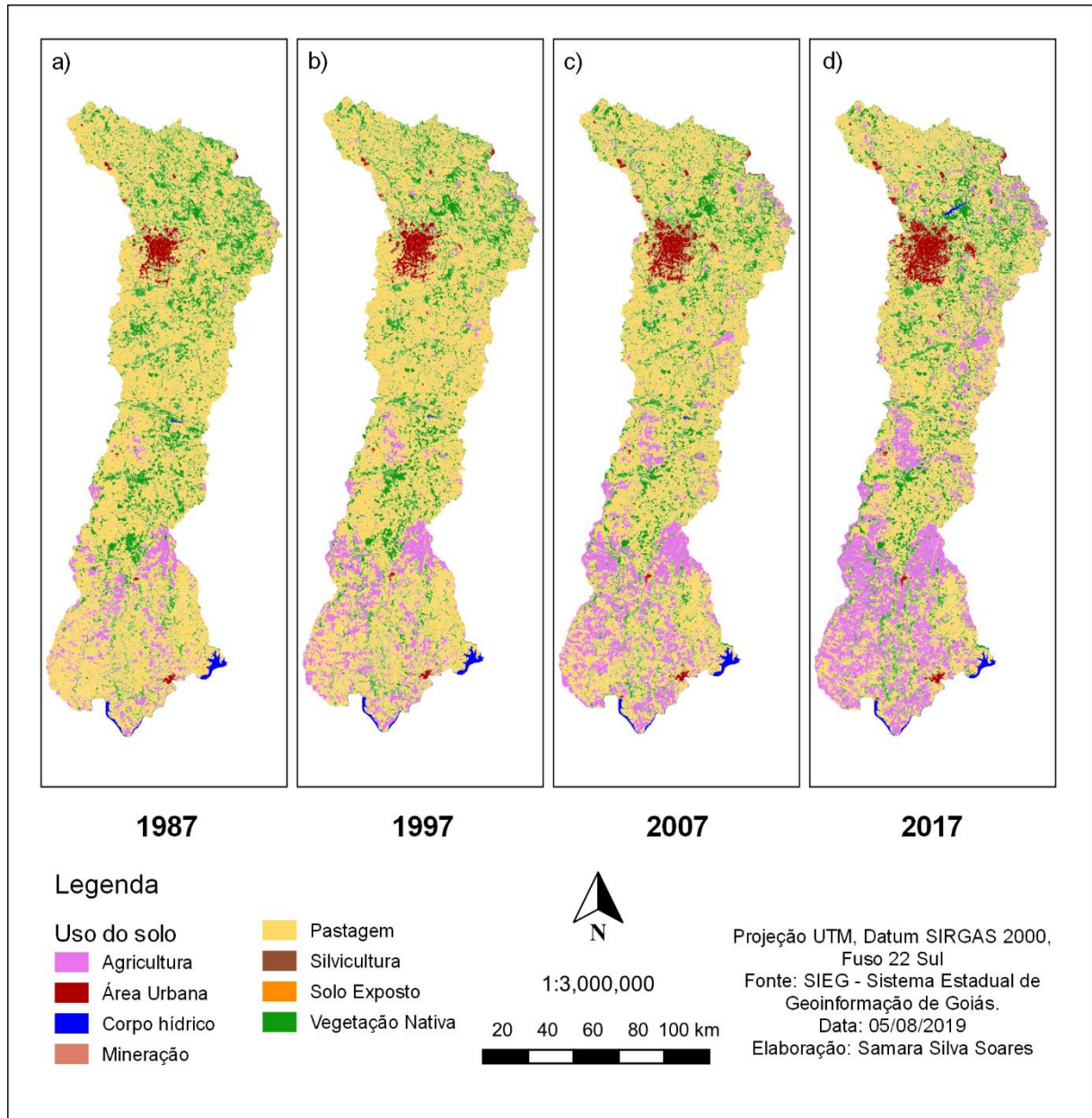


Figura 4 – Mapa do uso e cobertura da terra nos anos de 1987 (a), 1997 (b), 2007 (c) e 2017 (d) na UPGRH do Rio Meia Ponte.

Para os municípios da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, de 1984 a 2011, Sousa e Ferreira (2014) obtiveram uma perda total da cobertura vegetal natural de aproximadamente 35% da área total vegetada existente em 1984, uma taxa bem mais elevada do que a encontrada no presente estudo, uma vez que, esses municípios integram a RAMP. A vegetação nativa formava 27,39% e passa a configurar cerca de 25% da região RMMP, com redução de 9% e, na RBMP, sofre pequenas alterações ao longo dos 30 anos, mantendo-se com 16% da região, e queda geral de apenas 0,97%.

De modo geral a área urbana ocupava 1,8% e passou a totalizar 3,43% da bacia hidrográfica, em 1987 e 2017 respectivamente, representando um acréscimo de 90%. Do

mesmo modo na RAMP a expansão da área urbana foi de 85%, variando de 4,8% a 8,8%, nos anos de 1987 e 2017 respectivamente. Entretanto, a RMMP obteve a maior expansão urbana, cerca de 200%, uma vez que ocupava em 1987 uma área de 0,31% e em 2017, 0,94%. A RBMP obteve a menor expansão urbana dentre as regiões, cerca de 69,7%, alterando de 0,38% para 0,65% da região, nos anos de 1997 e 2017, respectivamente.

Esperava-se que a RAMP, por conter a Região Metropolitana de Goiânia, apresentasse uma maior taxa de expansão urbana, se comparada com a RMMP, o que não ocorreu. Tal fenômeno pode ser explicado pelo crescimento mais compacto da RAMP, com melhor aproveitamento dos espaços urbanos em relação ao crescimento populacional da região.

As demais classes, como corpo hídrico, mineração, silvicultura e solo exposto, representam uma pequena porcentagem da área total da bacia hidrográfica, mas sofreram expansões significativas ao longo do tempo. Ressalta-se a expansão total do corpo hídrico na RAMP de 909.34%. Essa alta expansão pode estar correlacionada com a crescente necessidade de armazenamento do recurso hídrico nessa região, devido a criação de lagos e lagoas e barragens, como o Reservatório João Leite, criado para subsidiar o abastecimento de água da grande Goiânia (Goiânia, Trindade e Aparecida de Goiânia) até o ano de 2040.

Na classe mineração, foi identificada uma expansão de 192,94% apenas na RAMP, a qual, em 1987, ocupava uma área de 0,1 km<sup>2</sup>, e em 2017, 0,3 km<sup>2</sup>. Em 2017, na RMMP foi detectada uma área de 0,02 km<sup>2</sup>. A classe solo exposto sofreu uma redução de 50,79% em toda a bacia hidrográfica e essa redução aconteceu integralmente na RBMP.

Em destaque, a classe silvicultura era insignificante em 1987 com apenas 0,02 km<sup>2</sup>, mas expande para 0,35% (50,69 km<sup>2</sup>) em 2017, uma expansão de 2.200 vezes. Na bacia hidrográfica do rio Itajaí, uma simulação do uso e ocupação da terra para ano de 2027, apontou uma forte tendência de crescimento da silvicultura (MILANEZ PREIS et al., 2021). No estudo de Sousa e Ferreira (2014), o florestamento aumentou 1400%, chegando a ocupar uma área de 52,9 km<sup>2</sup> em 2011. Esse aumento expressivo, segundo Bacha (1991) ocorreu devido a política econômica de expansão do setor de celulose e papel, da siderurgia a carvão vegetal, o programa de substituição energética e o programa de concessão de incentivos fiscais aos reflorestamentos.

O Percentual de área ocupada por cada classe nos anos de 1987, 1997, 2007 e 2017, para a UPGRH-RMP e as regiões RAMP, RMM e RBMP pode ser verificado na Figura 5.

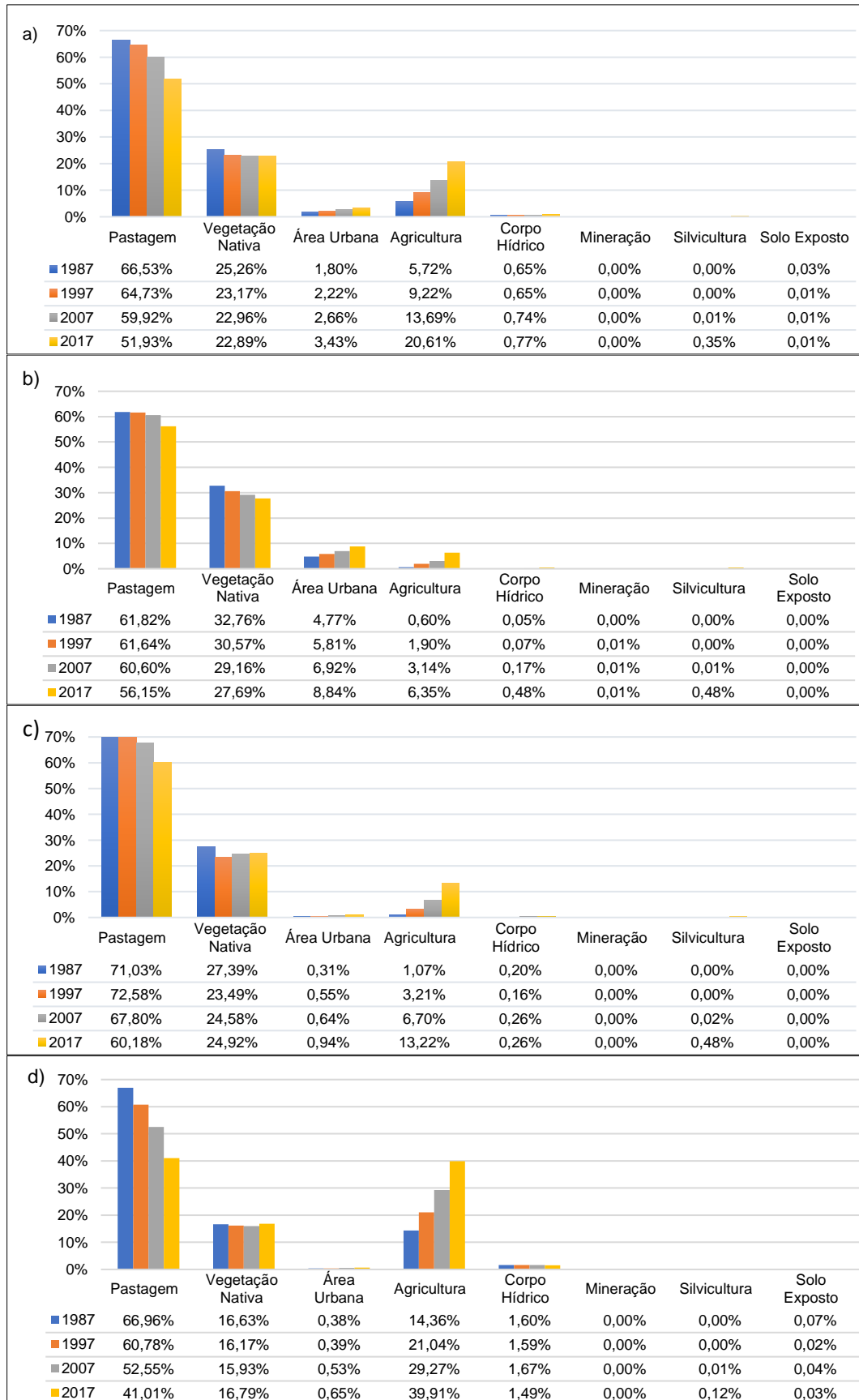


Figura 5 – Distribuição das classes de uso e cobertura da terra nas regiões UPGRH do Rio Meia Ponte (a), RAMP (b), RMMP (c) e na RBMP (d).

Estudos de cenários temporais de uso da terra em outras bacias hidrográficas corroboraram com a presente pesquisa, em que a classe de pastagens obteve o maior percentual de uso, mais de 70% da área da bacia hidrográfica do rio Colônia (SILVA, V. de A. et al., 2011). Santos, L. A. C. *et al.* (2019a), ao verificar o uso e ocupação da terra de uma subbacia do Rio Meia Ponte, a classe pastagem também contempla as maiores áreas na bacia hidrográfica do rio Caldas.

Contudo, a maior taxa de expansão do uso do solo, com exceção da silvicultura na RAMP, é a classe agricultura, em toda a extensão da bacia. Essa expansão tem ocorrido principalmente em áreas previamente convertidas e de vegetação nativa. Segundo Ferreira, L. G. *et al.*, (2009) a expansão agrícola no estado de Goiás, até o momento, tem ocorrido tanto sobre novas áreas (desmatamentos), quanto sobre áreas previamente convertidas.

Entre os intervalos temporais analisados, o período em que houve maiores taxas de expansão foi entre 1987 e 1997, cerca de 200% de aumento de áreas cultivadas na RMMP e na RAMP. Isso ocorreu devido à grande Expansão da Fronteira Agrícola em Goiás na década de 1970, em que, a mecanização da lavoura e a incorporação de novas tecnologias, formam um avanço crucial em decorrência do aumento da economia (CAMPOS, 1998).

Além disso, foram criados programas de incentivo fiscal para fomentar os investimentos industriais, como o Fundo de Participação e Fomento à Industrialização do Estado de Goiás (FOMENTAR) e o Programa de Desenvolvimento Industrial do Estado de Goiás (PRODUZIR), os quais foram implementados no estado depois dos anos 1980 (PIRES, 2019).

As mudanças ocorridas de 1987 para 2017 estão representadas na Tabela 1, na qual, também é possível verificar, além das taxas de conversões totais, as taxas de conversões do uso e cobertura da terra no intervalo de 10 anos, para a UPGRH-RMP e as regiões RAMP, RMMP e RBMP.

Tabela 1 – Variação em % da expansão das classes de uso e cobertura da terra no intervalo de 10 anos e a variação total de 30 anos em relação à área das regiões RAMP, RMMP RMP e da UPGRH-RMP.

Classes	UPGRH - RMP				RAMP			
	Variação entre 10 anos (%)			Variação total (%)	Variação entre 10 anos (%)			Variação total (%)
	1987-1997	1997-2007	2007-2017	1987-2017	1987-1997	1997-2007	2007-2017	1987-2017
Agricultura	61,18%	48,41%	50,59%	260,25%	215,17%	65,61%	102,36%	956,21%
Área Urbana	23,26%	19,94%	28,64%	90,18%	21,64%	19,11%	27,80%	85,18%
Corpo Hídrico	-0,34%	13,34%	4,99%	18,59%	51,48%	138,55%	179,31%	909,34%
Mineração	350,77%	-18,20%	-15,20%	212,67%	350,77%	-18,20%	-20,55%	192,94%
Pastagem	-2,72%	-7,42%	-13,34%	-21,95%	-0,28%	-1,70%	-7,34%	-9,17%
Silvicultura	574,52%	1175,63%	2460,93%	220251,70%	-100,00%	-	4938,93%	100206,23%
Solo Exposto	-70,86%	100,73%	-15,86%	-50,79%	-	-	-	-
Vegetação Nativa	-8,30%	-0,91%	-0,28%	-9,38%	-6,67%	-4,63%	-5,03%	-15,46%

Classes	RMMP				RBMP			
	Variação entre 10 anos (%)			Variação total (%)	Variação entre 10 anos (%)			Variação total (%)
	1987-1997	1997-2007	2007-2017	1987-2017	1987-1997	1997-2007	2007-2017	1987-2017
Agricultura	199,84%	108,69%	97,43%	1135,40%	46,46%	39,11%	36,36%	177,83%
Área Urbana	77,55%	16,07%	45,73%	200,33%	0,09%	35,64%	20,84%	69,66%
Corpo Hídrico	-16,06%	55,68%	1,10%	32,11%	-0,01%	4,47%	-10,76%	-6,84%
Mineração	-	-	-	-	0,00%	-	-	-
Pastagem	2,19%	-6,59%	-11,24%	-15,27%	-42,98%	-13,55%	-21,95%	-38,75%
Silvicultura	-	915,58%	2080,40%	-	0,01%	822,44%	1048,93%	-
Solo Exposto	-	-	-	-	-0,35%	100,73%	-15,86%	-50,79%
Vegetação Nativa	-14,25%	4,66%	1,38%	-9,02%	-3,23%	-1,46%	5,41%	0,97%

De acordo com a Tabela 2 e o gráfico da Figura 7, cerca de 66% da área da bacia permaneceram inalteradas, ou seja, permaneceram na mesma classe de uso do solo, reafirmando o alto nível de antropização da UPGRH Meia Ponte e baixa conversão de novas áreas Figura 6). Aproximadamente 18 % das classes de uso antrópicos rotacionaram entre si, houve 7% de reflorestamento e 9% de desmatamento, diferente ao que ocorre no estado de Goiás, o qual apresenta grandes índices de desmatamento (FERREIRA et al., 2009).

Tabela 2 – Mudança de uso e cobertura da terra na UPGRH Meia Ponte entre 1987 e 2017 em termo de área (km<sup>2</sup>) e percentagem (%) da área total da bacia.

Grupo de Classes	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Inalterado	9566,12	65,9%
Antrópico	2590,73	17,9%
Reflorestamento	998,63	6,9%
Desmatamento	1343,64	9,3%
Água	14,50	0,1%

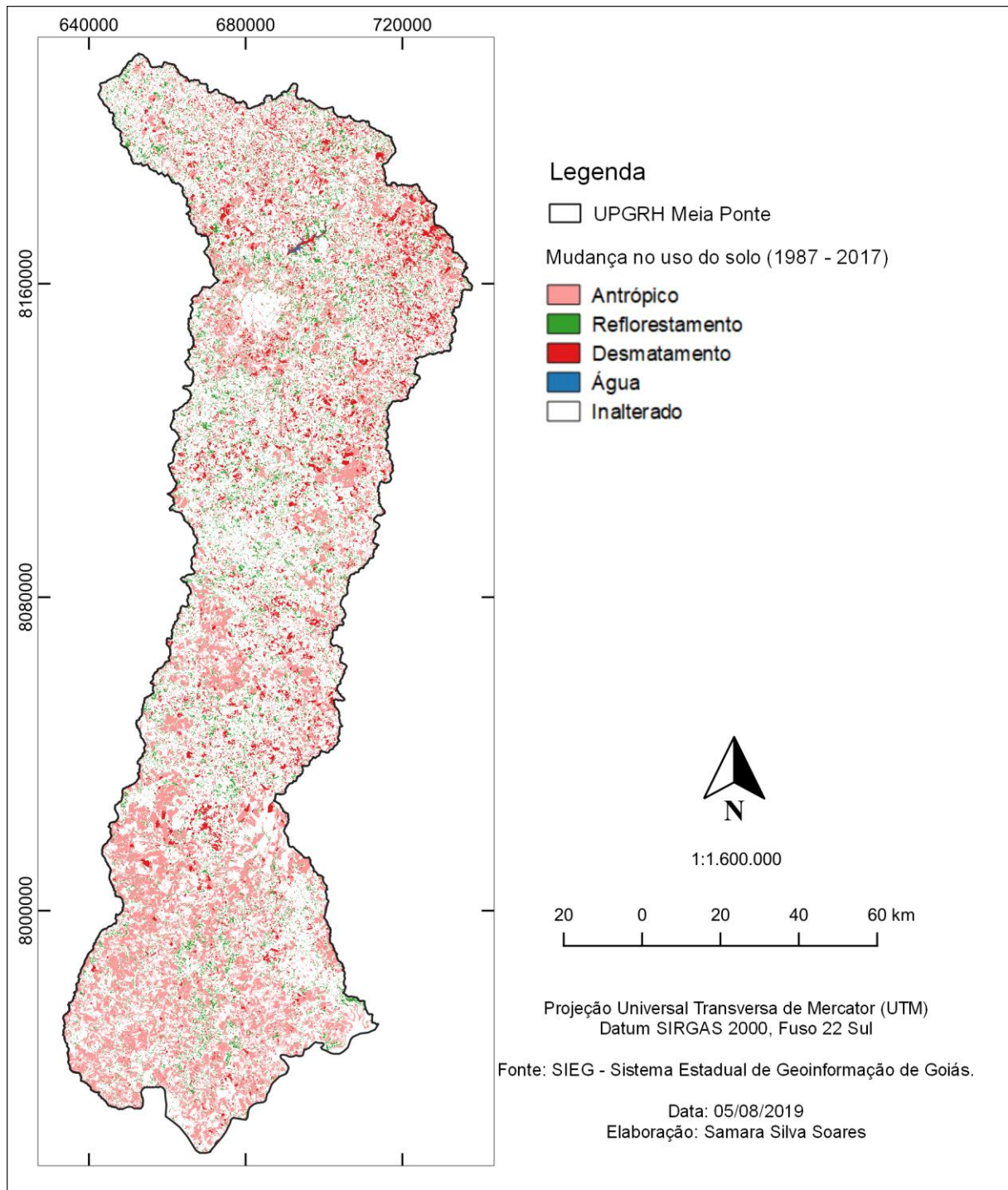


Figura 6 - Mapa de mudança do uso e cobertura da terra na UPGRH Meia Ponte entre 1987 e 2017.

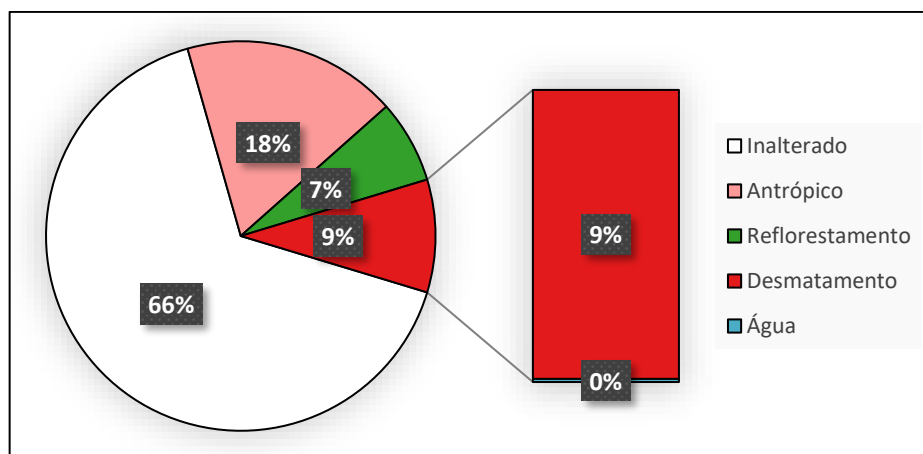


Figura 7 – Representação gráfica da mudança de uso e cobertura da terra na UPGRH Meia Ponte entre 1987 e 2017 em porcentagem (%) de área alterada em relação à área total da bacia.

### 2.3.2 Aspectos Físicos do uso do solo na UPGRH do Rio Meia Ponte

Ao analisarmos as principais classes de uso do solo com os aspectos físicos da bacia hidrográfica em relação ao relevo foi observado que a agricultura reteve no ano de 1987 97% de suas áreas nas declividades abaixo de 5°, com relevo plano e suave ondulado, e em 2017 reduziu para 92%, mantendo 8% das áreas de cultivo em relevo ondulado, com declividade entre 5° e 11°. Para o estado, cerca de 93% das atividades agrícolas estão concentradas em declives inferiores a 5° (DE ALBUQUERQUE PRADO; MIZIARA; FERREIRA, 2012; FERREIRA, M. E. et al., 2016).

A classe pastagem manteve em 1987, 68% das suas áreas em declividades de até 5°, e 30% em declividades de 5° até 11°. Em 2017 as pastagens se distribuem entre 60% e 37% nestes intervalos de declividade. Assim, menos dependentes da fertilidade ou mecanização do solo, as pastagens tendem a ocorrer em uma variedade mais ampla de gradientes topográficos, como observado por Ferreira, M. E. et al. (2016), identificando 86% das pastagens do estado em declives de até 5°, e as encostas fracas (entre 5° e 10°), detêm cerca de 12% da área total de pastagem.

Logo, o percentual de área de vegetação nativa se encontra distribuído em declives mais diversificados, com 42% nas declividades de 5 a 11°, tanto em 1987 quanto em 2017, e 35% em declives abaixo de 5°. Uma vez que pastagem e agricultura ocupam as maiores áreas de relevo plano, e a vegetação nativa não sofreu alteração das áreas neste declive, sugere-se, que a vegetação nativa foi convertida em áreas de pastagem e agricultura anteriormente a 1987.

Em relação ao tipo de solo, em 1987 97% da agricultura sobrepunha os Latossolos e em 2017, reduziu para 94%, sendo que 3% das áreas de cultivo foram convertidas para os Argissolos. Os Latossolos geralmente são adequados ao uso de maquinários devido a

características físicas e ao relevo de ocorrência, possuem elevada permeabilidade e por isso são aptos para o agronegócio. Os Argissolos possuem algumas restrições ao movimento de máquinas em função do relevo de ocorrência, mas geralmente são dotados de maior fertilidade química e boa capacidade de retenção de água (SANO et al., 2008).

A classe pastagem em 1987 também ocupa a maior parte das áreas em Latossolos, cerca de 68%, e em 2017 passa a ocupar cerca de 61%. Para os Argissolos, em 1987 a área ocupada era de 19% e em 2017, 25%. O terceiro tipo de solo mais ocupado por pastagem é Cambissolos, com o percentual de áreas de 7% em 1987, e 12% em 2017. Percebe-se que as áreas de pastagens foram convertidas de Latossolos para Argissolos e Cambissolos.

O processo de expansão agrícola está fortemente relacionado com as características físicas e de infraestrutura do espaço a ser ocupado (SILVA, A. A.; MIZIARA, 2011). O papel do relevo, o qual apresenta predominância de terrenos planos e solos profundos, sem grandes restrições à mecanização, e a atividade pecuária, é um fator decisivo para a transformação das paisagens (OLIVEIRA, 2014).

## **2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho objetivou analisar a dinâmica espacial e temporal do uso e cobertura da terra da UPGRH do Rio Meia Ponte – GO ao longo de 30 anos e correlacionar com os tipos de solo e declividade do terreno. Os resultados apontam que houve uma estabilidade na mudança do uso do solo, baixa taxa de redução de vegetação nativa, alta taxa de redução da área de pastagem e aumento da área de cultivo. Desse modo, quando a fronteira agrícola avança sobre a bacia, a agricultura se expande sobre áreas já convertidas.

A pastagem ainda ocupa o maior percentual de área da UPGRH do Rio Meia Ponte, mas ao longo dos últimos 30 anos reduziu 14% de sua área, sendo principalmente convertidas em agricultura. Essa redução se deu nas áreas de menor declividade, de 0° a 5°, (relevos planos e suaves ondulados) e solos considerados com maior aptidão agrícola, como os Latossolos. Logo, a agricultura possui 92% do total de áreas em relevos abaixo de 5°, e 94% das suas áreas sobrepõem os Latossolos.

Em geral, a agricultura observa o maior aumento de suas áreas no intervalo de 1987 a 1997, devido à grande Expansão da Fronteira Agrícola em Goiás na década de 1970. Além disso, a expansão da agricultura, aos poucos ocupam outros tipos de solos e outros relevos, devido a mecanização e melhoria das técnicas agrícolas.

Outro aspecto a ser ressaltado, relaciona-se com a expansão da área urbana ocorrida na RMMP, que foi maior do que na RAMP, onde se localiza a Região Metropolitana de Goiânia, pois, mesmo com o crescimento populacional elevado, esse crescimento ocorreu de forma compacta, aproveitando as áreas urbanas existentes.

A classe silvicultura passou por uma expansão relevante, sendo insignificante em 1987 e em 2017 possuía uma área 2.200 vezes maior. Além das políticas econômicas, pode estar relacionado ao fato de o reflorestamento ser colocado como solução à devastação da cobertura florestal que ocorreu na bacia, considerando seu alto grau de antropização.

A maior parte da bacia permaneceu com a classe de uso e cobertura da terra inalterada, confirmando o alto nível de antropização da bacia. Isso é explicado pelo longo histórico de ocupação da região, marcado pela construção de Goiânia e pela chegada da estrada de ferro, ambos processos da primeira metade do século XX.

Portanto, sugerimos novos estudos que se dediquem às áreas antropizadas na bacia, que possam identificar os conflitos dos usos da cobertura do solo, relacionadas às atividades humanas, nos remanescentes de vegetação nativa, visando à formulação de políticas públicas mais adequadas e à melhor gestão territorial e ambiental do Estado.

## Agradecimentos

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

## Referências

AHMAD, M. N.; SHAO, Z.; JAVED, A. Modelling land use/land cover (LULC) change dynamics, future prospects, and its environmental impacts based on geospatial data models and remote sensing data. **Environmental Science and Pollution Research**, v 30, n. 12, p. 32985-33001, 2022. DOI: 10.1007/s11356-022-24442-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24442-2>

AMARAL, A. K. N. **Estudo hidrossedimentológico em rios da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte - Goiás, Brasil**. 2019. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

ANA. (Agência Nacional de Águas). Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão Hídrica Meia Ponte. **Plano Recur. Hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos Superf. da Bacia Hidrográfica do Rio Parana**. Brasília, DF: ANA, 2013. p. 175. Disponível em: <http://cbhparanaiba.org.br/doc/97/parh-meia-ponte.html>.

BACHA, C. J. C. A expansão da silvicultura no Brasil. **R. Bras. Econ.**, v. 45, n. 1, p. 145–168, 1991. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbe/article/viewFile/509/7641>.

CAMPOS, F. I. Goiás, formas de ocupação: “... uma população sem-terra, numa terra despovoada...” **Sociedade e Cultura**, v. 1, n. 1, p. 71–80, 1998.

CHEREM, L. F. S.; SILVA, G. B.; ZANCOPE, M. H. C.; ROSA, L. E. Controle litoestrutural na morfologia holocênica de planície e canal no alto curso do Rio Meia Ponte (Goiás).

**Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, 1 out. 2018. Disponível em:

<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/1456>.

DA SILVA, B. A., GIONGO, P. R., MARTINS, P. T. DE A., BARBOSA, T. A., MORAES, V. H., CAVALCANTE, T. J.; MARCOMINI GIONGO, A. M. Soil erosion vulnerability in the southern part of the Meia Ponte watershed, Goias, Brazil. **Idesia (Arica)**, v. 37, n. 2, p. 81–86, 2019. DOI: 10.4067/S0718-34292019000200081. Disponível em:

<https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000200081>

DE ALBUQUERQUE PRADO, L.; MIZIARA, F.; FERREIRA, M. E. Expansão da fronteira agrícola e mudanças no uso do solo na região sul de Goiás: ação antrópica e características naturais do espaço. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 32, n. 1, p. 151–165, 15 jun. 2012.

Disponível em: <http://www.revistas.ufg.br/index.php/bgg/article/view/18962> .

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; LATRUBESSE, E. M.; MIZIARA, F. Considerations about the land use and conversion trends in the savanna environments of Central Brazil under a geomorphological perspective. **Journal of Land Use Science**, v. 11, n. 1, p. 33–47, 2 jan. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/1747423X.2013.845613>.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E.; ROCHA, G. F.; NEMAYER, M.; FERREIRA, N. C. Dinâmica agrícola e desmatamentos em áreas de Cerrado: uma análise a partir de dados censitários e imagens de resolução moderada. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, n. 2, p. 117–127, 2009.

GOIÁS (Estado). **Planos de Recursos Hídricos das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Estado de Goiás Afluentes ao Rio Paranaíba: Bases**

**Metodológicas (Produto 1)**. . Goiânia: SECIMA, 2018. Disponível em:

<http://pbapgo.meioambiente.go.gov.br/wp-content/uploads/2019/06/RT-01-Bases-Metodologicas.pdf>.

\_\_\_\_\_. **Planos de Recursos Hídricos das unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do estado de Goiás afluentes ao rio Paranaíba: Diagnóstico UPGRH do Rio Meia Ponte (Produto 2)**. . Goiânia: SEMAD, 2019. Disponível em:

<http://pbapgo.meioambiente.go.gov.br/wp-content/uploads/2019/10/RT-02-Diagnóstico-UPGRH-Rio-Meia-Ponte-V03.pdf>.

MAPBIOMAS. **Projeto Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil**.

Versão 3.0. Disponível em:

[https://mapbiomas.org/en/downloads\\_landsat?cama\\_set\\_language=en](https://mapbiomas.org/en/downloads_landsat?cama_set_language=en) , 2017.

MILANEZ PREIS, C.; FRANCO, D.; CAVALCANTE VARELA, S. Avaliação do Uso e Ocupação do Solo na bacia hidrográfica do rio Itajaí e simulação para 2027. **Geociências**, São Paulo v. 40, n. 2, p. 407–414, 2021.

MIZIARA, F. Condições estruturais e opção individual na formulação do conceito de “Fronteira Agrícola”. In: SILVA, L. S. D. (Org.). **Relações Cid. Campo Front.** Goiânia: CEGRAF, 2000. p. 273–289.

NDLOVU, I.; NUNU, W. N.; MUDONHI, N.; DUBE, O.; MAVIZA, A. Land use–land cover changes and Mopani worm harvest in Mangwe District in Plumtree, Zimbabwe. **Environmental Systems Research**, v. 8, n. 1, 2019.

OLIVEIRA, Ivanilton José de. Chapadões descerrados: relações entre vegetação, relevo e uso das terras em Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, 2014. , v. 34, n. 2, p. 311–336.

PEREIRA, P. B.; KAYO DE BRITO NUNES, H.; DE ASSIS DA, F.; ARAÚJO, S. Análise multitemporal de uso, ocupação e cobertura da terra na zona Leste da cidade de Caxias/Maranhão/Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

PIRES, M. J. de S. Estratégia de transformação econômica do centro-oeste: o caminho externo. Texto para Discussão 2504. p. 57, 2019.

RESENDE, M. de J. G. **Distribuição dos solos de Goiás**. . Goiânia - GO: EMATER, 2016.

ROSA, M. R. Comparação e análise de diferentes metodologias de mapeamento da cobertura florestal da mata atlântica. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 95, p. 25–34, 2016. Disponível em: <http://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/boletim-paulista/article/view/658>. Acesso em: 20 jul. 2019.

RUDKE, A. P.; FUJITA, T.; ALMEIDA, D. S. de; EIRAS, M. M.; XAVIER, A. C. F.; RAFEE, S. A. A.; SANTOS, E. B.; MORAIS, M. V. B. de; MARTINS, L. D.; SOUZA, R. V. A. de; SOUZA, R. A. F.; HALLAK, R.; FREITAS, E. D. de; UVO, C. B.; MARTINS, J. A. Land cover data of Upper Parana River Basin, South America, at high spatial resolution. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 83, n. February, p. 101926, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101926>.

SANO, E. E.; DAMBRÓS, L. A.; OLIVEIRA, G. C. de; BRITES, R. S. Padrões de cobertura de solos do Estado de Goiás. In: LAERTE GUIMARÃES FERREIRA JR. (Org.). **A encruzilhada socioambiental**. Goiânia: Editora ad UFG, 2008. p. 85–100. Disponível em: [http://www.dcs.ufpa.br/site/adm/upload/file/slides/matdispo/geraldo\\_cesar/cap\\_3\\_padroes\\_de\\_cobertura\\_dos\\_solos\\_do\\_estado\\_de\\_goiás.pdf](http://www.dcs.ufpa.br/site/adm/upload/file/slides/matdispo/geraldo_cesar/cap_3_padroes_de_cobertura_dos_solos_do_estado_de_goiás.pdf).

SANTIAGO, R. S.; ALMEIDA, R. M.; NOVAIS, J. S. de. Mudanças no uso e cobertura do solo na microbacia de um igarapé amazônico entre 1987 e 2018. **Caminhos de Geografia**, v. 24, n. 91, p. 21–36, 2023. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/62247>

SANTOS, H. G. dos; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B. de; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C. dos; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. Á. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>.

SANTOS, L. A. C.; VIEIRA, L. M. F.; MARTINS, P. T. de A.; FERREIRA, A. A. Conflitos de Uso e Cobertura do Solo para o Período de 1985 a 2017 na Bacia Hidrográfica do Rio

Caldas-GO. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 8, n. 2, p. 189–211, 1 maio 2019. Disponível em: <http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/2660>.

SIEG. **Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás**. Goiânia - GO: IMB - Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos, 2017. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acesso em: 14 abr. 2019.

SILVA, A. A.; MIZIARA, F. Avanço Do Setor Sucroalcooleiro E Expansão Da Fronteira Agrícola Em Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 399–407, 2011.

SILVA, V. de A.; MOREAU, M. S.; MOREAU, A. M. S. dos S.; REGO, N. A. C. Uso da terra e perda de solo na Bacia Hidrográfica do Rio Colônia, Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 310–315, mar. 2011. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662011000300013&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011000300013&lng=pt&tlng=pt).

SOUSA, S. B. de; FERREIRA, L. G. Mapeamento da cobertura e uso da terra: uma abordagem utilizando dados de sensoriamento remoto óptico multitemporais e provenientes de múltiplas plataformas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 2, p. 321–336, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43915/23179>. Acesso em: 5 dez. 2019.

VALERIANO, M. de M.; ROSSETTI, D. de F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 300–309, 1 mar. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622811000786>. Acesso em: 3 dez. 2019.

## **CAPÍTULO 3 ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO PELO USO DA TERRA E MUDANÇAS NA COBERTURA DA TERRA EM 1987–2017 NO CERRADO BRASILEIRO: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO MEIA PONTE, BRASIL**

---

### **Resumo**

As mudanças de uso e ocupação da terra no cerrado brasileiro há anos fomenta a supressão da vegetação nativa aumentando as áreas de pastagem e agricultura. Essas áreas podem aumentar a erosão do solo pela água. Assim, o objetivo deste estudo foi estimar a perda de solo influenciada por mudanças temporais no uso e cobertura da terra (LULC) na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, Estado de Goiás. Para isso foi empregada a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) integrada com técnicas de SIG. Os resultados mostraram que a classe baixa de perda do solo ocupou a maior porcentagem da área de cobertura de perda de solo em todas as condições LULC, mas teve um decréscimo de 10% nos últimos 30 anos. Houve aumento na taxa de perda do solo de 1987 para 2017 devido ao aumento de áreas agriculturáveis promovido pelas políticas agrícolas implantadas na época. As taxas toleráveis de perda de solo foram excedidas para agricultura e pastagem em todas as condições LULC. As terras agriculturáveis foram a principal fonte de sedimentos em 2017, mas o solo exposto e pastagens também possuíram maiores taxas de erosão. Concluiu-se que há significância do LULC no controle da erosão. Os resultados são úteis para os planejadores e gestores de uso da terra para tomar decisões apropriadas para a conservação do solo.

**Palavras-chave:** Mudanças no uso e cobertura da terra, perda de solo, riscos de erosão, EUPS, SIG

### **Estimation of soil loss by land use and land cover changes in 1987–2017 in the Brazilian cerrado: Case study in Meia Ponte river watershed, Brazil**

### **Abstract**

Changes in land use and land cover in the Brazilian cerrado for years have fostered the suppression of native vegetation by increasing pasture and agriculture areas. These areas can

increase soil erosion by water. Thus, the aim of this study was to estimate soil loss influenced by time changes in land use and land cover (LULC) in the meia ponte river basin, Goiás. For this, the Universal Soil Loss Equation (USLE) was used integrated with GIS techniques. The results showed that the low class of soil loss occupied the highest percentage of the area of soil loss cover in all LULC conditions but had a decrease of 10% in the last 30 years. There was an increase in the rate of soil loss from 1987 to 2017 due to the increase in agricultural areas promoted by agricultural policies implemented at the time. The tolerable rates of soil loss were exceeded for agriculture and pasture in all LULC conditions. The agriculture areas are the main source of sediment in 2017, but exposed soil and pastures also had higher erosion rates. The significance of LULC in erosion control was concluded. The results are useful for land use planners and managers to make appropriate decisions for soil conservation.

**Keywords:** Land-use and land-cover changes, soil loss, erosion risks, USLE, GIS

### 3.1 INTRODUÇÃO

As mudanças de uso e ocupação da terra no cerrado brasileiro foram intensas nos últimos anos e a maior parte da vegetação nativa foi ocupada por áreas de pastagem e posteriormente pela agricultura (KLINK; MACHADO, 2005; BRANNSTROM et al., 2008; LOPES et al., 2020). Desde 1960 esse processo revela uma expansão e movimento gradual da fronteira agrícola em direção ao centro-oeste do cerrado brasileiro (BARRETTO et al., 2013). A maior parte dos parâmetros do solo e da água são afetados pela mudança do uso da terra às culturas, o qual pode comprometer gravemente o futuro do Cerrado quanto à produtividade agrícola e à estabilidade do ecossistema (HUNKE et al., 2015).

Além disso, vários estudos têm mostrado as maiores taxas de infiltração para os locais do Cerrado e as taxas mais baixas para pastagens e culturas (HUNKE et al., 2015). O aumento da erosão do solo e da má qualidade da água são grandes ameaças para a conservação do ecossistema sob o aspecto da mudança de uso da terra (KLINK; MACHADO, 2005; ASSIS et al., 2021). De modo geral, a agricultura e as áreas urbanas são os principais LULCs responsáveis pela degradação da qualidade das águas no Brasil (MELLO et al., 2020). Os altos índices de solo descoberto em pastagens degradadas também contribuem significativamente para a deposição de sedimentos em rios e barragens (GALDINO et al., 2016).

A erosão do solo pela água é a principal ameaça em áreas com alto índice de pluviosidade. O processo de erosão envolve o desprendimento de partículas do solo, transporte dessas partículas desprendidas e posterior deposição das partículas transportadas

(WISCHMEIER; SMITH, 1978). Em razão disso, a quantidade de erosão do solo depende de diversos fatores, como a erodibilidade do solo, a erosividade da chuva, a inclinação e o comprimento da encosta, as práticas de manejo do solo e a cobertura da superfície. Este último fator, intrinsecamente relacionado com as mudanças LULCs, pode ser facilmente controlado pelas ações antrópicas. A proteção da cobertura do solo minimiza os impactos da erosão, evitando que a chuva atinja diretamente o solo exposto (HILLEL, 2008)

Existem várias abordagens para quantificar a perda de solo e durante quase 80 anos de história da modelagem de erosão as ferramentas mais utilizadas são baseadas nos algoritmos da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), que calcula a erosão do solo pela água (ALEWELL et al., 2019). Um dos principais motivos pelos quais a modelagem com a EUPS é tão abrangente é em função do alto grau de versatilidade e acessibilidade de dados, extensa literatura científica e comparabilidade de resultados que possibilitam adaptar o modelo a quase todo tipo de condição e local do mundo (ALEWELL et al., 2019). Apesar de existirem limitações deste modelo, as incertezas são equiparáveis a outras ferramentas de avaliação de erosão em função de modelos físicos baseados em processos (ALEWELL et al., 2019).

Muitos estudos estimam a perda de solo em diversas regiões do Brasil, recentemente (BARBOSA et al., 2015; GALDINO et al., 2016; GOMES et al., 2017; FALCÃO; DUARTE; DA SILVA VELOSO, 2020a; ASSIS et al., 2021), mas poucos trabalhos buscam compreender a influência que as mudanças LULCs acarretam ao processo de erosão ao longo do tempo. Assim, é necessário compreender melhor o impacto das mudanças LULCs e a dinâmica temporal da degradação do solo. A erosão do solo é um aspecto que muitas vezes não é considerado na gestão do território brasileiro, mas deve ser levado em consideração pois vem se tornando um risco real e severo (FALCÃO; DUARTE; DA SILVA VELOSO, 2020a).

A bacia hidrográfica do rio Meia Ponte é a principal Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do estado de Goiás, concentrando aproximadamente 40% da população (GOIÁS, 2018). Dispõe de um elevado grau de antropização, apresenta cerca de 73% de área total desmatada com apenas 23% de vegetação nativa (GOIÁS, 2019a). Existem ainda conflitos de uso do solo por intervenções antrópicas nas APPs de subbacias do rio Meia Ponte e a pastagem é a classe que mais ocupa essas áreas (SANTOS et al., 2019). A agricultura e a pastagem representam por volta de 72,5% da área total da bacia (GOIÁS, 2019a), as quais podem aumentar os riscos de erosão e produção de sedimentos.

Portanto, o objetivo deste estudo foi estimar a perda de solo devido à erosão influenciada por mudanças temporais no uso e cobertura da terra (LULC) na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, aplicando a EUPS e integrando técnicas de SIG para as condições LULC de 1987, 1997,

2007 e 2017. A avaliação temporal foi realizada de acordo com as mudanças LULC causadas pelo rápido aumento na agricultura e urbanização na área e para avaliar o efeito prejudicial da erosão do solo na bacia hidrográfica.

## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1 Área de Estudo**

A área de estudo foi a bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, a qual está localizada na região centro-sul do estado de Goiás, Brasil. A área da bacia hidrográfica selecionada está localizada entre as latitudes 48°46' e 49°44' Sul e as longitudes 16°06' e 18°32' Oeste Figura 8 que abrange uma área de aproximadamente 14.500 km<sup>2</sup>, e ocupa cerca de 4% do território estadual. A bacia é composta por 89% do bioma Cerrado e 11% do bioma Mata Atlântica (GOIÁS, 2019b).

O clima, conforme a classificação climática de Köppen, é caracterizado por “Aw”, que corresponde ao clima tropical continental com inverno seco (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). As temperaturas médias mensais variam de 22,6 °C a 25,3 °C. De acordo com os dados pluviométricos publicados pela Agência Nacional de Águas do Brasil (ANA, 2020) em 15 estações pluviométricas que cobrem a área de estudo, a precipitação média anual é cerca de 1.483 mm (desvio padrão = 179 mm), com sazonalidade bem definida, ou seja, estação chuvosa no verão, do início de outubro a meados de abril, e nítida estação seca no inverno, de meados de abril ao final de setembro.

A topografia na área de estudo é 65% plano a suavemente ondulado (0% a 8% de declividade), cerca de 30% da área possui relevo ondulado (8% a 20% de declividade) e apenas 4% da bacia possui declividades acima de 20%. As altitudes da área de estudo variam de 394m a 1,161 m e aproximadamente 68% da área total da bacia possui altitudes compreendidas entre 600 e 900 m.

Ferrasols (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015), correspondente aos Latossolos no sistema de classificação brasileiro, ocorrem em 65% da área total, seguido por Argissolos com 19,5% e Cambissolos com 7,5% e há poucas formações das classes de Nitossolos, Neossolos e Gleissolos.

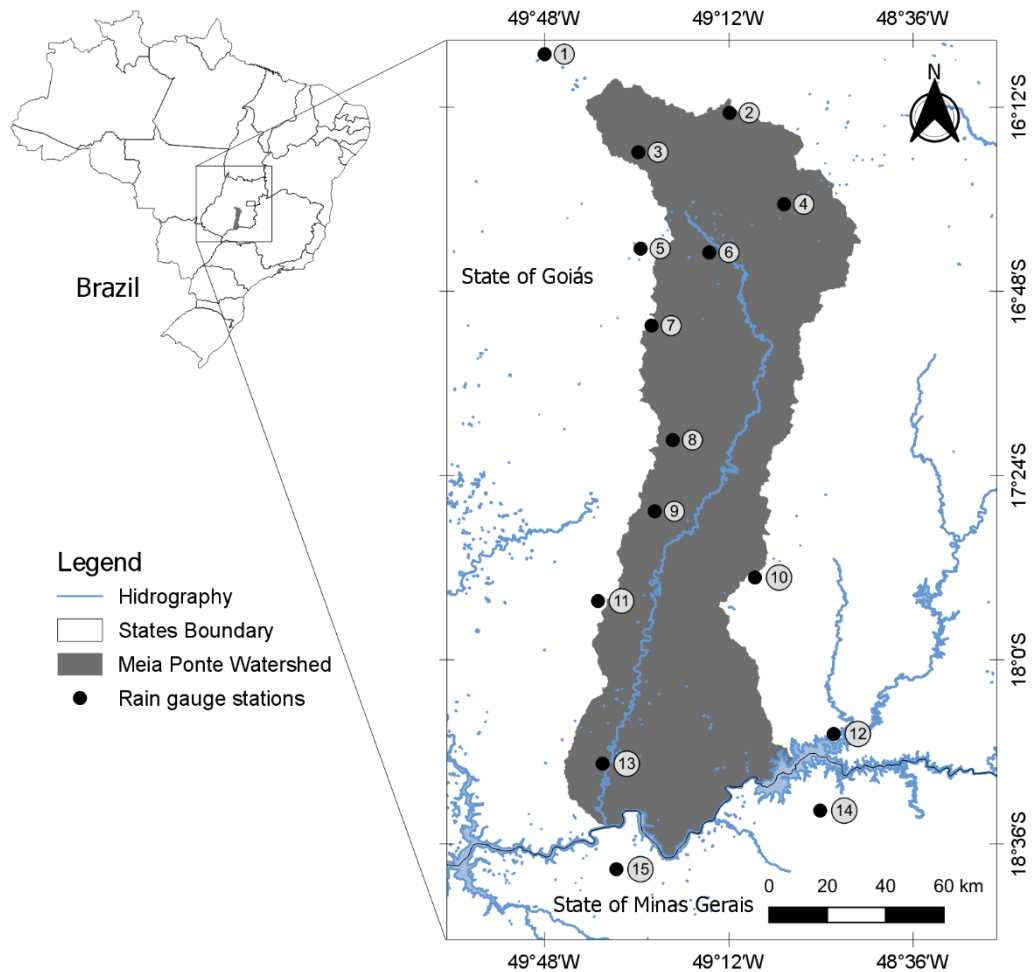


Figura 8 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte no estado de Goiás, Brasil e a identificação das estações climatológicas utilizadas para obter o fator de erosividade da chuva (R)..

### 3.2.2 Equação Universal de Perda de Solos (EUPS)

A estimativa da perda do solo (A) foi determinada com o método EUPS (WISCHMEIER; SMITH, 1978) como mostrado na Eq. (1). Para isso, os fatores R, K, LS, C e P foram determinados como descritos abaixo, convertidos em formato raster e, em seguida, utilizados para estimar a erosão para o intervalo de tempo do estudo. O esquema da metodologia pode ser visto no diagrama da Figura 9. Toda a análise de geoprocessamento foi feita através do uso do software QGIS.

$$A = R * K * LS * C * P \quad (1)$$

onde A é a taxa de erosão do solo ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), R definido como fator erosivo do escoamento da chuva ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), K significa fator de erodibilidade do solo ( $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ), LS como fatores de terreno representam o comprimento da encosta (L) e declividade da encosta (S) (sem unidade), C indica o fator de gestão e cobertura da terra (sem unidade), e P significa fator de práticas de conservação (sem unidade).

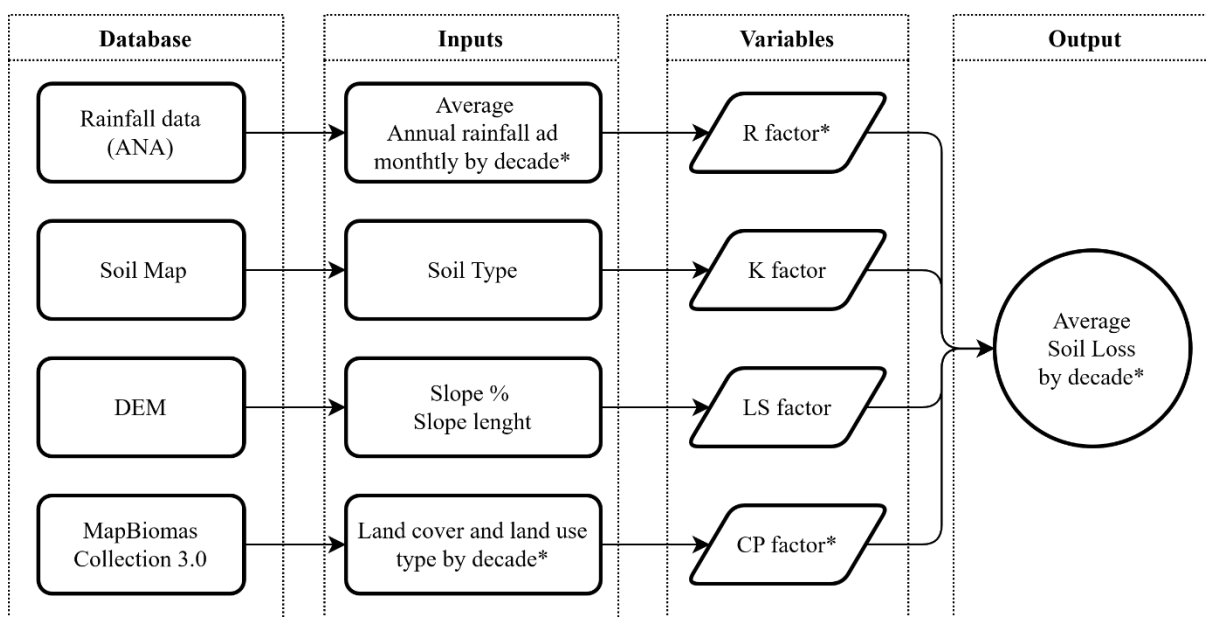


Figura 9 – Fluxograma da metodologia geral utilizada neste estudo. \* Foram calculados para as séries temporais de 1987, 1997, 2007 e 2017.

### 3.2.2.1 Fator de erosividade da chuva (R)

O fator R representa o potencial de uma chuva em causar erosão do solo levando em consideração a precipitação total, a energia cinética e a intensidade da chuva (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A média mensal da erosividade foi calculada para a bacia do rio Meia Ponte empregando a Eq. (2) desenvolvida por Bertoni e Lombardi Neto (2005), com registros de chuva de Campinas no período de 1954 a 1975. Essa equação é um dos modelos mais utilizados no Brasil, o qual foi aplicada por vários pesquisadores (CABRAL et al., 2005; NOGUEIRA et al., 2019; FALCÃO; DUARTE; DA SILVA VELOSO, 2020b). A distribuição da precipitação média mensal de postos pluviométricos de Goiás apresentou alta correlação com registros de chuva de Campinas no período de 1954 a 1975, que valida a aplicação desta equação para os dados pluviométricos de Goiás (GALDINO et al., 2016). A Eq. (2) aplica o índice de Fournier modificado, que tem sido vastamente utilizado ao obter resultados melhores no cálculo do fator R (OLIVEIRA; WENDLAND; NEARING, 2013).

Neste estudo o fator R foi calculado para a década de 1987, 1997, 2007 e 2017, utilizando um intervalo temporal de 10 anos, ou seja, utilizou-se uma série de 1978 a 1987, de 1988 a 1997, de 1998 a 2007 e de 2008 a 2017, respectivamente. A série histórica disponível de 40 anos, desde 1978 a 2017 foi obtida através da ANA (2020) em 15 estações pluviométricas (Tabela 3) que influenciam a área de estudo. A erosividade média anual foi obtida pela Eq. (3) para cada estação e interpolado pelo método Inverse Distance Weighting (IDW), também utilizado por Abdulkareem et al. (2019).

$$EI_{30i} = 67,355 \left( \frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \quad (2)$$

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30i} \quad (3)$$

onde  $EI_{30}$  é a média mensal do índice de erosividade ( $MJ \text{ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ );  $r$  é a média mensal da precipitação (mm);  $P$  é a média anual da precipitação (mm);  $i$  é o índice de meses e  $R$  é o fator da erosividade da chuva ( $MJ \text{ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ )

Tabela 3 – Localização das estações climáticas e a precipitação média anual para cada década de mudança de uso e cobertura da terra (1987, 1997, 2007 e 2017).

ID	Código	Nome da Estação	Latitude	Longitude	Precipitação anual média (mm) (1978-1987)	Precipitação anual média (mm) (1988-1997)	Precipitação anual média (mm) (1998-2007)	Precipitação anual média (mm) (2008-2017)
1	1649007	Itaberaí	-16.028	-49.800	1787.95	2119.04	1593.54	1599.13
2	1649009	Ouro Verde de Goiás	-16.219	-49.198	1750.33	1597.94	1631.11	1582.76
3	1649006	Inhumas	-16.347	-49.495	1456.07	1059.39	1131.30	1125.25
4	1649004	Goianápolis	-16.516	-49.020	1646.08	1119.43	1547.81	1524.80
5	1649012	Trindade	-16.661	-49.488	1688.47	1629.09	1236.52	1038.50
6	1649013	Goiânia	-16.674	-49.264	1642.85	1621.66	1586.28	1637.55
7	1649001	Aragoiânia	-16.912	-49.452	1605.68	1547.40	1508.85	1575.61
8	1749009	Cromínia	-17.285	-49.383	1588.92	1358.81	1488.34	1437.49
9	1749004	Pontalina	-17.517	-49.442	1535.39	1402.71	1379.27	1365.71
10	1749003	Morrinhos	-17.733	-49.115	1617.73	1511.39	1417.26	1443.08
11	1749002	Joviânia	-17.809	-49.626	1666.08	1457.20	1494.04	1521.43
12	1848007	Buriti Alegre	-18.243	-48.859	1436.38	1319.82	1234.56	952.07
13	1849016	Ponte Meia Ponte	-18.339	-49.611	1551.63	1421.40	1375.85	1446.12
14	1848008	Tapaciguara	-18.492	-48.903	1696.65	1480.28	1440.90	1514.40
15	1849017	Capinópolis	-18.683	-49.567	1479.79	1496.92	1376.12	1403.10

### 3.2.2.2 Fator erodibilidade do solo (K)

O fator de erodibilidade do solo (K) descreve a suscetibilidade das partículas do solo ao desprendimento e posterior transporte. A textura do solo é um agente relevante que influencia a erodibilidade, pois está relacionada com as propriedades do solo, distribuição granulométrica, estabilidade estrutural, a quantidade de matéria orgânica e a natureza dos materiais argilosos (KRISHNA BAHADUR, 2009).

A identificação das classes de solo da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte foi obtida a partir do mapa de Resende (2016), escala 1:250.000 e disponibilizados pelo Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG). Para a classificação foram empregadas as recomendações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

As classes de solos foram agrupadas, ignorando os aspectos ligados à fertilidade (álícos, distróficos e eutróficos), gerando um mapa de tipos de solos, onde foi associado para cada tipo o valor de K, compilados do por Silva e Alvares (2005), conforme Tabela 4. Os autores desta pesquisa realizaram a compilação de informações de diversos trabalhos científicos para a estruturação de um banco de dados e determinação dos valores médios (médias aritméticas) de erodibilidade para cada classe de solo.

Tabela 4 – Valores de erodibilidade conforme a classe de solo.

Classes de solo	K fator médio (t ha <sup>-1</sup> MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	SD*	n**	Area (km <sup>2</sup> )	Area (%)
Argissolos	0,0425	0,0199	41	2825.37	19.5%
Cambissolos	0,0508	0,0182	7	1084.87	7.5%
Gleissolos	0,0361	0,0279	6	46.70	0.3%
Latossolos	0,0162	0,0043	32	9366.00	64.6%
Neossolos	0,0351	0,0127	26	151.19	1.0%
Nitossolos	0,0237	0,0091	7	251.77	1.7%

Fonte: Adaptado de (SILVA; ALVARES, 2005). \*SD = desvio padrão; \*\*n =

### 3.2.2.3 Fator topográfico (LS)

O fator topográfico (LS) combinado foi determinado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido junto ao projeto Topodata/INPE (VALERIANO; ROSSETTI, 2012), com formato matricial e resolução espacial de 30 metros. Este MDE é recomendado para calcular o fator topográfico no Brasil (OLIVEIRA et al., 2013). O fator LS estimado a partir de equações baseadas em MDEs são espacialmente consistentes e correlacionados com as características topográficas (WANG et al., 2001).

O modelo físico de cálculo do fator LS proposto por Moore e Burch (1986) na Eq. (4) foi adotado para a área de estudo, o qual usa a interação entre a topografia e o acúmulo de fluxo. Este modelo é amplamente utilizado para estimar o fator LS da EUPS (LEE, 2004; OZCAN et al., 2008; KRISHNA BAHADUR, 2009; KHOSROKHANI; PRADHAN, 2014; ABDULKAREEM et al., 2019).

$$LS = \left( \frac{\text{flow accumulation} \times \text{Cell size}}{22,13} \right)^{0,4} \times \left( \frac{\sin(\beta)}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (4)$$

onde o acúmulo de fluxo denota a contribuição de subida acumulada para uma determinada célula, LS é o comprimento da encosta e o fator de inclinação combinados, o tamanho da célula é o tamanho da célula da grade (para este estudo 30m) e  $\beta$  é a inclinação da superfície da terra em graus.

### 3.2.2.4 Fator cobertura do solo (C) e índice de prática de suporte (P)

O fator C é usado para determinar a relação da densidade e tipo de vegetação em termos de prevenção de perda de solo. Este é um fator considerado importante na EUPS, capaz de representar as condições que podem ser facilmente alteradas para reduzir a erosão (BESKOW et al., 2009). Um solo exposto ou desmatado possui um valor de C igual a 1 e as culturas com mais cobertura apresentam valores de C mais baixos.

Neste estudo, os valores de C foram atribuídos às classes de uso da terra empregando dados da literatura (Tabela 5), o qual fornece valores de referência úteis para avaliar modelos de erosão do solo no Brasil. As estimativas de perda de solo foram realizadas a partir de mudanças temporais de cobertura e uso do solo (LULC) utilizando a classificação do Projeto MapBiomas – Coleção 3.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em 20/08/2018 a partir do Link: [https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR) (SOUZA et al., 2020), para os anos de 1987, 1997, 2007 e 2017.

O fator P representa as práticas de conservação do solo que diminuem o potencial de erosão (RENARD et al., 1991). Quanto menor o valor do fator P, melhor é a prática para controlar a erosão do solo. Os valores do fator P neste estudo foram atribuídos em 1,0 para toda a área da bacia do rio Meia Ponte por ser a pior situação ao assumir nenhuma prática de suporte, conforme procedimento também adotado por Ozcan et al. (2008) e Beskow et al. (2009). Os fatores C e P foram integrados para gerar o mapa do fator CP para as condições LULC de 1987, 1997, 2007 e 2017.

Tabela 5 – Valor do fator C utilizado para cada classe de uso e cobertura da terra.

Classe de Cobertura da Terra	Valor do Fator CP	Fonte
Agricultura	0.2558	(COSTA et al., 2005)
Área Urbana	0.0053	(COSTA et al., 2005)
Corpo Hídrico	0	(OLIVEIRA; NEARING; WENDLAND, 2015)
Pastagem	0.0288	(COSTA et al., 2005)
Silvicultura	0.0085	(COSTA et al., 2005)
Solo Exposto	1	(WISCHMEIER; SMITH, 1978)
Vegetação Nativa (Cerrado)	0.013	(OLIVEIRA; NEARING; WENDLAND, 2015)

### 3.2.3 Processamento dos dados

Todos os termos da EUPS anteriormente descritos, foram mapeados para toda a área geográfica da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte. Esses mapas foram armazenados digitalmente em estrutura matricial, com resolução espacial de 30 metros. Em seguida, por meio de ferramentas computacionais de álgebra de mapas, realizou-se a multiplicação de todos os termos da EUPS.

A avaliação temporal foi realizada de acordo com as mudanças LULC causadas pelo rápido aumento na agricultura e urbanização na área e para avaliar o efeito prejudicial da erosão do solo na bacia hidrográfica. Os fatores K e LS que estavam estacionados foram mantidos constantes, os fatores R, e CP foram definidos por mudanças temporais de LULC (1987, 1997, 2007 e 2017) para gerar um mapa correspondente a cada condição LULC.

Foram obtidos 4 mapas de perda de solo para a bacia do rio Meia Ponte no qual cada célula, com resolução espacial de 30 metros, tem um valor de perda de solo calculado. Posteriormente, por meio de operações zonais, as áreas LULC de cada década foram integradas com os mapas de perdas de solo, obtendo-se um valor médio de perda de solo para cada condição LULC.

### **3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.3.1 Fator de erosividade da chuva (R)**

Os valores de erosividade da chuva observados na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte variam de 5839,82 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na década de 1997 a 9366,02 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na década de 2007 (Figura 10). A erosividade média ( $\pm$ sd) observada é de 8767,81  $\pm$  201,26 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, 7725,58  $\pm$  410,50 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, 8247  $\pm$  342,20 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e 8089,60  $\pm$  395,70 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para as décadas de 1987, 1997, 2007 e 2017 respectivamente.

Estes resultados são válidos quando comparados com outros valores de erosividade da chuva encontrados em regiões próximas ou coincidentes com a área de estudo, como os resultados obtidos por Cunha et al. (2015) em uma bacia no cerrado brasileiro (8953 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), Galdino (2015) para o estado de Goiás e utilizando o mesmo método de interpolação do presente estudo (8.359 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), Galdino et al. (2016) para o estado de Goiás e utilizando a krigagem como interpolador (8324 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e Trindade et al. (2016) para a bacia do rio Paraná (7924,72 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).

A erosividade média encontrada para a área de estudo é similar à erosividade média do Brasil obtida por Oliveira et al. (SILVA; ALVARES, 2005) (8403  $\pm$  4090 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Em comparação com os outros países da América do Sul, este valor é considerado um dos valores mais altos de erosividade média (LIMA et al., 1990). De acordo com a classificação do índice anual de erosividade do Brasil proposto por Carvalho (2015) e modificado para as

unidades métricas S.I. de acordo com Foster et al. (2016) este valor condiz com a classe de erosividade forte ( $7357 < R \leq 9810$ ).

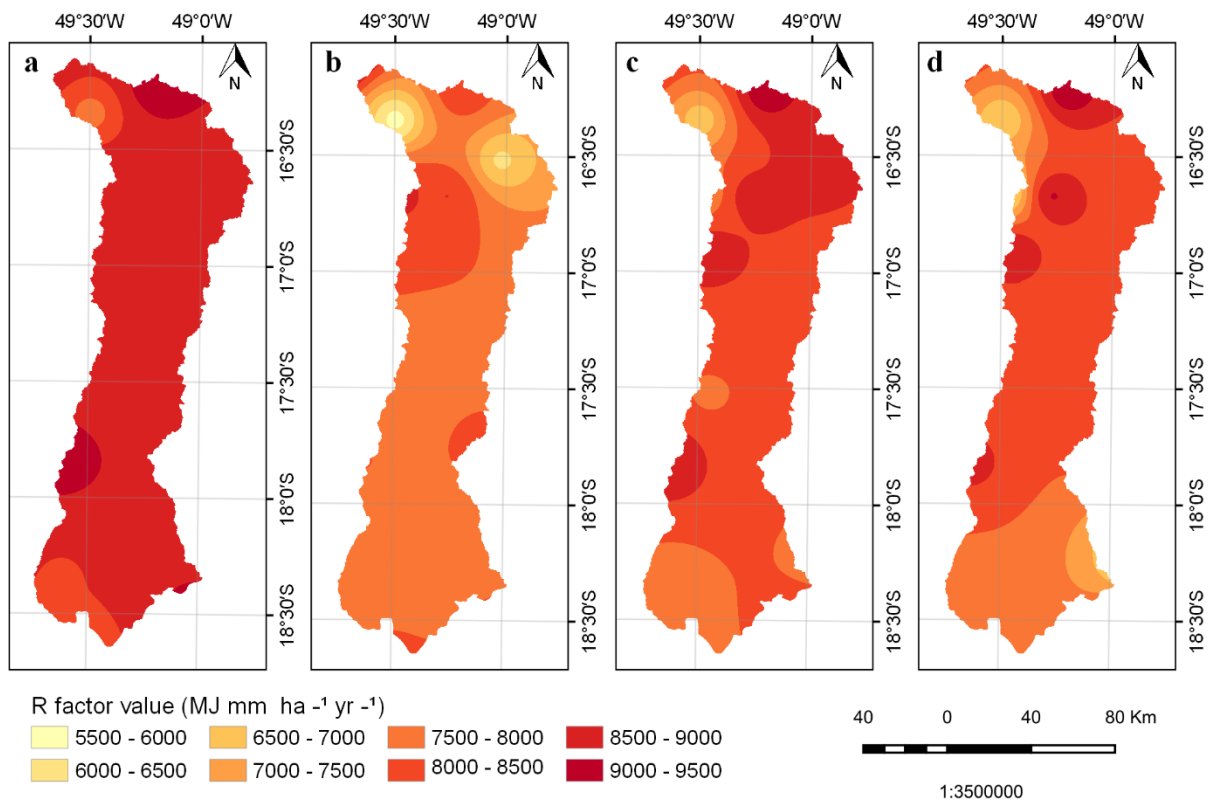


Figura 10 – Mapa da distribuição da erosividade da chuva média na bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte para as séries temporais de (a) 1978-1987, (b) 1988-1997, (c) 1998-2007 e (d) 2008-2017.

### 3.3.2 Fator erodibilidade do solo (K)

Existem seis tipos de solo na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, com fatores K variando de 0,0162 a 0,0508  $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , com uma média de 0,0341  $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . O mapa da erodibilidade do solo pode ser visto na Figura 11a. Em 66,3% das terras, o fator K foi inferior a 0,03, indicando que a maioria dos solos dessa região são resistentes à erosão hídrica possuindo uma erodibilidade média (SILVA; ALVARES, 2005). Já que os latossolos englobam aproximadamente 65% da área total da bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, e são pobres em silte, o qual apresenta uma certa resistência à erosão (LIMA et al., 1990).

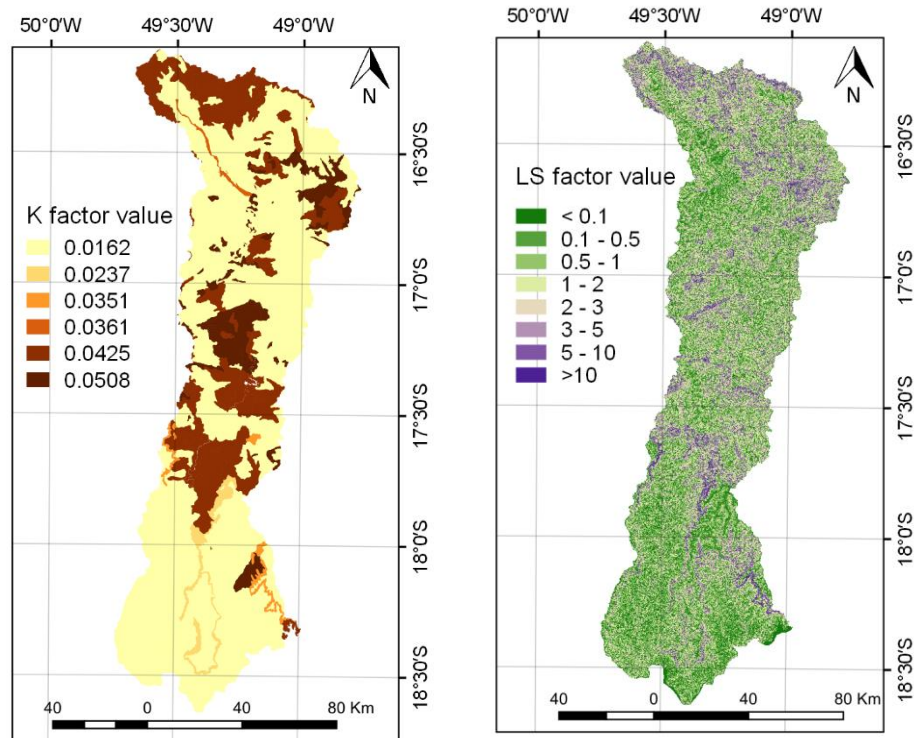


Figura 11 – Mapa do (a) fator de erodibilidade do solo (K) e (b) fator topográfico (LS) para a bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte.

### 3.3.3 Fator topográfico (LS)

A distribuição espacial do fator LS está apresentada na Figura 11b, a qual foi classificada de acordo com Panagos et al. (2015). Os valores do fator LS variam de 0 a 157 com um valor médio de 1,78 (sd=2,4). A cobertura de área dos valores do fator LS nas categorias de classe está apresentada na Tabela 6. Cerca de 47,5% da área total da bacia do rio Meia Ponte apresentam valores LS abaixo de 1,0; aproximadamente 44,8% da área tem um valor LS entre 1 e 5; 6,3% da superfície contêm um valor de LS entre 5 e 10; e apenas 1,4% apresentam LS maior que 10. Tais resultados são semelhantes aos valores de LS encontrados por Galdino et al. (2016) para o estado de Goiás.

Tabela 6 – Categorias do fator topográfico (LS) para a bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte e as áreas correspondentes.

Valor do fator LS	Area (km <sup>2</sup> )	Area (%)
<0.1	2926.68	20.2%
0.1 – 0.5	1733.18	11.9%
0.5 – 1	2230.88	15.4%
1 – 2	3300.88	22.7%
2 – 3	1662.20	11.4%
3 – 5	1545.29	10.6%
5 – 10	917.00	6.3%
>10	201.20	1.4%

### 3.3.4 Fator Cobertura do solo (C) e Índice de prática de suporte(P)

A bacia hidrográfica é composta por seis tipos de uso da terra, com exceção do corpo hídrico, temos área urbana, floresta plantada, cerrado, pastagem, agricultura, e solo exposto com os respectivos valores do fator CP e as áreas de cobertura para cada condição LULC apresentada na Tabela 7. A Figura 12 mostra o mapa do fator CP gerado para as condições LULC de 1987, 1997, 2007 e 2017. Desconsiderando a classe de corpo hídrico, os resultados máximos e mínimos encontrados para o fator CP foram 1 e 0,0053, respectivamente; e o parâmetro de cobertura média da terra para a área de estudo foi igual a 0,025 para as condições LULC de 1987, 1997, 2007 e 0,029 para as condições LULC de 2017.

Tabela 7 – Valor do fator CP para cada classe de mudança de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte.

Classe LULC	Fator CP	Mudança LULC 1987		Mudança LULC 1997		Mudança LULC 2007		Mudança LULC 2017	
		Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Área Urbana	0.0053	260.92	1.8%	321.33	2.2%	384.39	2.7%	494.44	3.4%
Silvicultura	0.0085	0.02	0.0%	0.16	0.0%	2.01	0.0%	50.92	0.4%
Cerrado	0.013	3672.17	25.5%	3371.27	23.4%	3340.67	23.2%	3327.16	23.1%
Pastagem	0.0288	9650.33	66.9%	9384.48	65.1%	8689.67	60.3%	7534.15	52.3%
Agricultura	0.2558	831.21	5.8%	1339.84	9.3%	1986.66	13.8%	2991.71	20.7%
Solo Exposto	1	3.77	0.0%	1.11	0.0%	2.23	0.0%	1.88	0.0%
Corpos d'água	0	95.61	0.7%	95.80	0.7%	108.38	0.8%	113.67	0.8%

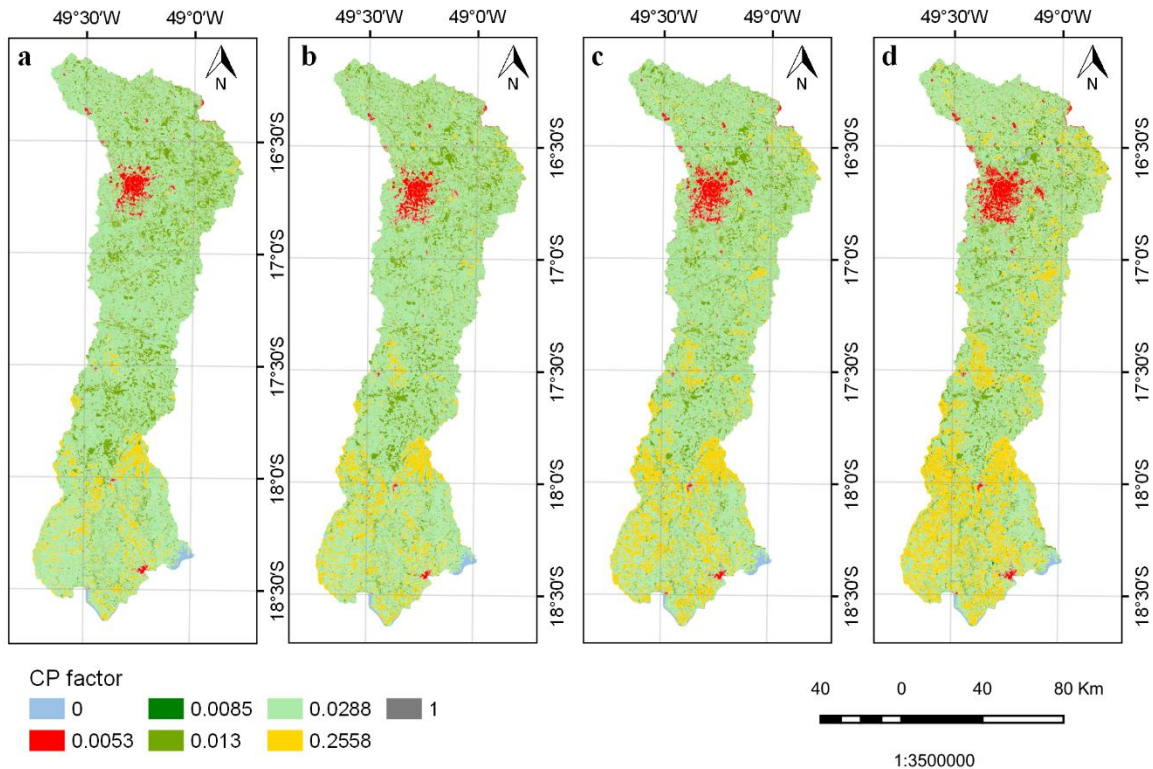


Figura 12 – Mapa do fator CP para cada condição de mudança e cobertura do solo em (a) 1987, (b) 1997, (c) 2007 e (d) 2017 para a bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte.

Almagro et al. (2019) ao estimarem o fator C para regiões tropicais no Centro-Oeste brasileiro, o qual utilizaram três métodos diferentes, como valores da literatura (Clit) e duas abordagens de sensoriamento remoto com base em NDVI (CrA e CVK), encontraram valores médios de 0,032, 0,023 e 0,137, respectivamente. Eles compararam a perda de solo das três abordagens com dados medidos em campo e concluíram que o método CrA é o método mais adequado para calcular a perda de solo nas regiões tropicais. O valor médio do fator C do método CrA se assemelha aos valores médios do fator CP para a bacia do rio Meia Ponte.

### 3.3.5 Mudança da estimativa da erosão do solo

O resultado da mudança da estimativa da erosão do solo foi obtido através da aplicação da Eq. (1) (EUPS), utilizando álgebra de mapas. O mapa resultante mostra as perdas de solo em toneladas por hectare por ano (t/ha/ano) para as condições de uso e cobertura da terra (LULC) nos anos de 1987, 1997, 2007 e 2017 na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte (Figura 13).

Os valores de perda de solo foram agrupados em seis classes (Tabela 8), de acordo com os níveis de susceptibilidade à erosão propostos por Perović *et al.*, (2013). Essa análise proporciona uma visão clara da distribuição das perdas de solo na área estudada, classificando as diferentes áreas conforme seu grau de susceptibilidade à erosão. Isso pode ser útil para

identificar áreas críticas e orientar medidas de conservação e manejo do solo apropriadas para mitigar o processo de erosão na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte.

Tabela 8 – Categorias de perda de solo aplicadas na bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte. Fonte: Perović *et al.*, (2013).

<b>Categoria de Perda de Solo</b>	<b>Taxa de Perda de Solo (<math>t\ ha^{-1}\ ano^{-1}</math>)</b>
0–5 $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$	Baixa
5–10 $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$	Moderada
10–20 $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$	Alta
20–40 $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$	Muito Alta
40–80 $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$	Severa
>80 $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$	Muito Severa

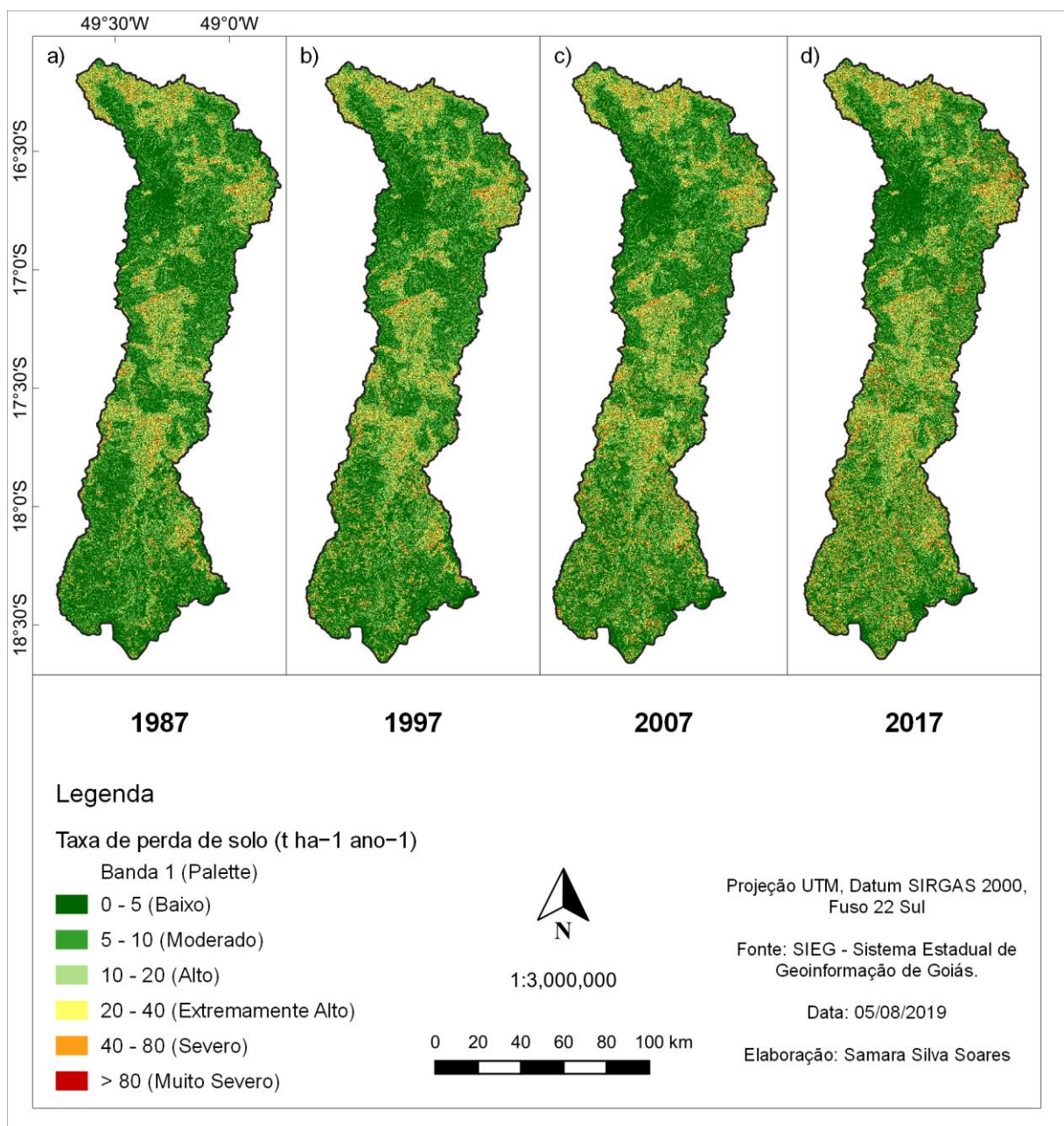


Figura 13– Mapa da estimativa de perda de solos para cada condição de mudança e cobertura do solo em (a) 1987, (b) 1997, (c) 2007 e (d) 2017 para a bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte.

A distribuição da taxa anual de erosão do solo por categoria e por condições LULC está apresentada na Tabela 9. Podemos observar que a classe baixa ( $0-5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) ocupou a maior porcentagem da área de cobertura de perda de solo em todas as condições de LULC (1987, 1997, 2007 e 2017), mas teve um decréscimo de 10% na contabilização das áreas em 30 anos (1987 até 2017). A classe moderada ( $5-10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) de perda de solo ocupou a segunda maior porcentagem da área de cobertura nas condições LULC de 1987, 1997 e 2007, mas em 2017 desceu para a terceira posição, com um decréscimo de 13% em 30 anos, sendo que a classe alta ( $10-20 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) de perda de solo passou a ocupar mais áreas de cobertura da bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte, tendo um acréscimo de 8% em 30 anos.

As classes muito alta ( $20-40 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), severa ( $40-80 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e muito severa ( $>80 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) de perda de solo, apresentaram variações na ocupação da área de cobertura ao longo das condições LULC apresentadas, mas em 30 anos, aumentaram a ocupação das áreas da bacia em 26%, 44% e 88%, respectivamente. No geral, ao longo dos 30 anos, os resultados mostraram uma transição das áreas de cobertura das taxas de perda de solo nas categorias baixa e moderada para as categorias alta, muito alta, severa e muito severa, indicando um aumento na perda de solo em toda a bacia hidrográfica.

Tabela 9 – Soil loss classes in Meia Ponte watershed and the area under each soil loss class.

Classe de perda do solo	Perda de solo ( $\text{t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ )	Uso e cobertura da terra em 1987		Uso e cobertura da terra em 1997		Uso e cobertura da terra em 2007		Uso e cobertura da terra em 2017	
		Area ( $\text{km}^2$ )	Area (%)	Area ( $\text{km}^2$ )	Area (%)	Area ( $\text{km}^2$ )	Area (%)	Area ( $\text{km}^2$ )	Area (%)
Baixa	0-5	7501,80	51,7%	7639,57	52,7%	7121,16	49,1%	6777,23	46,7%
Moderada	5-10	2460,43	17,0%	2395,05	16,5%	2296,19	15,8%	2130,46	14,7%
Alta	10-20	2067,46	14,3%	2079,88	14,3%	2179,00	15,0%	2223,66	15,3%
Extremamente Alta	20-40	1545,57	10,7%	1554,86	10,7%	1769,65	12,2%	1952,52	13,5%
Severa	40-80	737,91	5,1%	675,02	4,7%	891,51	6,1%	1061,28	7,3%
Muito Severa	>80	189,83	1,3%	158,57	1,1%	245,48	1,7%	357,75	2,5%

A Tabela 10 mostra a média anual da perda de solo baseada em mudanças LULC para cada categoria de perda de solo. Os resultados mostram como cada classe LULC influencia na perda de solo ao longo do tempo na medida em que há alterações na área de cobertura. O solo exposto é uma das classes com menor área de cobertura, mas apresentam as perdas de solo mais elevadas.

As terras agrícolas correspondem à segunda maior taxa de erosão do solo, e à medida que aumenta a área de cobertura ao longo do tempo também aumenta o grau de severidade da perda de solo.

Tabela 10 – Média da perda de solo por mudança de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte para cada classificação de perda de solo.

<b>Classes de Uso e Cobertura do Solo</b>	<b>Área (%)</b>	<b>0 - 5</b>	<b>5 - 10</b>	<b>10 - 20</b>	<b>20 - 40</b>	<b>40 - 80</b>	<b>&gt;80</b>
<b>Mudança LULC 1987 (t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>							
Agricultura	5,76%	2,10	7,71	15,00	28,01	53,48	123,14
Áreas Urbanas	1,81%	1,17	6,71	13,47	25,82	54,94	-
Silvicultura	0,00%	0,73	-	-	-	-	-
Pastagem	66,93%	2,29	7,22	14,20	28,37	54,25	109,54
Solo Exposto	0,03%	0,72	7,41	15,13	30,91	57,88	176,35
Cerrado	25,47%	2,05	7,14	14,21	27,61	52,13	108,36
<b>Mudança LULC 1997 (t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>							
Agricultura	9,29%	2,04	7,72	14,92	28,40	54,15	144,84
Áreas Urbanas	2,23%	1,23	6,68	12,70	25,19	49,51	-
Silvicultura	0,00%	0,50	-	-	-	-	-
Pastagem	65,09%	2,24	7,20	14,19	28,25	53,81	107,75
Solo Exposto	0,01%	1,05	7,58	13,69	29,53	59,30	190,38
Cerrado	23,38%	2,06	7,14	14,24	27,42	51,39	105,78
<b>Mudança LULC 2007 (t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>							
Agricultura	13,79%	1,83	7,79	14,97	28,63	55,46	163,51
Áreas Urbanas	2,67%	1,23	6,82	13,54	25,29	48,26	-
Silvicultura	0,01%	1,21	6,53	13,86	-	52,05	-
Pastagem	60,32%	2,26	7,21	14,21	28,26	54,45	110,59
Solo Exposto	0,02%	0,59	6,79	14,83	29,87	61,25	179,04
Cerrado	23,19%	2,06	7,12	14,15	27,68	51,99	105,73
<b>Mudança LULC 2017 (t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>							
Agricultura	20,78%	1,82	7,66	15,10	28,79	55,64	159,24
Áreas Urbanas	3,43%	1,28	6,90	13,81	25,74	45,93	134,16
Silvicultura	0,35%	1,55	6,67	14,67	26,71	-	-
Pastagem	52,32%	2,27	7,22	14,21	28,33	54,20	116,90
Solo Exposto	0,01%	0,14	6,96	14,81	27,75	58,18	217,22
Cerrado	23,10%	2,05	7,11	14,17	27,72	52,54	105,13

A média geral de perda de solo por LULC classes, bem como o montante de solo perdido em toda a área da bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte está apresentada na Tabela 11. A perda de solo de áreas agriculturáveis em 2017 foi responsável por 52% do total, seguida por pastagens (38%), cerrado (10%) e outros usos da terra. Os resultados das condições LULC de 1987, 1997, 2007 e 2017 indicaram que a taxa de crescimento da agricultura ocupou principalmente as áreas de pastagem o que leva ao aumento da perda de solo em diferentes categorias.

Uma série de programas políticos de incentivo fiscal para fomentar os investimentos industriais implantados após a década de 1980 estimularam o crescimento de terras agrícolas cultivadas em detrimento da pastagem e cerrado na grande primeira expansão da fronteira

agrícola no estado de Goiás (PIRES, 2019). Tais programas não levaram em consideração boas práticas de conservação do solo.

De acordo com (ALEWELL et al., 2019), as taxas toleráveis de erosão do solo em todo o mundo variam de 1 a 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, a qual não devem ultrapassar as taxas de formação do solo. Portanto, para a bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, as taxas de erosão do solo das áreas agriculturáveis (1,82 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e da pastagem (2,24 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) excederam as taxas toleráveis em todas as condições LULC apresentadas, sendo que a agricultura atinge maiores proporções de perda de solo. Taxas comparáveis de perda de solo mais altas em terras agrícolas também foram relatadas em outras regiões, como na China (FANG; FAN, 2020).

Além do aumento na erosão do solo na região do Cerrado, também foram constatados por Gomes et al. (2019) a perda de produtividade e nutrientes do solo ao longo do tempo. A aplicação de técnicas de gestão mais eficazes e práticas de conservação são necessárias para melhorar a produtividade das terras do Cerrado, garantindo uma produção de alimentos mais sustentável (Gomes et al. 2017).

A aplicação da EUPS associada à modelagem espacialmente distribuída é uma importante ferramenta para gestão de terras agrícolas, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, que dificilmente dispõe de um banco de dados completo para aplicação de modelos de erosão mais avançados como WEPP ou SWAT em grandes bacias hidrográficas (OZCAN et al., 2008).

Tabela 11 – Taxa média da perda de solos por mudança do uso e cobertura do solo (t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) na bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte, montante total de solo erodido (SLA, t) e o percentual de cada um deles (%).

Classe LULC	Mudança LULC 1987			Mudança LULC 1997			Mudança LULC 2007			Mudança LULC 2017		
	Média	SLA (t/ano)	(%)	Média	SLA (t/ano)	(%)	Média	SLA (t/ano)	(%)	Média	SLA (t/ano)	(%)
Agricultura	26,05	2165192,41	11%	36,52	4893344,66	25%	40,95	8134405,60	35%	49,96	14945716,54	52%
Área urbana	1,89	49190,84	0%	2,12	68191,69	0%	2,04	78386,27	0%	2,27	112391,82	0%
Silvicultura	0,73	1,83	0%	0,50	8,02	0%	3,42	688,47	0%	2,82	14373,60	0%
Pastagem	14,47	13964944,57	71%	12,64	11862613,71	60%	14,29	12417206,77	53%	14,64	11032676,18	38%
Solo exposto	58,38	21991,96	0%	75,12	8372,94	0%	74,26	16586,69	0%	50,02	9412,48	0%
Cerrado	9,09	3336369,18	17%	8,73	2943480,28	15%	8,57	2863153,50	12%	8,69	2891288,18	10%

### 3.4 CONCLUSÃO

Este estudo utilizou a equação EUPS com técnicas SIG para avaliar a taxa de perda de solo seguindo as mudanças LULC em 1987-2017 na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte. A avaliação da erosão do solo foi feita classificando a intensidade da erosão do solo em seis classes. Os resultados mostraram que a classe baixa (0–5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) ocupou a maior porcentagem da área de cobertura de perda de solo em todas as condições de LULC (1987,

1997, 2007 e 2017), mas teve um decréscimo de 10% na contabilização das áreas em 30 anos (1987 até 2017). Houve aumento na taxa de perda do solo de 1987 para 2017 devido ao aumento de áreas agriculturáveis e as políticas agrícolas influenciaram muito as condições LULC que determinam mudanças temporais na taxa de erosão do solo em diferentes escalas.

A taxa de crescimento da agricultura ocupou principalmente as áreas de pastagem, o que leva ao aumento da perda de solo em diferentes categorias. As taxas de erosão do solo das áreas agriculturáveis e da pastagem excederam as taxas toleráveis em todas as condições LULC apresentadas. As terras agriculturáveis foram a principal fonte de sedimentos em 2017, portanto, políticas adequadas devem ser criadas para controlar a perda de solo por meio da limitação da expansão de terras agriculturáveis em regiões desfavoráveis, e o manejo do uso da terra também deve ser feito para o solo exposto e pastagens, uma vez que essas terras também sofreram maiores taxas de erosão do solo.

Apesar de existirem incertezas na aplicação do modelo EUPS, as taxas de erosão do solo estimadas fornecem uma melhor compreensão da relação causa-efeito na mudança LULC e contribuem para a previsão da erosão do solo e das medidas de conservação que devem ser propostas a cada condições espaciais.

Estudos futuros devem avaliar quais são as práticas necessárias para reduzir a taxa de erosão do solo a níveis toleráveis e se o aumento da taxa de erosão do solo também tem relação com as mudanças climáticas, o que leva a influenciar no fator de erosividade da chuva (R).

## Agradecimentos

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

## Referências

ABDULKAREEM, J. H., PRADHAN, B., SULAIMAN, W. N. A., *et al.* "Prediction of spatial soil loss impacted by long-term land-use/land-cover change in a tropical watershed", **Geoscience Frontiers**, v. 10, n. 2, p. 389–403, mar. 2019. DOI: 10.1016/j.gsf.2017.10.010. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85035330976&doi=10.1016%2Fj.gsf.2017.10.010&partnerID=40&md5=90e3a538afaac5fc33706a94c0368114>.

ALEWELL, C., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., *et al.* "Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling", **International Soil and Water Conservation Research**, v. 7, n. 3, p. 203–225, 1 set. 2019. DOI: 10.1016/j.iswcr.2019.05.004. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2095633919300048>. Acesso em: 9 jul. 2020.

ALMAGRO, A., THOMÉ, T. C., COLMAN, C. B., *et al.* "Improving cover and management factor (C-factor) estimation using remote sensing approaches for tropical regions", **International Soil and Water Conservation Research**, v. 7, n. 4, p. 325–334, dez. 2019. DOI: 10.1016/j.iswcr.2019.08.005. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2095633919301832>.

ANA. **AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas**. Brasília, DF, Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica – SGH, 2020. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 18 fev. 2019.

ASSIS, K. G. O., DA SILVA, Y. J. A. B., LOPES, J. W. B., *et al.* "Soil loss and sediment yield in a perennial catchment in southwest Piauí, Brazil", **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 1, p. 26, 3 jan. 2021. DOI: 10.1007/s10661-020-08789-y. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10661-020-08789-y>.

BARBOSA, A. F., OLIVEIRA, E. F. de, MIOTO, C. L., *et al.* "Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em softwares livres e gratuitos", **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 38, n. 1, p. 170–179, 5 out. 2015. DOI: 10.11137/2015\_1\_170\_179. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/7855>.

BARRETTO, A. G. O. P., BERNDES, G., SPAROVEK, G., *et al.* "Agricultural intensification in Brazil and its effects on land-use patterns: An analysis of the 1975-2006 period", **Global Change Biology**, v. 19, n. 6, p. 1804–1815, 2013. DOI: 10.1111/gcb.12174. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/gcb.12174>.

BERTONI, J., NETO, F. L. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo, Ícone Editora, 2005.

BESKOW, S., MELLO, C. R., NORTON, L. D., *et al.* "Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling", **Catena**, v. 79, n. 1, p. 49–59, 2009. DOI: 10.1016/j.catena.2009.05.010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.010>.

BRANNSTROM, C., JEPSON, W., FILIPPI, A. M., *et al.* "Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: Comparative analysis and implications for land-use policy", **Land Use Policy**, v. 25, n. 4, p. 579–595, 2008. DOI: 10.1016/j.landusepol.2007.11.008. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264837707000932>.

CABRAL, J. B. P., BECEGATO, V. A., SCOPEL, I., *et al.* "Uso de técnicas de geoprocessamento para mapear o potencial natural de erosão da chuva na bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada - GO/MG", **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 9, n. 10, p. 107–116, 2005.

CARVALHO, N. O. "Hidrossedimentologia prática. 2ª edição", **Rio de Janeiro: Inter ciência**, 2008.

DA CUNHA, E. R., BACANI, V. M., PANACHUKI, E. "Modeling soil erosion using RUSLE and GIS in a watershed occupied by rural settlement in the Brazilian Cerrado", **Natural Hazards**, v. 85, n. 2, p. 851–868, 1 jan. 2017. DOI: 10.1007/s11069-016-2607-3. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11069-016-2607-3>. Acesso em: 14 dez. 2020.

FALCÃO, C. J. L. M., DUARTE, S. M. de A., DA SILVA VELOSO, A. "Estimating potential soil sheet Erosion in a Brazilian semiarid county using USLE, GIS, and remote sensing data", **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 1, p. 47, 16 jan. 2020. DOI: 10.1007/s10661-019-7955-5. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10661-019-7955-5>.

FANG, H., FAN, Z. "Assessment of Soil Erosion at Multiple Spatial Scales Following Land Use Changes in 1980–2017 in the Black Soil Region, (NE) China", **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 20, p. 7378, 10 out. 2020. DOI: 10.3390/ijerph17207378. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/20/7378>.

FOSTER, G. R., MCCOOL, D. K., RENARD, K. G., *et al.* "Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units", **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, n. 6, 1981. Acesso em: 16 dez. 2020.

GALDINO, S. **Distribuição espacial da erosividade da chuva no Estado de Goiás e no Distrito Federal**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, nº 29. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, SP, 2015.

GALDINO, S., SANO, E. E., ANDRADE, R. G., *et al.* "Large-scale Modeling of Soil Erosion with RUSLE for Conservationist Planning of Degraded Cultivated Brazilian Pastures", **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 3, p. 773–784, 13 abr. 2016. DOI: 10.1002/ldr.2414. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.2414>.

GOIÁS. **Planos de Recursos Hídricos das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Estado de Goiás Afluentes ao Rio Paranaíba: Diagnóstico da UPGRH do Rio Meia Ponte (Produto 2)**. Diagnóstico (Produto 2). Goiânia, SEMAD, 2019. Disponível em: [http://pbapgo.meioambiente.go.gov.br/?page\\_id=1689](http://pbapgo.meioambiente.go.gov.br/?page_id=1689).

GOIÁS. **Planos de Recursos Hídricos das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Estado de Goiás Afluentes ao Rio Paranaíba: Bases Metodológicas (Produto 1)**. Bases Metodológicas (Produto 1). Goiânia, SEMAD, 2018. Disponível em: <http://pbapgo.meioambiente.go.gov.br/wp-content/uploads/2019/06/RT-01-Bases-Metodologicas.pdf>.

GOMES, L., SIMÕES, S., DALLA NORA, E., *et al.* "Agricultural Expansion in the Brazilian Cerrado: Increased Soil and Nutrient Losses and Decreased Agricultural Productivity", **Land**, v. 8, n. 1, p. 12, 8 jan. 2019. DOI: 10.3390/land8010012. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/8/1/12>.

GOMES, L., SIMÕES, S. J. C., FORTI, M. C., *et al.* "Using Geotechnology to Estimate Annual Soil Loss Rate in the Brazilian Cerrado", **Journal of Geographic Information System**, v. 09, n. 04, p. 420–439, 2017. DOI: 10.4236/jgis.2017.94026. Disponível em: <http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/jgis.2017.94026>.

HILLEL, D., "SOIL EROSION AND CONSERVATION". **Soil in the environment**, New York, Academic Press, 2008.

HUNKE, P., MUELLER, E. N., SCHRÖDER, B., *et al.* "The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use", **Ecohydrology**, v. 8, n. 6, p. 1154–1180, 26 set. 2015. DOI: 10.1002/eco.1573. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/eco.1573>.

IUSS WORKING GROUP WRB. **World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.** n° 106. Rome, FAO, 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>.

KHOSROKHANI, M., PRADHAN, B. "Spatio-temporal assessment of soil erosion at Kuala Lumpur metropolitan city using remote sensing data and GIS", **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 5, n. 3, p. 252–270, 2014. DOI: 10.1080/19475705.2013.794164. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2013.794164>.

KLINK, C. A., MACHADO, R. B. "Conservation of the Brazilian Cerrado", **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707–713, jun. 2005. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>.

KRISHNA BAHADUR, K. C. "Mapping soil erosion susceptibility using remote sensing and GIS: a case of the Upper Nam Wa Watershed, Nan Province, Thailand", **Environmental Geology**, v. 57, n. 3, p. 695–705, 15 abr. 2009. DOI: 10.1007/s00254-008-1348-3. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00254-008-1348-3>.

LEE, S. "Soil erosion assessment and its verification using the Universal Soil Loss Equation and Geographic Information System: a case study at Boun, Korea", **Environmental Geology**, v. 45, n. 4, p. 457–465, 1 fev. 2004. DOI: 10.1007/s00254-003-0897-8. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00254-003-0897-8>.

LIMA, J. M., CURI, N., RESENDE, M., *et al.* "Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos.", **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, n. 1, p. 85–90, 1990.

LOPES, V. C., PARENTE, L. L., BAUMANN, L. R. F., *et al.* "Land-use dynamics in a Brazilian agricultural frontier region, 1985-2017", **Land Use Policy**, v. 97, 1 set. 2020. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104740. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104740>. Acesso em: 9 jul. 2020.

MELLO, K. de, TANIWAKI, R. H., PAULA, F. R. de, *et al.* "Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil", **Journal of Environmental Management**, v. 270, p. 110879, 15 set. 2020. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110879. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479720308094>. Acesso em: 9 jul. 2020.

MOORE, I. D., BURCH, G. J. "Physical Basis of the Length-slope Factor in the Universal Soil Loss Equation", **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 5, p. 1294–1298, set. 1986. DOI: 10.2136/sssaj1986.03615995005000050042x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj1986.03615995005000050042x>.

NOGUEIRA, P. F., CABRAL, J. B. P., OLIVEIRA, S. F., *et al.*, "Avaliação do potencial erosivo da chuva: estudo de caso em quatro postos pluviométricos no Estado de Goiás". In: MORATO, R. G., KAWAKUBO, F. S., GALVANI, E., *et al.* (Org.), **Análise integrada em bacias hidrográficas: estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo**, São Paulo, FFLCH/USP, 2019. p. 489. DOI: 10.11606/9788575063781.

OLIVEIRA, P. T. S., WENDLAND, E., NEARING, M. A. "Rainfall erosivity in Brazil: A review", *CATENA*, v. 100, p. 139–147, jan. 2013. DOI: 10.1016/j.catena.2012.08.006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.006>.

OZCAN, A. U., ERPUL, G., BASARAN, M., *et al.* "Use of USLE/GIS technology integrated with geostatistics to assess soil erosion risk in different land uses of Indagi Mountain Pass—Çankırı, Turkey", *Environmental Geology*, v. 53, n. 8, p. 1731–1741, 30 fev. 2008. DOI: 10.1007/s00254-007-0779-6. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00254-007-0779-6>.

PANAGOS, P., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., *et al.* "Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records", *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, p. 4175, 23 dez. 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-04282-8. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/s41598-017-04282-8>.

PANAGOS, P., BORRELLI, P., MEUSBURGER, K., *et al.* "Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European scale", *Environmental Science & Policy*, v. 51, p. 23–34, ago. 2015. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.03.012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2015.03.012>.

PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., MCMAHON, T. A. "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification", *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, v. 4, n. 2, p. 439–473, 1 mar. 2007. Acesso em: 12 out. 2020.

PEROVIĆ, V., ŽIVOTIĆ, L., KADOVIĆ, R., *et al.* "Spatial modelling of soil erosion potential in a mountainous watershed of South-eastern Serbia", *Environmental Earth Sciences*, v. 68, n. 1, p. 115–128, 29 jan. 2013. DOI: 10.1007/s12665-012-1720-1. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s12665-012-1720-1>.

PIRES, M. J. de S. "Estratégia de transformação econômica do centro-oeste: o caminho externo", Texto para Discussão 2504. p. 57, 2019.

RENARD, B. K. G., FOSTER, G. R., WEESIES, G. A., *et al.* "Revised Universal Soil Loss Equation (Rusle)", *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 46, n. 1, p. 30–33, 1991.

RESENDE, M. de J. G. **Distribuição dos solos de Goiás**. Classes de solos dos municípios goianos. Goiânia - GO, EMATER, 2016.

SANTOS, H. G. dos, ALMEIDA, J. A., OLIVEIRA, J. B. de, *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. Brasília, DF, Embrapa Solos, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>.

SANTOS, L. A. C., VIEIRA, L. M. F., MARTINS, P. T. de A., *et al.* "Conflitos de Uso e Cobertura do Solo para o Período de 1985 a 2017 na Bacia Hidrográfica do Rio Caldas-GO", *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 8, n. 2, p. 189–211, 1 maio 2019. DOI: 10.21664/2238-8869.2019v8i2.p189-211. Disponível em: <http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/article/view/2660>.

SILVA, A. M. da, ALVARES, C. A. "Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo", *Geociências*,

v. 24, n. 1, p. 33–41, 2005. Disponível em:

<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/9738/0>.

SOUZA, C. M., Z. SHIMBO, J., ROSA, M. R., *et al.* "Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine", **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 25 ago. 2020. DOI: 10.3390/rs12172735. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735>.

TRINDADE, A. L. F., OLIVEIRA, P. T. S. de, ANACHE, J. A. A., *et al.* "Variabilidade espacial da erosividade das chuvas no Brasil", **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 12, p. 1918–1928, dez. 2016. DOI: 10.1590/s0100-204x2016001200002. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2016001201918&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2016001201918&lng=pt&tlng=pt).

VALERIANO, M. de M., ROSSETTI, D. de F. "Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data", **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 300–309, 1 mar. 2012. DOI: 10.1016/J.APGEOG.2011.05.004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622811000786>. Acesso em: 2 dez. 2019.

WANG, G., GERTNER, G., PARYSOW, P., *et al.* "Spatial prediction and uncertainty assessment of topographic factor for revised universal soil loss equation using digital elevation models", **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 56, n. 1, p. 65–80, jun. 2001. DOI: 10.1016/S0924-2716(01)00035-1. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924271601000351>.

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning**. Agriculture Handbook., nº 537. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, 1978.

## **CAPÍTULO 4 Determinação de áreas prioritárias para recuperação e conservação de acordo com o potencial socioeconômico da bacia do Rio Meia Ponte, no Cerrado brasileiro**

---

### **Resumo**

O Cerrado é um bioma de grande importância para a biodiversidade brasileira mas as atividades antrópicas têm ocasionado significativos prejuízos à sua conservação. Este estudo objetivou definir áreas prioritárias para recuperação e conservação ambiental na UPGRH Meia Ponte, importante bacia hidrográfica localizada no cerrado brasileiro. Essas áreas foram definidas utilizando a metodologia de análise multicriterial (AHP) integradas às ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas – SIG. Foram levadas em consideração 3 variáveis, o potencial de recarga hídrica subterrânea, a vulnerabilidade ambiental e a vulnerabilidade social na bacia hidrográfica. Cerca de um terço da área da UPGRH Meia Ponte possui alto potencial de recarga hídrica, e tais áreas estão concentradas na porção sul da bacia hidrográfica, bem como a vulnerabilidade ambiental, que também é maior na região metropolitana de Goiânia. A bacia hidrográfica possui índice médio de vulnerabilidade social. As áreas prioritárias compõem um quinto da área total da bacia hidrográfica e são maiores em áreas agriculturáveis. A Área de Proteção Ambiental João Leite se destacou por possuir significativas áreas prioritárias para recuperação. O desenvolvimento econômico dos municípios apresentou uma correlação fraca com a contabilização de áreas prioritárias para conservação apresentando coeficiente de correlação de Pearson (0,286). Assim, os impactos socioeconômicos advêm da perda de áreas agriculturáveis, mas os mecanismos de pagamento por serviços ambientais e a compensação ambiental se mostram viáveis para recomposição dessas áreas.

**Palavras-chave:** áreas prioritárias para recuperação e conservação, potencial de recarga hídrica, vulnerabilidade ambiental, vulnerabilidade social, análise multicritério

**Determination of priority areas for recovery and conservation according to the socioeconomic potential of the Meia Ponte River basin, in the Brazilian Cerrado**

## Abstract

The Cerrado is a region of great importance for Brazilian biodiversity, but anthropogenic activities have caused significant damage to its conservation. This study aimed to define priority areas for environmental recovery and conservation in the UPGRH Meia Ponte, an important hydrographic basin of the Brazilian cerrado. These areas were defined using the multicriteria analysis methodology (AHP) integrated with the tools of Geographic Information Systems – GIS. 3 variables were considered: the potential for underground water recharge, the environmental vulnerability and the social vulnerability of the basin. About one third of the UPGRH Meia Ponte has high water recharge potential, and such areas are concentrated in the southern portion of the basin, as well as environmental vulnerability, which is also greater in the metropolitan region of Goiânia. The basin has an average index of social vulnerability. Priority areas make up one-fifth of the total area of the basin and are largest in arable areas. The Environmental Protection Area stood out for having significant priority areas for recovery. The economic development of the municipalities has a significant but weak correlation with the accounting of priority areas for conservation presenting Pearson's correlation coefficient (0.286). Thus, the socioeconomic impacts come from the loss of arable areas, but the mechanisms of payment for environmental services and environmental compensation are viable for the recomposition of these areas.

**Keywords:** priority areas for recovery and conservation, groundwater recharge potential, environmental vulnerability, social vulnerability, multicriteria analysis

## 4.1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é um bioma importante para a biodiversidade no Brasil, com uma variedade de habitats e espécies endêmicas. No entanto, a expansão da agricultura, da pecuária e da mineração, bem como outras atividades humanas, tem causado graves danos ao Cerrado e à sua biodiversidade (BRITO, SILVA, 2019, GOMES, SIMÕES, *et al.*, 2019, KLINK, MACHADO, 2005, SANO, RODRIGUES, *et al.*, 2019). É, portanto, importante identificar áreas prioritárias para recuperação e conservação ambiental na região.

A seleção de áreas prioritárias para recuperação e conservação ambiental é baseada em uma avaliação cuidadosa dos recursos naturais, sociais, econômicos e culturais disponíveis na região. As áreas com elevada biodiversidade, habitats críticos para espécies ameaçadas, regiões com alta vulnerabilidade ambiental ou social, fontes de água importantes, entre outras, são frequentemente identificadas como prioritárias para recuperação e conservação (MMA, 2023,

ROSS, 1994, SANTOS, Thaiane Vanessa Meira Nascente dos, 2016).

Uma das metodologias mais utilizadas para definir as áreas prioritárias para conservação é a Análise de Multicritério (Analytic Hierarchy Process - AHP) criada por Saaty, R.W. (1987). Ela consiste em decompor um problema complexo em uma hierarquia de critérios, subcritérios e alternativas e visa a tomada de decisão. Esses critérios podem incluir fatores como as áreas potenciais para recarga hídrica, o índice de vulnerabilidade ambiental, o índice de vulnerabilidade social, as áreas de proteção legal, dentre outros.(DE ALMEIDA, Franciane Carla, SILVEIRA, et al., 2020, MAFRA, PRADO OSCO, et al., 2020, MESQUITA, SIMÕES, et al., 2020a, NOSSACK, SARTORI, et al., 2011, SILVA, D.C.da C. e, MORO, et al., 2018, UFV, 2018).

As áreas potenciais para recarga hídrica, são localidades onde a água da superfície e da precipitação pluvial encontra ambiente favorável para a percolação no subsolo e atinge o lençol freático, aumentando a reserva subterrânea do aquífero. Essa reserva pode ser permanente ou temporária, sendo a última considerada como reserva reguladora ou renovável e explorável (ARNOLD, MUTTIAH, *et al.*, 2000, KISIKI, BEKELE, *et al.*, 2022a, MAQSOOM, ASLAM, *et al.*, 2022, MELO NETO, CHAGAS, *et al.*, 2013a).

A vulnerabilidade ambiental aplicada à uma bacia hidrográfica é a medida de quão suscetível determinada área é a danos e perda dos recursos ambientais devido a eventos climáticos extremos, erosão, desertificação, mudanças no uso do solo e outros fatores. Para Aquino, Paletta, et al. (2017), a vulnerabilidade ambiental não engloba apenas isso, mas também a compreensão de como qualquer sistema pode se relacionar com outro. Ela é determinada por uma combinação de fatores, incluindo o clima, o tipo de solo, a vegetação, o uso do solo, e a presença de infraestrutura (LEITE, BEREZUK, et al., 2022, SANTOS, M. B., FARIA, 2020, SILVA, M. V. S., SILVA, et al., 2020)

Outro critério é a vulnerabilidade social, que se refere à exposição e sensibilidade de indivíduos, famílias e comunidades aos fatores sociais, econômicos e políticos que afetam negativamente sua segurança, bem-estar e oportunidades de desenvolvimento. Isso pode incluir renda insuficiente, falta de acesso a recursos básicos, discriminação, desigualdade, desemprego, pobreza, más condições de saúde e habitação, entre outros (BARBOSA, GONÇALVES, *et al.*, 2019, COSTA, MARGUTI, 2015, JULIÃO, LIMA, 2020).

Entre as estratégias que podem auxiliar na melhoria das condições ambientais do solo estão as Áreas de Preservação Permanente-APP e para manter a cobertura vegetal a Reserva Legal definidas pelo Código Florestal (BRASIL, 2012). A primeira tem a finalidade preservar

os recursos hídricos, a paisagem, a biodiversidade e o bem-estar público além de mitigar os processos de erosão e deslizamentos, dificultando, assim, o assoreamento de corpos hídricos. A segunda tem o objetivo de garantir o uso sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, preservar e recuperar os processos ecológicos, conservar a biodiversidade e proteger a fauna e flora silvestres e devem ser autodeclaradas no Cadastro Ambiental Rural – CAR (BRASIL, 2012).

No estado de Goiás o entorno dos murundus também foi considerado como áreas de preservação permanente. Murundus trata-se de uma fitofisionomia do Bioma Cerrado que apresenta uma área plana (campo limpo) que é inundável durante o período chuvoso e que contém uma grande quantidade de microrrelevos ou morrotes (murundus) cobertos por vegetação lenhosa típica do cerrado (GOIÁS, 2013)

Os recursos disponíveis, ou seja, os mecanismos para conservar e recuperar as áreas prioritárias também é um fator crucial. A compensação ambiental e o pagamento por serviços ambientais (PSA) são mecanismos que podem ser implementados no âmbito do sistema de licenciamento ambiental do Estado de Goiás (GOIÁS, 2019) para garantir a proteção ambiental das áreas prioritárias para conservação ou recuperação.

O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é um mecanismo financeiro que busca incentivar a conservação e a restauração ambiental por meio da compensação de proprietários ou produtores rurais que se comprometem a preservar ou recuperar serviços ecossistêmicos relevantes. Esses serviços podem incluir a proteção da biodiversidade, a conservação da água, o sequestro de carbono, entre outros (GOIÁS, 2017).

De acordo com a recente Lei Federal nº 14.119/2021, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), a definição é “transação de natureza voluntária, mediante a qual um pagador de serviços ambientais transfere a um provedor desses serviços recursos financeiros ou outra forma de remuneração, nas condições acertadas, respeitadas as disposições legais e regulamentares pertinentes” (BRASIL, 2021).

A compensação ambiental é um instrumento que exige aos empreendimentos com potencial de causar significativo impacto ambiental destinarem recursos financeiros para apoiar a criação e manutenção de unidades de conservação de proteção integral. No Estado de Goiás, esses recursos também são usados para reparar danos causados por impactos ambientais não mitigáveis na fauna, conforme estabelecido pelo artigo 35 da Lei Estadual nº 14.247/2002 (GOIÁS, 2022). Recentemente o Estado de Goiás criou uma lei para utilizar a compensação ambiental na regularização da supressão da vegetação nativa realizada sem a prévia autorização do órgão ambiental competente, conforme a Lei nº 21.231/2022 (GOIÁS, 2022).

A UPGRH Meia Ponte é altamente antropizada e possui poucas áreas de remanescente de vegetação nativa, já que é composta em sua maior parte por pastagens e agricultura. Em razão disso, é de grande importância a definição de áreas prioritárias para restaurar e manter os ganhos ambientais da bacia.

Desse modo, esse trabalho objetivou determinar áreas prioritárias para recuperação e conservação ambiental na unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos do Rio Meia Ponte - GO, baseando-se na análise multicritério e potencial socioeconômico da bacia hidrográfica.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a identificação das áreas prioritárias para recuperação ambiental na UPGRH do rio Meia Ponte utilizou-se uma adaptação da metodologia aplicada na bacia hidrográfica do Alto Araguaia, realizado pela Universidade Federal de Viçosa e financiada pelo Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR) para o Programa Juntos pelo Araguaia (MESQUITA, SIMÕES, *et al.*, 2020b). A escolha desta metodologia foi motivada pelo fato de já ter sido aplicada com sucesso em outra bacia hidrográfica que também possui áreas importantes no estado de Goiás. Além disso, a metodologia é capaz de abranger e integrar diversas variáveis relevantes para o estudo em questão.

A metodologia faz um apanhado de variáveis dos aspectos físicos, sociais e legais da bacia hidrográfica obtendo produtos intermediários como, áreas de recarga hídrica, índice de fragilidade ambiental e vulnerabilidade social e o cruzamento dessas informações para definir as áreas prioritárias para intervenção em áreas de reserva legal, áreas de preservação permanente, em usos e cobertura do solo como pastagens e agricultura.

A metodologia adaptada para este estudo apresenta uma abordagem mais simplificada na aquisição das variáveis de entrada, especialmente no que se refere à determinação do potencial de recarga hídrica. Enquanto Mesquita, Simões *et al.* (2020) utilizam o balanço hídrico com base em dados de precipitação e evapotranspiração, além de outro método específico para determinar o potencial pedogeológico à recarga hídrica, a metodologia adaptada para este estudo é mais ampla e pode ser facilmente replicada em outras áreas.

A metodologia adaptada se vale de um compilado de variáveis já aplicadas em diversas regiões ao redor do mundo. Essas variáveis incluem, por exemplo, dados de precipitação, distância à hidrografia, declividade do terreno, informações geológicas, tipos de solos e

densidade de lineamentos geológicos (KISIKI, BEKELE, et al., 2022b, KUMAR, PANDEY, 2016, MELO NETO, CHAGAS, et al., 2013b, SHAO, HUQ, et al., 2020, VISHWAKARMA, GOSWAMI, et al., 2021). Essa abordagem simplificada torna o processo mais prático e viável para ser aplicado em diferentes áreas, permitindo uma análise abrangente do potencial de recarga hídrica de forma mais rápida e eficiente.

Para a definição dos produtos intermediários, utilizou-se o método de Análise de Multicritério (Analytic Hierarchy Process - AHP) criada por (SAATY, Thomas Lorie, 1977), juntamente com o uso do Sistema de Informações Geográficas com o software QGIS em sua versão 3.22.12-Białowieża. O método AHP, apesar de elaborado há muito tempo, ainda tem sido muito utilizado para definição de diversos estudos ambientais integrados com sistemas de informações geográficas (FRANÇA, MUCIDA, et al., 2020, LIRA, FRANCISCO, et al., 2022, SANTOS, S. D., RABBANI, et al., 2022, VISHWAKARMA, GOSWAMI, et al., 2021a).

#### **4.2.1 Aplicação da análise multicritério - AHP - Analytic Hierarchy**

##### **Process**

O método AHP é uma abordagem útil para a solução de problemas complexos que envolvem múltiplos critérios e objetivos conflitantes na área de tomada de decisões. Ele envolve a divisão do problema em diferentes níveis hierárquicos, cada um com seus próprios critérios e subcritérios específicos. A seguir, os critérios são comparados com base em sua importância relativa, a fim de realizar o processo de tomada de decisão, minimizando assim suas limitações. Para aplicar a análise multicritério em geoprocessamento, é necessário definir os critérios e variáveis relevantes do estudo, atribuindo pesos ou importâncias para cada critério, com base em sua relevância para o objetivo final do estudo.

Neste estudo, a importância para cada critério foi atribuída com base na literatura científica, como (ROSS, 1994), (CREPANI, MEDEIROS, *et al.*, 1996, 2001), (CEREDA JUNIOR, RÖHM, 2014). Para a determinação da influência de cada critério, foi utilizada a escala padrão de 1 a 9, em que 1 representa igualdade e 9 a influência extrema em comparação ao outro critério (SAATY, R. W., 1987). A Tabela 12 apresenta essa escala, que deve ser utilizada para o estabelecimento de uma matriz de comparação dupla (em pares) a fim de identificar o impacto de cada fator no processo a ser analisado.

Tabela 12 - Escala padrão da importância relativa atribuída aos critérios.

ÍNDICE DA ESCALA	DEFINIÇÃO	ÍNDICE RECÍPROCO	DEFINIÇÃO
1	Igual Importância	1/1	Igual Importância
3	Moderadamente mais importante	1/3	Moderadamente menos importante
5	Mais importante	1/5	Menos importante
7	Fortemente mais importante	1/7	Fortemente menos importante
9	Extremamente mais importante	1/9	Extremamente menos importante
2,4,6,8	Valores intermediários entre os dois julgamentos adjacentes		

Fonte: (SAATY, R.W., 1987).

Depois de preencher a matriz, o método AHP utiliza uma série de cálculos matemáticos para determinar a importância relativa de cada critério e subcritério com base nas preferências relativas indicadas na matriz. Esses cálculos envolvem o uso de álgebra linear e análise de matrizes. Primeiro foi realizada a média ponderada das linhas da matriz e a normalização desses, para que os valores somem 1. Esses valores são chamados de autovetores, ou seja, o vetor de pesos que indicam a importância relativa dos critérios.

Depois, foi realizado o cálculo do Índice de Consistência (IC) e a Razão de Consistência (RC), em que é avaliada a consistência da matriz de comparação por pares. Se o índice RC for menor ou igual a 0,1, a matriz é considerada consistente. Caso contrário, é necessário revisar as comparações realizadas.

Os mapas temáticos armazenados em estruturas vetoriais foram todos convertidos para estrutura matricial.

Além disso, cada mapa temático já em estrutura matricial teve seus valores de classes normalizados entre 0 e 1 por meio da utilização de ferramenta de lógica fuzzy.

O algoritmo de lógica fuzzy transforma o dado matricial categórico e booleano em um dado matricial fuzzy, onde os dados categóricos assumem valores contínuos entre 0 e 1, após a aplicação de uma função de associação difusa linear. O valor de 0 implica a não associação com o conjunto difuso definido, um valor de 1 representa associação completa.

A partir da utilização de álgebra de mapas os valores dos pesos para cada classe temática foram trabalhados em cada célula dos dados matriciais.

Os produtos intermediários obtidos são as áreas potenciais de recarga hídrica, o índice de vulnerabilidade ambiental e o índice de vulnerabilidade social e a integração espacial de ambos que resulta no índice de vulnerabilidade socioambiental.

## 4.2.2 Áreas potenciais para recarga hídrica

As áreas potenciais para recarga hídrica foram determinadas utilizando-se seis variáveis ambientais, sendo elas: precipitação, distância à hidrografia, declividade, geologia, tipo de solos e densidade de lineamentos geológicos (Figura 14). As variáveis foram selecionadas a partir de um compilado das variáveis mais aplicadas na literatura para definição de áreas potenciais para recarga hídrica subterrânea (KISIKI, BEKELE, *et al.*, 2022b, KUMAR, PANDEY, 2016, MELO NETO, CHAGAS, *et al.*, 2013b, SHAO, HUQ, *et al.*, 2020, VISHWAKARMA, GOSWAMI, *et al.*, 2021b) e a partir da disponibilidade da base de dados (Quadro 2).

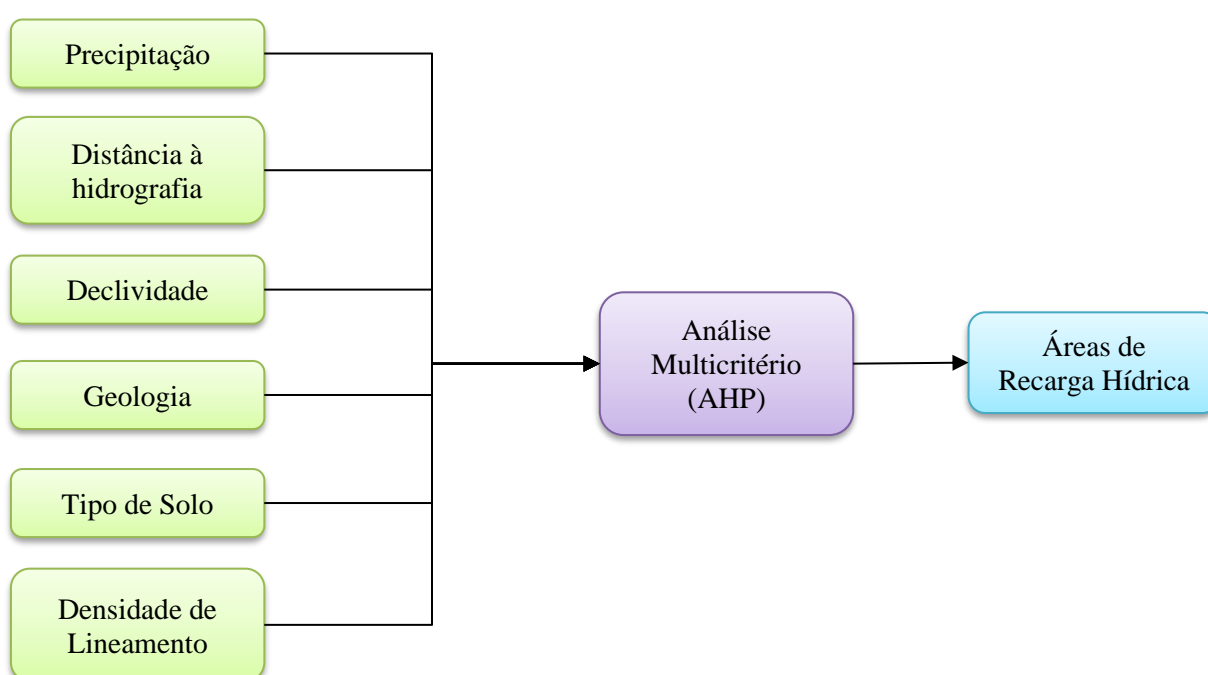


Figura 14 - Fluxograma das etapas para criação do mapa de áreas de recarga hídrica subterrânea na UPGRH Meia Ponte.

Quadro 2 - Detalhes dos dados coletados para obtenção do potencial de recarga hídrica, fontes e sua finalidade.

PARÂMETROS	FORMATO/ESCALA/RESOLUÇÃO	FONTE	PRODUTO
Precipitação	Série Histórica / 1978 a 2017	HidroWEB (ANA, 2020b)	Mapa de Precipitação
Hidrografia	Vetorial / 1:1.000.000	BHO 2017 50k (ANA, 2017)	Mapa de Distância à hidrografia
Tipo de Solos	Vetorial / 1:250.000	EMATER (RESENDE, 2016)	Mapa de tipo de solos
MDE - SRTM	Matricial (30m de resolução espacial)	Topodata INPE (VALERIANO, ROSSETTI, 2012)	Mapa de Declividade
Geologia / Hidrogeologia	Vetorial / Escala 1:1.000.000	CPRM Goiás (MORAES, 2014)	Mapa de Geologia / Hidrogeologia
Lineamento	Vetorial / 1:500.000	SIEG -IMB (SIEG, 2009)	Mapa de Densidade de Lineamento

É de extrema importância ressaltar, neste estudo, que as variáveis de entrada utilizadas para produzir os índices intermediários para definir as áreas prioritárias para recuperação e conservação estão disponíveis para acesso público. Entretanto, é preciso estar ciente de que essas variáveis foram obtidas de fontes diversas e podem possuir escalas diferentes, o que pode levar a erros de generalização na análise geográfica. Ao aplicar as variáveis em diferentes escalas, é importante considerar também as incertezas associadas a cada uma delas.

#### **4.2.2.1 Precipitação**

A precipitação é um fator importante que inicia a recarga hídrica em qualquer área. A água resultante do processo de precipitação atinge os aquíferos através das áreas de recarga hídrica e move-se em função dos gradientes hidráulicos, decorrentes da variação de declividade do terreno e das condutividades hidráulicas dos solos e rochas, em direção às áreas de descarga sendo fonte da recarga direta dos aquíferos.

Neste estudo os dados de precipitação foram obtidos a partir da série histórica de 40 anos, desde 1978 a 2017 disponível na base de dados da ANA – Agência Nacional de Água e Saneamento (2020) em 15 estações pluviométricas (Tabela A – 2; Apêndice A) que influenciam a área de estudo. O mapa temático da precipitação média anual para a UPGRH Meia Ponte foi interpolado pelo método Inverse Distance Weighting (IDW) e como resultado teve-se um arquivo do tipo raster.

O mapa da precipitação média anual para a UPGRH Meia Ponte é ilustrado na Figura 15. Em toda a bacia, as precipitações variam entre 1193 a 1640 mm/ano. Posteriormente, a precipitação foi reescalada de 0 a 1, com o objetivo de alocar zonas de recarga em locais de maior pluviosidade.

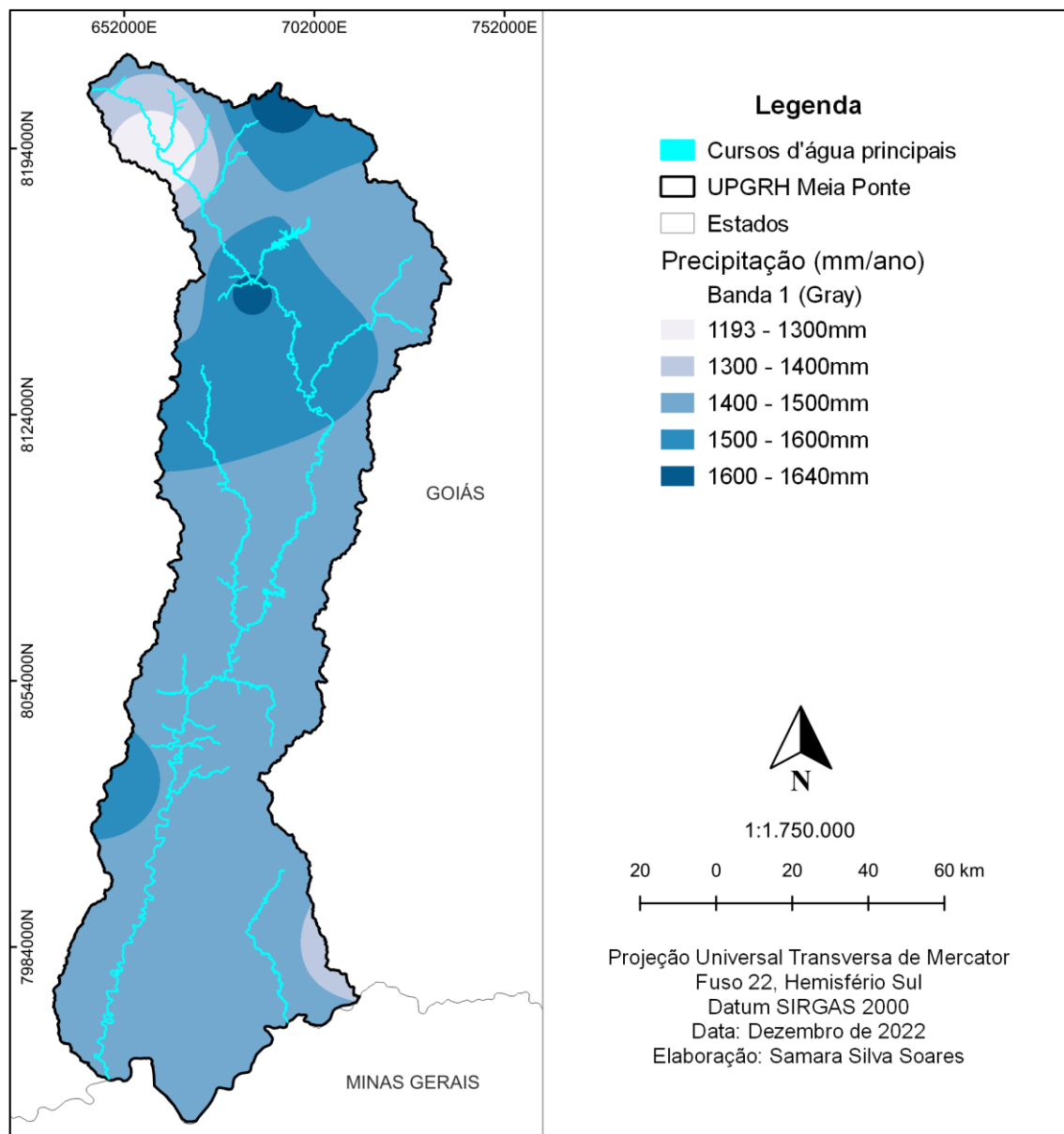


Figura 15 – Precipitação média anual da UPGRH Meia Ponte.

#### 4.2.2.2 Distância à hidrografia

A distância entre um ponto na superfície do solo e a linha de água mais próxima, seja um rio, córrego ou lago, é o que chamamos de distância à hidrografia (Figura 16). Em regiões mais elevadas do relevo, onde há infiltração, a água infiltrada chega aos cursos d'água com maior retardo, devido ao aumento do comprimento da vertente. Essa infiltração favorece a água subterrânea, que abastecerá nascentes e mananciais em períodos de maior déficit hídrico.

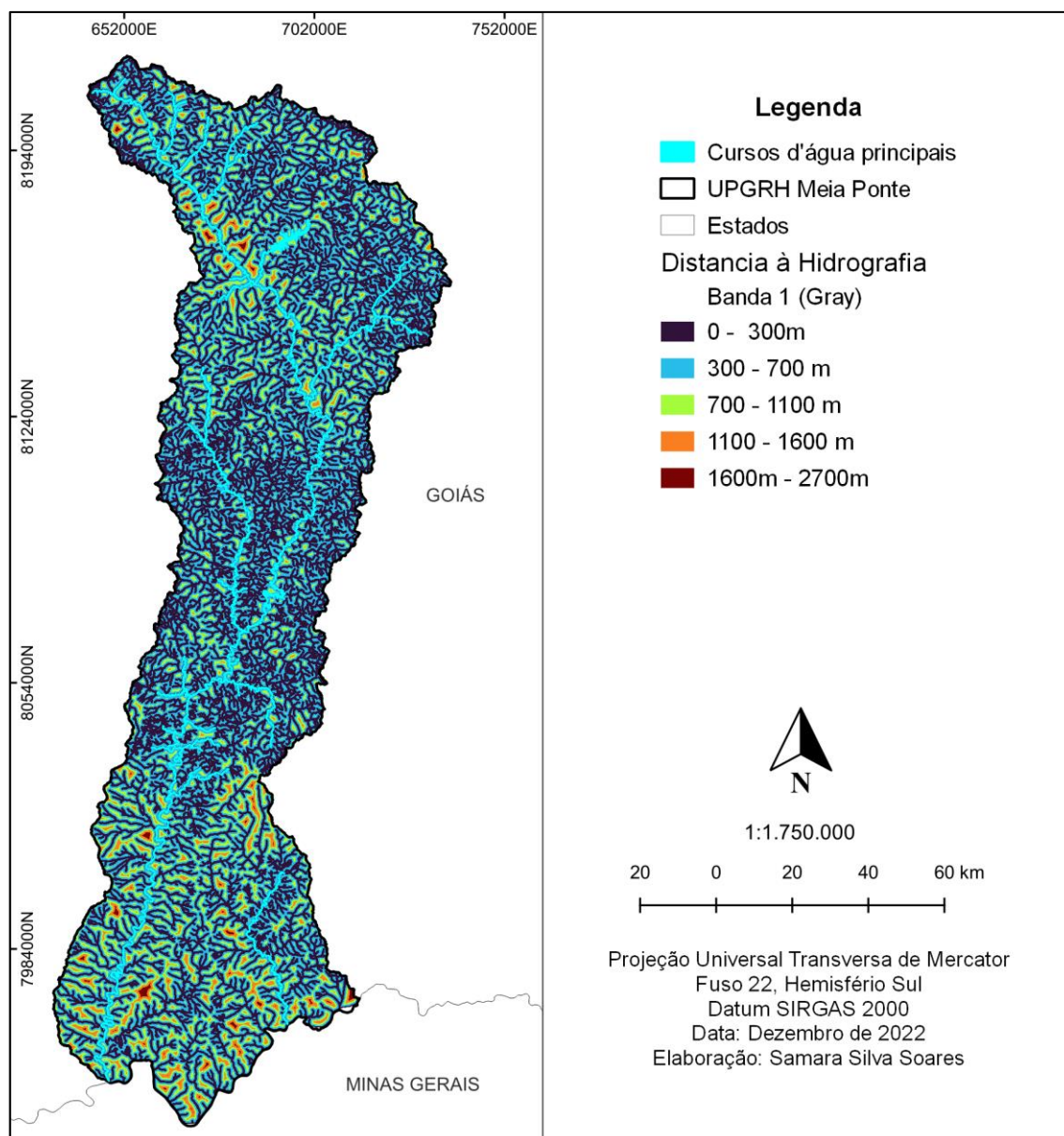


Figura 16 – Distância à hidrografia em metros da UPGRH Meia Ponte.

Estudos mostram que a recarga das águas subterrâneas pode ocorrer a distâncias maiores em relação às drenagens, ou seja, a infiltração em regiões mais distantes da hidrografia, como nas chapadas e divisores tabulares, contribui para a percolação profunda de água, favorecendo a recarga e estabilização de aquíferos profundos (AHMED, SAJJAD, 2018, MAQSOOM, ASLAM, *et al.*, 2022).

No entanto, com o objetivo de alocar a recarga nos topos de morros do embasamento cristalino e patamares elevados, foi realizado um reescalonamento considerando uma função triangular e a altitude de 650 m como ponto de inflexão, como proposto por (MESQUITA, SIMÕES, *et al.*, 2020a). Dessa forma, pontos com valores de distância à drenagem de 0 a 650

m foram reescalados de 0 a 1, e valores de 650 m a 2.700 m foram reescalados de 1 a 0, (Figura 23).

#### **4.2.2.3 Declividade**

A declividade foi utilizada na definição das áreas de recarga, pois ela influencia diretamente no processo de infiltração da água no solo. A infiltração tende a ser maior em áreas planas do que nas declivosas, pois estas tendem a ter uma maior velocidade de escoamento da superfície (FANG, SUN, *et al.*, 2015).

O mapa de declividade foi obtido a partir do MDE do SRTM de 30 metros de resolução espacial, melhorado pelo projeto TOPODATA INPE (VALERIANO, ROSSETTI, 2012). Cerca de 65% da UPGRH Meia Ponte apresenta valores baixos de declividade (de 0% a 8%), o que indica a predominância de relevos do tipo plano a suave-ondulado (Figura 17).

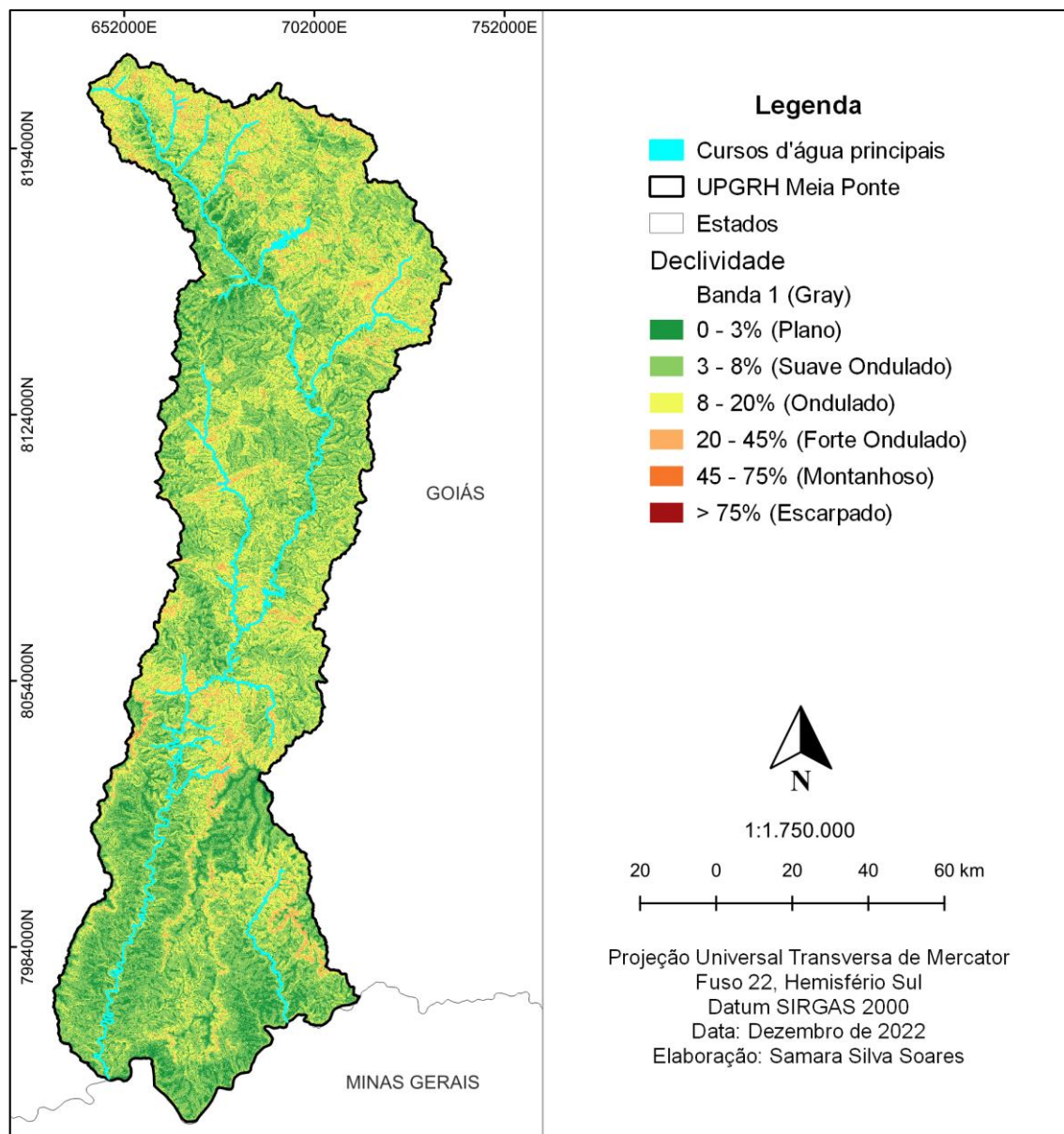


Figura 17 – Mapa de declividade classificado em porcentagem (%) de acordo com a Embrapa (2018) da UPGRH Meia Ponte.

Os valores de declividade também foram reescalados para o intervalo de 0 e 1, de maneira inversamente proporcional, com fim de alocar zonas de recarga em locais mais planos, ou seja valores mais baixos próximo de 1 e valores mais altos próximo de 0. Antes do reescalonamento, aqueles valores superiores a 70% foram convertidos para 70% a fim de reduzir os valores extremos pouco frequentes (MESQUITA, SIMÕES, *et al.*, 2020a).

#### 4.2.2.4 Geologia / Hidrogeologia

As litologias principais que formam o substrato desta bacia hidrográfica são, na região norte, os granulitos granitóides, granitos e gnaisses do Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu (21%); na região central, os, xistos e quartzitos do Grupo Araxá (30%); na porção sul, os

basaltos da Formação Serra Geral (28%) e ortogneisse tonalítico da Unidade Ortognaisses do Oeste de Goiás (12%) (Figura 18).

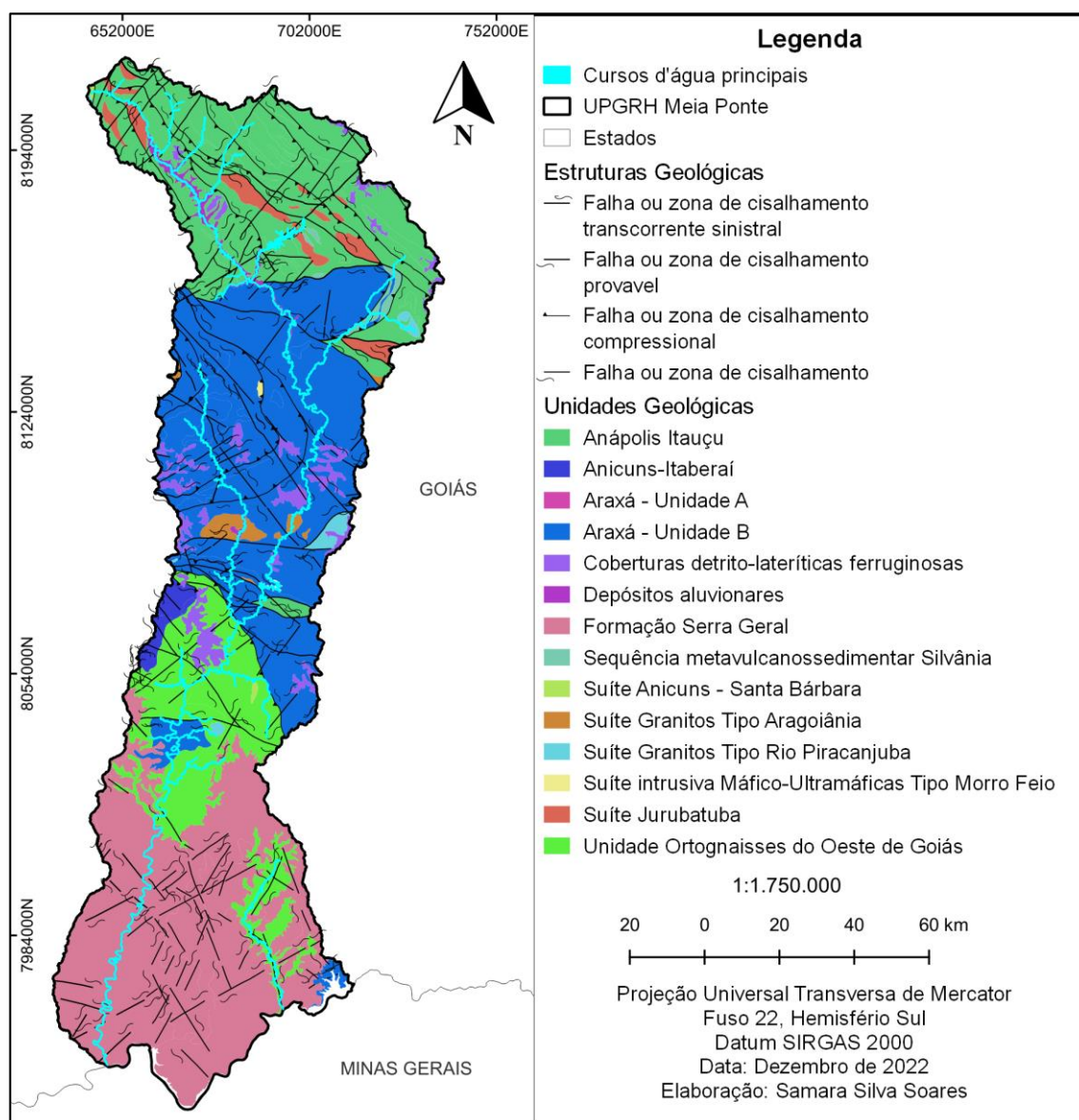


Figura 18 – Mapa das unidades geológicas da UGRH Meia Ponte.

Em relação aos sistemas de aquíferos profundos que compõem a UGRH Meia Ponte, todos são de domínio fraturado. Dentre eles tem-se o SASG – Sistema Aquífero Serra Geral (basalto); o SAAX – Sistemas de aquíferos Araxá (xistos); SACSE – Sistema de Aquífero Cristalino Sudeste (Granulitos); e uma pequena fração do SACA – Sistema de Aquíferos dos Complexos Acamados (Figura 19).

Nos basaltos da Formação Serra Geral, a circulação e reserva de água subterrânea estão condicionadas aos planos de falhas e fraturas da rocha que dão origem ao Sistema Aquífero Serra Geral. O Sistema Aquífero Araxá (SAAX) compreende o conjunto litológico do Grupo

Araxá, predominantemente de micaxistos, com menor contribuição de quartzitos, anfibolitos e rochas ultramáficas. O Sistema Aquífero Cristalino Sudeste (SACSE) engloba rochas associadas ao Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu, granitóides, granitos e gnaisses situados a sul da Sintaxe dos Pirineus até o extremo sudeste do estado (ALMEIDA, Leonardo de, RESENDE, *et al.*, 2006).

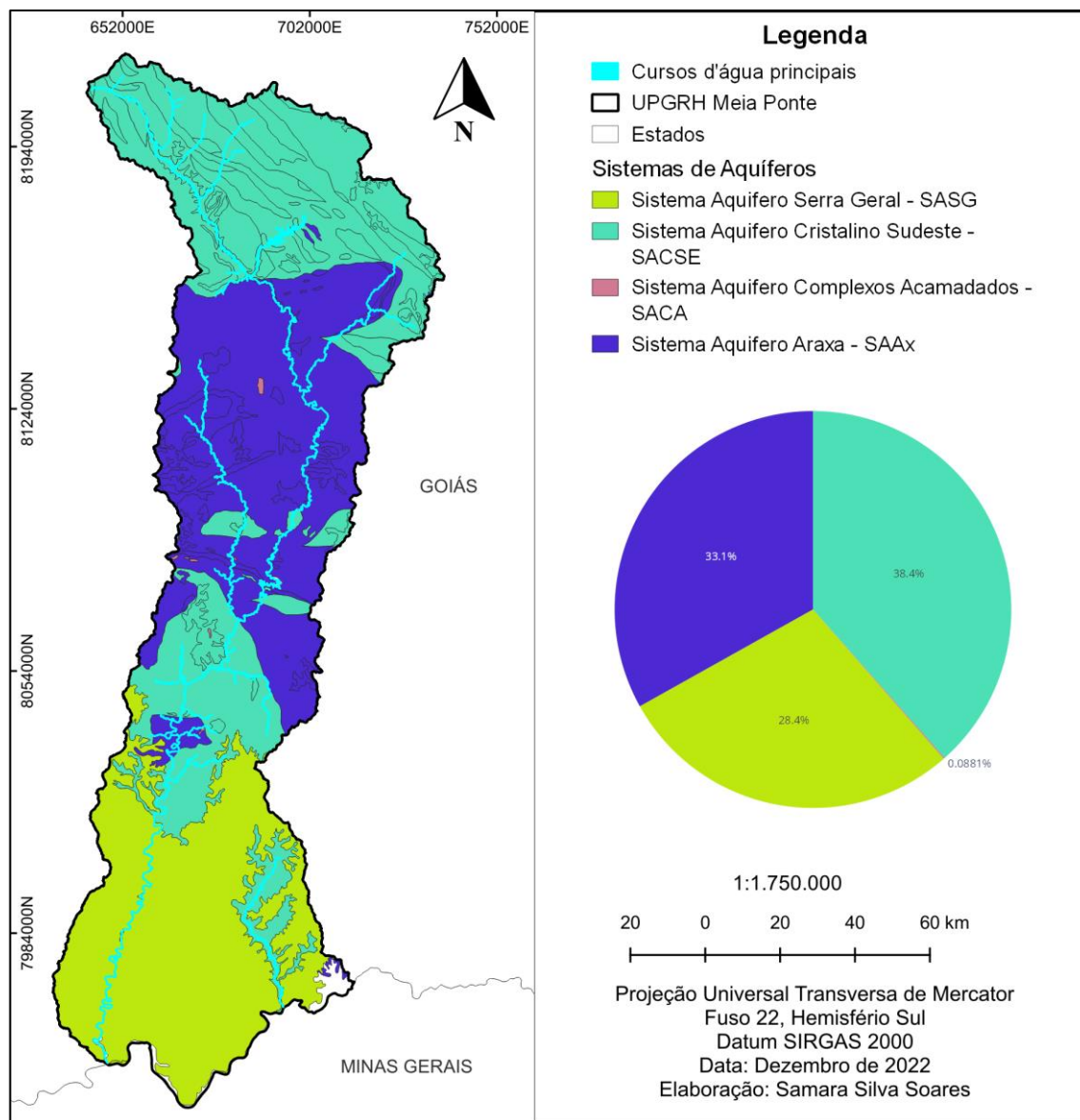


Figura 19 – Mapa dos sistemas de aquíferos profundos da UPGRH Meia Ponte e a respectiva contribuição das áreas.

Como o sistema de aquífero em toda a área da bacia hidrográfica possui embasamento fraturado, e a litologia é de baixa porosidade, os pesos para a variável de Geologia/Hidrogeologia foram baseados na intensidade do fraturamento da rocha, que é fundamental para a infiltração da água e recarga dos aquíferos. Os pesos foram atribuídos de

acordo com a Tabela 13 com valores variando de 0 a 4 referentes a rochas não fraturadas até intensamente fraturadas com distribuição regular (Figura 20).

Tabela 13 - Pesos atribuídos para a variável categórica de Geologia / Hidrogeologia para obtenção das áreas de recarga na UPGRH Meia Ponte.

EMBASAMENTO DA HIDROGEOLOGIA	PESOS
Não fraturada	0
Pouco a Moderadamente Fraturada (Distribuição Irregular)	1
Moderadamente a Intensamente fraturada (Distribuição Irregular)	2
Intensamente Fraturada (Distribuição Irregular)	3
Intensamente Fraturada (Distribuição Regular)	4

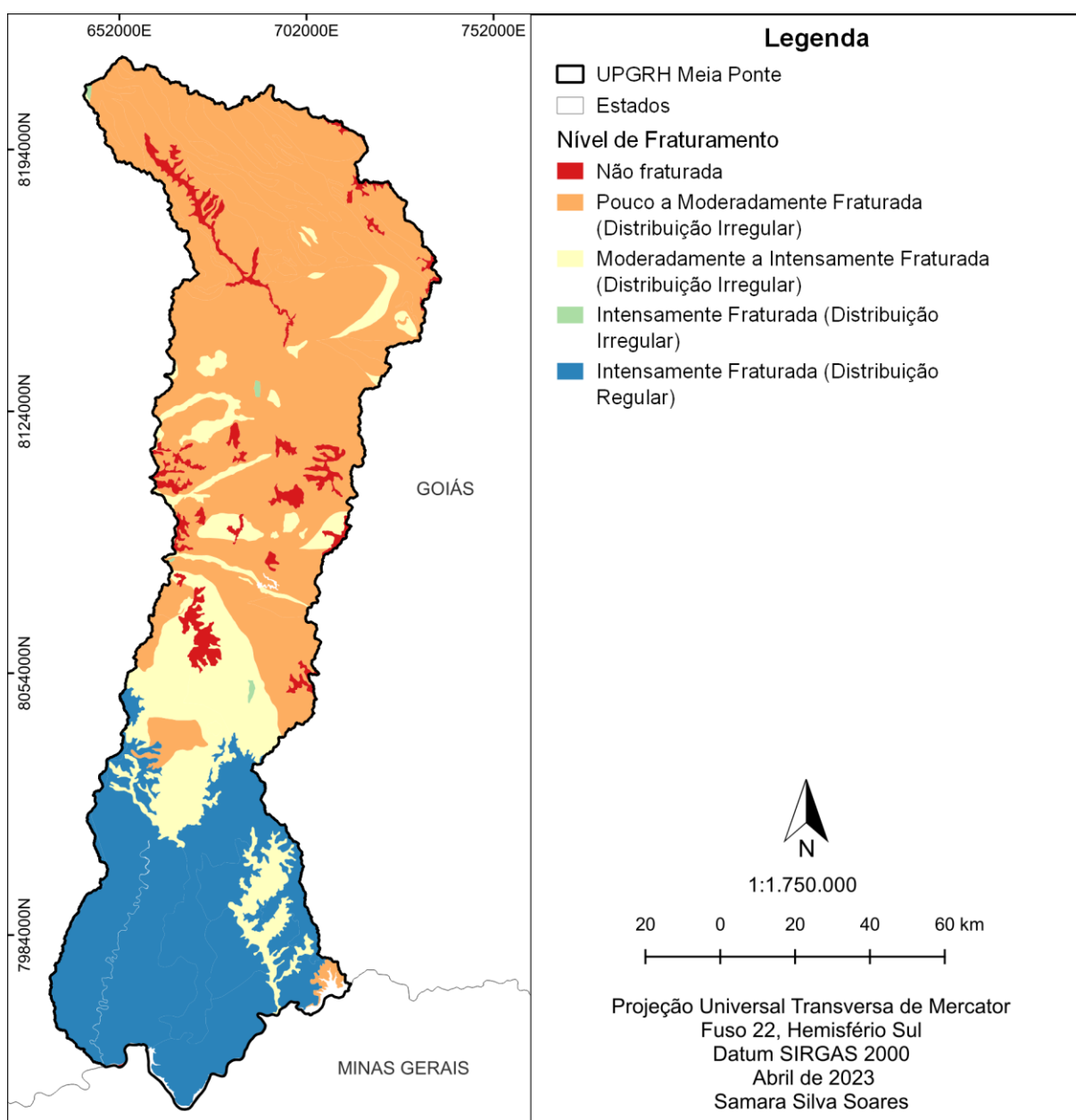


Figura 20 – Mapa do nível de fraturamento da litologia da UPGRH Meia Ponte e a respectiva contribuição das áreas.

#### 4.2.2.5 Tipo de solo

A UPGRH Meia Ponte (Figura 21) é predominantemente composta por Latossolos, representando cerca de 65% da área total. Em seguida, encontram-se Argissolos com aproximadamente 19,5% da área, Cambissolos com 7,5% e há poucas formações das classes de Nitossolos, Neossolos e Gleissolos."

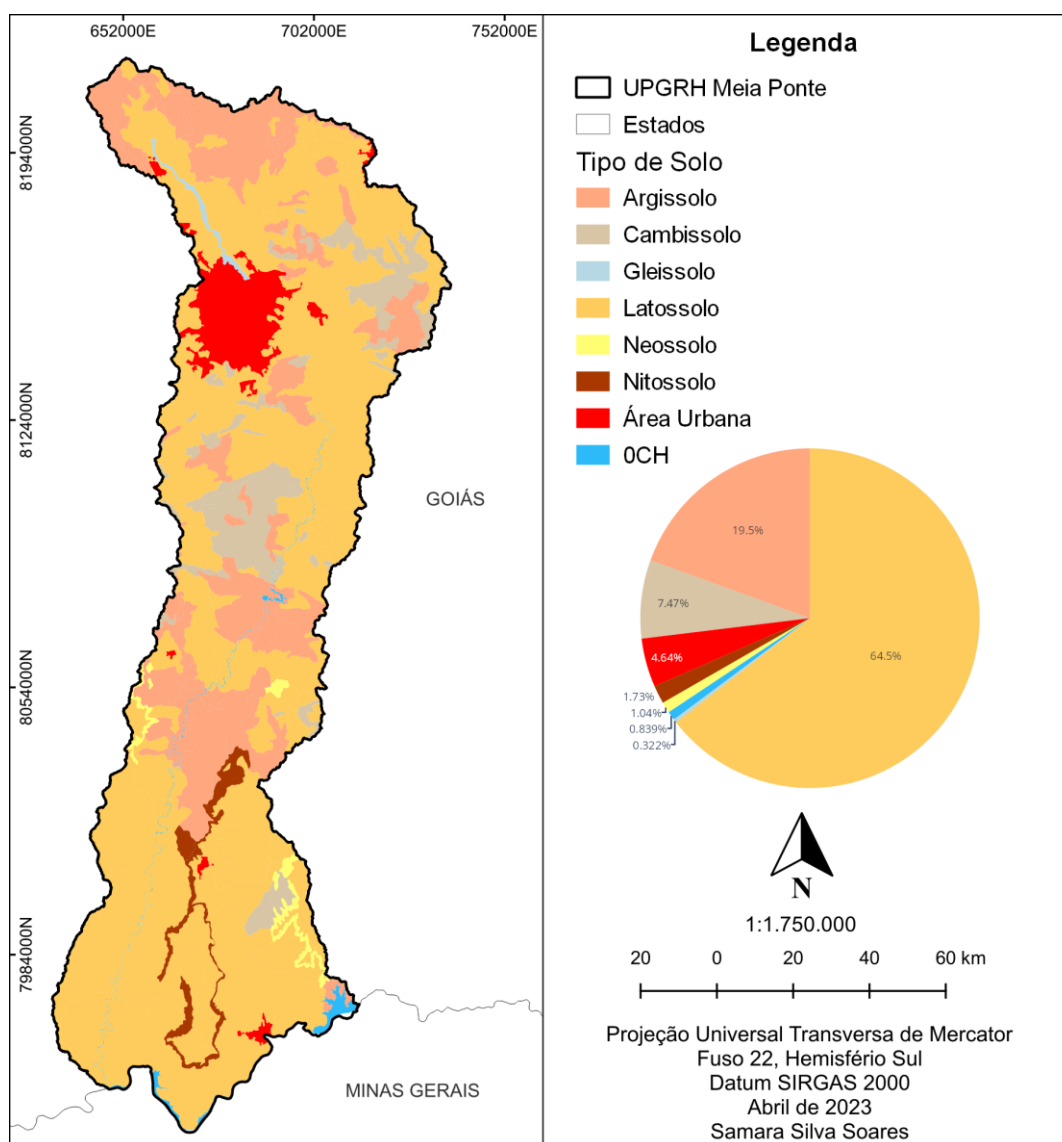


Figura 21 – Mapa dos tipos de solos da UPGRH Meia Ponte. Fonte: Resende 2016.

Os pesos referentes ao tipo de solo que menos ou mais contribui para infiltração da água na UPGRH Meia Ponte, foram escalonados de acordo com Ross (1994) e atribuídos conforme a Tabela 14 com valores variando de 0 a 5.

Tabela 14 - Pesos atribuídos para a variável categórica de tipo de solos para obtenção das áreas de recarga na UPGRH Meia Ponte.

TIPO DE SOLO	PESOS
Corpo hídrico	0
Área urbana	1
Gleissolos	2
Cambissolos	2
Nitossolos	3
Argissolos	3
Neossolos	4
Latosolos	5

#### **4.2.2.6 Densidade de Lineamento**

O mapa de densidade de lineamentos (Figura 22) foi elaborado a partir do vetor de lineamentos geológicos aplicando análise espacial de densidade. A densidade de lineamento variou de 0 a 5.278,36 (km/km<sup>2</sup>).

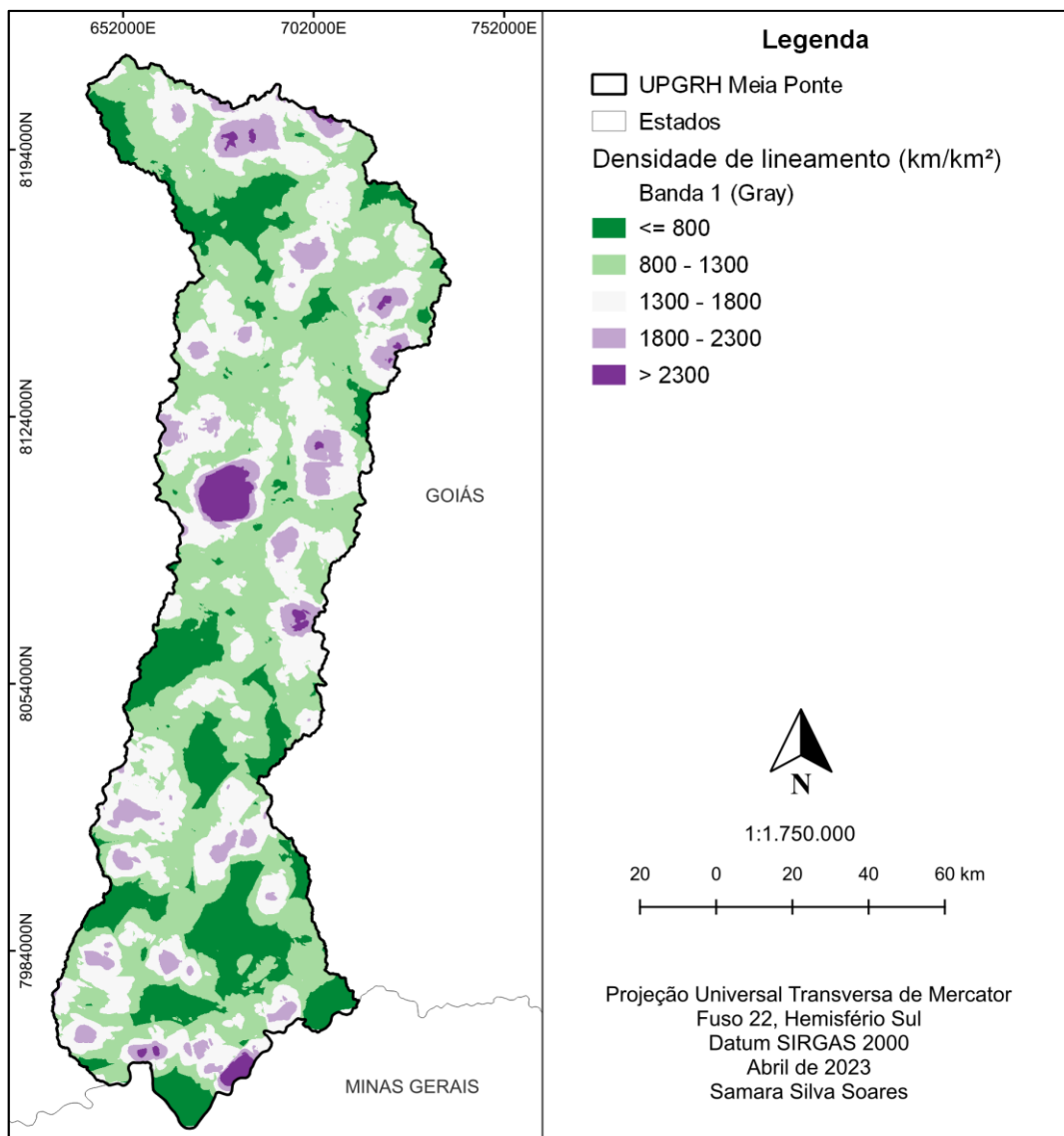


Figura 22 - Mapa da densidade de lineamento da UPGRH Meia Ponte.

O vetor de lineamento utilizado como variável, foi produzido em 2006 para o levantamento hidrogeológico do Estado e disponibilizado juntamente com os dados do mapa geológico do Estado de Goiás e Distrito Federal. Ele foi dividido em classes de acordo com a extensão de cada lineamento ((MOREIRA, MORETON, *et al.*, 2008).

#### 4.2.2.7 Análise multicritério AHP para as áreas de recarga

Finalmente, depois de reunir todas as variáveis para a UPGRH Meia Ponte, atribuir os pesos para as variáveis categóricas, gerar os mapas em estrutura matricial para cada variável, reescalonar as 6 variáveis a partir de análise fuzzy, em valores contínuos variando de 0 a 1, foi elaborado o mapa potencial para recarga hídrica na bacia hidrográfica a partir dos pesos relativos atribuídos pelo método AHP aplicado. A Tabela 15 apresenta a matriz de comparação dos critérios utilizada na obtenção das áreas de recarga da UPGRH Meia Ponte.

Tabela 15 - Pesos relativos da análise AHP para obtenção das áreas de recarga na UPGRH Meia Ponte.

<b>Pesos relativos - AHP</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Distância à hidrografia</b>	<b>Declividade</b>	<b>Geologia</b>	<b>Tipo de Solos</b>	<b>Densidade de lineamento</b>
Precipitação	1,00	3,00	1,00	2,00	2,00	3,00
Distância à hidrografia	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00
Declividade	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	4,00
Geologia/Litologia	0,50	1,00	0,50	1,00	2,00	2,00
Tipo de Solos	0,50	1,00	0,50	0,50	1,00	2,00
Densidade de lineamento	0,33	0,50	0,25	0,50	0,50	1,00

A multiplicação dos mapas da Figura 23, com seus respectivos pesos, resultou na classificação do potencial de recarga hídrica na UPGRH Meia Ponte. O potencial de recarga hídrica foi classificado em 3 níveis: baixo, médio e alto potencial. O mapa do potencial de recarga está apresentado na seção de Resultados e Discussão da página 139.

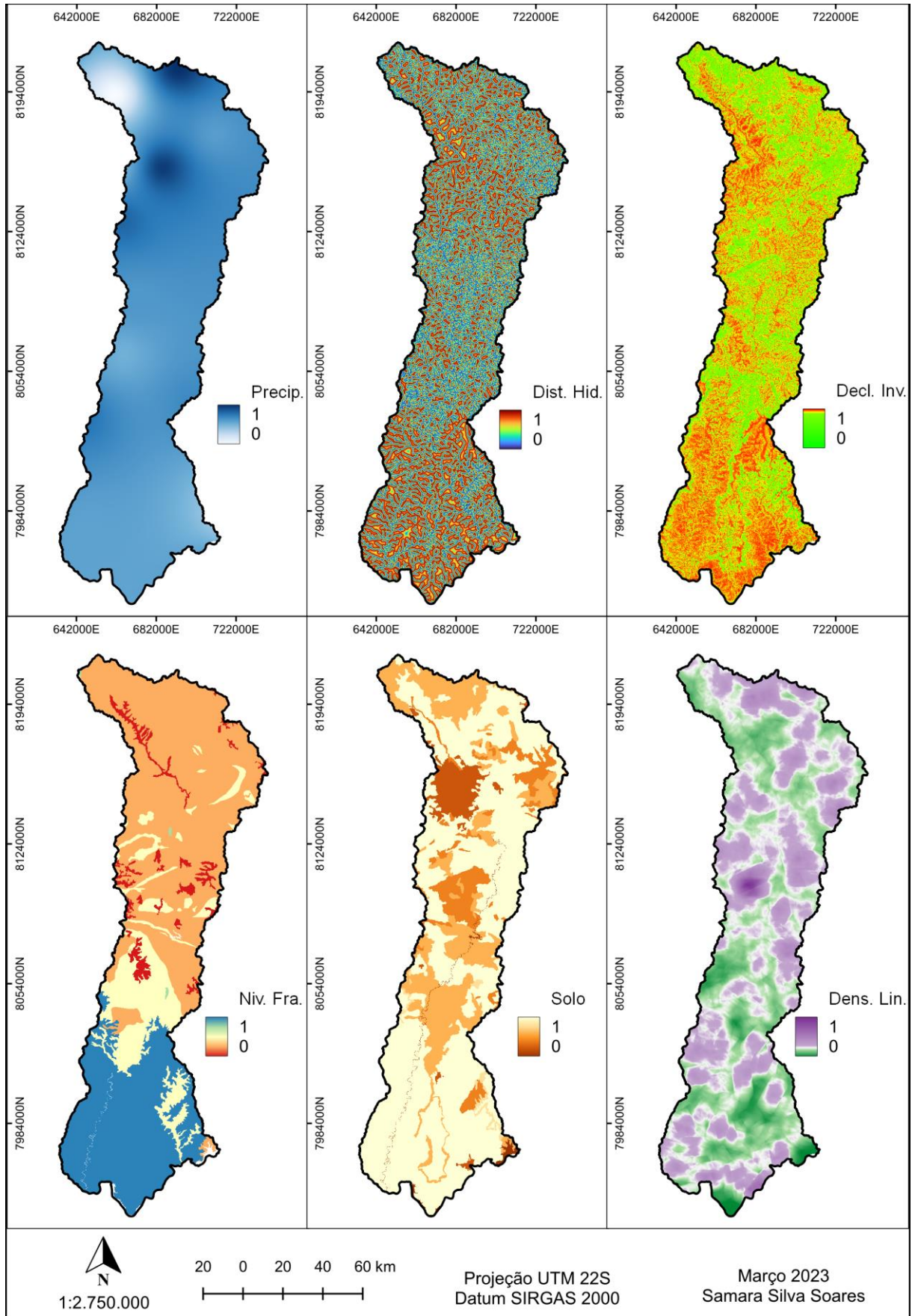


Figura 23 – Mapa das seis variáveis normalizadas pela função fuzzify associação linear

A Tabela 16 apresenta a estimativa da importância relativa das variáveis (Pesos finais), a ordem de importância e a razão e consistência da matriz de comparação. O valor da razão de consistência (0,026) foi menor que 0,1, indicando que os critérios da matriz de comparação aos pares foram definidos de forma consistente.

Tabela 16 - Pesos finais atribuídos a cada critério, ordem de importância e razão de consistência da análise AHP para obtenção das áreas de recarga hídrica subterrânea na UPGRH Meia Ponte.

<b>Critério</b>	<b>Pesos finais (%)</b>	<b>Classificação</b>	<b>Razão de Consistência (RC)</b>
Precipitação	27%	1°	0,026
Distância à hidrografia	14%	4°	
Declividade	24%	2°	
Geologia/Litologia	16%	3°	
Tipo de Solos	12%	5°	
Densidade de lineamento	7%	6°	

### 4.2.3 IVS – Índice de Vulnerabilidade Social

Segundo Costa e Marguti (2015), a vulnerabilidade social é caracterizada pela falta de acesso ou disponibilidade insuficiente de bens e serviços públicos essenciais. Essa definição é útil para identificar as áreas em que há falhas na provisão desses bens e serviços.

Geralmente a vulnerabilidade social é aplicada na escala de divisão territorial de municípios, os quais pretendem definir as áreas que mais necessitam de investimentos e melhorias (BARBOSA, GONÇALVES, *et al.*, 2019, JULIÃO, LIMA, 2020). Muitos estudos têm relacionado a vulnerabilidade social com a fragilidade ambiental para avaliar a suscetibilidade a riscos (MEDEIROS, 2018, REIS, RIBEIRO, *et al.*, 2020). Um ambiente frágil é suscetível à manifestação de fenômenos naturais que podem desencadear uma situação de crise. Nesse contexto, é necessário que haja uma condição de vulnerabilidade social, ou seja, uma situação em que a sociedade não tenha capacidade adequada de resposta a essa situação. A distribuição desigual da população no território pode facilmente levar a situações de alta vulnerabilidade aos riscos, em que tanto a fragilidade ambiental quanto a vulnerabilidade social se manifestam (SANTOS, Jader de Oliveira, 2015).

Nesse estudo o índice de vulnerabilidade social também foi calculado utilizando as mesmas variáveis do estudo aplicado na bacia hidrográfica do Alto Araguaia, realizado pela Universidade Federal de Viçosa para o Programa Juntos pelo Araguaia (MESQUITA, SIMÕES, *et al.*, 2020b). Eles também basearam a metodologia no estudo de Costa e Marguti (2015) que produziu um atlas de vulnerabilidade social para os municípios brasileiros.

Para tanto, foi utilizado a base de dados do censo do IBGE de 2010 e o índice foi obtido para os municípios selecionados com base na distribuição das informações sociodemográficas por setores censitários. Segundo IBGE (2011), o setor censitário é a menor unidade territorial contínua, localizada em áreas urbanas ou rurais, cuja área é suficiente para realizar pesquisas.

O índice foi estrutura de forma a compor três subíndices (capital humano, infraestrutura e moradia e renda), em que o índice final é obtido pela média ponderada desses indicadores. Os indicadores foram determinados a partir de 16 variáveis socioeconômicas e demográficas para um total de 3.219 setores censitários para 38 municípios que integram a maior parte do seu território na UPGRH Meia Ponte. Dessas variáveis, seis foram agrupadas para compor o subíndice “Capital Humano” (Grupo A), seis agregadas para compor o subíndice “Infraestrutura e Moradia” (Grupo B) e quatro foram agregadas para compor o subíndice “Renda” (Grupo C). O fluxograma da Figura 24 apresenta as etapas para criação do mapa de vulnerabilidade social na UPGRH Meia Ponte.

Os resultados dos valores médios dos indicadores utilizados no cálculo do IVS, para os setores censitários dos municípios da UPGRH Meia Ponte, por grupo (A, B e C), podem ser conferidos na Tabela 17.

A metodologia utilizada para determinar cada indicador para a UPGRH Meia Ponte está detalhada nos itens subsequentes.

Tabela 17 – Valores de mínimo, média e máximo das variáveis que compoem o índice de vulnerabilidade social por setores censitários da UPGRH Meia Ponte.

<b>Grupos</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>
GRUPO A Capital Humano	1. % de pessoas não alfabetizadas entre 5 a 14 anos	0	0,1259	1
	2. % de crianças (pessoas com até 15 anos)	0	0,2379	0,4865
	3. % de idosos (pessoas com mais de 65 anos)	0	0,0629	0,4307
	4. % de mulheres chefes de família não alfabetizadas	0	0,0904	1
	5. % de pessoas com 15 anos ou mais não alfabetizadas	0	0,0546	0,3843
	6. % de pessoas negras ou pardas	0	0,5217	0,9814
GRUPO B Infraestrutura e Moradia	7. Localização da moradia (rural ou urbana)	0	0,0721	1,0000
	8. % de moradias com destinação inadequada de esgoto	0	0,5435	1,0000
	9. % de moradias sem acesso a rede geral de distribuição de água	0	0,2320	1,0000
	10. % de famílias com condição de moradia inadequada	0	0,0026	0,7333
	11. % de domicílios sem acesso a rede geral de energia elétrica	0	0,0016	0,1667
	12. % de imóveis não próprios	0	0,3769	1,0000
GRUPO C Renda	13. % de pessoas com rendimento de até 1 salário-mínimo (de 2010)	0	0,2453	0,6973
	14. % pessoas responsáveis sem rendimentos	0	0,0380	0,2500
	15. % pessoas sem rendimento	0	0,3138	0,8913
	16. % de famílias dependentes de idosos	0	0,0454	0,1667

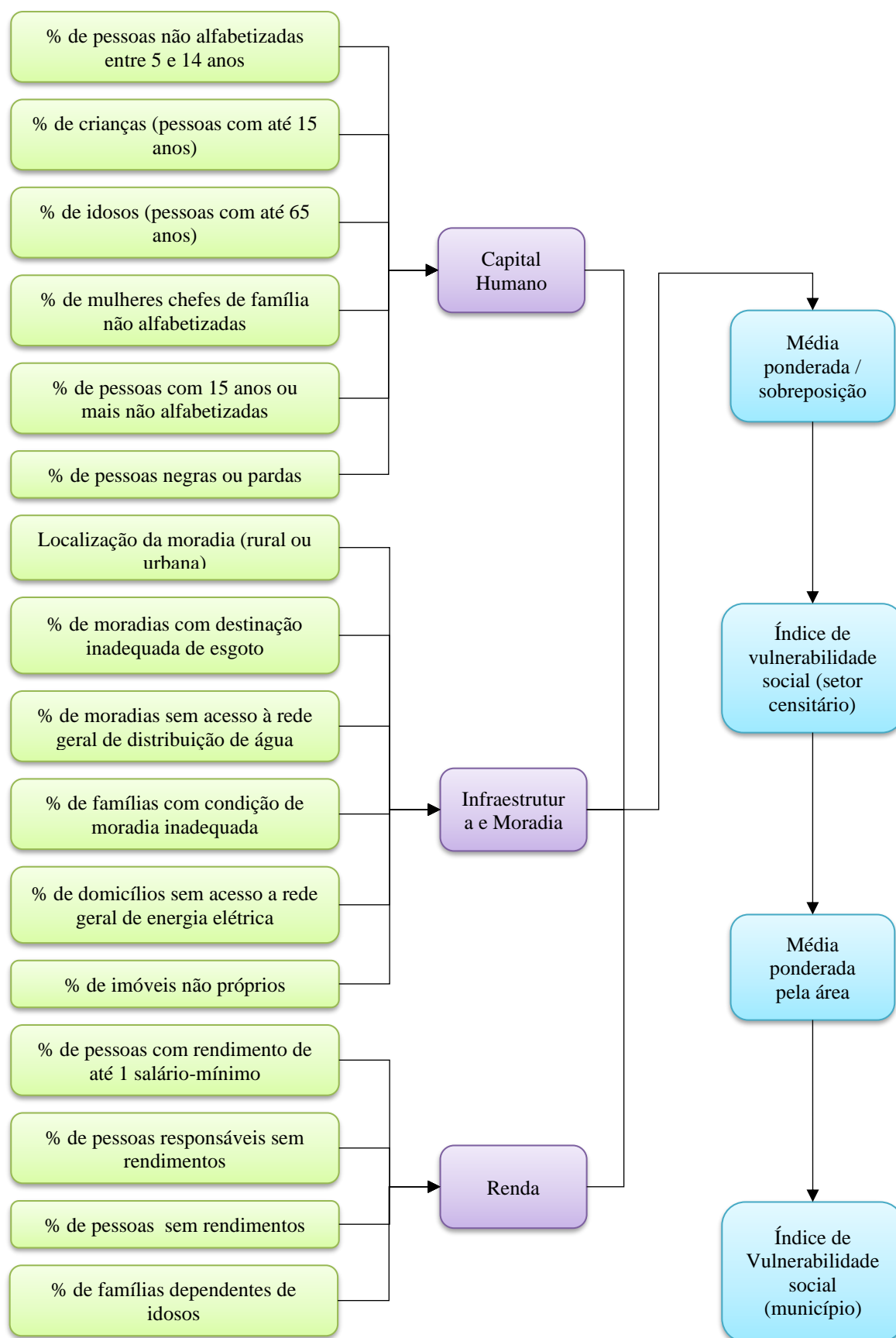


Figura 24 – Fluxograma das etapas para criação do mapa de vulnerabilidade social na UPGRH Meia Ponte.

#### 4.2.3.1 Grupo A: IVS – Capital Humano na UPGRH Meia Ponte

As variáveis utilizadas para o cálculo do indicador de Capital Humano foram: % de pessoas não alfabetizadas entre 5 à 14 anos, % de pessoas de crianças (pessoas com até 15 anos), % de idosos (pessoas com mais de 65 anos), % de mulheres chefes de família não alfabetizadas, % de pessoas com 15 anos ou mais não alfabetizadas e % de pessoas negras ou pardas (Figura 24 e Tabela 17). Todas essas variáveis tomaram como base os dados do IBGE (2010). Para o cálculo desse subíndice, foi utilizada a expressão matemática de número (1).

$$\text{Grupo A} = \sum_{i=1}^{n=6} x_i \times Pa_i \quad (1)$$

Em que  $x_i$  representa a variável  $i$  e  $Pa_i$  é o peso atribuído à variável  $i$ .

Os valores dos grupos dos indicadores e índice de vulnerabilidade social final foram classificados em 5 categorias, muito baixo, baixo, médio, alto, e muito alto. Os valores de IVS entre 0 e 0,200, considera-se “*muito baixa*” vulnerabilidade social. Valores entre 0,201 e 0,300 indicam “*baixa*” vulnerabilidade social. Aqueles que apresentam IVS entre 0,301 e 0,400 são de “*média*” vulnerabilidade social, ao passo que, entre 0,401 e 0,500 são considerados de “*alta*” vulnerabilidade social. Qualquer valor entre 0,501 e 1 indica que a área possui “*muito alta*” vulnerabilidade social (COSTA, MARGUTI, 2015).

A Figura 25 apresenta o mapa do índice de vulnerabilidade social do Grupo A –IVS Capital Humano da UPGRH Meia Ponte. Cerca de 19% dos setores censitários possuem IVS Capital Humano muito baixo, 67% , baixo e 14% médio. Apenas um setor censitário apresentou IVS Capital Humano Alto (0,4), referente ao município de Aparecida de Goiânia.

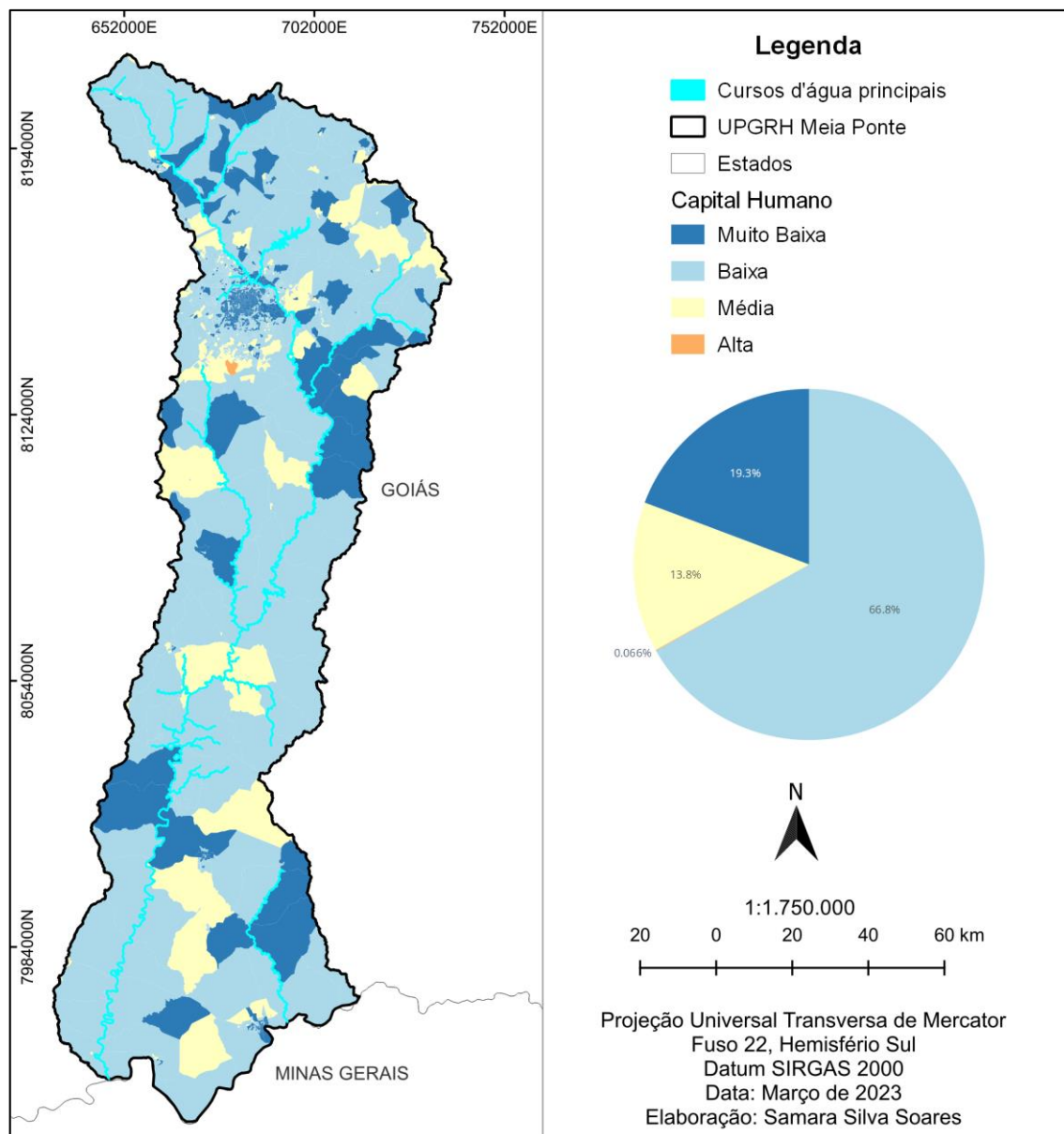


Figura 25 – Mapa do Grupo A – IVS Capital Humano da UPGH Meia Ponte.

#### 4.2.3.2 Grupo B: IVS – Infraestrutura e Moradia na UPGRH Meia Ponte

As variáveis utilizadas para o cálculo do indicador de Infraestrutura e Moradia foram: localização da moradia (rural ou urbana), % de moradias com destinação inadequada de esgoto, % de moradias sem acesso à rede geral de distribuição de água, % de famílias com condição de moradia inadequada, % de domicílios sem acesso à rede geral de energia elétrica e % de imóveis não próprios (Tabela 11 e Figura 24). Todas essas variáveis tomaram como base os dados do (IBGE, 2010) Para o cálculo desse indicador, foi utilizada a expressão matemática de número (2).

$$\text{Grupo B} = \sum_{i=1}^{n=6} y_i \times P b_i \quad (2)$$

Em que  $y_i$  representa a variável  $i$  e  $P b_i$  é o peso atribuído à variável  $i$ .

A Figura 26 apresenta o mapa do índice de vulnerabilidade social do Grupo B –IVS Infraestrutura e Moradia da UPGRH Meia Ponte. Apenas de 9% dos setores censitários possuem IVS Infraestrutura e Moradia na classe muito baixo; 24% são enquadrados em alto e 67% muito alto. As classes baixo e médio foram insignificantes.

Os pesos que foram atribuídos para cada variável no cômputo dos indicadores estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Pesos atribuídos às variáveis para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Social para a UPGRH Meia Ponte.

<b>Grupos</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Pesos</b>
GRUPO A Capital Humano	1. % de pessoas não alfabetizadas entre 5 a 14 anos	0,1
	2. % de crianças (pessoas com até 15 anos)	0,1
	3. % de idosos (pessoas com mais de 65 anos)	0,1
	4. % de mulheres chefes de família não alfabetizadas	0,1
	5. % de pessoas com 15 anos ou mais não alfabetizadas	0,3
	6. % de pessoas negras ou pardas	0,3
		<b>1</b>
GRUPO B Infraestrutura e Moradia	7. Localização da moradia (rural ou urbana)	0,3
	8. % de moradias com destinação inadequada de esgoto	0,1
	9. % de moradias sem acesso a rede geral de distribuição de água	0,05
	10. % de famílias com condição de moradia inadequada	0,2
	11. % de domicílios sem acesso a rede geral de energia elétrica	0,25
	12. % de imóveis não próprios	0,1
		<b>1</b>
GRUPO C Renda	13. % de pessoas com rendimento de até 1 salário-mínimo (de 2010)	0,3
	14. % pessoas responsáveis sem rendimentos	0,3
	15. % pessoas sem rendimento	0,3
	16. % de famílias dependentes de idosos	0,1
		<b>1</b>

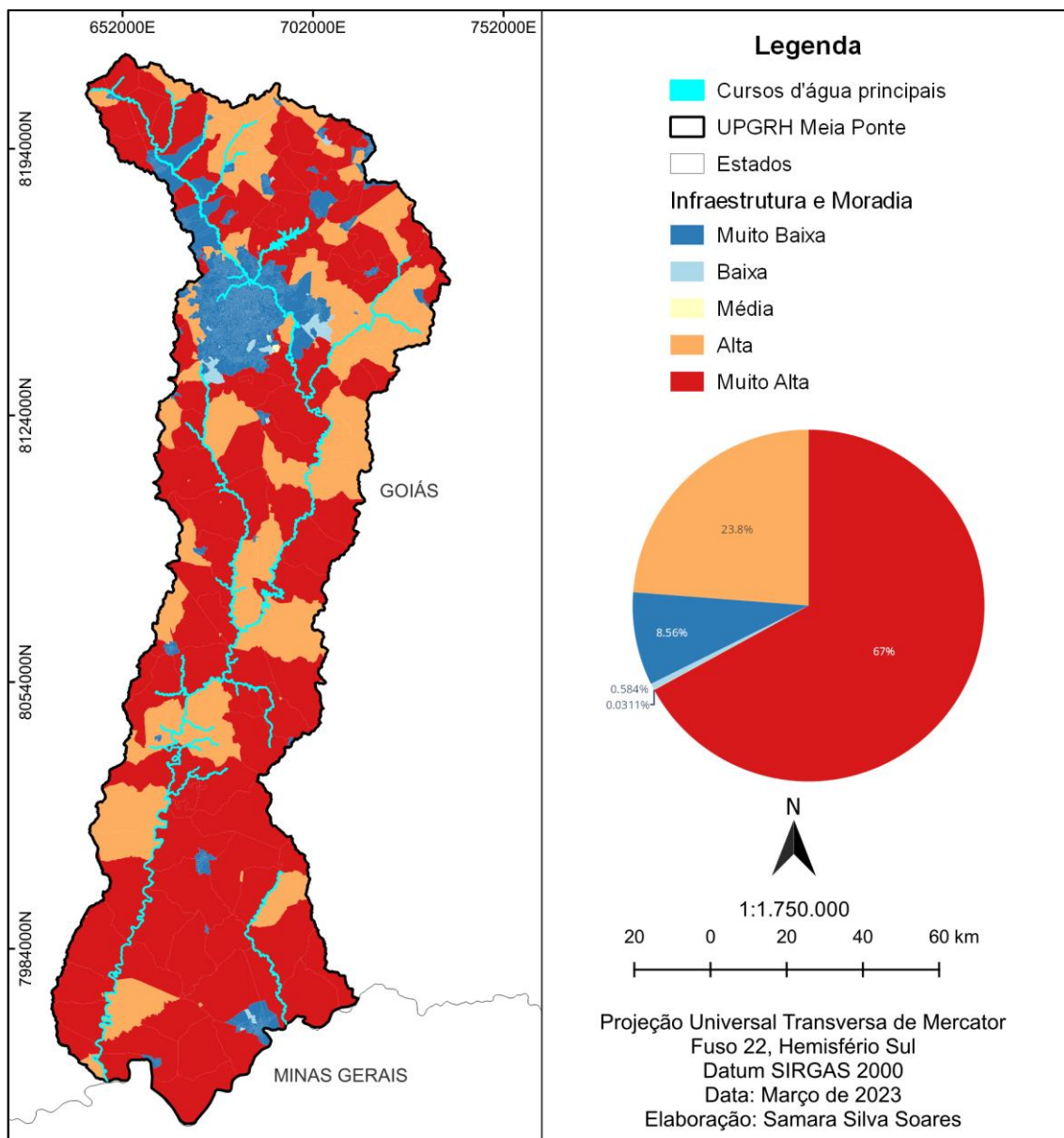


Figura 26 - Mapa do Grupo B –IVS Infraestrutura e Moradia da UPGRH Meia Ponte.

#### 4.2.3.3 Grupo C: IVS – Renda na UPGRH Meia Ponte

As variáveis utilizadas para o cálculo do indicador de Renda na UPGRH Meia Ponte foram: % de pessoas com rendimento de até 1 salário-mínimo (de 2010), % de pessoas responsáveis sem rendimentos, % de pessoas sem rendimento e % de famílias dependentes de idosos. Da mesma forma que nos Grupos de Capital Humano e Infraestrutura e Moradia, as variáveis utilizadas tomaram como base os dados do IBGE (2010). Para o cálculo desse subíndice, foi utilizada a expressão matemática de número (3).

$$\text{Grupo C} = \sum_{i=1}^{n=4} z_i \times P_{c_i} \quad (3)$$

Em que  $z_i$  representa a variável  $i$  e  $P_{c_i}$  é o peso atribuído à variável  $i$ .

A Figura 27 apresenta o mapa do índice de vulnerabilidade social do Grupo C –IVS Renda da UPGRH Meia Ponte. A maioria dos setores censitários foram enquadrados no IVS Renda baixo e 25% na classe muito baixa. A classe “médio” foi insignificante, e não teve valores do IVS Renda na classe alto e muito alto.

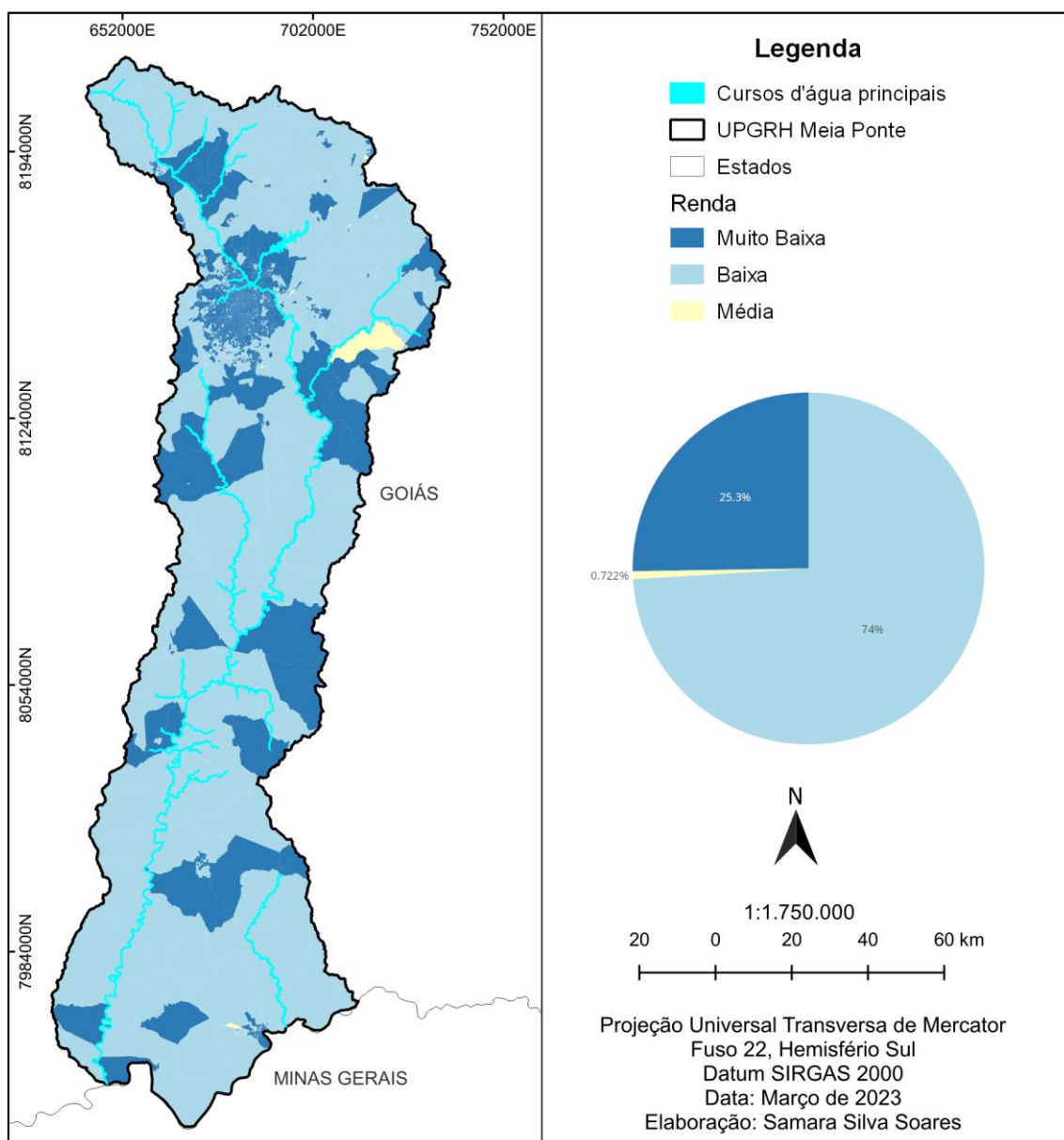


Figura 27 - Mapa do Grupo C –IVS Renda da UPGH Meia Ponte.

#### 4.2.3.4 Cálculo do IVS para a UPGRH Meia Ponte

O Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) é calculado pela média aritmética dos indicadores IVS Capital Humano, IVS Infraestrutura e Moradia e IVS Renda, sendo que cada subíndice contribui igualmente para o cálculo final do IVS. É importante ressaltar que as variáveis nos grupos A, B e C tiveram pesos diferentes. O IVS obtido com base nos três grupos de indicadores mencionados foi calculado pela equação de número (4).

$$IVS = \frac{1}{3} \left[ \sum_{i=1}^3 Grupo_i \right] \quad (4)$$

O mapa do Índice de Vulnerabilidade Social dos setores censitários (IVS) da UPGRH Meia Ponte classificado em cinco classes de vulnerabilidade (muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo) é apresentado na Figura 28.

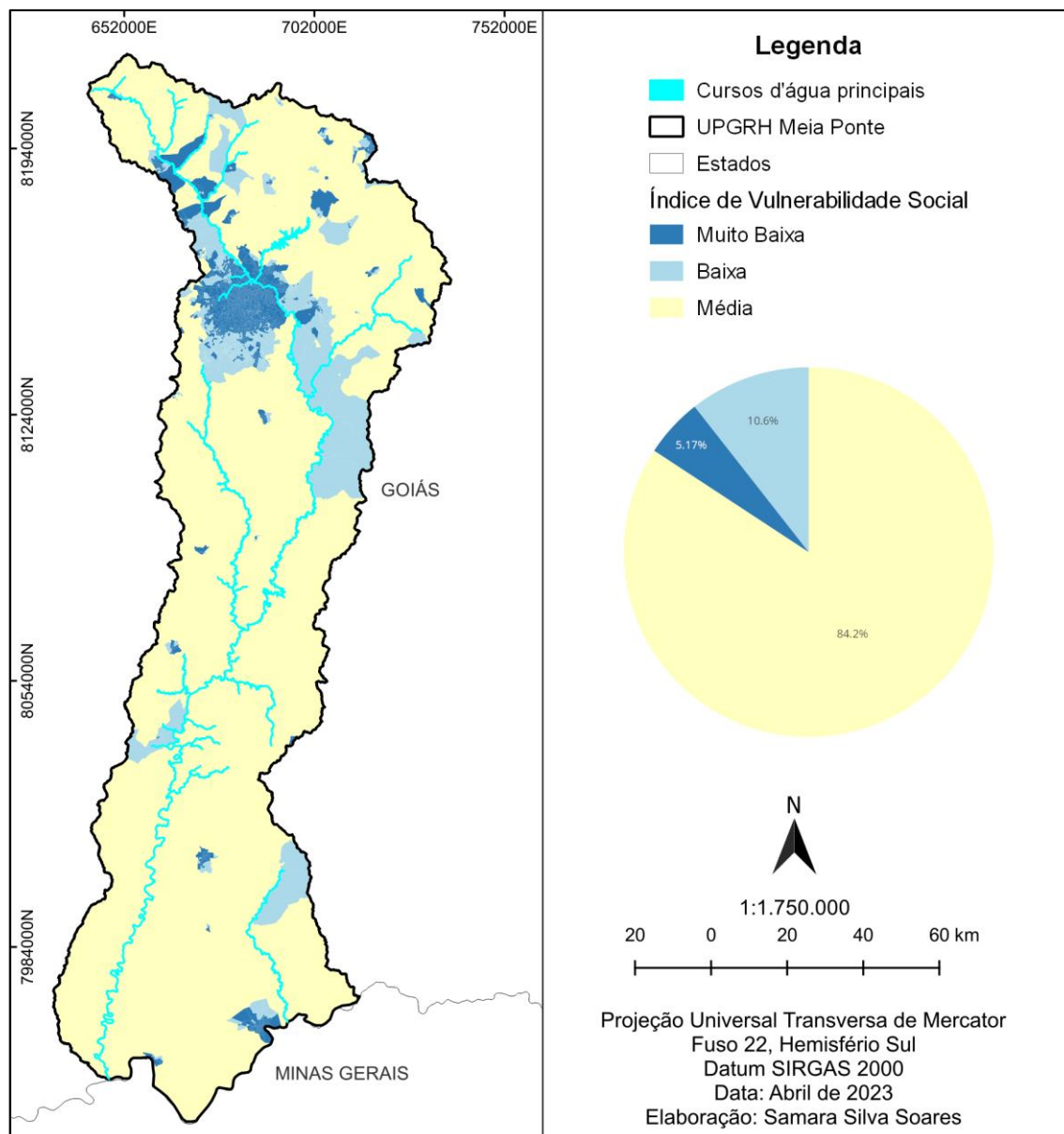


Figura 28 - Mapa do IVS - Índice de Vulnerabilidade Social por setor censitário da UPGH Meia Ponte.

A maioria dos setores censitários foram enquadrados no IVS médio e 11% na classe muito baixo. A classe “muito baixo” foi de apenas 5 %, e não teve valores do IVS na classe alto e muito alto.

Em seguida, o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) foi recalculado a partir dos setores censitários da UPGRH Meia Ponte, permitindo obter o IVS para os 38 municípios que compõem a área da bacia (Figura 29). Esse processo envolveu o cálculo da média ponderada do IVS dos setores censitários de cada município, com base em sua área (em hectares). No Apêndice B, pode-se consultar o valor do IVS para os municípios da UPGRH Meia Ponte.

Os valores do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) para os 38 municípios pertencentes à Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do Rio Meia Ponte foram tabulados e estão disponíveis no APÊNDICE B deste estudo.

Essa tabela é uma ferramenta importante para a análise dos dados e para a compreensão da situação socioeconômica de cada município em relação à vulnerabilidade social. Com base nos valores apresentados no Apêndice B, é possível identificar quais municípios apresentam maior ou menor vulnerabilidade, fornecendo subsídios para a formulação de políticas públicas e ações que visem à redução das desigualdades e à melhoria da qualidade de vida da população na região da UPGRH do Rio Meia Ponte.

Pode-se observar que, após essa conversão, obteve-se apenas duas classificações para o IVS dos municípios, baixo (21%) e médio (79%), e que a classe “médio” caiu 5% da área da bacia, passando de 84% (Figura 28) para 79% (Figura 29). A classe muito baixo, alto e muito alto não foram encontradas na bacia.

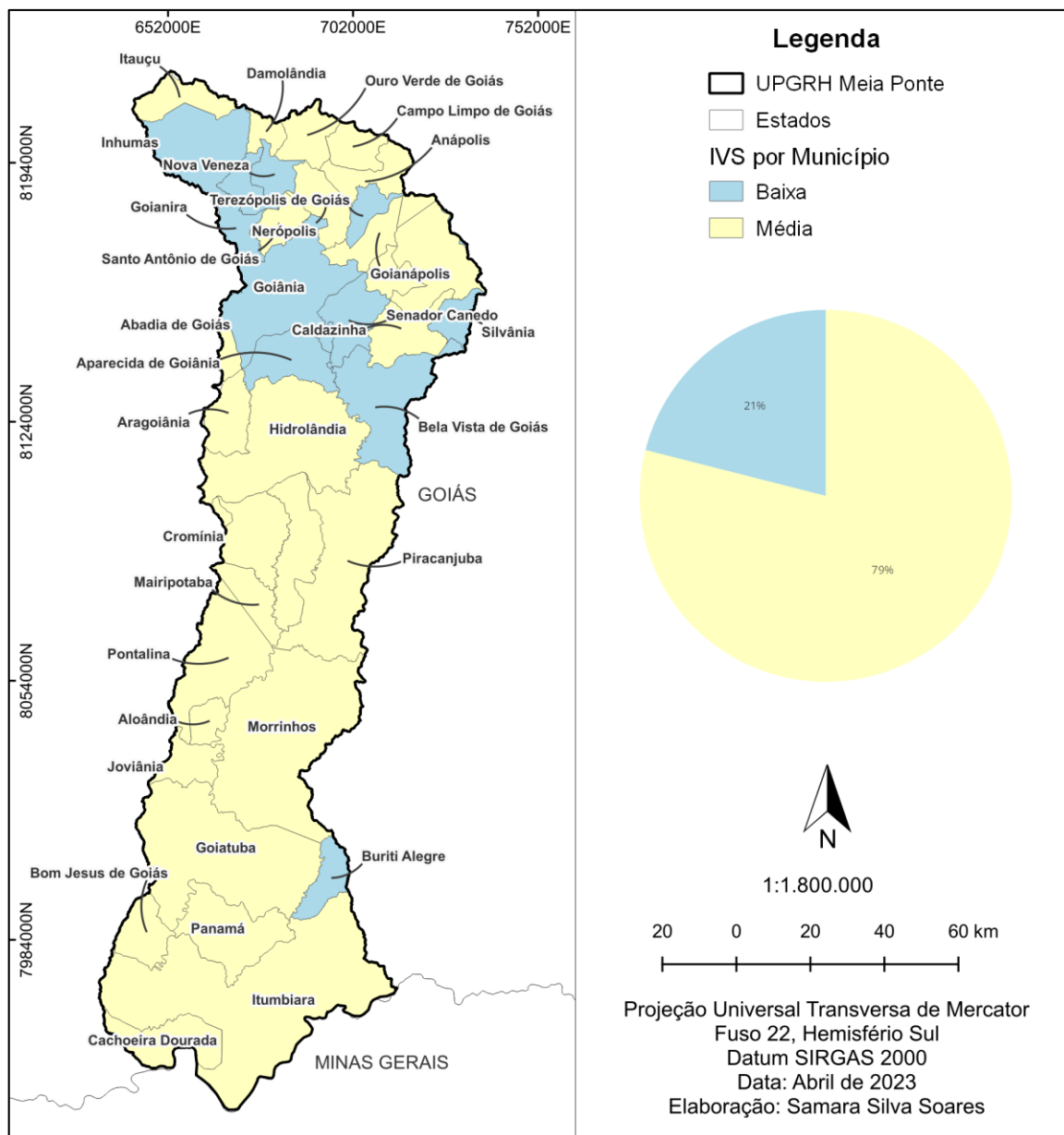


Figura 29 – Mapa do Índice de Vulnerabilidade Social – IVS por município da UPGRH Meia Ponte.

#### 4.2.4 IVA – Índice de Vulnerabilidade Ambiental

Para determinar o IVA – índice de vulnerabilidade ambiental da UPGRH Meia ponte foi estabelecida uma metodologia utilizando análise multicritério e sistema de informações geográficas (SIG), como apresentado na Figura 30. Com base na literatura e base de dados disponíveis (Quadro 3), foram selecionadas quatro variáveis como principais critérios para definição da vulnerabilidade ambiental: potencial natural de erosão do solo, queimadas (focos de calor), uso e cobertura da terra e densidade de drenagem.

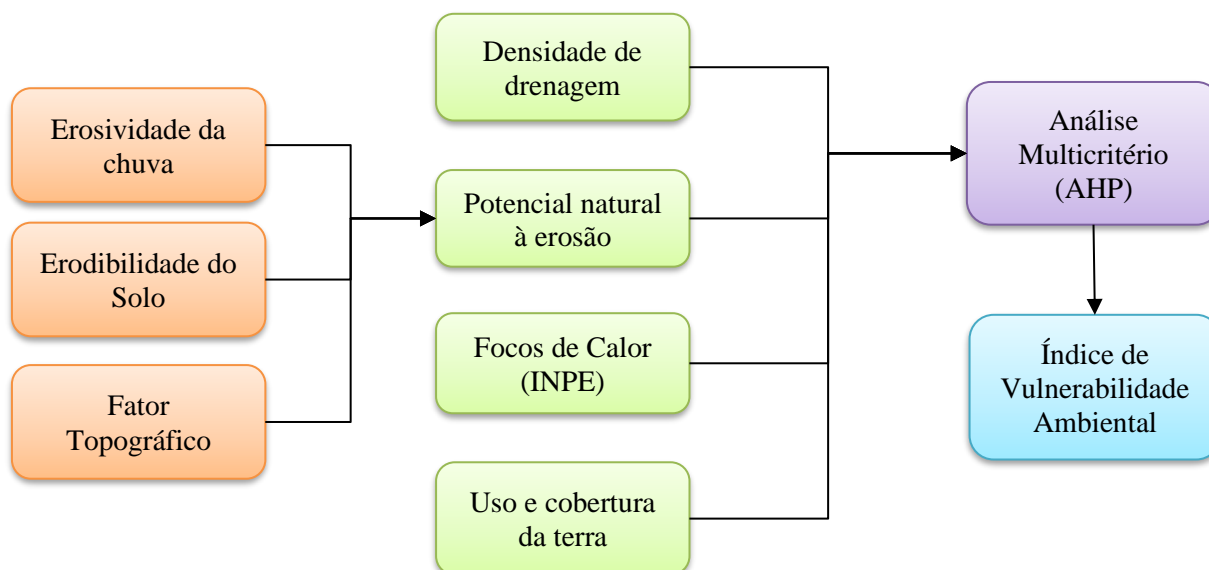


Figura 30 - Fluxograma das etapas para criação do mapa do índice de vulnerabilidade ambiental na UPGRH Meia Ponte.

Quadro 3 - Detalhes dos dados coletados para obtenção do índice de vulnerabilidade ambiental, fontes e sua finalidade

PARÂMETROS	FORMATO/ESCALA/RESOLUÇÃO	FONTE	PRODUTO
Precipitação	Série Histórica / 1978 a 2017	HidroWEB (ANA, 2020b)	Mapa do fator de erosividade da chuva
Hidrografia	Vetorial / 1:1.000.000	BHO 2017 50k (ANA, 2017)	Mapa da densidade de drenagem
Tipo de Solos	Vetorial / 1:250.000	EMATER (RESENDE, 2016)	Mapa do fator de erodibilidade dos solos
MDE - SRTM	Matricial (30m de resolução espacial)	Topodata INPE (VALERIANO, ROSSETTI, 2012)	Mapa do fator topográfico
Focos de Calor	Planilha/ resolução espacial de 1 km / 2010 a 2022	Programa Queimadas (INPE, 2020)	Mapa de densidade de queimadas
Uso e Cobertura da Terra	Matricial/ resolução espacial de 30 m/ uso do solo em 2021	(PROJETO MAPBIOMAS, 2022)	Mapa de uso e cobertura da terra

#### 4.2.4.1 Potencial Natural à Erosão

Áreas com elevado índice pluviométrico estão mais suscetíveis à erosão hídrica do solo, que consiste no desprendimento, transporte e deposição de partículas do solo (WISCHMEIER, SMITH, 1978). Esse processo acelera a desertificação e prejudica a prática de atividades agropecuárias e florestais.

Nesse estudo, o mapa de Potencial Natural de Erosão foi calculado com base na Equação Universal de Perda de solos (USLE), formulada por Wischmeier e Smith (1978), não levando em consideração o uso e cobertura da terra, conforme apresentado na equação de número (5).

$$PNE = R \cdot K \cdot LS \quad (5)$$

Em que: PNE = potencial natural de erosão, em  $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ; R = fator erosividade da chuva, em  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ; K = fator erodibilidade do solo, em  $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , LS é o fator topográfico representado pelo L = fator comprimento da encosta (adimensional); S = fator de declividade.

O fator R representa o potencial de uma chuva em causar erosão do solo levando em consideração a precipitação total, a energia cinética e a intensidade da chuva (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A média mensal da erosividade foi calculada para a bacia do rio Meia Ponte empregando a Equação (6) desenvolvida por Bertoni & Neto (2005), e a série histórica disponível de 40 anos, desde 1978 a 2017 foi obtida a partir da (ANA, 2020a) em 15 estações pluviométricas (Apêndice A) que influenciam a área de estudo. A erosividade média anual foi obtida pela Equação (7) para cada estação e interpolado pelo método *Inverse Distance Weighting* (IDW).

$$EI_{30i} = 67,355 \left( \frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \quad (6)$$

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30i} \quad (7)$$

Em que  $EI_{30}$  é a média mensal do índice de erosividade ( $\text{MJ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ); r é a média mensal da precipitação (mm); P é a média anual da precipitação (mm); i é o índice de meses e R é o fator da erosividade da chuva ( $\text{MJ mm h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ )

A erodibilidade do solo (K) é determinada pela facilidade com que as partículas do solo se soltam e são transportadas. A textura do solo é um fator importante que influencia a erodibilidade, pois está diretamente relacionada às propriedades do solo, como a distribuição de tamanho dos grãos, a estabilidade estrutural, a quantidade de matéria orgânica e a natureza dos materiais argilosos (KRISHNA BAHADUR, 2009).

O valor de K neste estudo foi obtida a partir de um banco de dados com informações de diversos trabalhos científicos a partir da determinação dos valores médios (médias aritméticas) de erodibilidade para cada classe de solo. (SILVA, Alexandre Marco da, ALVARES, 2005).

O fator topográfico (LS) combinado foi determinado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido junto ao projeto Topodata/INPE (VALERIANO, ROSSETTI, 2012), utilizando o modelo físico de cálculo proposto por Moore e Burch (1986), o qual usa a interação entre a topografia e o acúmulo de fluxo.

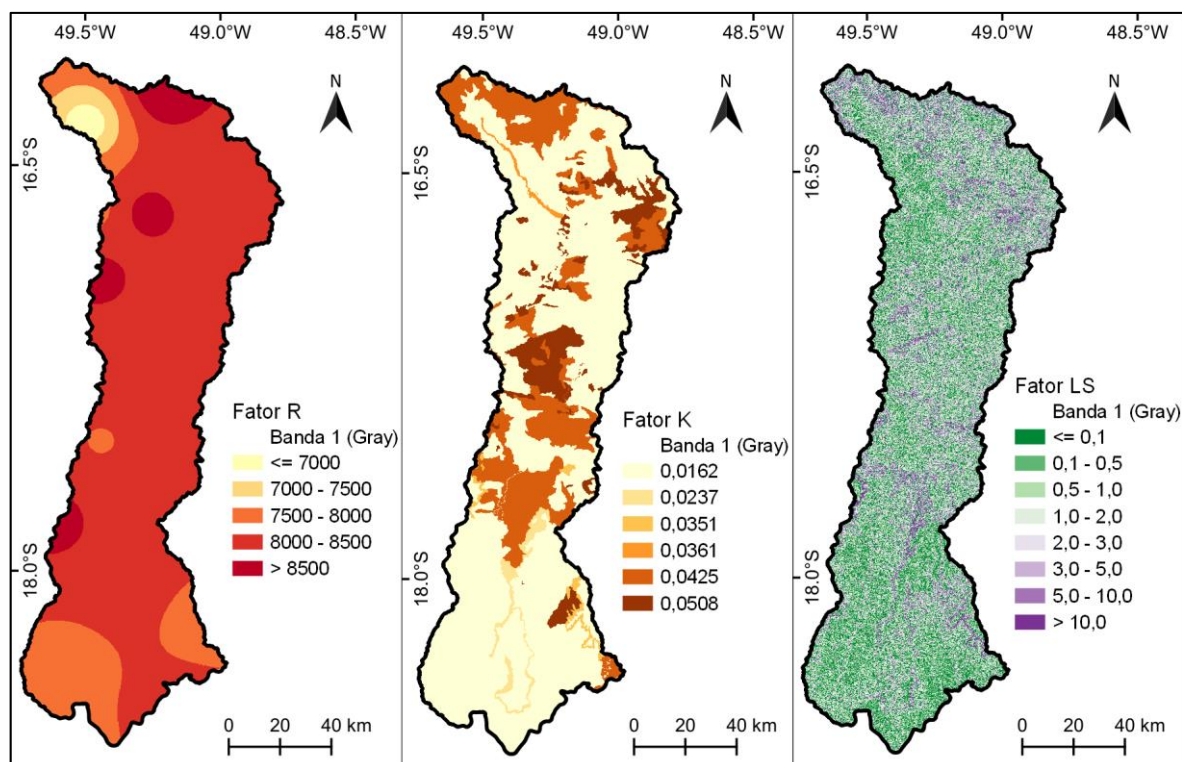


Figura 31 – Mapa do fator de erosividade da chuva (R), fator de erodibilidade do solo (K) e do fator topográfico (LS) para a UPGRH Meia Ponte.

O mapa de potencial natural de erosão da UPGRH Meia Ponte foi obtido pela multiplicação dos fatores R, K e LS (Figura 31 e equação (5)) e é apresentado na Figura 32. Para o reescalonamento do potencial natural de erosão, os valores maiores que 4000 t/(ha ano) foram convertidos a fim de reduzir valores extremos pouco frequentes (MESQUITA, SIMÕES, *et al.*, 2020a).

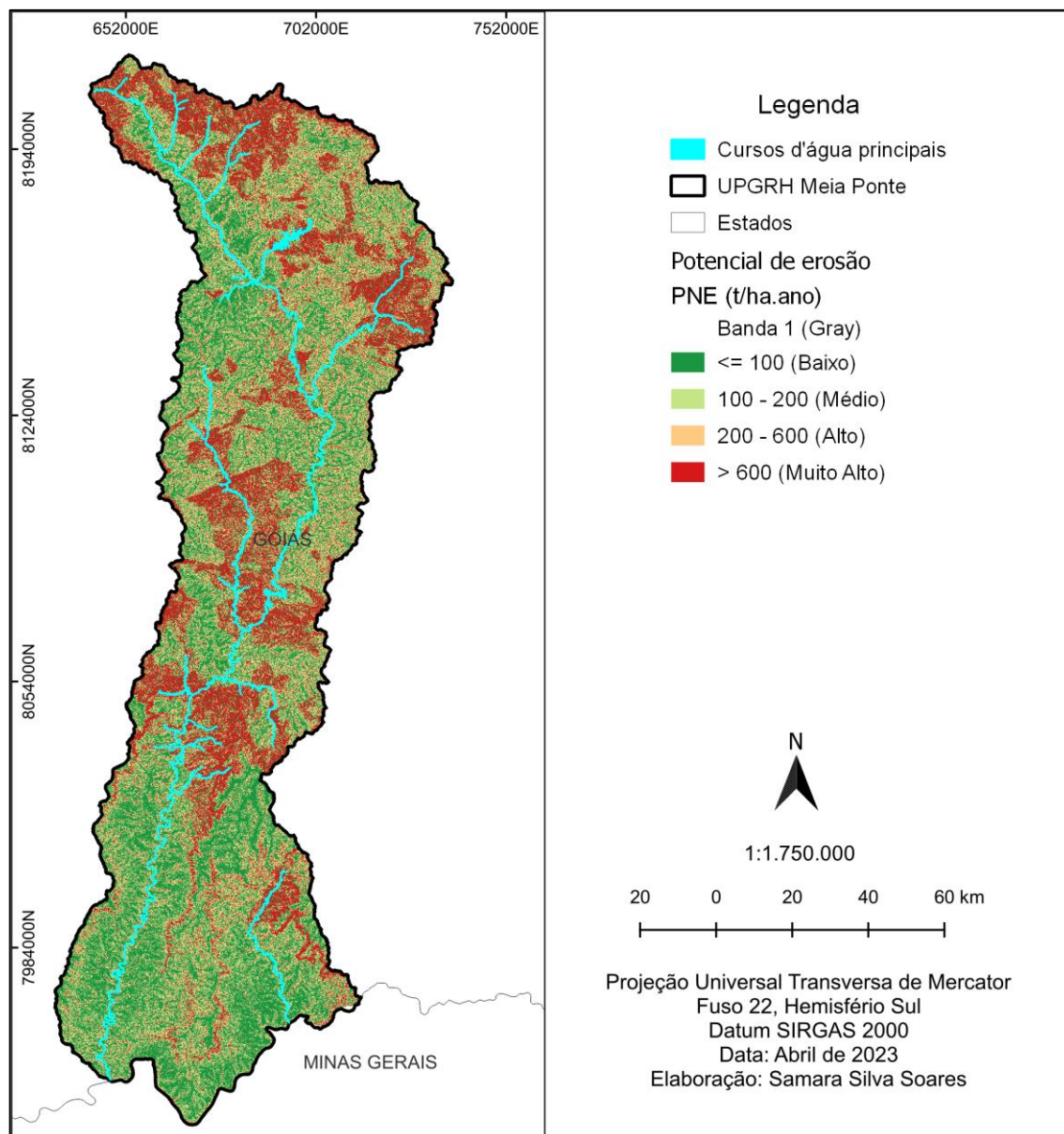


Figura 32 – Mapa do potencial natural de erosão na UPGRH Meia Ponte.

#### 4.2.4.2 Densidade de focos de calor do INPE

Para confecção do mapa de densidade de focos de calor para a UPGRH Meia Ponte foram utilizados todos os dados de focos de calor obtidos por meio dos satélites de referência AQUA e TERRA para a área da bacia. Esses dados foram obtidos para o período de janeiro de 2010 a dezembro de 2022 do banco de queimadas do INPE disponibilizados no site desse órgão (<https://prodwwwqueimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/>).

Para amenizar a multiplicidade dos focos de calor foram realizados processamentos de identificação, agrupamento e retirada de informações repetidas. Os focos de calor que foram

registrados na mesma data e estavam a menos de 1 km (resolução espacial dos satélites) de distância entre si, foram agrupados como sendo um único foco de calor (MESQUITA, SIMÕES, *et al.*, 2020a). A distribuição dos focos de calor foi, então, avaliada por meio do Índice de Densidade de Kernel (IDK), com raio de busca de 10 km (Figura 33). O mapa de densidade de focos de calor na UPGRH Meia Ponte foi, então, reescalonado de 0 a 1 de maneira que locais com maior densidade de focos receberam valor igual à 1. Da mesma que foi realizado pelo Programa Juntos Pelo Araguaia, para o reescalonamento da densidade de focos de calor os valores maiores que 0,8 focos/km<sup>2</sup> foram convertidos para 0,8 focos/km<sup>2</sup> a fim de reduzir valores extremos pouco frequentes (MESQUITA, SIMÕES, *et al.*, 2020a).

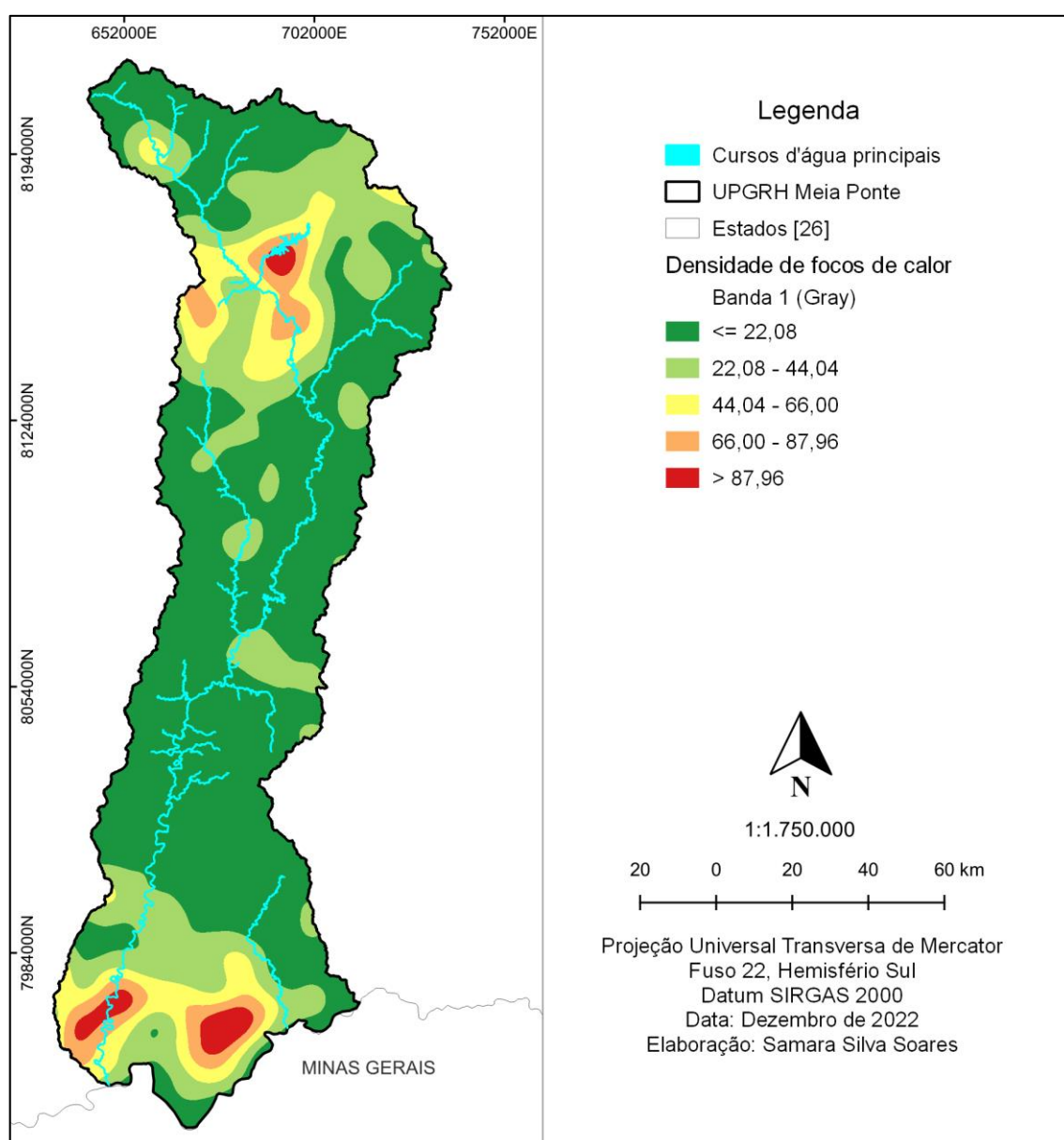


Figura 33 – Densidade de focos de calor registrados entre janeiro de 2010 e dezembro de 2022 na UPGRH Meia Ponte.

#### 4.2.4.3 Uso e cobertura da terra

Para definir as classes de uso do solo para a UPGRH Meia Ponte (Figura 34) foram utilizados os dados do Projeto Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (PROJETO MAPBIOMAS, 2022). A coleção adquirida foi a Coleção 7.0, disponibilizada em 2022, que cobriu as dinâmicas de uso da terra dos biomas brasileiros no período de 1985 a 2021. O ano utilizada para definir as classes de uso, foi o mais recente disponível, o ano de 2021.

A escala de vulnerabilidade de cada classe de uso e cobertura da terra (Tabela 19) foi determinada de acordo com os valores do grau de proteção apurado por Ross e Moroz (1996). Os valores variam de 0 a 5, em que quanto mais próximo de 5 maior a vulnerabilidade.

Tabela 19 - Escala de valores atribuídos para as classes de uso do solo do Mapbiomas (2021) de acordo com o grau de proteção. (ROSS, MOROZ, 1996)

VALOR DO PIXEL	LEGENDA	GRAUS DE PROTEÇÃO (*ROSS)
3	Formação Florestal	1
4	Formação Savânica	2
9	Silvicultura	3
11	Campo Alagado e Área Pantanosa	2
12	Formação Campestre	2
15	Pastagem	3
20	Cana	4
21	Mosaico de Usos	4
24	Área Urbanizada	5
25	Outras Áreas não Vegetadas	5
30	Mineração	5
33	Rio, Lago e Oceano	0
39	Soja	4
41	Outras Lavouras Temporárias	5
46	Café	4
47	Citrus	4
48	Outras Lavouras Perenes	4
62	Algodão (beta)	4

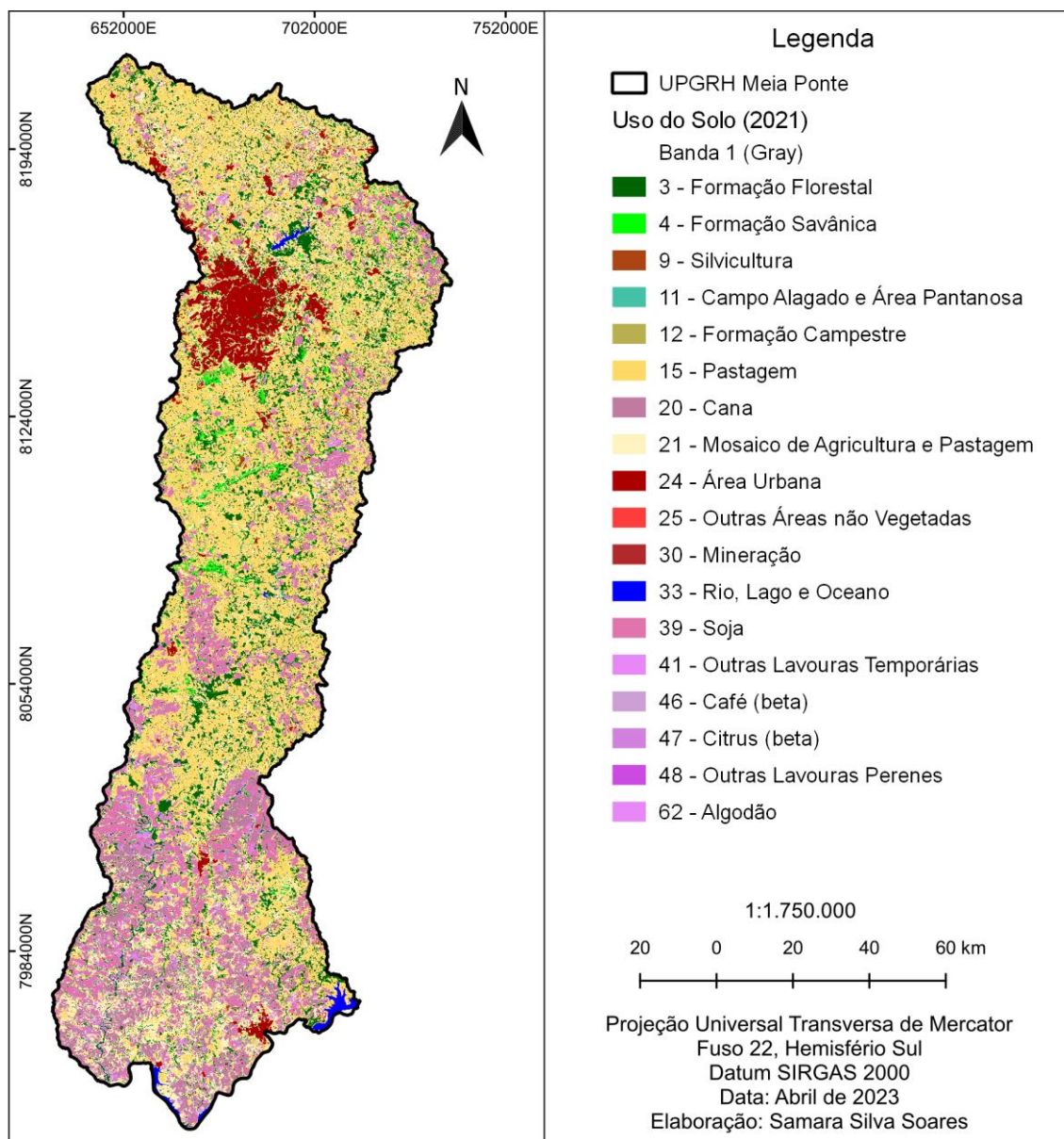


Figura 34 – Mapa do uso e cobertura da terra da UPRH Meia Ponte no ano de 2021.

#### 4.2.4.4 Densidade de drenagem

A densidade de drenagem tende a aumentar ainda mais a erosão hídrica, uma vez que áreas com maior densidade de drenagem tendem a ter um escoamento mais rápido das águas superficiais, aumenta a vulnerabilidade ambiental dessas áreas. Além disso, áreas com alta densidade de drenagem geralmente apresentam menor capacidade de retenção de água no solo, o que pode afetar negativamente a recarga de aquíferos e a disponibilidade de água para o abastecimento humano e atividades econômicas (KARAKUŞ, 2022).

A densidade de drenagem foi calculada dividindo o comprimento da linha de drenagem pela área total, a partir do mapa da hidrografia (ANA, 2017). O mapa da densidade de drenagem está apresentado pela Figura 35)

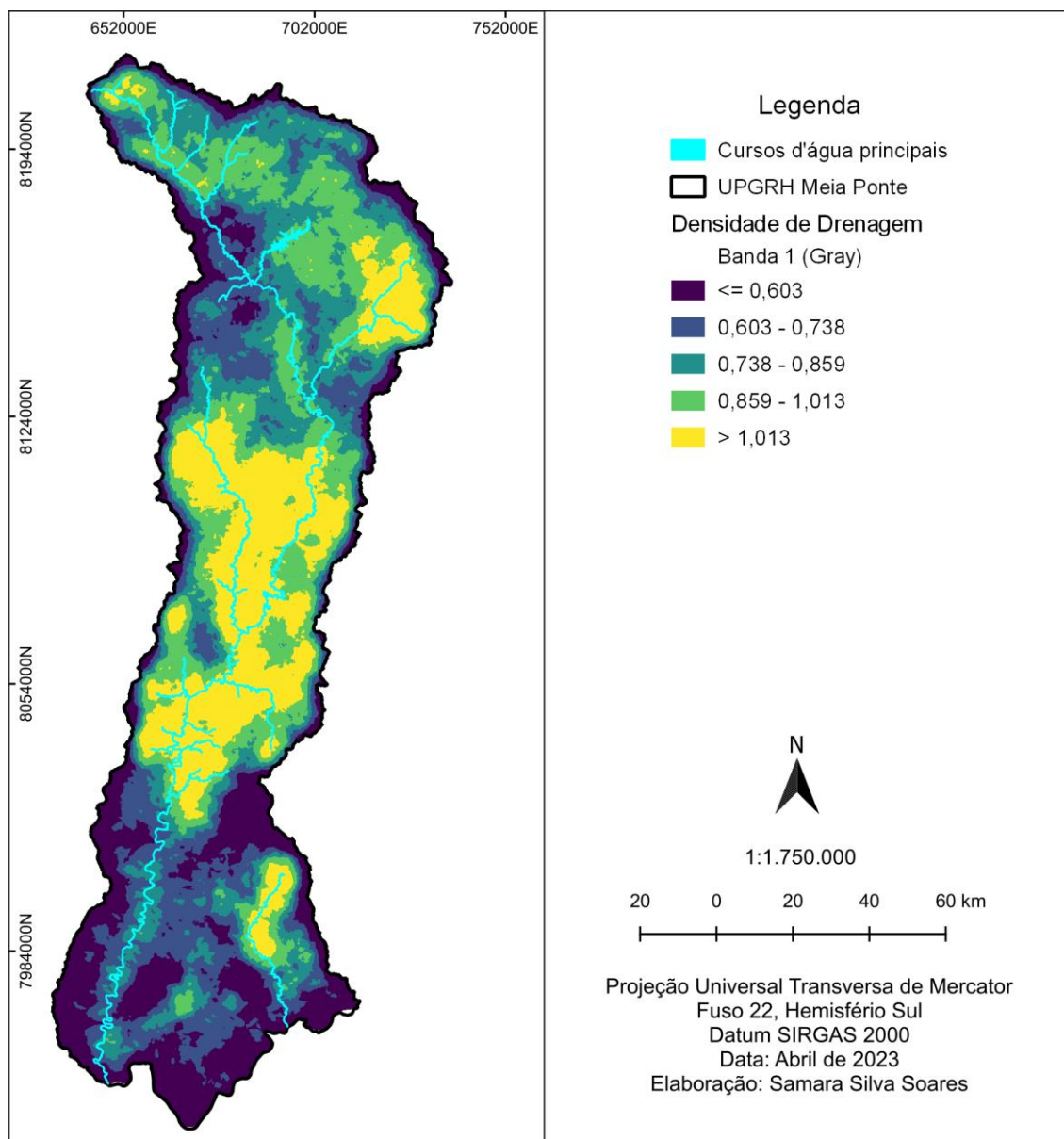


Figura 35 – Mapa da densidade de drenagem da UPGRH Meia Ponte.

#### 4.2.4.5 Análise multicritério AHP para o IVA

Por fim, depois de reunir todas as variáveis, atribuir os pesos para as variáveis categóricas, elaborar mapas para cada variável, reescalonar as 4 variáveis a partir de aplicação de lógica fuzzy, foi elaborado o mapa do índice de vulnerabilidade ambiental a partir da ponderação pelo método AHP aplicado. A Tabela 20 apresenta a matriz de comparação dos critérios utilizada na obtenção do IVA da UPGRH Meia Ponte.

Tabela 20 - Pesos relativos da análise AHP para obtenção do índice de vulnerabilidade ambiental (IVA) na UPRH Meia Ponte.

Pesos relativos - AHP	Taxa de erosão do solo	Focos de calor	Uso e cobertura da terra	Densidade de drenagem
Potencial natural de erosão do solo	1	1	0,5	2
Focos de calor	1	1	0,33	1
Uso e cobertura da terra	2	3	1	2
Densidade de drenagem	0,5	1	0,5	1

A Tabela 21 apresenta a estimativa da importância relativa das variáveis (Pesos finais), a ordem de importância e a razão e consistência da matriz de comparação. O valor da razão de consistência (0,017) foi menor que 0,1, indicando que os critérios da matriz de comparação aos pares foram definidos de forma consistente.

Tabela 21 - Pesos finais atribuídos a cada critério, ordem de importância e razão de consistência da análise AHP para obtenção do índice de vulnerabilidade ambiental na UPRH Meia Ponte.

Critério	Pesos finais (%)	Classificação	Razão de Consistência (RC)
Potencial natural de erosão do solo	24%	2º	0,017
Focos de calor	18%	3º	
Uso e cobertura da terra	42%	1º	
Densidade de drenagem	16%	4º	

O mapa da Figura 36 apresenta as quatro variáveis normalizadas de 0 a 1 utilizando a função de fuzzificação com associação linear para obter o Índice de Vulnerabilidade Ambiental.

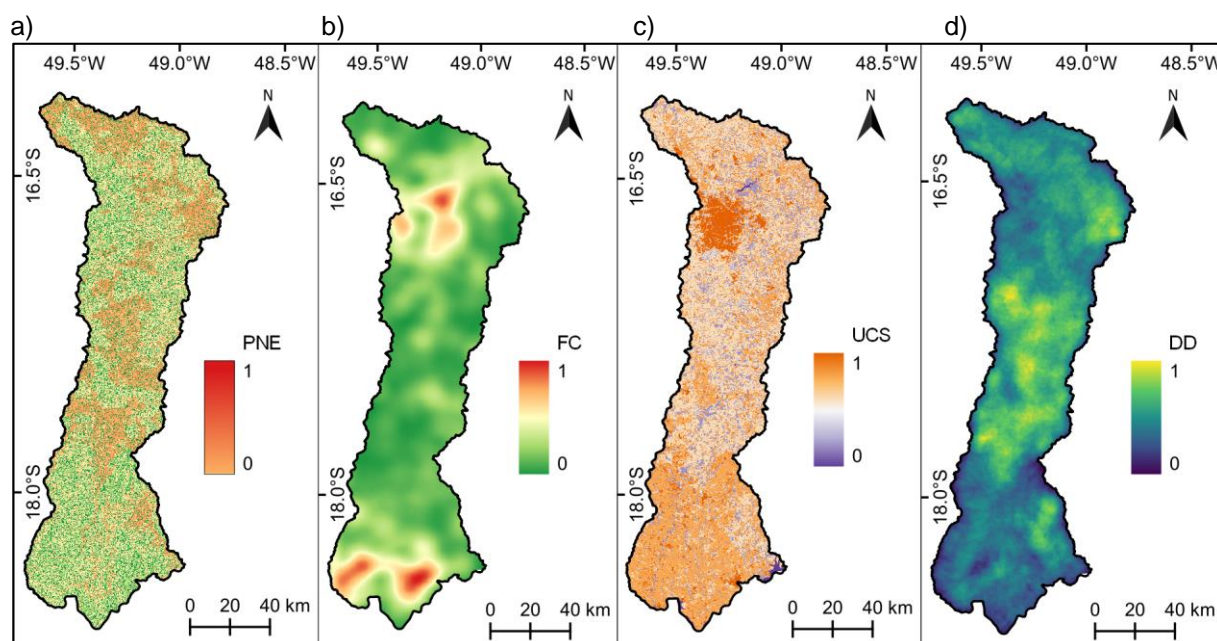


Figura 36 - Mapa das quatro variáveis normalizadas de 0 a 1 pela função fuzzify associação linear para obtenção do índice de vulnerabilidade ambiental. a) PNE=Potencial Natural à Erosão, b) FC= Focos de Calor, c) UCS=Uso e Cobertura do Solo, d) DD=Densidade de Drenagem.

O mapa do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) da UPGRH Meia Ponte foi classificado em cinco categorias de vulnerabilidade, tais como: muito alta ( $> 0,5$ ), alta ( $0,45 - 0,50$ ), média ( $0,40 - 0,45$ ), baixa ( $0,35 - 0,40$ ) e muito baixa ( $< 0,35$ ) (Figura 37).

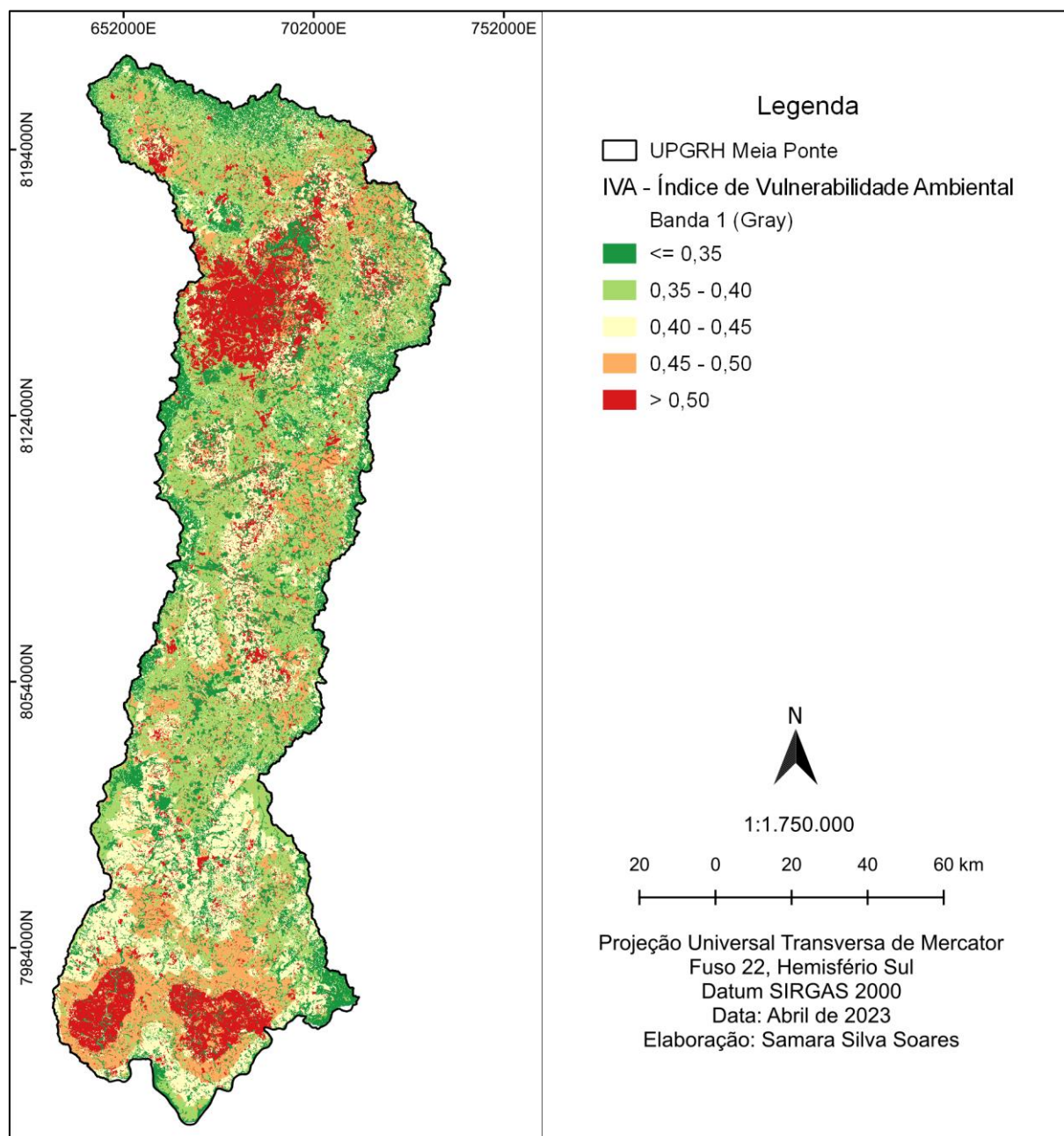


Figura 37 - Mapa do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) da UPGRH Meia Ponte.

## 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.1 Potencial de Recarga hídrica Subterrânea na UPGRH Meia Ponte

O mapa do potencial de recarga hídrica subterrânea da UPGRH Meia Ponte foi dividido em três classes, tais como: Alto, Médio e Baixo. Observando a Figura 38 pode-se destacar uma homogeneidade na distribuição das áreas de potencial de recarga entre as classes, com valores próximos a 30 %, e a UPGRH Meia ponte possui cerca de 69% da área total com médio e alto potencial de recarga hídrica subterrânea.

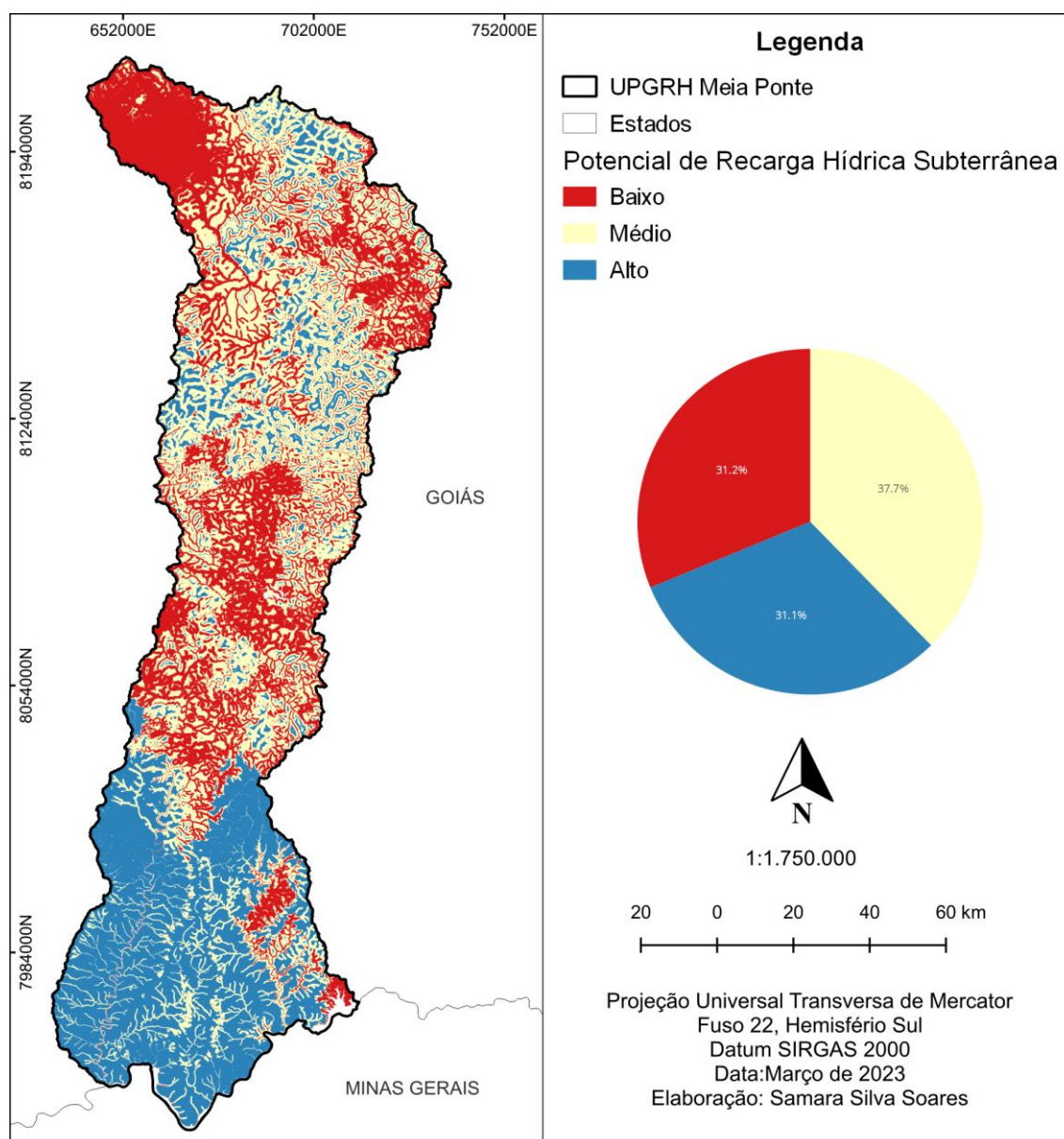


Figura 38 – Mapa do Potencial de Recarga Hídrica Subterrânea na UPGRH Meia Ponte.

### 4.3.2 Índice de Vulnerabilidade Socioambiental da UPGRH Meia Ponte

O Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) foi obtido a partir da média ponderada entre os mapas do IVA e o IVS por setor censitário de acordo com a metodologia realizada pela equipe técnica do Programa Juntos pelo Araguaia (MESQUITA, SIMÕES, *et al.*, 2020a). Foi definido um peso de 0,8 para o IVA e um peso de 0,2 para o IVS. O mapa do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental (IVSA) da UPGRH Meia Ponte, foi classificado pelo método quartis em cinco categorias de vulnerabilidade, tais como muito alto ( $< 0,44$ ), alto (0,41 – 0,44), médio (0,37 – 0,41), baixo (0,33 – 0,37) e muito baixo ( $< 0,33$ ). O mapa está apresentado na Figura 39.

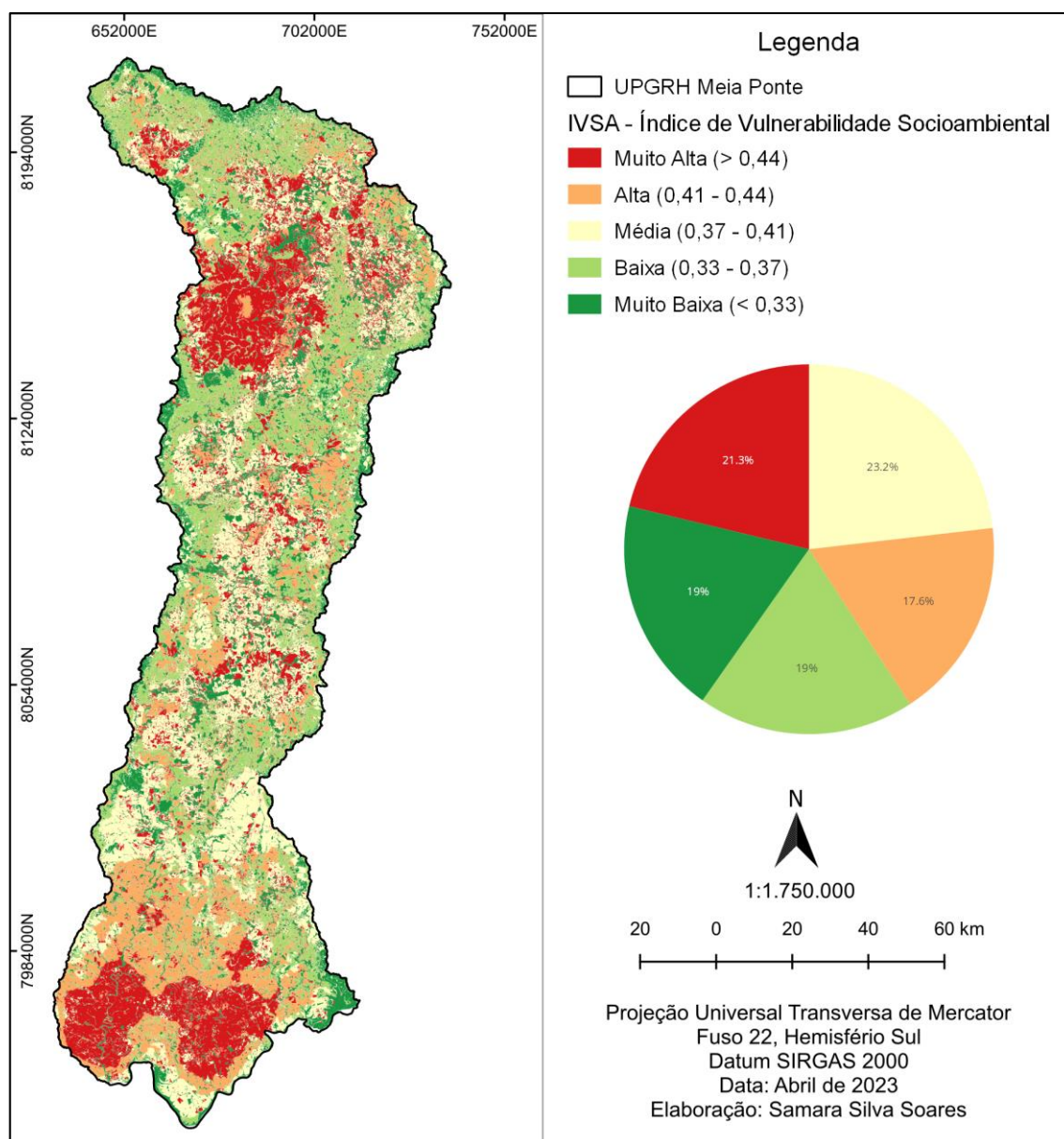


Figura 39 – Mapa do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental na UPGRH Meia Ponte.

### 4.3.3 Áreas prioritárias para recuperação e conservação na UPGRH

#### Meia Ponte

As áreas prioritárias para conservação e recuperação da UPGRH Meia Ponte, foram obtidas a partir da sobreposição do mapa de potencial de recarga hídrica subterrânea (3 classes) com o mapa do índice de vulnerabilidade socioambiental (5 classes). A sobreposição dessas variáveis resultou no mapa da Figura 40, dividido em 5 classes. É possível observar que cerca de 24% da área total da bacia possui prioridade muito alta de recuperação e conservação, e essas áreas se concentram na região sul da bacia.

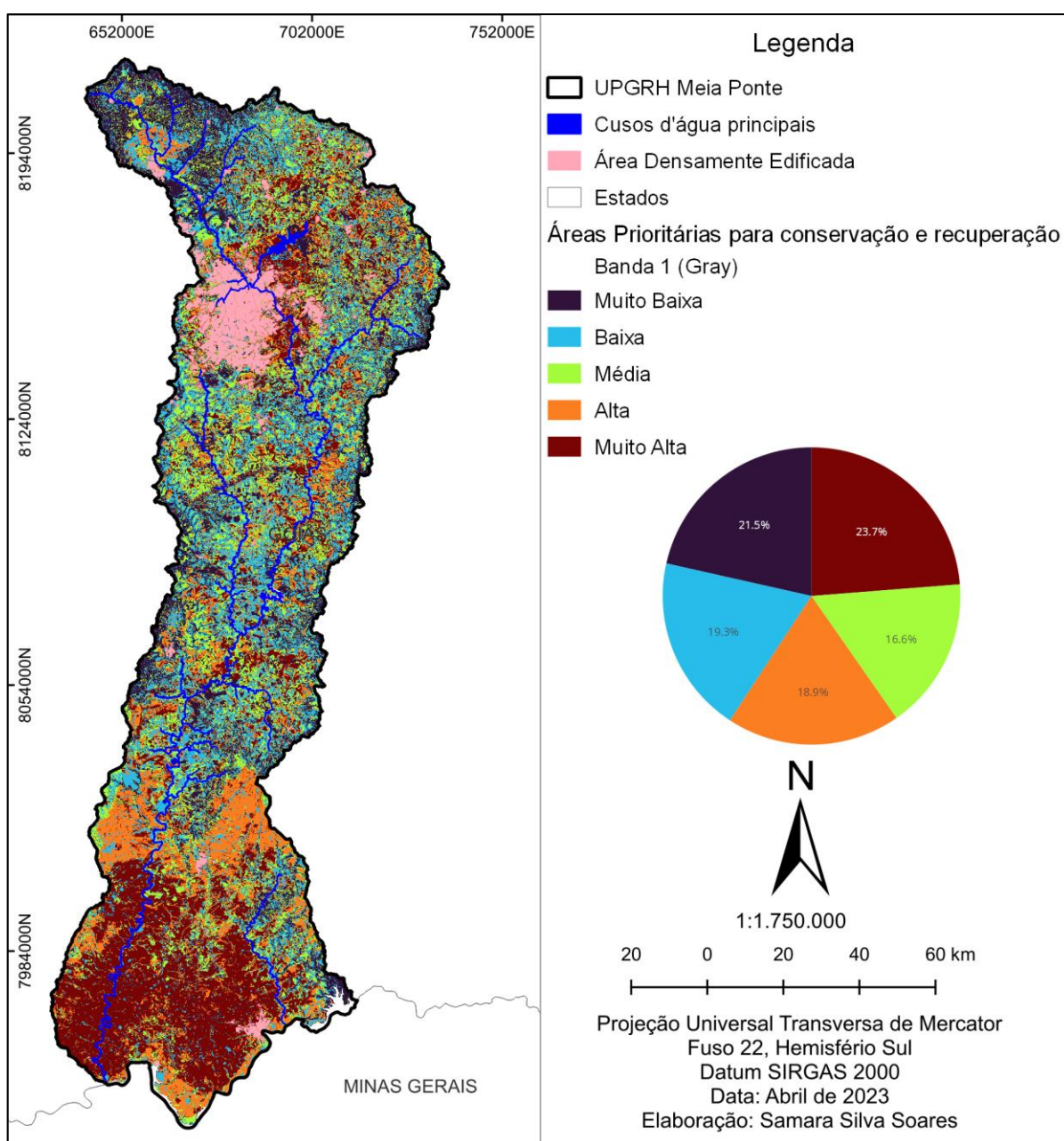


Figura 40 - Mapa das Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação na UPGRH Meia Ponte.

Para extrair as áreas com muito alta prioridade para conservação na UPGRH Meia Ponte foi realizada a integração espacial das áreas de médio (classe 2) e alto (classe 3) do potencial de recarga hídrica subterrânea com os índices alto (classe 4) e muito alto (classe 5) de vulnerabilidade socioambiental. Esse processo foi realizado a partir de álgebra de mapas, definindo as áreas com valores 7 e 8 como áreas de alta prioridade para conservação e ou recuperação. Em sequência, as áreas foram vetorizadas e aplicou-se uma sequência de procedimentos para filtragem dos polígonos.

Primeiro foram extraídas geometrias inválidas e as áreas menores que 1 ha, para diminuir as incertezas de acordo com a resolução espacial dos dados de entrada. Em seguida, as áreas densamente edificadas, (com exceção das APPs) foram subtraídas das áreas prioritárias para conservação, dando ênfase na recomposição da vegetação nativa.

Em toda a UPGRH Meia Ponte, as áreas com muito alta prioridade para recuperação e/ou conservação se aproxima a 290.000 ha. Desta área foram extraídas as áreas prioritárias por categorias de uso, como as áreas de preservação permanente, reserva legal, agricultura e pastagem. Além disso, tais áreas foram intersectadas para obter as áreas prioritárias para conservação para cada município, unidades de conservação e as respectivas zonas de amortecimento da UPGRH Meia Ponte.

Com o intuito de comparação entre as categorias analisadas para a UPGRH Meia Ponte, unidades de conservação e zonas de amortecimento, foi construído o gráfico da Figura 41, destacando a agricultura como a principal categoria que possui a maior concentração de áreas prioritárias para recuperação, levando em consideração o potencial de recarga hídrica, a vulnerabilidade ambiental e a vulnerabilidade social, pela metodologia determinada por esta pesquisa.

Em relação aos impactos socioeconômicos dessas áreas tentou-se correlacionar as áreas prioritárias para recuperação ou conservação com o índice de desempenho dos municípios (IDM) do estado de Goiás. O IDM é um indicador sintético multidimensional criado para representar o nível de desenvolvimento dos municípios em Goiás. Ele é composto por 37 indicadores agrupados em seis dimensões: Economia (7), Trabalho (4), Educação (9), Segurança (5), Infraestrutura (4) e Saúde (8) (CRUVINEL, MARINHO, *et al.*, 2021).

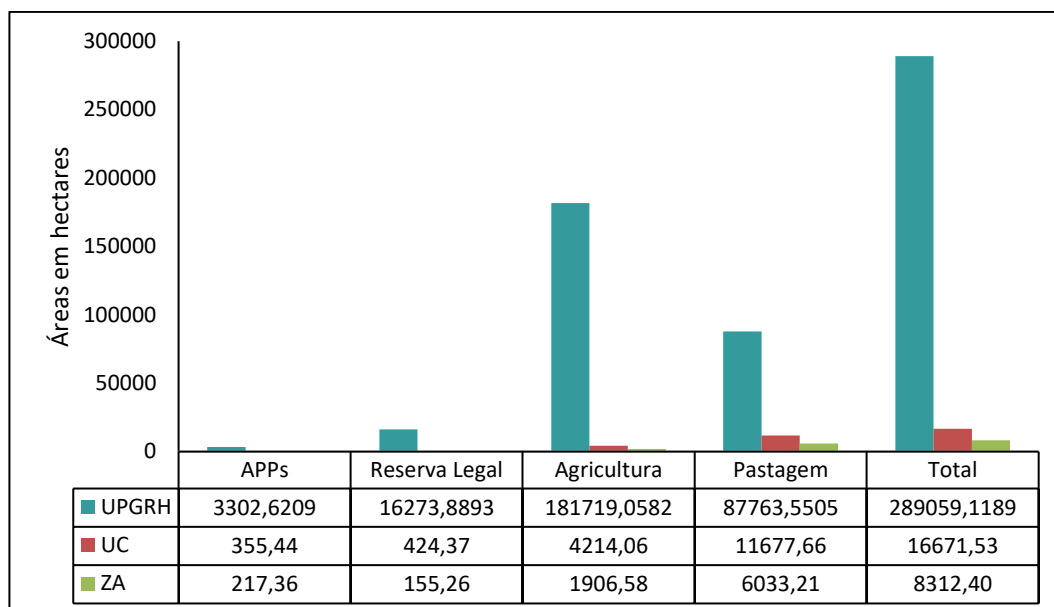


Figura 41 – Gráfico das áreas prioritárias para recuperação e conservação ambiental por categoria de uso.

Para verificar se existe correlação entre o IDM dos municípios da UPGRH Meia Ponte e as áreas definidas como prioritárias para conservação (APC) para cada município, foi utilizada a correlação linear de Pearson ( $r$ ), para averiguar a associação linear entre as variáveis. Foi possível observar que a correlação foi significativa a nível de 0,01 ( $p < 0,05$ ), e apresentou uma correlação de Pearson significativa, porém baixa (0,286).

Tabela 22 – Matriz de correlação de Pearson entre o Índice de Desempenho dos Municípios - IDM – e as Áreas Prioritárias para Conservação APC para a UPGRH Meia Ponte.

	IDM (2020)	APC
IDM (2020)	1	
APC	0,285754	1

O Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) já foi utilizado no estado de Goiás para avaliar a correlação com o Índice de Impacto da Pecuária e Degradação do Solo. Os resultados sugerem que, em certo ponto, quanto maior o desenvolvimento do município, maior é o índice de impacto da pecuária e degradação do solo (VILLELA, 2016). Isso também pode ser aplicado à UPGRH Meia Ponte, em que quanto maior o desenvolvimento do município, maiores serão as áreas prioritárias para recuperação e conservação.

No Apêndice F deste estudo, é possível encontrar uma tabela contendo os valores do Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) para o ano de 2020 de cada município pertencente à Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do Rio Meia Ponte.

Além dos valores do IDM, a tabela também apresenta os valores do total de áreas prioritárias para conservação e recuperação de cada município.

#### ***4.3.3.1 Áreas de preservação permanente***

Para avaliar as áreas de preservação permanente na UPGRH Meia Ponte, foram consideradas as APP's hídricas relacionadas a nascentes, rios, lagos e lagoas, e apps dos campos murundus, mapeadas para o Estado de Goiás.

No total, as APPs prioritárias foram iguais a 3.302,62 hectares em toda a UPGRH Meia Ponte, distribuídas em maior parte nos municípios de Itumbiara (1.758 ha), Cachoeira Dourada (266 ha), Goiânia (232 ha), Senador Canedo (165 ha), Panamá (137 ha), Morrinhos (137 ha) e Goiatuba (117 ha). Os demais municípios apresentaram áreas de APPs prioritárias menores que 100 ha, e estão apresentados no Apêndice C .

Como exemplo de um dos produtos gerados a partir deste estudo, a Figura 42 apresenta o mapa de áreas prioritárias para conservação e recuperação no município de Itumbiara. Nesse mapa, estão identificadas as áreas que foram consideradas prioritárias para ações de conservação e recuperação ambiental em áreas de APPs, Reserva Legal, Agricultura e Pastagem.

Além disso, foi produzido um mapa similar para todos os municípios pertencentes à Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) Meia Ponte, abrangendo os 38 municípios da região. Esses mapas abrangentes podem ser consultados no Apêndice G deste estudo.

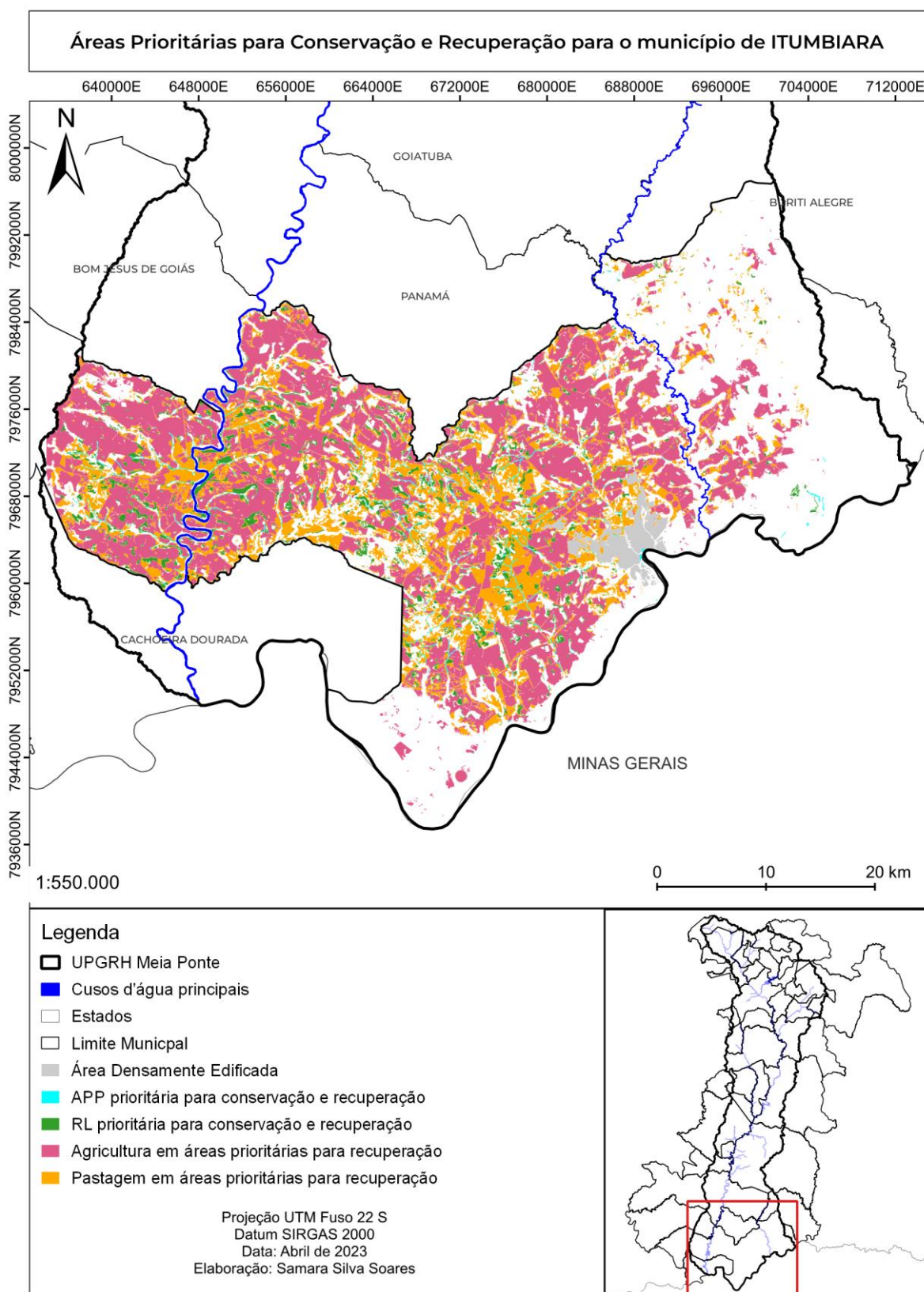


Figura 42 – Mapa das áreas prioritárias para conservação no município de Itumbiara.

Em relação às unidades de conservação presentes na UPGRH Meia Ponte, as únicas que apresentaram significativas APPs prioritárias para conservação e recuperação foram a Área de

Proteção Ambiental João Leite (APA João Leite) (198,19 ha) e o Parque Estadual do João Leite (PEJoL) (157,25 ha), sendo que a primeira do grupo de uso sustentável (US) envolve a outra, do grupo de proteção integral (PI) (Apêndice D).

Como exemplo de um dos produtos gerados a partir deste estudo, a Figura 43 apresenta o mapa de áreas prioritárias para conservação e recuperação na APA João Leite. Nesse mapa, estão identificadas as áreas que foram consideradas prioritárias para ações de conservação e recuperação ambiental em áreas de APPs, Reserva Legal, Agricultura e Pastagem.

Além disso, foi produzido um mapa similar para todas as unidades de conservação pertencentes à UPGRH Meia Ponte. Esses mapas podem ser consultados no Apêndice H deste estudo.

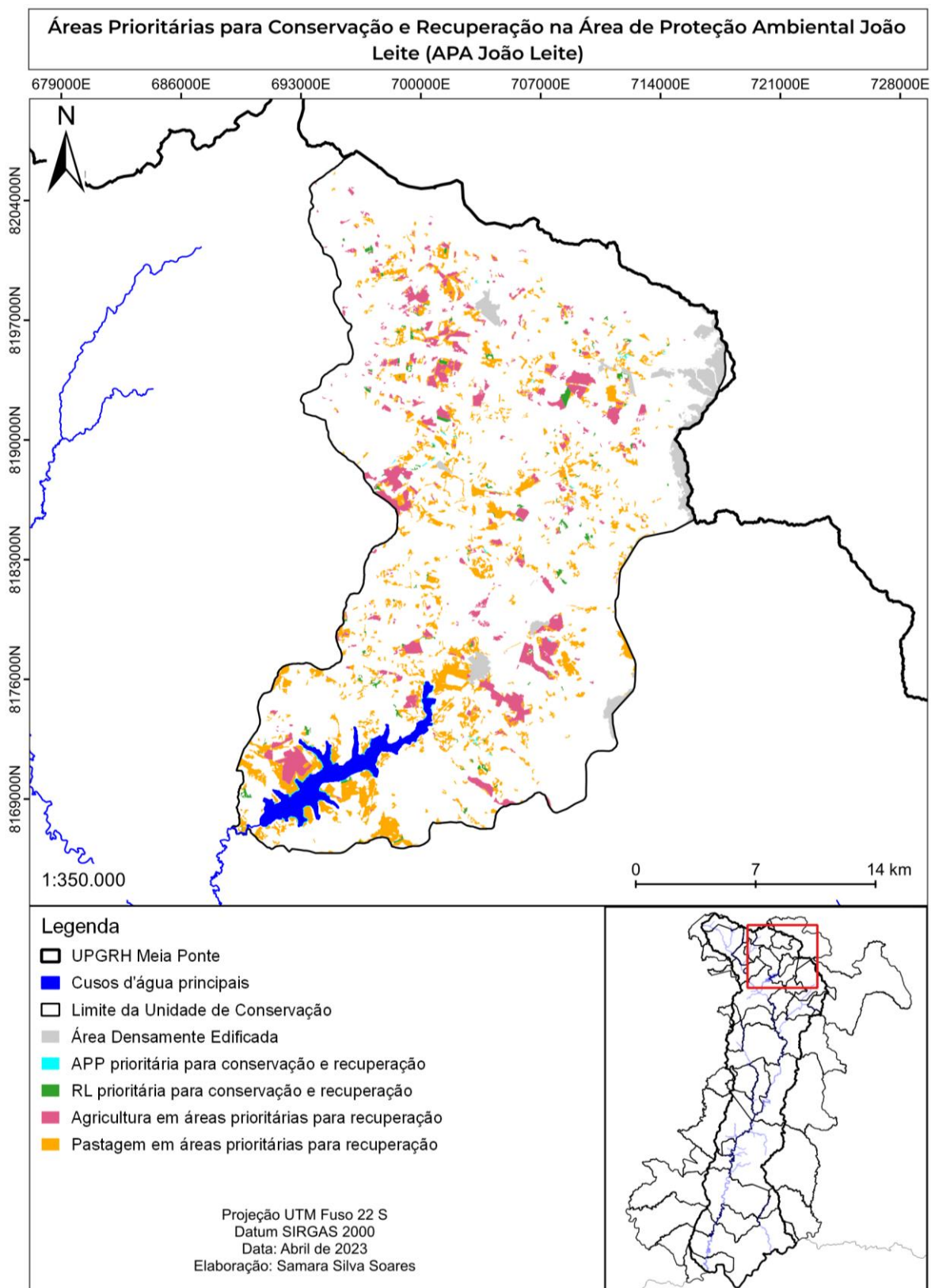


Figura 43 - Mapa das áreas prioritárias para conservação na APA João Leite.

Também foram identificadas APPs prioritárias em zonas de amortecimento de UCs, como na zona de amortecimento do Parque Municipal Governador Mauro Borges Teixeira (Figura 44) que possui cerca de 31 ha de APPs prioritárias (Apêndice E).

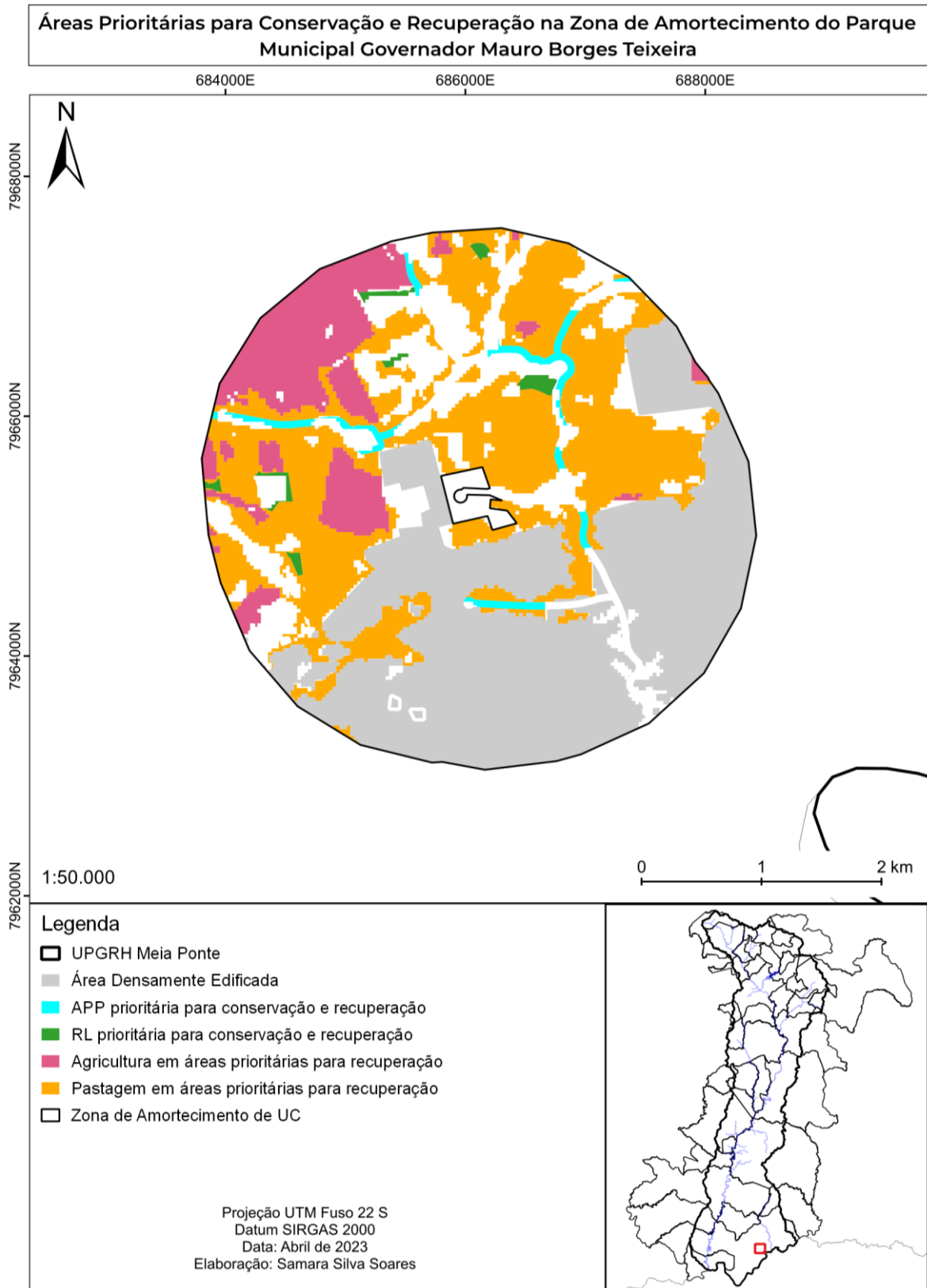


Figura 44 – Mapa das áreas prioritárias para conservação na zona de amortecimento do Parque Municipal Governador Mauro Borges Teixeira.

Também foi produzido um mapa similar para todas as zonas de amortecimento definidas para as unidades de conservação pertencentes à UPGRH Meia Ponte. Esses mapas podem ser consultados no Apêndice I deste estudo.

Em relação a APA João Leite, as áreas identificadas como prioritárias para conservação e recuperação, tanto para as APPs, quanto para os outros usos, servirão de alicerce para aplicação do Programa de Produtor de Água no Ribeirão João Leite (PPARJL) como instrumento de pagamento por serviços ambientais (PSA). Apesar de vários pontos críticos destacados por Canedo (2020), o programa possui êxito de sucesso sob a perspectiva da economia ambiental.

Outro caso de sucesso, foi o Programa Produtor de Águas do Município de Rio Verde – GO, que apresentou do ano de 2011 para o 2017, valor significativo de aumento da vegetação nativa, passando de 1075,5 hectares para 1236,6 hectares, mesmo diante do incremento de área de agricultura e de produtividade no Município. Essa constatação indica a viabilidade de implementar um programa de pagamento por serviços ambientais como meio de mitigação da degradação em APPs de curso d'água e nascentes (MERIDA, GUIMARÃES, *et al.*, 2022).

#### **4.3.3.2 Reserva Legal**

As áreas de reserva legal foram obtidas a partir das áreas declaradas no CAR e pelos municípios presentes na base de dados do SICAR. Foram consideradas as áreas de reserva legal maiores que 1 ha. Para evitar sobreposição de áreas, foram extraídas as áreas de preservação permanente contabilizadas como reserva legal.

No total, as Reservas Legais prioritárias compõem uma área de 16.273,89 hectares em toda a UPGRH Meia Ponte, distribuídas em maior parte nos municípios de Itumbiara (6914 ha), Cachoeira Dourada (1889 ha), Panamá (1821 ha), Goiatuba (1778 ha), Morrinhos (595 ha) e Bom Jesus de Goiás (540,22 ha), os quais apresentam áreas para conservação de reserva legal acima de 500 ha. Para os restantes dos municípios, as áreas prioritárias para conservação e recuperação estão apresentadas no Apêndice C .

Em relação à reserva legal prioritárias para as unidades de conservação presentes na UPGRH Meia Ponte temos um total de 424 hectares e a Área de Proteção Ambiental João Leite (APA João Leite) apresenta a maior área, cerca de 399 ha, seguida da Área De Proteção Ambiental Serra Do Cruzeiro (12,08 ha), Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP), (6,34 ha) e o Parque Estadual do João Leite (PEJoL) (7,01 ha) (Apêndice D).

Já nas zonas de amortecimento, temos um total de 155 ha de reserva legal prioritária, distribuídas entre as zonas de amortecimento do Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP)/Parque Estadual João Leite (PJOL) (146 ha) (Figura 45), Parque Estadual Telma Ortegal (PETO) (6,22 ha) e Parque Natural Municipal Ângelo Stival (2,82 ha) (Apêndice E).

Podemos destacar que a APA João Leite, novamente apresentou as maiores áreas de reserva legal prioritárias para conservação e recuperação ambiental, tendo como alvo além de instrumentos de pagamentos por serviços ambientais, formas de compensação ambiental, servidão ambiental perpétua ou até remanejamento de reserva legal para áreas dentro da APA como alternativas de conservação da sua vegetação nativa.

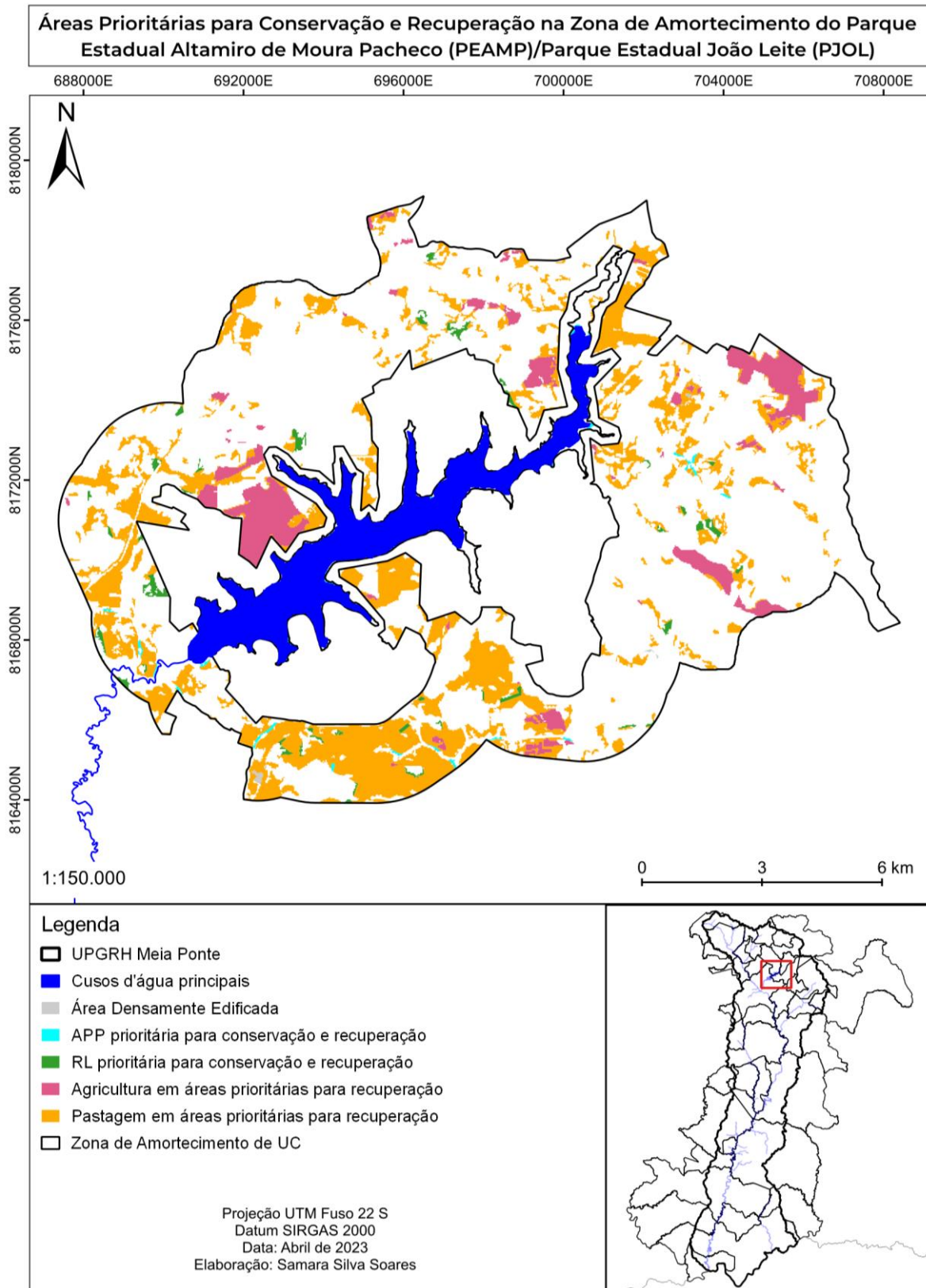


Figura 45 - Mapa das áreas prioritárias para conservação no Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP)/Parque Estadual João Leite (PJOL).

#### **4.3.3.3 Agricultura**

As áreas de agricultura foram vetorizadas a partir dos dados do Projeto Mapbiomas com o uso e ocupação da terra de 2021. Essas áreas também foram filtradas excluindo as que apresentaram menores que 1ha. Para priorizar as áreas com uso agrícola e evitar sobreposição com os demais tipos já apresentados, foram excluídas as áreas com cultivo agrícola encontradas em RL e APPs.

No total, as áreas prioritárias agriculturáveis (Figura 41), foram as que mais se destacaram frente aos outros tipos aqui discutidos. Em toda a UPGRH, as áreas prioritárias em áreas agriculturáveis somam 181.719,06 ha. Os cinco municípios que apresentaram maior áreas prioritárias agriculturáveis em seu território foram, em sequência, Itumbiara (63567 ha), Goiatuba (28879 ha) Panamá (20565 ha), Bom Jesus de Goiás (11281 ha) e Cachoeira Dourada (10381 ha), todos com áreas acima de 10.000 ha. Os demais municípios estão com as áreas prioritárias em agricultura apresentadas no Apêndice C

Em relação às unidades de conservação, a APA João Leite apresentou uma área total de 3.869 ha em área prioritárias em agricultura, seguida do Parque Estadual do João Leite (PEJoL) (249 ha) e da APA Serra do Cruzeiro (96,25 ha). Lembrando que ao contabilizar as áreas do PEJoL, elas estão inseridas dentro da APA João Leite (Apêndice D).

Para as zonas de amortecimento, temos destaque das áreas de agricultura prioritárias para recuperação na ZA do Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP)/Parque Estadual João Leite (PJOL) (970 ha), na ZA do Parque Municipal Governador Mauro Borges Teixeira (458 ha) e na ZA do Refúgio De Vida Silvestre De Santo Antônio De Goiás (303 ha) ha)(Apêndice E).

#### **4.3.3.4 Pastagem**

Da mesma forma aplicada para as áreas agriculturáveis, a tipologia de pastagem foi vetorizada e considerada apenas aquelas que apresentarem áreas maiores que 1 ha. Para evitar a sobreposição com os demais tipos já apresentados, foram excluídas as pastagens encontradas em áreas de RL e APPs.

As áreas de pastagem prioritárias compõem uma área de 87.763,5505 hectares em toda a UPGRH Meia Ponte, distribuídas em maior parte nos municípios de Itumbiara (32.808 ha), Goiânia (8.589 ha), Panamá (7.589 ha), Cachoeira Dourada (5.884 ha) e Goiatuba (4892ha) . O

restante dos municípios, as áreas prioritárias para recuperação em pastagens estão apresentadas no Apêndice C .

Para as unidades de conservação, as áreas de pastagem prioritárias para recuperação somam 11.678 ha, em que, dentre as UCs analisadas, a APA João Leite também apresentou a maior área prioritária para recuperação em pastagem (7.917 ha), seguida do Parque Estadual do João Leite (PEJoL) (3.051 ha) e do Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP) (492 ha).

Já as zonas de amortecimento, possui um total de 6.033 ha de áreas prioritárias em pastagem, com a ZA do Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP)/Parque Estadual João Leite (PJOL) contabilizando 4.777 ha, a ZA do Parque Municipal Governador Mauro Borges Teixeira com 1.065 ha e Za do Parque Estadual Telma Ortegá (PETO) com 182 ha.

#### **4.4 CONCLUSÃO**

O presente trabalho objetivou definir áreas prioritárias para recuperação e conservação ambiental na UPGRH Meia Ponte levando em consideração 3 variáveis, o potencial de recarga hídrica subterrânea, a vulnerabilidade ambiental e a vulnerabilidade social da bacia. Além disso, este estudo também visou a aplicabilidade das áreas prioritárias frente aos instrumentos existentes para recuperação ambiental no Estado de Goiás, como os pagamentos por serviços ambientais (PSA) e a compensação ambiental. Concomitantemente se avaliou também em quais categorias de uso do solo como pastagem e agricultura e em quais áreas protegidas como APP's e reservas legais as áreas prioritárias estão inseridas.

Os resultados apontam que cerca de um terço da UPGRH Meia Ponte possui alto potencial de recarga hídrica, e tais áreas estão concentradas na porção sul da bacia, especificamente na formação Serra Geral, devido ao alto índice de fraturamento das rochas que permitem a percolação da água. Em relação ao índice de vulnerabilidade social – IVS por setor censitário, a UPGRH Meia Ponte apresenta majoritariamente IVS médio, com destaque ao Grupo B –IVS Infraestrutura e Moradia que apresenta quase 70% da bacia classificado como alto. Já a vulnerabilidade ambiental possui altos índices na região metropolitana de Goiânia e na porção sul da bacia.

Dessa forma, ao sobrepor o potencial de recarga hídrica subterrânea e o índice de vulnerabilidade socioambiental, as áreas prioritárias para conservação na UPGRH Meia Ponte

se concentrou na região norte da bacia hidrográfica, envolvendo a região metropolitana de Goiânia e na porção sul da bacia, em que as atividades agriculturáveis são mais intensas, contabilizando cerca de um quinto da área total da bacia hidrográfica.

Os municípios que se destacam, possuindo grandes áreas prioritárias para conservação ambiental em áreas de preservação permanente e reserva legal, são Itumbiara e Cachoeira Dourada. Para as áreas agriculturáveis e de pastagem em áreas prioritárias, os municípios de Itumbiara, Goiatuba, Panamá e Goiânia é que se destacam. Em relação às unidades de conservação, a APA João Leite apresentou maiores áreas prioritárias para conservação e recuperação, tendo o Programa de Produtor de Água no Ribeirão João Leite (PPARJL) um instrumento de pagamento por serviços ambientais (PSA) viável para ser aplicado na recuperação dessas áreas. As zonas de amortecimento das unidades de conservação da UPGRH Meia Ponte também tiveram significativas áreas prioritárias para recuperação e conservação.

De modo geral, as áreas prioritárias para recuperação em áreas agriculturáveis foram as mais representativas em toda a bacia hidrográfica. Contudo, o desenvolvimento econômico dos municípios possui uma correlação significativa, porém fraca com a contabilização de áreas prioritárias para conservação e recuperação da UPGRH Meia Ponte, de acordo com o coeficiente de correlação de Pearson (0,286).

Os impactos socioeconômicos advindos da recomposição das áreas prioritárias para recuperação que podem ser listados são: perda de áreas agriculturáveis, pois houve maior concentração de áreas prioritárias nas áreas agriculturáveis, afetando a economia dos municípios. Há a necessidade avanços em estudos para aumentar produtividade agrícola sem necessidade de conversão de novas áreas e mecanismos como pagamento por serviços ambientais podem estimular a recuperação de tais áreas.

Assim, o presente estudo apontou quais são as áreas prioritárias para conservação e recuperação ambiental na UPGRH Meia Ponte e as relações com uso e ocupação da terra. Há viabilidade ambiental em recompor essas áreas, considerando as alternativas de recuperação ambiental, seja por pagamento por serviços ambientais ou compensação ambiental em projetos de revitalização de bacias hidrográficas, aquisição de áreas para recomposição em unidades de conservação. Tais modalidades estão presentes na legislação de licenciamento ambiental do Estado de Goiás.

## Agradecimentos

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

## Referências

AHMED, R., SAJJAD, H. "Analyzing Factors of Groundwater Potential and Its Relation with Population in the Lower Barpani Watershed, Assam, India", **Natural Resources Research**, v. 27, n. 4, p. 503–515, 11 out. 2018. DOI: 10.1007/s11053-017-9367-y. .

ALMEIDA, L. de, RESENDE, L., RODRIGUES, A. P., et al. Hidrogeologia do Estado de Goiás. Goiânia, GO, Governo do Estado de Goiás. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração, 2006. v. 1, 232 p. Disponível em: [http://www.sieg.go.gov.br/downloads/Livro\\_Hidrogeologia.pdf](http://www.sieg.go.gov.br/downloads/Livro_Hidrogeologia.pdf). Acesso em: 17 fev. 2019. (Série Geologia e Mineração).

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas. . Brasília, DF, Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica-SGH. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 18 fev. 2019a. , 2020

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 50k (BHO 2017 50k). Catálogo de Metadados da ANA. Brasília, DF, ANA. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/4fd91f0d-f34f-4fca-a961-c2dcb3e0446e>. Acesso em: 31 mar. 2023. , 2017

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. HidroWeb. . Brasília, DF, Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 30 mar. 2023b. , 2020

AQUINO, A. R. de, PALETTA, F. C., ALMEIDA, J. R. de. Vulnerabilidade ambiental. 1a ed. São Paulo, Blucher, 2017.

ARNOLD, J. G., MUTTIAH, R. S., SRINIVASAN, R., et al. "Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the Upper Mississippi river basin", **Journal of Hydrology**, v. 227, n. 1–4, p. 21–40, jan. 2000. DOI: 10.1016/S0022-1694(99)00139-0. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169499001390>.

BARBOSA, I. R., GONÇALVES, R. C. B., SANTANA, R. L. "Social vulnerability map for the municipality of Natal (Northeast Brazil) at a census sector level", **Journal of Human Growth and Development**, v. 29, n. 1, p. 48–56, 1 maio 2019. DOI: 10.7322/jhgd.157749. .

BERTONI, J., NETO, F. L. Conservação do solo. 4. ed. São Paulo, Ícone Editora, 2005.

BRASIL. Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 196. Brasília, DF, Brasil, Diário Oficial da União de 28/05/2012. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm). Acesso em: 14 nov. 2019. , 2012

BRASIL. Lei no 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nos 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Brasil, Diário Oficial da União - Seção 1 - 14/1/2021, Página 7. , 2021

BRITO, B. N. de, SILVA, E. B. da. "Análise multitemporal de uso e cobertura da terra na Reserva da Biosfera do Cerrado", **Ateliê Geográfico**, v. 13, n. 2, p. 73–91, 2019. DOI: 10.5216/ag.v13i2.54747. .

CANEDO, L. F. T. Pagamento por serviços ambientais: análise do programa “Produtor de Água no Ribeirão João Leite”. 2020. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

CEREDA JUNIOR, A., RÖHM, S. A. "Proposal and analysis of environmental fragility model using multicriteria analysis and fuzzy logic for integrated landscape mapping", *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v. 8, n. 1, p. 28–37, 4 abr. 2014. DOI: 10.4090/juee.2014.v8n1.028037. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/juee/article/view/15854>.

COSTA, M. A., MARGUTI, B. O. Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiros. . Brasília, [s.n.], 2015.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. S. De, FILHO, P. H., et al. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. . São José dos Campos, SBR, jun. 2001.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. S. De, FILHO, P. H., et al. Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico-econômico. . Salvador, Brasil, INPE, SBR, 14 abr. 1996.

CRUVINEL, E. de C., MARINHO, F. V. da M., SATEL, C. I. R. Índice de desempenho dos Municípios goianos - 2020/2021. . Goiânia, 2021. Disponível em: <https://www.imb.go.gov.br>.

DE ALMEIDA, F. C., SILVEIRA, E. M. D. O., ACERBÍ JUNIOR, F. W., et al. "ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO FLORESTAL NA BACIA DO RIO DOCE, EM MINAS GERAIS", **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 81, 5 fev. 2020. DOI: 10.31413/nativa.v8i1.8130. .

FANG, H., SUN, L., TANG, Z. "Effects of rainfall and slope on runoff, soil erosion and rill development: an experimental study using two loess soils", **Hydrological Processes**, v. 29, n. 11, p. 2649–2658, 30 maio 2015. DOI: 10.1002/hyp.10392. .

FRANÇA, L. C. de J., MUCIDA, D. P., SANTANA, R. C., et al. "AHP APPROACH APPLIED TO MULTI-CRITERIA DECISIONS IN ENVIRONMENTAL FRAGILITY MAPPING", **FLORESTA**, v. 50, n. 3, p. 1623, 10 jul. 2020. DOI: 10.5380/ufpr.v50i3.65146. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/65146>.

GOIÁS. Decreto no 9.130 de 29 de dezembro de 2017. Dispõe sobre o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais – PEPSA e dá outras providências. Brasil, Diário Oficial do Estado de Goiás, Goiânia, Brasil. , 27 dez. 2017

GOIÁS. Lei nº 20.694, de 26 de dezembro de 2019. Dispõe sobre normas gerais para o Licenciamento Ambiental do Estado de Goiás e dá outras providências. Goiânia, Brasil, Diário Oficial do Estado de Goiás, Goiânia, GO. , 26 dez. 2019

GOIÁS. Lei no 18.104 de 18 de julho de 2013. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, institui a nova Política Florestal do Estado de Goiás e dá outras providências. Brasil , Diário Oficial do Estado de Goiás, Goiânia, GO. , 23 jul. 2013

GOIÁS. Lei no 21.231 de 10 de janeiro de 2022. Dispõe sobre a regularização de passivos ambientais de imóveis rurais e urbanos, [...], também a definição dos parâmetros da compensação florestal e da reposição florestal no Estado de Goiás. Brasil, Diário Oficial do Estado de Goiás, Goiânia, GO. , 10 jan. 2022

GOMES, L., SIMÕES, S., DALLA NORA, E., et al. "Agricultural Expansion in the Brazilian Cerrado: Increased Soil and Nutrient Losses and Decreased Agricultural Productivity", **Land**, v. 8, n. 1, p. 12, 8 jan. 2019. DOI: 10.3390/land8010012. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/8/1/12>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário. Centro de Documentação e Disseminação de Informações. Rio de Janeiro, Brasil, IBGE. , 2011

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. . 2010. IBGE. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 4 abr. 2023.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas#exportar-dados>. Acesso em: 9 abr. 2023. , 2020

JULIÃO, C. C. B., LIMA, J. E. de. "Índice de Vulnerabilidade Social: uma aplicação de análise fatorial para classificar os municípios pernambucanos", *Revista Planejamento e Políticas Públicas*, v. 54, p. 11–28, 28 set. 2020. DOI: 10.38116/ppp54art01. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/ppp/200928\\_PPP54\\_Miolo\\_ART01.pdf](https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/ppp/200928_PPP54_Miolo_ART01.pdf).

KARAKUŞ, C. B. "Groundwater potential assessment based on GIS-based Best–Worst Method (BWM) and Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) Method", **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 11, p. 31851–31880, 2 dez. 2022. DOI: 10.1007/s11356-022-24425-3. .

KISIKI, C. P., BEKELE, T. W., AYENNEW, T., et al. "Geospatial application on mapping groundwater recharge zones in Makutupora basin, Tanzania", **Heliyon**, v. 8, n. 10, p. e10760, 1 out. 2022a. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e10760. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844022020485>.

KLINK, C. A., MACHADO, R. B. "Conservation of the Brazilian Cerrado", **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707–713, jun. 2005. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>.

KRISHNA BAHADUR, K. C. "Mapping soil erosion susceptibility using remote sensing and GIS: a case of the Upper Nam Wa Watershed, Nan Province, Thailand", **Environmental**

**Geology**, v. 57, n. 3, p. 695–705, 15 abr. 2009. DOI: 10.1007/s00254-008-1348-3. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00254-008-1348-3>.

KUMAR, A., PANDEY, A. C. "Geoinformatics based groundwater potential assessment in hard rock terrain of Ranchi urban environment, Jharkhand state (India) using MCDM–AHP techniques", **Groundwater for Sustainable Development**, v. 2–3, p. 27–41, 1 ago. 2016. DOI: 10.1016/j.gsd.2016.05.001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352801X16300121>. Acesso em: 18 dez. 2022.

LEITE, E. F., BEREZUK, A. G., SILVA, C. A. da. "A vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Miranda, Mato Grosso do Sul", **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 5, p. 2613, 29 ago. 2022. DOI: 10.26848/rbgf.v15.5.p2613-2639. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/253665>.

LIRA, K. C. S., FRANCISCO, H. R., FEIDEN, A. "Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP", **Sociedade & Natureza**, v. 34, n. 1, 7 fev. 2022. DOI: 10.14393/SN-v34-2022-62872. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/62872>.

MAFRA, R., PRADO OSCO, L., RODRIGO ALVES, M., et al. "Definição de áreas prioritárias para a recuperação florestal em bacias hidrográficas a partir de análise multicritério", **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 77, p. 220–233, 1 out. 2020. DOI: 10.14393/RCG217752869. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/52869>.

MAQSOOM, A., ASLAM, B., KHALID, N., et al. "Delineating Groundwater Recharge Potential through Remote Sensing and Geographical Information Systems", **Water**, v. 14, n. 11, p. 1824, 6 jun. 2022. DOI: 10.3390/w14111824. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/11/1824>.

MEDEIROS, C. N. de. "Mapeamento da vulnerabilidade socioambiental utilizando ferramentas de geoprocessamento". 2018. Anais [...] Fortaleza, Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), 2018. p. 37. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/>.

MELO NETO, J. O., CHAGAS, R. M., JÚNIOR, A. V. M. "Delimitação de áreas potenciais de recarga subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Siriri, Sergipe", **SCIENTIA PLENA**, v. 9, n. 7, 2013a. Disponível em: [www.scientiaplena.org.br](http://www.scientiaplena.org.br).

MELO NETO, J. O., CHAGAS, R. M., JÚNIOR, A. V. M. "Delimitação de áreas potenciais de recarga subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Siriri, Sergipe", **SCIENTIA PLENA**, v. 9, n. 7, 2013b. Disponível em: [www.scientiaplena.org.br](http://www.scientiaplena.org.br).

MERIDA, C., GUIMARÃES, R. S., SILVA, F. S. "Estudo de Caso: Viabilidade de implantação do Programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) para recuperação da bacia hidrográfica do “Rio das Pedras” no Município de Quirinópolis – GO”, **Cadernos de Direito Actual**, v. 18, n. 18, p. 264–282, 2022. Disponível em: <https://www.cadernosdedereitoactual.es/ojs/index.php/cadernos/article/view/797>. Acesso em: 16 abr. 2023.

MESQUITA, D., SIMÕES, J. A., ESSER, J. de O., et al. Metodologia de Definição de Áreas Prioritárias para Recuperação Ambiental. Programa Juntos Pelo Araguaia. Viçosa,

Universidade Federal de Viçosa (UFV), Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). , 2020.

MMA. Áreas Prioritárias para Biodiversidade. 2023. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/servicosambientais/ecossistemas-1/conservacao-1/areas-prioritarias>. Acesso em: 26 mar. 2023.

MOORE, I. D., BURCH, G. J. "Physical Basis of the Length-slope Factor in the Universal Soil Loss Equation", **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 5, p. 1294–1298, set. 1986. DOI: 10.2136/sssaj1986.03615995005000050042x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj1986.03615995005000050042x>.

MORAES, J. M. Geodiversidade do estado de Goiás e do Distrito Federal. (P. da Silva, Org.)Escala 1:1.000.000. Goiânia, CPRM. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/16732>. Acesso em: 31 mar. 2023. , 2014

MOREIRA, M. L. O., MORETON, L. C., ARAÚJO, V. A. de, et al. Geologia do Estado de Goiás de Distrito Federal. . [S.l: s.n.]. , 2008

NOSSACK, F. Á., SARTORI, A. A. da C., SILVA, R. F. B. da, et al., "Definição de áreas prioritárias para a recuperação florestal visando conectividade entre fragmentos: Análise Multicriterial". **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBR**, Curitiba, PR, INPE, 2011. p. 4062–4069.

PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 7.0 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. 2022. Disponível em: [https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-7/lcu/coverage/brasil\\_coverage\\_2021.tif](https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-7/lcu/coverage/brasil_coverage_2021.tif). Acesso em: 9 abr. 2023.

REIS, G. D. A., RIBEIRO, A. J. A., DA SILVA, C. A. U. "Diagnóstico de Vulnerabilidade Socioambiental em Áreas Urbanas Utilizando Inteligência Geográfica", **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 767–781, 18 abr. 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v13.2.p767-781.

RESENDE, M. de J. G. Distribuição dos solos de Goiás. , Classes de solos dos municípios goianos. Goiânia - GO, EMATER, 2016.

ROSS, J. L. S. "Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados", Geography Department, University of Sao Paulo, p. 63–74, 1994. DOI: 10.7154/RDG.1994.0008.0006. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>.

ROSS, J. L. S., MOROZ, I. C. "MAPA GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO", Geography Department, University of Sao Paulo, p. 41–58, 1996. DOI: 10.7154/RDG.1996.0010.0004. .

SAATY, R. W. "The analytic hierarchy process—what it is and how it is used", **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3–5, p. 161–176, 1987. DOI: 10.1016/0270-0255(87)90473-8. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0270025587904738>.

SAATY, T. L. "A scaling method for priorities in hierarchical structures", **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234–281, jun. 1977. DOI: 10.1016/0022-

2496(77)90033-5. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0022249677900335>.

SANO, E. E., RODRIGUES, A. A., MARTINS, E. S., et al. "Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation", **Journal of Environmental Management**, v. 232, n. December 2018, p. 818–828, fev. 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.11.108. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>. Acesso em: 12 jul. 2020.

SANTOS, T. V. M. N. dos. Mapeamento de áreas prioritárias para ações de conservação e recuperação ambiental na Bacia do Rio Descoberto. 2016. 78 f. Monografia (TCC) – UNB - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SANTOS, J. de O. "Relação entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos", **Mercator**, v. 14, n. 02, p. 75–90, 20 jul. 2015. DOI: 10.4215/RM2015.1402.0005. Disponível em:

<http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/view/1650/587>.

SANTOS, M. B., FARIA, K. M. S. "Vulnerabilidades ambientais do Bioma Cerrado: Estudo da região Norte Goiano - Goiás.", **Acta Geográfica**, v. 14, n. 34, p. 242–258, 2020. DOI: 10.5654/acta.v14i34.5260.

SANTOS, S. D., RABBANI, A. R. C., DA SILVA, L. T., et al. "Identificação de áreas prioritárias para a recuperação da vegetação nativa, com o auxílio da modelagem espacial multicriterial, na bacia do rio Buranhém – Minas Gerais e Bahia", **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 26, 22 jun. 2022. DOI: 10.5902/2236499463721. Disponível em:

<https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/63721>.

SHAO, Z., HUQ, Md. E., CAI, B., et al. "Integrated remote sensing and GIS approach using Fuzzy-AHP to delineate and identify groundwater potential zones in semi-arid Shanxi Province, China", **Environmental Modelling & Software**, v. 134, p. 104868, 1 dez. 2020. DOI: 10.1016/j.envsoft.2020.104868. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815220309257>. Acesso em: 18 dez. 2022.

SIEG. Mapa Geológico 1:500.000. SIG - Goiás - Superintendência de Geologia e Mineração - SIC. Goiânia, Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. CPRM/SIC - FUNMINERAL. Disponível em: <http://dados.sieg.gov.br/Sieg/produtosIMB.asp?cod=2464>. Acesso em: 31 mar. 2023. , 13 abr. 2009

SILVA, D. C. da C. e, MORO, M. K., MOYA, K. J., et al. "Proposta metodológica para definição de áreas prioritárias para recuperação vegetal de áreas de preservação permanente",

**Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 4, p. 540, 12 dez. 2018. DOI:

10.19177/rgsa.v7e42018540-562. Disponível em:

[https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao\\_ambiental/article/view/7291](https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/7291).

SILVA, A. M. da, ALVARES, C. A. "Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo", **Geociencias**,

v. 24, n. 1, p. 33–41, 2005. Disponível em:

<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/9738/0>.

SILVA, M. V. S. da, SILVA, B. C. S. da, LIMA, I. F. "Análise da vulnerabilidade ambiental do município São João da Ponta, Pará: O uso do geoprocessamento na gestão de unidades de conservação", **Revista Cerrados**, v. 18, n. 01, p. 159–188, 29 abr. 2020. DOI:

10.22238/rc2448269220201801159188. Disponível em:

<https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/1200>.

UFV, "Definição de critérios de priorização de áreas para recuperação ambiental na Bacia do Rio Doce". Metodologia de priorização: Produto 3.2, [S.l.], UFRV, UFRMG, Fundação Renova, 2018. p. 199.

VALERIANO, M. de M., ROSSETTI, D. de F. "Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data", **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 300–309, 1 mar. 2012. DOI:

10.1016/J.APGEOG.2011.05.004. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622811000786>. Acesso em: 2 dez. 2019.

VILLELA, P. de M. Impactos ambientais da modernização agropecuária em Goiás. 2016. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

VISHWAKARMA, A., GOSWAMI, A., PRADHAN, B. "Prioritization of sites for Managed Aquifer Recharge in a semi-arid environment in western India using GIS-Based multicriteria evaluation strategy", **Groundwater for Sustainable Development**, v. 12, p. 100501, 1 fev. 2021a. DOI: 10.1016/j.gsd.2020.100501. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352801X20303295>.

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. , Agriculture Handbook., no 537. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, 1978.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS

Esta tese teve como objetivo geral definir áreas prioritárias para conservação e recuperação socioambiental na UPGRH Meia Ponte considerando a análise histórica e diversos fatores do uso e ocupação da terra, além de avaliar a perda anual de solo. Os resultados intermediários mostram uma estabilidade na mudança do uso do solo, ou seja, uma baixa taxa de redução da vegetação nativa, uma alta taxa de redução da área de pastagem e um aumento da área de cultivo. A agricultura expandiu principalmente sobre áreas de menor declividade e solos considerados com maior aptidão agrícola, como os Latossolos. A classe silvicultura passou por uma expansão relevante, possivelmente devido à necessidade de reflorestamento para solucionar a devastação da cobertura florestal na bacia.

Além da análise temporal do uso e ocupação da terra, outro resultado obtido a partir deste trabalho foi a taxa de perda de solo na UPGRH Meia Ponte através da Equação Universal da Perda de Solo. A avaliação da erosão do solo foi feita classificando a intensidade da erosão do solo em seis classes. A classe baixa (0-5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) ocupou a maior porcentagem da área de cobertura de perda de solo em todos os períodos analisado (1987, 1997, 2007 e 2017), mas teve uma redução de 10% na contabilização das áreas em 30 anos (1987 a 2017). Houve um aumento na taxa de perda de solo de 1987 a 2017 devido ao aumento das áreas agricultáveis, e as políticas agrícolas influenciaram muito tais condições que determinam mudanças temporais na taxa de erosão do solo em diferentes escalas. As taxas de crescimento das terras agrícolas ocuparam principalmente as áreas de pastagem, levando ao aumento da perda de solo em diferentes categorias. As taxas de erosão do solo de terras agrícolas e áreas de pastagem excederam as taxas toleráveis em toda a escala temporal.

Na da UPGRH Meia Ponte, existem aproximadamente 290.000 hectares de áreas com altíssima prioridade para recuperação e/ou conservação. Dessa área foram extraídas áreas prioritárias por categorias de uso como áreas de preservação permanente, reserva legal, agricultura e pastagem. Além disso, essas áreas foram intersectadas para obter as áreas de conservação prioritárias para cada município, unidades de conservação e suas respectivas zonas de amortecimento da UPGRH Meia Ponte. A agricultura foi a principal categoria com maior concentração de áreas prioritárias para restauração, considerando o potencial de recarga hídrica, vulnerabilidade ambiental e vulnerabilidade social, conforme determinado pela metodologia deste estudo. Itumbiara e Cachoeira Dourada destacam-se como municípios com grandes áreas prioritárias para conservação ambiental em áreas de preservação permanente e reserva legal.

Em relação às unidades de conservação, a APA João Leite apresentou áreas prioritárias para conservação e restauração, sendo o Programa Produtor de Água do Ribeirão João Leite (PPARJL) uma ferramenta viável de pagamento por serviços ambientais (PSA) a ser aplicada na recuperação dessas áreas. As zonas de amortecimento das unidades de conservação da UPGRH Meia Ponte também tiveram importantes áreas prioritárias para restauração e conservação.

O desenvolvimento econômico dos municípios apresenta correlação significativa, porém fraca, com a contabilização das áreas prioritárias para conservação e restauração da UPGRH Meia Ponte, segundo o coeficiente de correlação de Pearson (0,286). Os impactos socioeconômicos decorrentes da restauração de áreas prioritárias para restauração incluem a perda de áreas agrícolas, pois houve maior concentração de áreas prioritárias em áreas agrícolas,

afetando a economia dos municípios. Há necessidade de avanços nos estudos para aumentar a produtividade agrícola sem a necessidade de conversão de novas áreas, e mecanismos como o pagamento por serviços ambientais podem estimular a recuperação dessas áreas.

Portanto, há viabilidade ambiental em restaurar essas áreas, considerando alternativas de recuperação ambiental, seja por meio de pagamento por serviços ambientais ou compensações ambientais em projetos de revitalização de bacias hidrográficas, ou aquisição de áreas para restauração em unidades de conservação. Tais modalidades estão presentes na legislação de licenciamento ambiental do Estado de Goiás.

Sugerem-se novos estudos para identificar conflitos de uso da cobertura do solo relacionados às atividades humanas nos remanescentes de vegetação nativa e para formular políticas públicas mais adequadas e melhorar a gestão territorial e ambiental do estado. Além disso, estudos futuros também devem avaliar as práticas necessárias para reduzir a taxa de erosão do solo a níveis toleráveis e se o aumento da taxa de erosão do solo está relacionado às mudanças climáticas, que influenciam o fator de erosividade das chuvas (R).

## APÊNDICE A – INFORMAÇÕES DO HIDROWEB

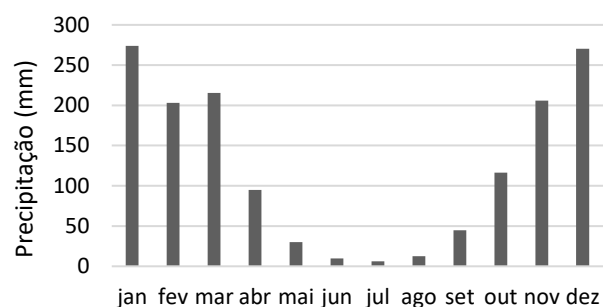


Figura A – 1 – Precipitação média mensal entre 1978-2017 na UPGRH do Rio Meia Ponte.

Tabela A – 1 – Estatística descritiva dos dados de precipitação pluviométrica em 15 estações interferentes na área da UPGH do Rio Meia Ponte.

Estatística descritiva	Intervalo temporal por década (anos)			
	1978 – 1987	1988 – 1997	1998 – 2007	2008 – 2017
Média	1610,00	1476,16	1429,45	1411,13
Erro Padrão	26,8	62,77	37,34	54,13
Desvio padrão	103,80	243,10	144,61	209,64
Mínimo	1436,38	1059,39	1131,30	952,07
Máximo	1787,95	2119,04	1631,11	1637,55
Nível de confiança (95.0%)	57,48	134,62	80,08	116,09

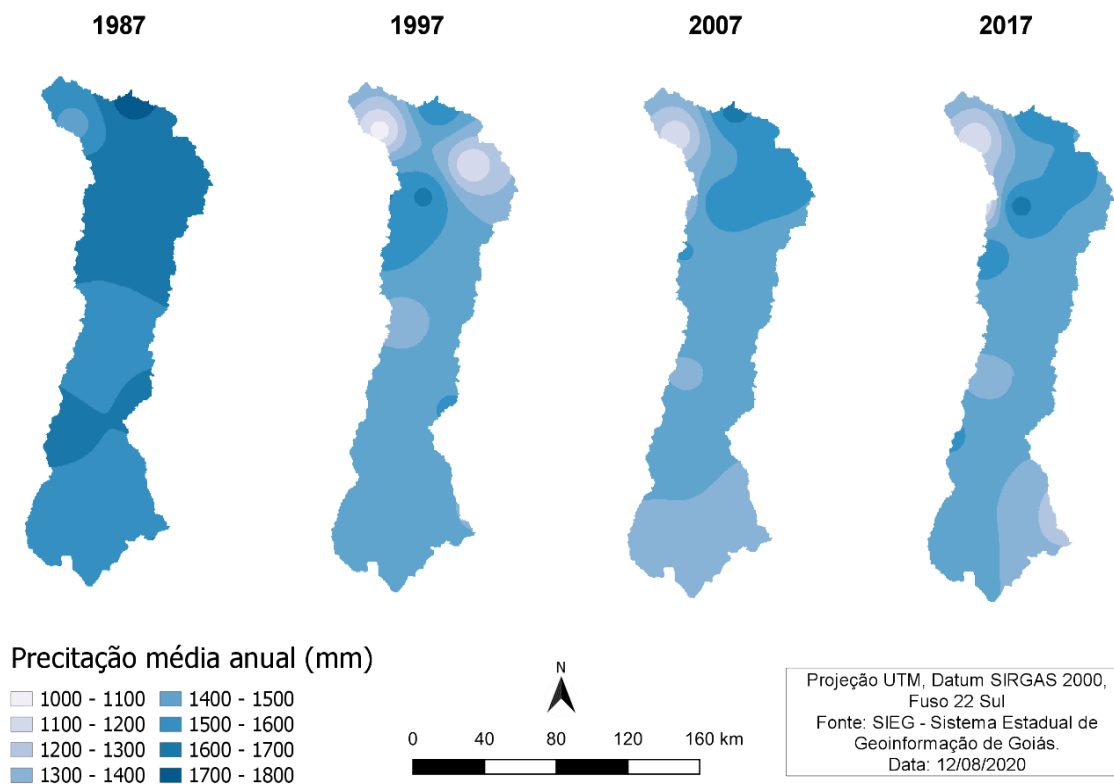


Figura A – 2 – Mapa da precipitação média anual nas décadas de a)1987, b)1997, c)2007 e d)2017 na UPGRH do rio Meia Ponte.

Tabela A – 2 – Precipitação média mensal das 15 estações pluviométricas interferentes na área da UPGRH do Rio Meia Ponte – 1978 – 2017.

Mese s	Precipitação média mensal (mm)																			
	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
jan	292.27	373.41	391.39	271.72	461.23	446.35	170.67	470.60	260.27	207.07	197.42	202.57	210.99	270.09	323.23	105.98	361.11	250.14	186.29	402.24
fev	187.57	267.45	418.94	76.97	137.73	247.73	145.83	143.71	179.56	182.43	289.63	225.03	154.69	204.15	257.07	287.20	185.59	282.75	195.15	133.47
mar	169.71	180.93	68.10	269.27	320.30	251.01	187.02	267.21	172.07	238.63	246.33	165.70	141.93	336.15	177.32	173.53	291.59	214.85	209.67	246.89
abr	97.87	52.53	92.43	63.25	80.68	123.53	134.12	130.35	49.08	143.59	145.37	66.36	53.23	102.50	171.93	69.10	67.51	108.73	112.01	82.53
mai	53.23	65.97	13.91	4.54	105.37	29.21	32.47	14.77	56.23	18.54	20.15	16.58	51.33	4.10	36.39	24.68	17.60	79.73	21.45	64.55
jun	12.54	0.04	16.35	28.46	8.19	3.98	0.00	0.98	0.05	4.55	16.66	16.70	1.02	0.00	0.00	23.85	20.17	5.99	4.04	83.65
jul	10.54	18.86	0.00	4.12	11.20	27.56	0.00	1.62	15.06	0.29	0.00	25.39	9.99	0.03	0.00	0.00	9.55	0.07	2.95	0.00
ago	0.00	23.17	6.38	0.15	36.66	0.33	58.27	1.59	61.15	8.86	0.00	37.09	29.63	0.00	3.02	53.04	0.07	0.00	20.91	0.44
set	31.35	103.43	58.09	16.87	54.55	56.51	65.33	41.49	51.72	52.98	4.94	39.45	36.29	46.09	83.40	114.29	5.98	32.24	56.62	62.59
out	123.63	82.81	86.09	220.85	179.21	147.75	99.11	108.24	105.19	148.41	152.91	83.35	127.30	119.85	173.15	92.74	120.71	82.21	135.07	110.22
nov	268.17	215.91	218.89	311.05	154.99	223.42	158.73	220.05	142.33	253.51	153.15	211.83	170.12	125.74	231.66	187.92	226.83	159.37	244.21	182.52
dez	304.79	273.19	284.09	269.75	313.69	285.15	232.90	208.95	398.20	348.81	259.51	428.35	129.85	215.84	267.20	389.93	227.43	227.57	219.35	219.64
Mese s	Precipitação média mensal (mm)																			
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
jan	229.38	171.35	303.32	154.63	218.05	313.50	352.01	352.07	183.23	317.75	324.59	240.56	172.30	267.89	344.12	347.84	138.29	87.02	390.09	186.15
fev	226.51	162.72	266.04	136.68	290.37	196.73	302.24	118.57	205.97	191.56	322.84	181.46	133.52	170.31	225.77	147.28	164.98	220.36	99.46	154.17
mar	188.86	210.13	236.19	198.08	169.84	238.80	163.61	344.55	268.63	97.68	215.45	169.01	174.64	331.61	144.64	233.09	301.75	265.01	150.95	197.13
abr	91.99	44.53	50.00	79.49	21.18	104.97	115.79	39.90	150.19	65.09	160.97	135.33	70.09	72.01	73.92	125.27	138.72	145.96	3.18	146.45
mai	39.63	33.42	3.54	83.98	21.58	17.06	13.58	25.69	16.84	9.10	23.82	17.58	2.88	0.00	32.53	31.95	2.11	46.49	7.61	50.13
jun	2.63	3.92	0.00	6.73	0.00	5.38	1.65	9.89	0.12	1.86	1.66	18.85	6.25	21.33	25.79	21.97	1.05	2.87	4.51	0.63
jul	1.26	0.21	9.26	0.45	4.89	0.00	11.43	0.41	0.00	9.99	0.00	3.63	0.31	0.00	3.86	0.28	39.05	12.00	0.00	7.09
ago	9.77	0.00	26.64	23.92	3.97	5.60	0.91	5.85	7.83	0.00	0.23	19.92	0.00	0.62	0.00	0.31	0.03	33.30	20.78	0.00
set	43.09	58.39	100.26	54.53	56.55	38.95	6.48	34.53	36.39	0.24	24.82	139.60	22.67	0.62	40.79	20.75	37.35	37.26	11.75	13.84
out	127.80	114.95	62.99	156.56	42.83	84.16	137.20	98.54	208.79	59.87	102.45	138.49	117.46	204.24	53.51	113.38	58.49	71.65	136.10	60.12
nov	230.42	183.50	289.11	241.78	164.02	225.80	136.49	278.68	198.69	137.78	160.83	211.60	231.97	140.67	204.38	255.31	200.04	200.17	200.07	281.89
dez	206.78	223.54	307.81	290.31	232.76	220.38	266.80	352.57	347.02	269.33	264.46	389.41	276.95	254.68	169.79	269.01	274.41	188.05	196.33	296.92

Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA

## APÊNDICE B – ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL DOS MUNICÍPIOS

Tabela B – 1 – Precipitação média mensal das 15 estações pluviométricas interferentes na área da UPRGH do  
Rio Meia Ponte – 1978 – 2017.

CÓDIGO IBGE	NOME DO MUNICÍPIO	VALOR DO IVS	CLASSE DO IVS	ÁREA (HA)
5204250	Cachoeira Dourada	0,324	Média	31533,16
5211503	Itumbiara	0,320	Média	203697,92
5216007	Panamá	0,332	Média	45914,43
5203500	Bom Jesus de Goiás	0,356	Média	20839,08
5203906	Buriti Alegre	0,291	Baixa	17048,30
5209101	Goiatuba	0,324	Média	127797,80
5212105	Joviânia	0,306	Média	17628,73
5200506	Aloândia	0,305	Média	10806,63
5213806	Morrinhos	0,329	Média	142865,91
5217708	Pontalina	0,347	Média	58731,31
5212600	Mairipotaba	0,324	Média	20349,84
5218391	Professor Jamil	0,329	Média	37563,92
5204557	Caldazinha	0,327	Média	26486,58
5203559	Bonfinópolis	0,321	Média	12733,01
5212303	Leopoldo de Bulhões	0,332	Média	44942,88
5208400	Goianápolis	0,334	Média	17488,97
5208806	Goianira	0,212	Baixa	13718,10
5219738	Santo Antônio de Goiás	0,321	Média	14121,36
5221197	Terezópolis de Goiás	0,240	Baixa	11333,76
5214507	Nerópolis	0,323	Média	21414,28
5203609	Brazabrantes	0,283	Baixa	13054,60
5220603	Silvânia	0,287	Baixa	12554,30
5215009	Nova Veneza	0,292	Baixa	12867,82
5204854	Campo Limpo de Goiás	0,319	Média	16148,11
5206800	Damolândia	0,311	Média	8707,64
5210000	Inhumas	0,296	Baixa	50232,80
5215405	Ouro Verde de Goiás	0,316	Média	19702,59
5201108	Anápolis	0,305	Média	25100,93
5211404	Itaçu	0,331	Média	20054,52
5200050	Abadia de Goiás	0,331	Média	7088,19
5201405	Aparecida de Goiânia	0,246	Baixa	29237,86
5208707	Goiânia	0,230	Baixa	77238,56
5220454	Senador Canedo	0,255	Baixa	25752,49
5206503	Cromínia	0,310	Média	34496,60
5201801	Aragoiânia	0,323	Média	22162,74
5203302	Bela Vista de Goiás	0,286	Baixa	58306,74
5217104	Piracanjuba	0,324	Média	97790,19
5209705	Hidrolândia	0,326	Média	100203,08

## APÊNDICE C – ÁREAS PRIORITÁRIAS POR MUNICÍPIO

Tabela C – 1 - Total de áreas prioritárias por tipo e município da UPGRH Meia Ponte.

<b>CÓDIGO DO IBGE</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>APPS</b>	<b>RESERVA LEGAL</b>	<b>AGRICULTURA</b>	<b>PASTAGEM</b>	<b>TOTAL</b>
5200050	Abadia De Goiás	1,43	16,31	116,05	338,38	472,18
5200506	Aloândia	11,05	107,15	1636,80	138,70	1893,69
5201108	Anápolis	17,24	89,63	1970,34	1343,90	3421,11
5201405	Aparecida De Goiânia	80,46	42,72	58,48	1862,50	2044,16
5201801	Aragoiânia	23,76	40,17	166,48	536,22	766,63
5203302	Bela Vista De Goiás	7,01	97,08	3588,75	660,35	4353,19
5203500	Bom Jesus De Goiás	55,33	540,22	11281,15	1366,84	13243,54
5203559	Bonfinópolis	-	78,12	508,65	731,92	1318,69
5203609	Brazabrantes	-	-	344,54	2,33	346,87
5203906	Buriti Alegre	1,90	77,28	401,37	365,24	845,79
5204250	Cachoeira Dourada	265,72	1888,94	10380,68	5884,43	18419,77
5204557	Caldazinha	8,58	57,70	317,67	802,24	1186,19
5204854	Campo Limpo De Goiás	3,07	117,68	945,01	905,25	1971,00
5206503	Cromínia	-	52,99	263,96	377,83	694,77
5206800	Damolândia	-	1,30	22,17	1,09	24,55
5208400	Goianópolis	34,99	67,85	1561,46	1641,99	3306,29
5208707	Goiânia	232,42	258,87	1363,85	8589,13	10444,26
5208806	Goianira	-	4,82	284,61	136,57	426,00
5209101	Goiatuba	116,65	1778,32	28878,67	4892,89	35666,53
5209705	Hidrolândia	66,27	421,48	4463,84	2918,78	7870,37
5210000	Inhumas	-	-	14,94	2,65	17,59
5211404	Itaçu	-	-	20,00	-	20,00
5211503	Itumbiara	1758,35	6913,99	63567,24	32808,55	105048,13
5212105	Joviânia	13,30	36,84	2259,84	139,84	2449,82
5212303	Leopoldo De Bulhões	3,29	140,65	2472,60	1127,08	3743,62
5212600	Mairipotaba	9,40	50,43	1556,33	227,75	1843,90
5213806	Morrinhos	136,76	594,75	8164,70	2643,60	11539,81
5214507	Nerópolis	50,30	157,28	1450,31	2004,03	3661,92
5215009	Nova Veneza	-	14,58	118,65	69,12	202,36
5215405	Ouro Verde De Goiás	-	13,07	164,41	40,06	217,53
5216007	Panamá	136,93	1820,86	20565,43	7589,06	30112,27
5217104	Piracanjuba	47,54	251,31	6185,25	1638,89	8123,00
5217708	Pontalina	33,83	156,78	3707,63	480,52	4378,76
5218391	Professor Jamil	1,55	147,59	612,10	759,89	1521,13
5219738	Santo Antônio De Goiás	-	37,50	515,05	328,83	881,38
5220454	Senador Canedo	164,89	127,06	1050,29	3145,28	4487,52
5220603	Silvânia	-	1,25	120,70	35,84	157,79
5221197	Terezópolis De Goiás	20,61	71,33	619,06	1225,97	1936,98
<b>TOTAL</b>	<b>38</b>	<b>3302,62</b>	<b>16273,89</b>	<b>181719,06</b>	<b>87763,55</b>	<b>289059,12</b>

## APÊNDICE D - ÁREAS PRIORITÁRIAS EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Tabela D – 1 - Total de áreas prioritárias por Unidades de Conservação da UPGRH Meia Ponte.

UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	ESFERA	APPS	RESERVA LEGAL	AGRICULTURA	PASTAGEM	TOTAL
Área de Proteção Ambiental João Leite (APA João Leite)	Estadual	198,19	398,94	3868,90	7917,45	12383,48
Área De Proteção Ambiental Serra Do Cruzeiro	Municipal	-	12,08	96,25	42,81	151,15
Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP)	Estadual	-	6,34	-	491,80	498,13
Parque Estadual do João Leite (PEJoL)	Estadual	157,25	7,01	248,90	3050,78	3463,95
Parque Estadual Telma Ortegal (PETO)	Estadual	-	-	-	4,37	4,37
Parque Municipal Governador Mauro Borges Teixeira	Municipal	-	-	-	108,85	108,85
Reserva Particular Do Patrimônio Natural Sede Campestre Adufg Sindicato	Estadual	-	-	-	43,94	43,94
Reserva Particular Do Patrimônio Natural Vale Do Tamanduá	Estadual	-	-	-	4,84	4,84
<b>Total</b>		<b>355,44</b>	<b>424,37</b>	<b>4214,06</b>	<b>11677,66</b>	<b>16671,53</b>

## APÊNDICE E - ÁREAS PRIORITÁRIAS EM ZONAS DE AMORTECIMENTO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Tabela D – 1 - Total de áreas prioritárias por Unidades de Conservação da UPGRH Meia Ponte.

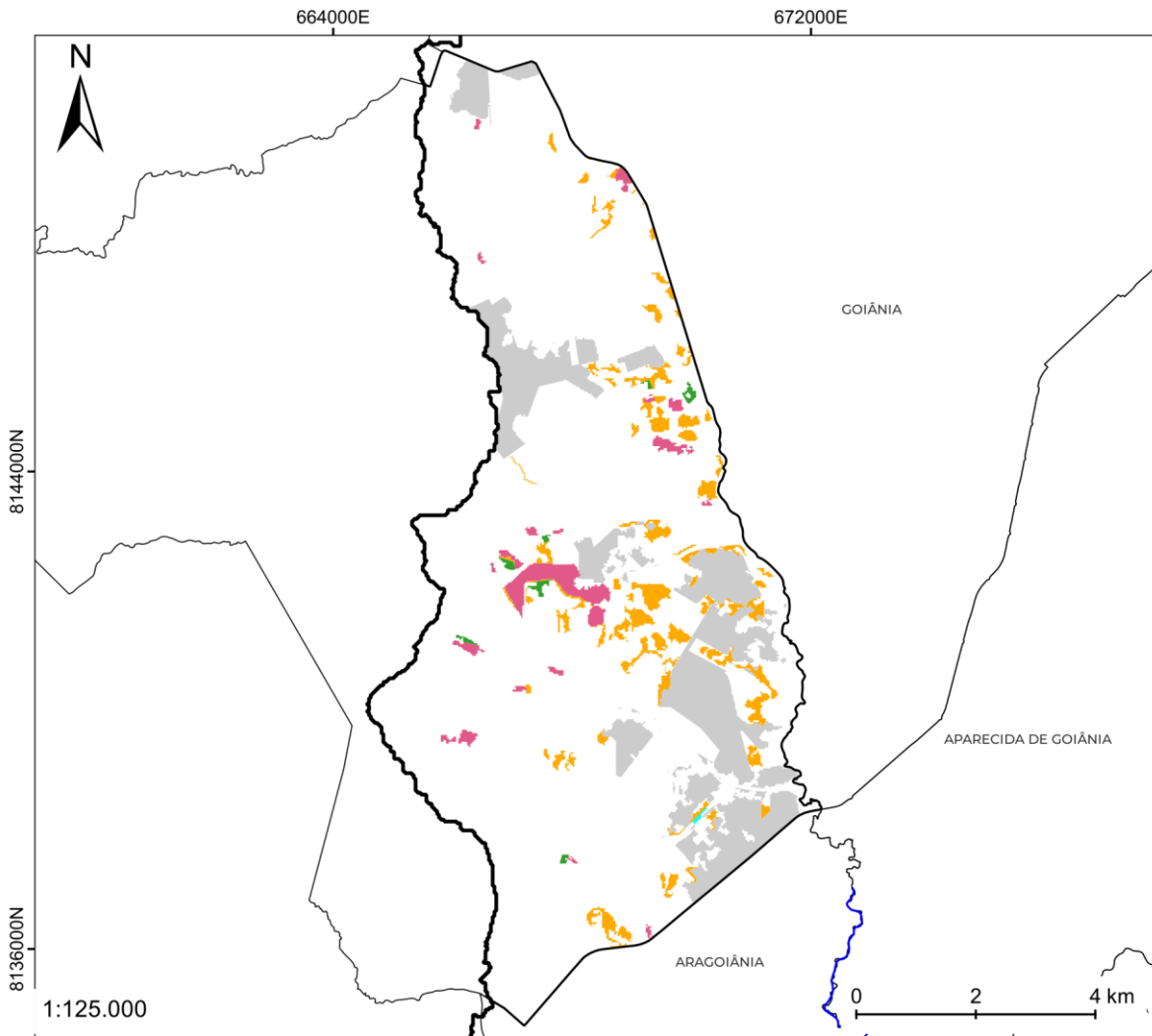
ZONA DE AMORTECIMENTO	APPS	RESERVA LEGAL	AGRICULTURA	PASTAGEM	TOTAL
Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP)/Parque Estadual João Leite (PJOL)	186,293	146,2182	969,7906	4776,6297	6078,9315
Parque Municipal Governador Mauro Borges Teixeira	31,0656		457,9714	1065,3604	1554,3974
Parque Estadual Telma Ortegal (PETO)		6,2164	21,6804	181,6589	209,5557
Parque Natural Municipal Ângelo Stival		2,8217	44,142	8,3265	55,2902
Parque Natural De Morrinhos			110,2477	1,2306	111,4783
Refúgio De Vida Silvestre De Santo Antônio De Goiás			302,7478		302,7478
Total	217,359	155,2563	1906,5799	6033,2061	8312,4009

## APÊNDICE F – ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO DOS MUNICÍPIOS DA UPGRH MEIA PONTE

MUNICÍPIO	IDM (2020)	APC
Abadia de Goiás	4,82	472,1776
Aloândia	5,13	1893,6932
Anápolis	5,27	3421,1107
Aparecida de Goiânia	4,97	2044,1604
Aragoiânia	4,6	766,6314
Bela Vista de Goiás	5,19	4353,1949
Bom Jesus de Goiás	5,2	13243,537
Bonfinópolis	4,77	1318,6916
Brazabrantes	4,97	346,8668
Buriti Alegre	5,32	845,7916
Cachoeira Dourada	5,53	18419,7738
Caldazinha	4,52	1186,1921
Campo Limpo de Goiás	4,51	1971,0028
Cromínia	4,8	694,7743
Damolândia	5,09	24,5547
Goianápolis	5,12	3306,2929
Goiânia	6,09	10444,2595
Goianira	5,16	425,997
Goiatuba	5,28	35666,5266
Hidrolândia	4,98	7870,3728
Inhumas	5,38	17,5922
Itaçu	5,41	19,9997
Itumbiara	5,47	105048,1321
Joviânia	5,39	2449,8235
Leopoldo de Bulhões	4,68	3743,6216
Mairipotaba	4,97	1843,9007
Morrinhos	5,25	11539,8143
Nerópolis	5,31	3661,9175
Nova Veneza	4,91	202,3594
Ouro Verde de Goiás	4,84	217,5339
Panamá	5,24	30112,2688
Piracanjuba	5,5	8123,0026
Pontalina	5,27	4378,7588
Professor Jamil	4,8	1521,1298
Santo Antônio de Goiás	5,65	881,376
Senador Canedo	5,21	4487,52
Silvânia	5,43	157,7894
Terezópolis de Goiás	4,88	1936,9769

**APÊNDICE G – MAPAS DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS POR  
MUNICÍPIO NA UPGRH MEIA PONTE**

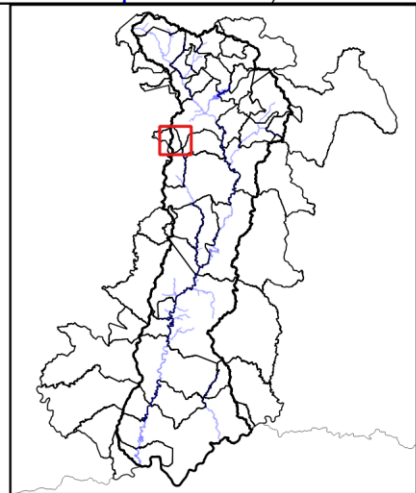
Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação para o município de ABADIA DE GOIÁS

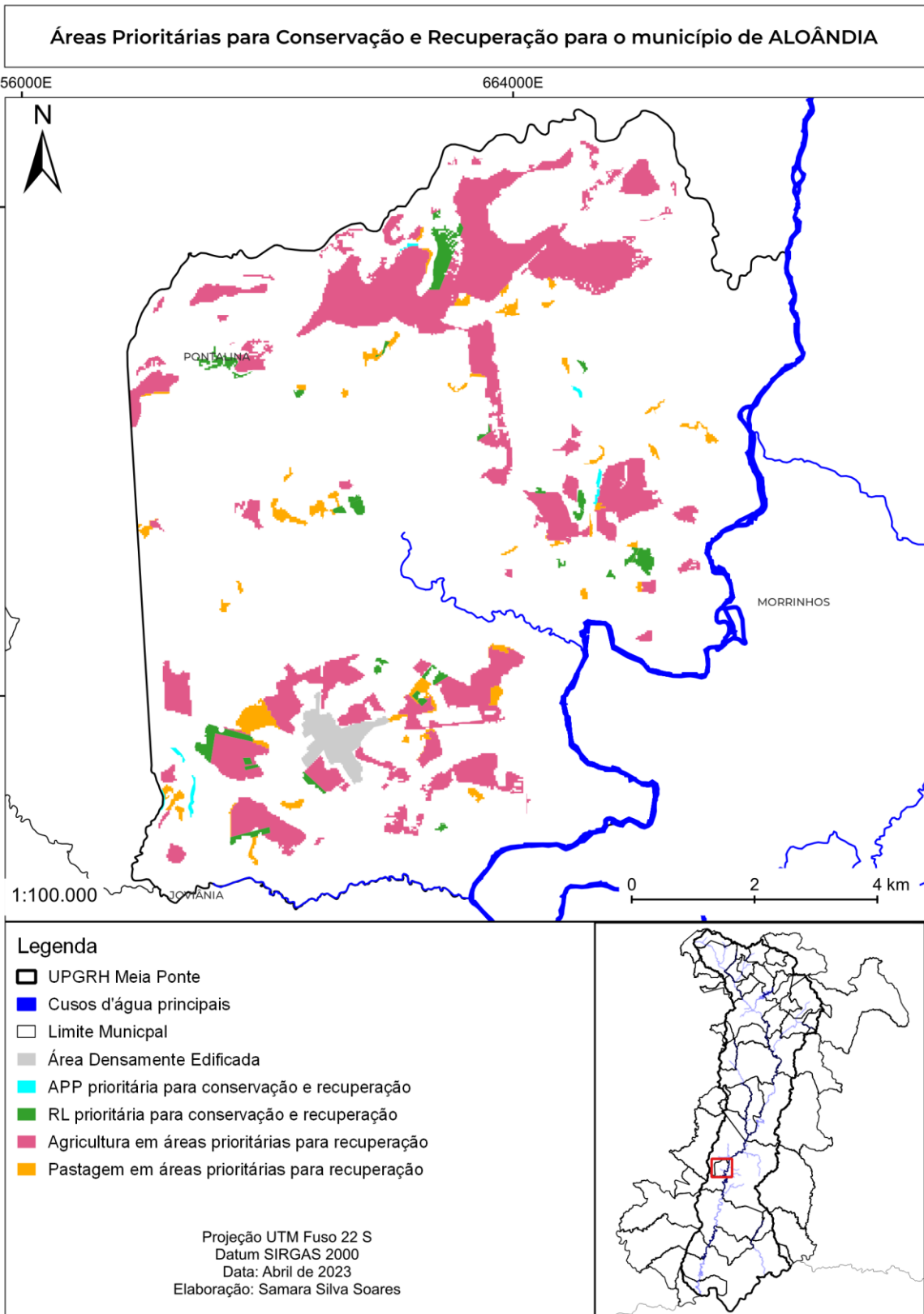


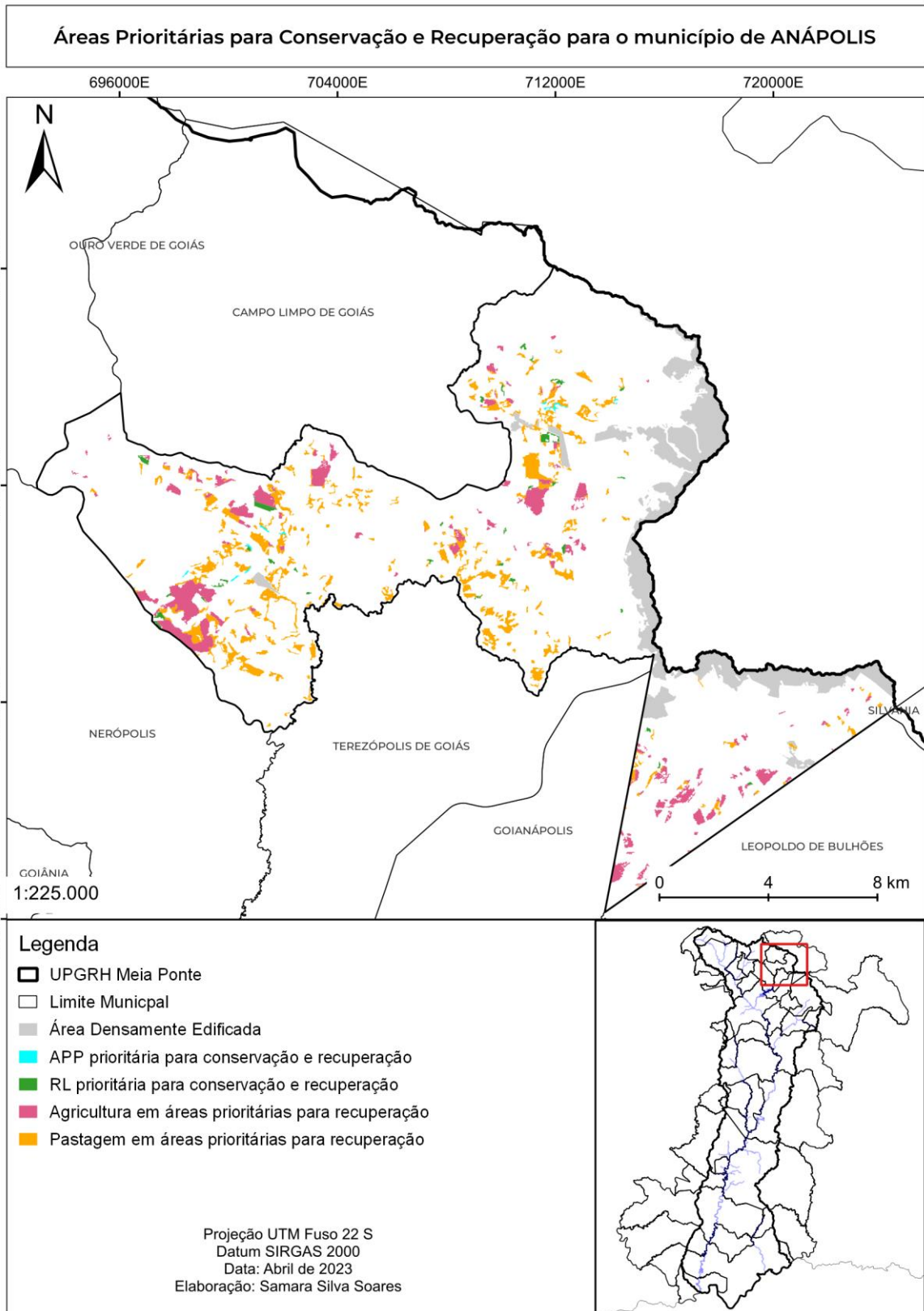
Legenda

- UPGRH Meia Ponte
- Limite Municipal
- Área Densamente Edificada
- APP prioritária para conservação e recuperação
- RL prioritária para conservação e recuperação
- Agricultura em áreas prioritárias para recuperação
- Pastagem em áreas prioritárias para recuperação

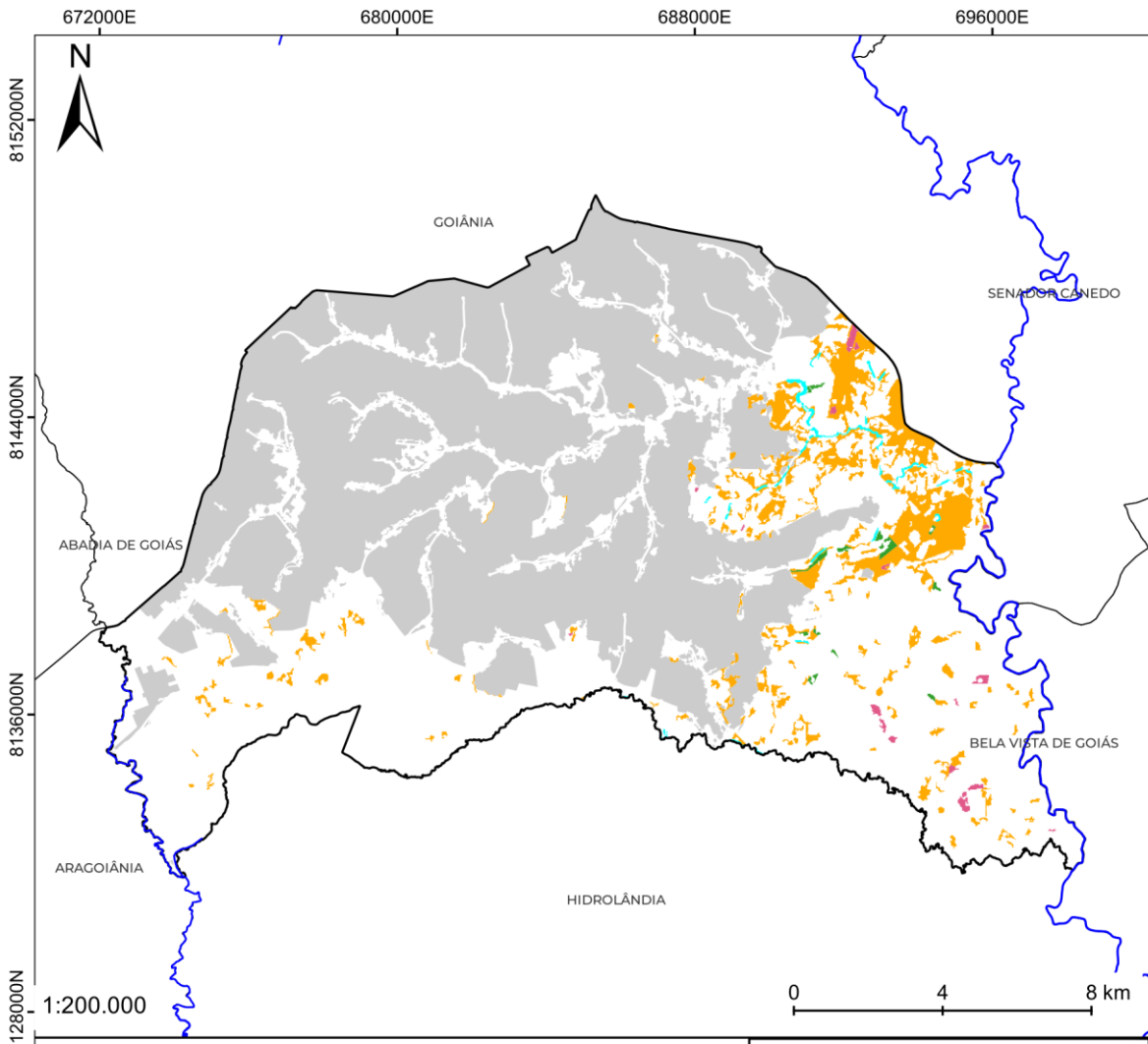
Projeção UTM Fuso 22 S  
 Datum SIRGAS 2000  
 Data: Abril de 2023  
 Elaboração: Samara Silva Soares







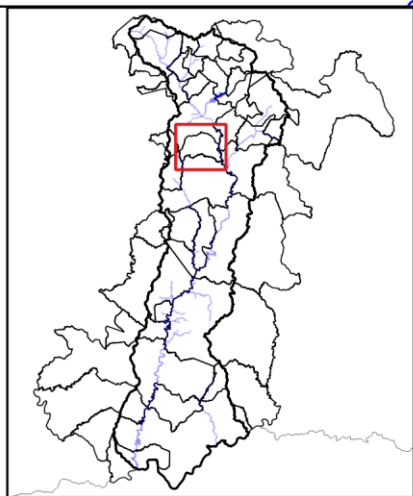
**Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação para o município de APARECIDA DE GOIÂNIA**

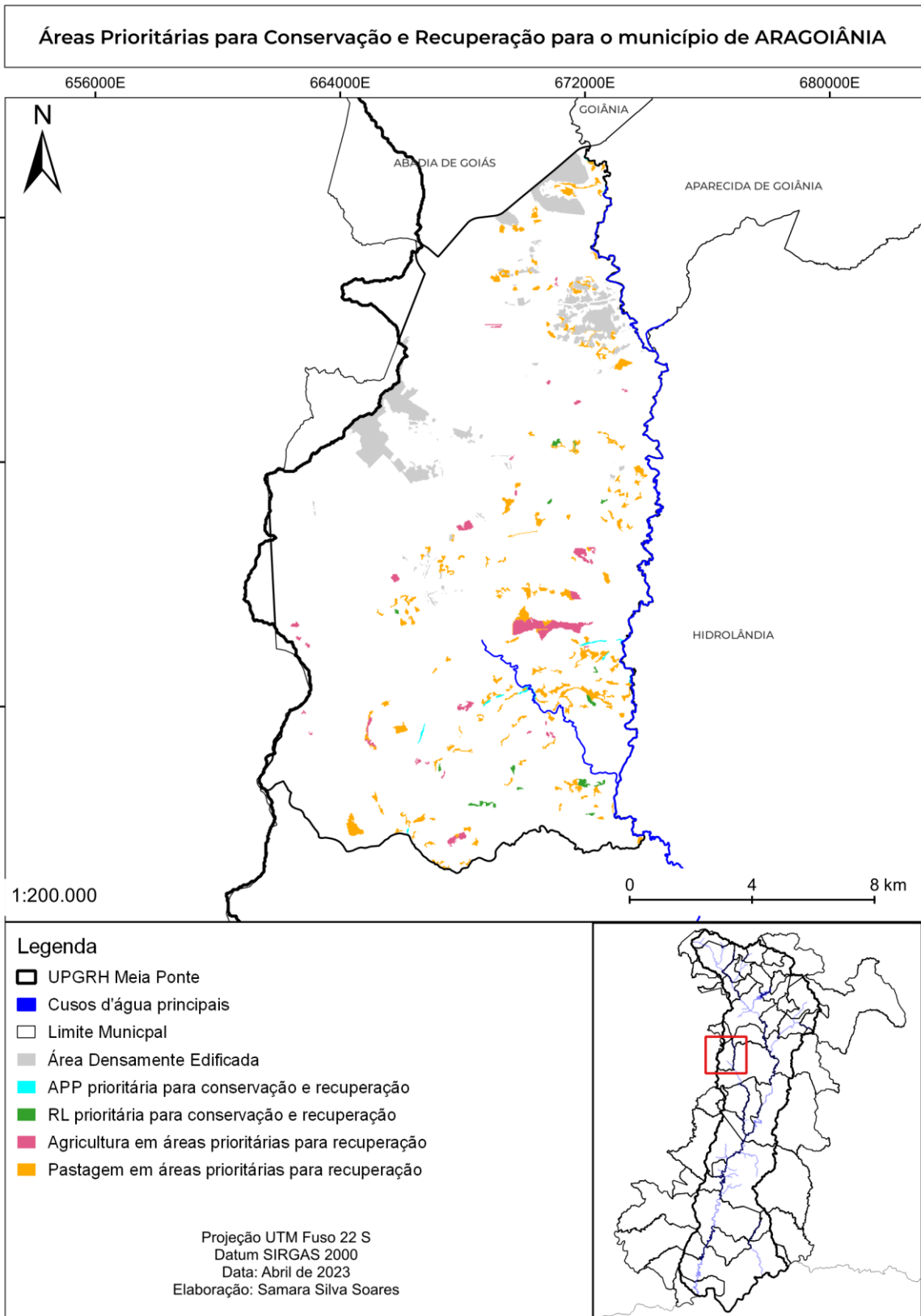


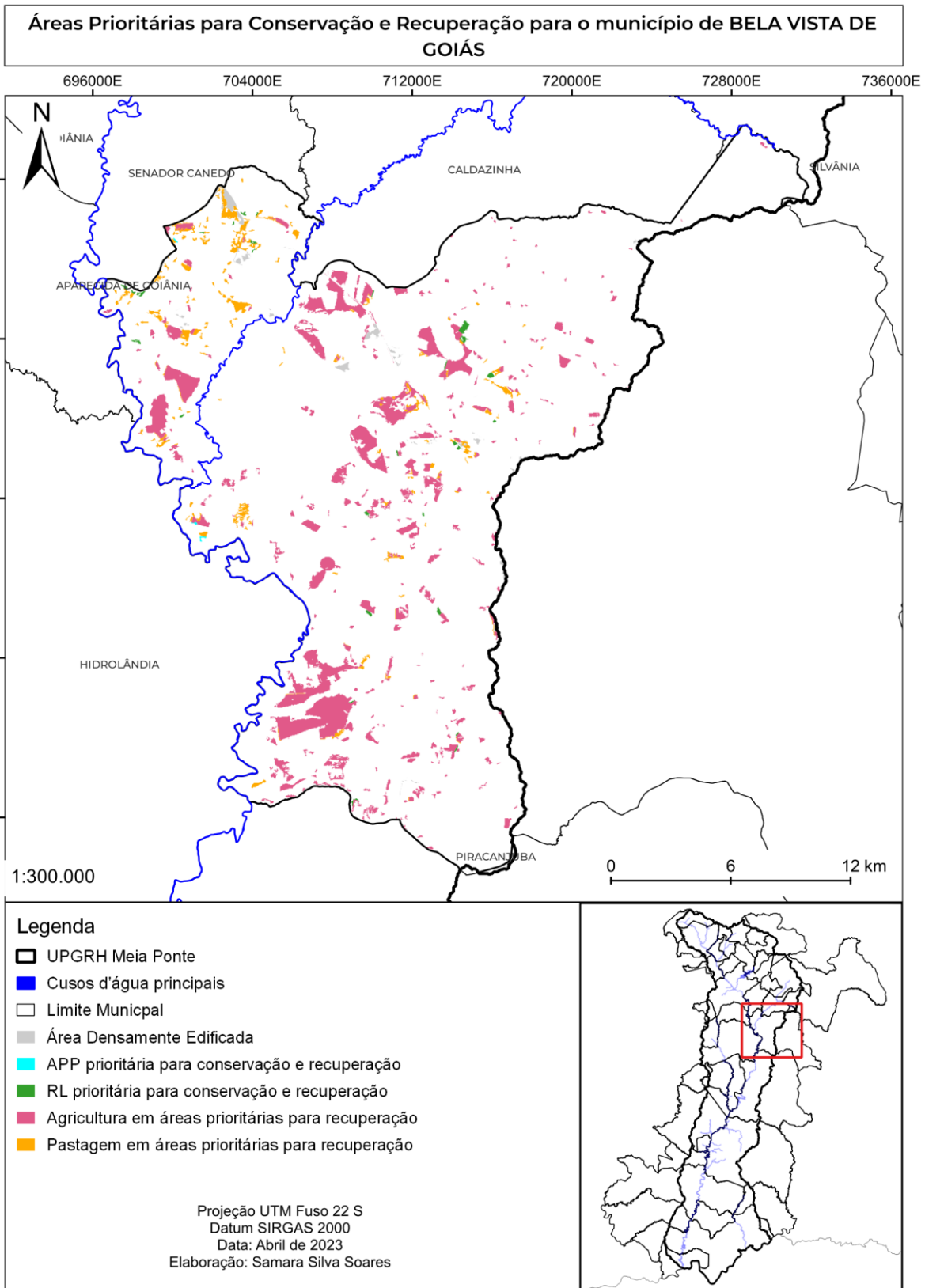
**Legenda**

- UPGRH Meia Ponte
- Cursos d'água principais
- Limite Municipal
- Área Densamente Edificada
- APP prioritária para conservação e recuperação
- RL prioritária para conservação e recuperação
- Agricultura em áreas prioritárias para recuperação
- Pastagem em áreas prioritárias para recuperação

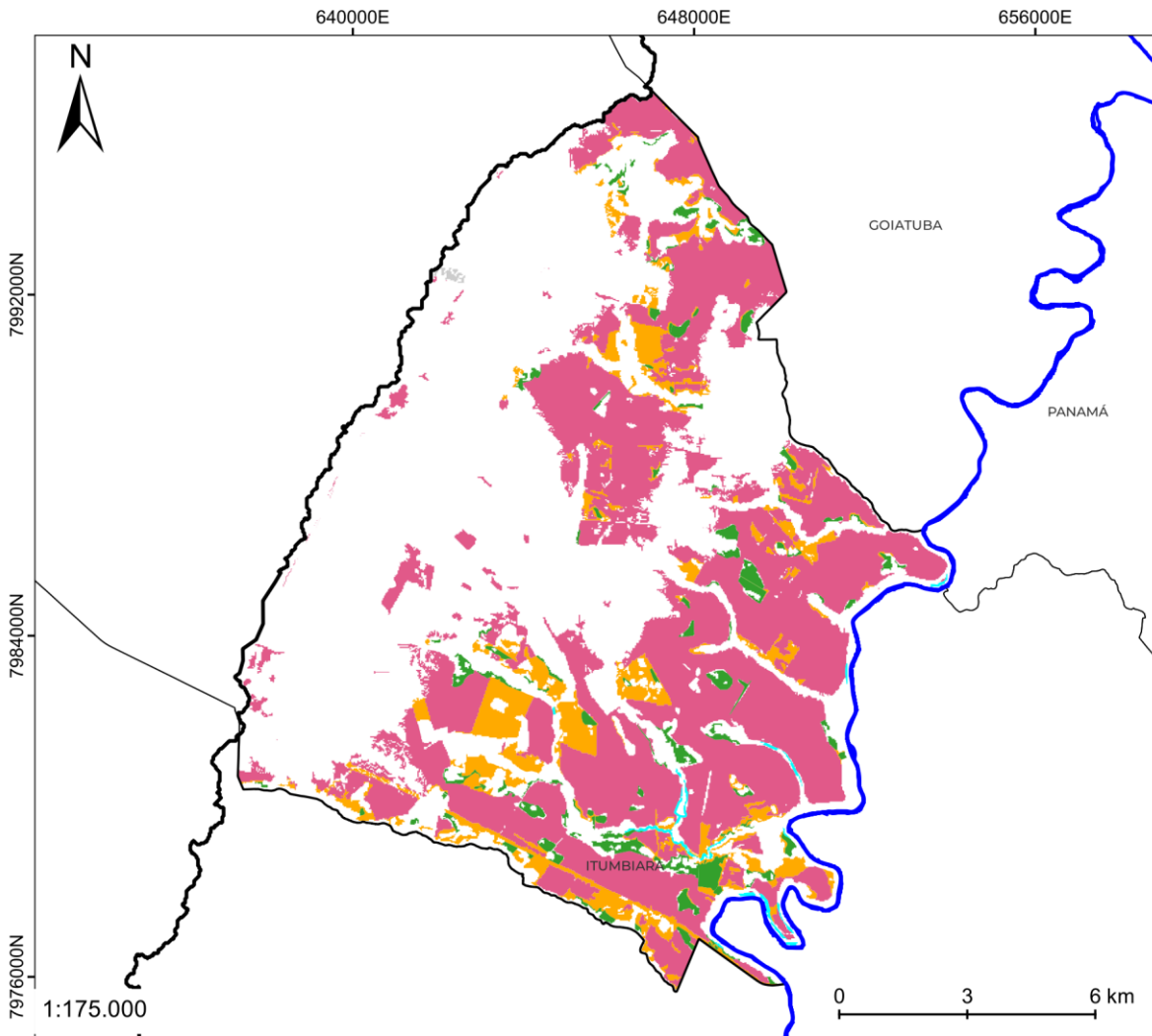
Projeção UTM Fuso 22 S  
 Datum SIRGAS 2000  
 Data: Abril de 2023  
 Elaboração: Samara Silva Soares







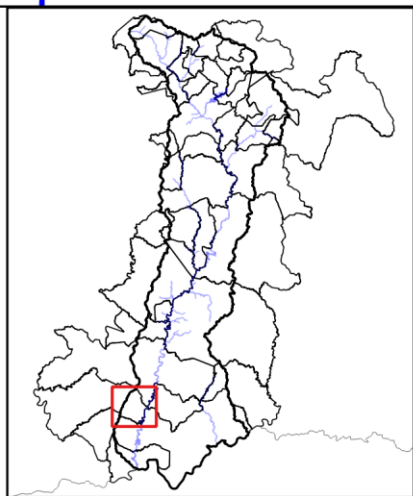
**Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação para o município de BOM JESUS DE GOIÁS**

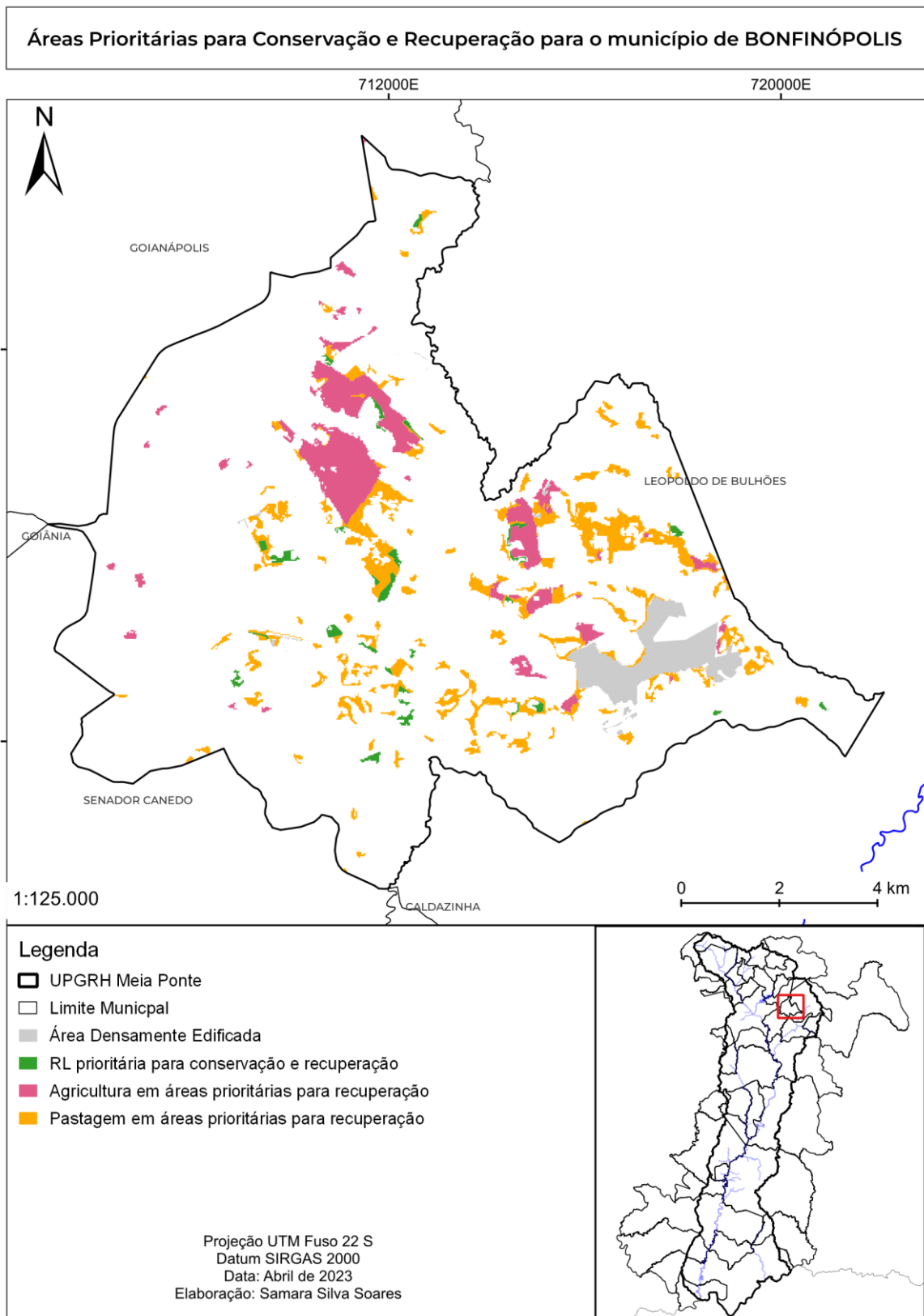


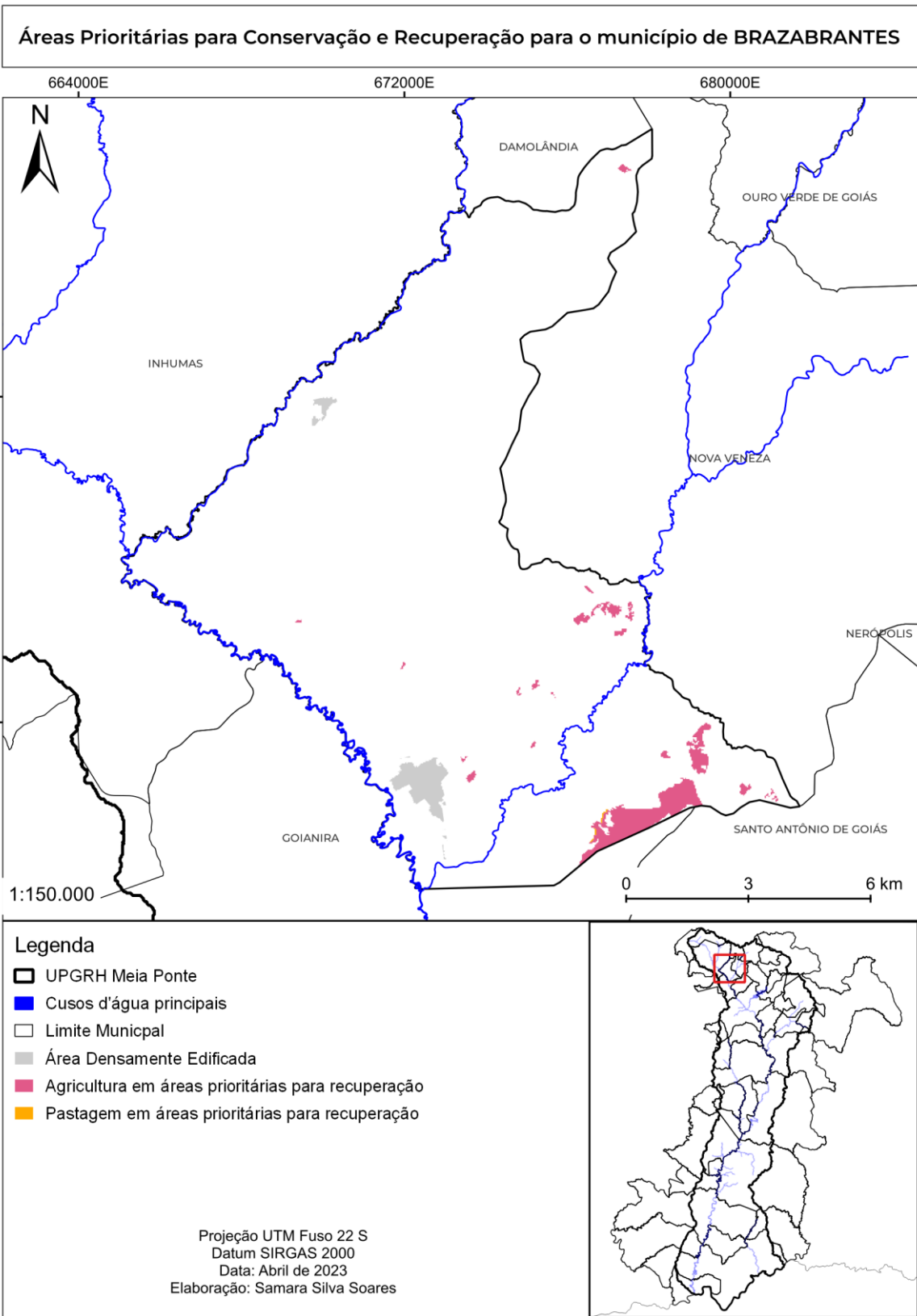
**Legenda**

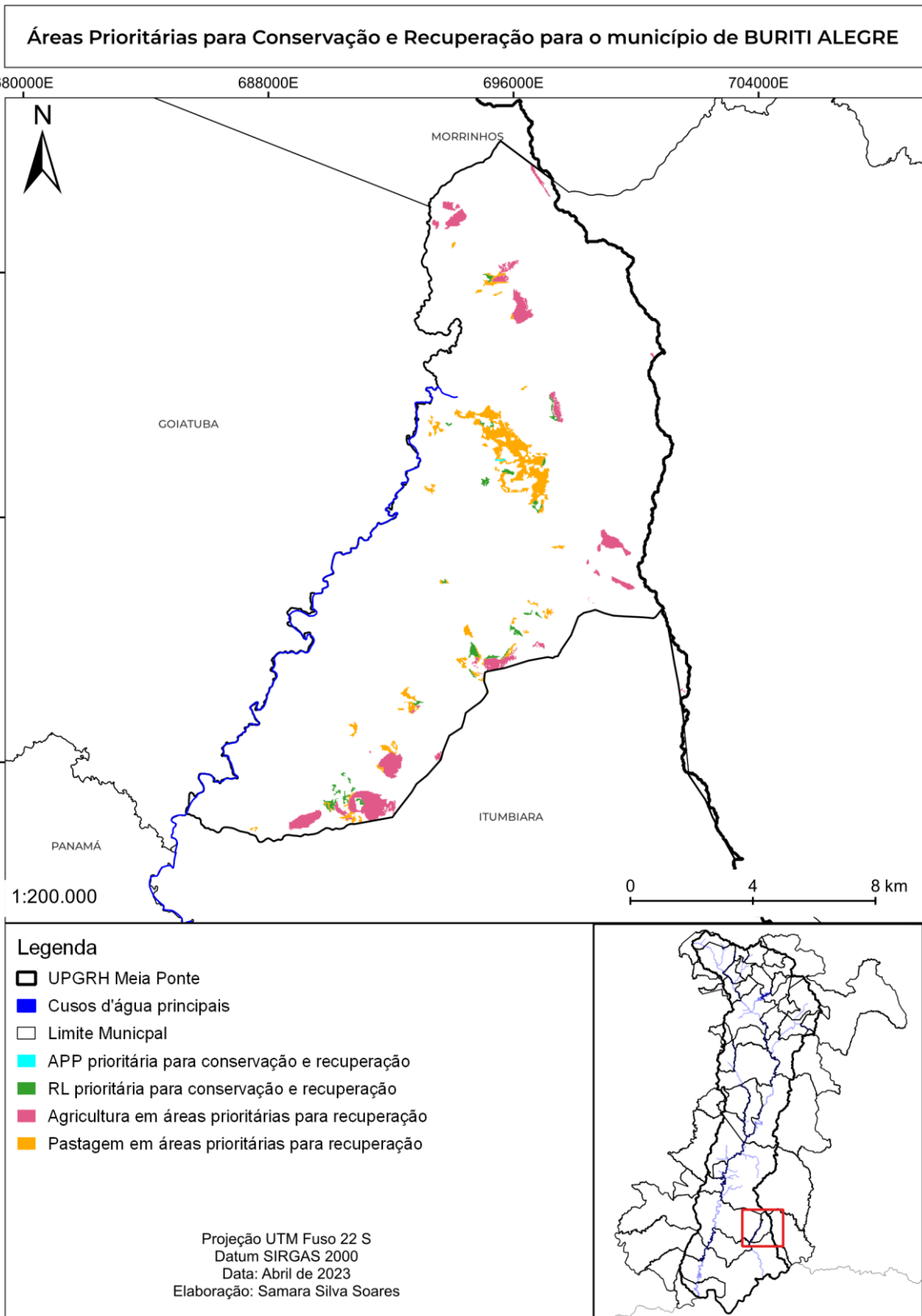
- UPRGH Meia Ponte
- Cusos d'água principais
- Limite Municipal
- Área Densamente Edificada
- APP prioritária para conservação e recuperação
- RL prioritária para conservação e recuperação
- Agricultura em áreas prioritárias para recuperação
- Pastagem em áreas prioritárias para recuperação

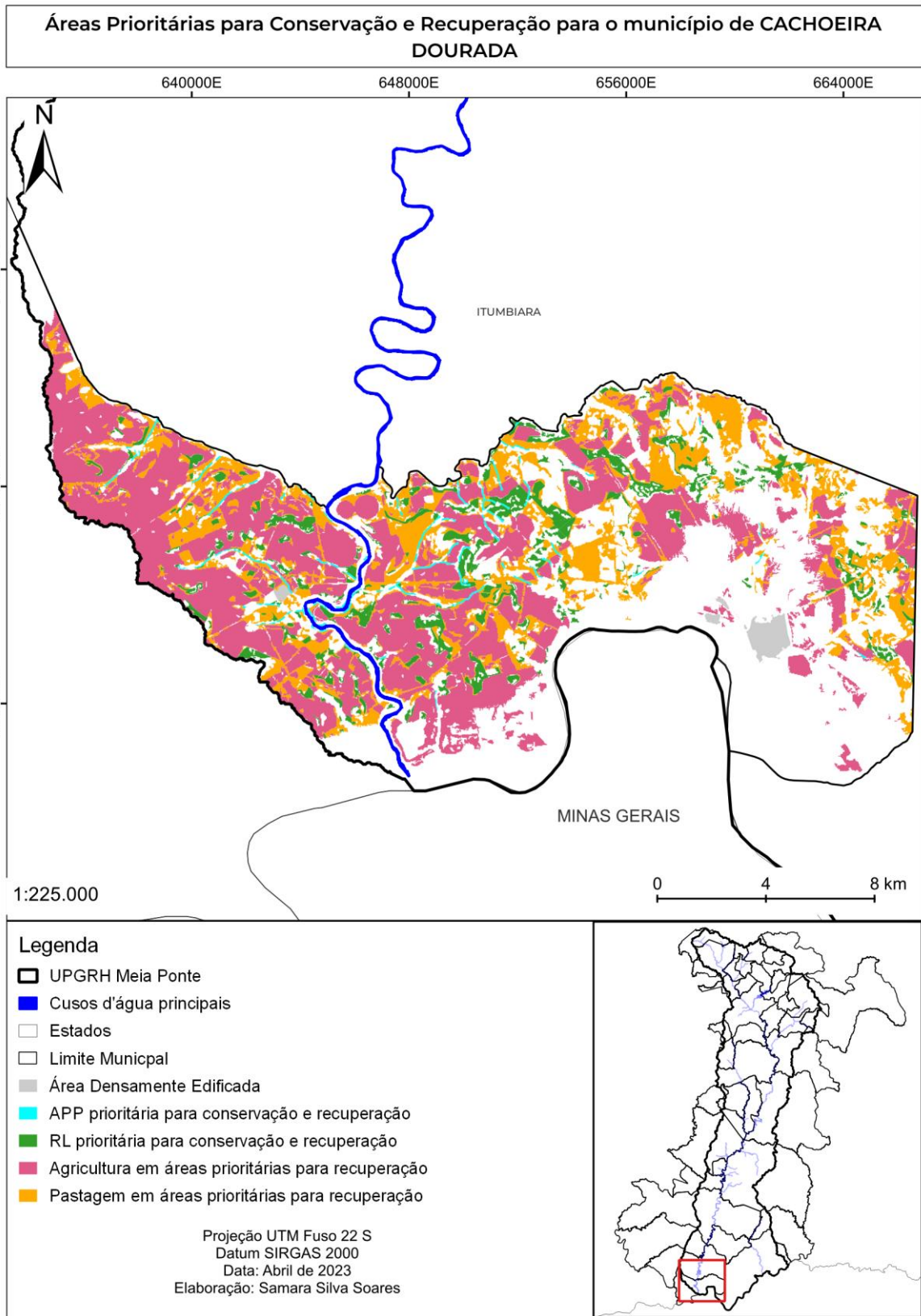
Projeção UTM Fuso 22 S  
 Datum SIRGAS 2000  
 Data: Abril de 2023  
 Elaboração: Samara Silva Soares

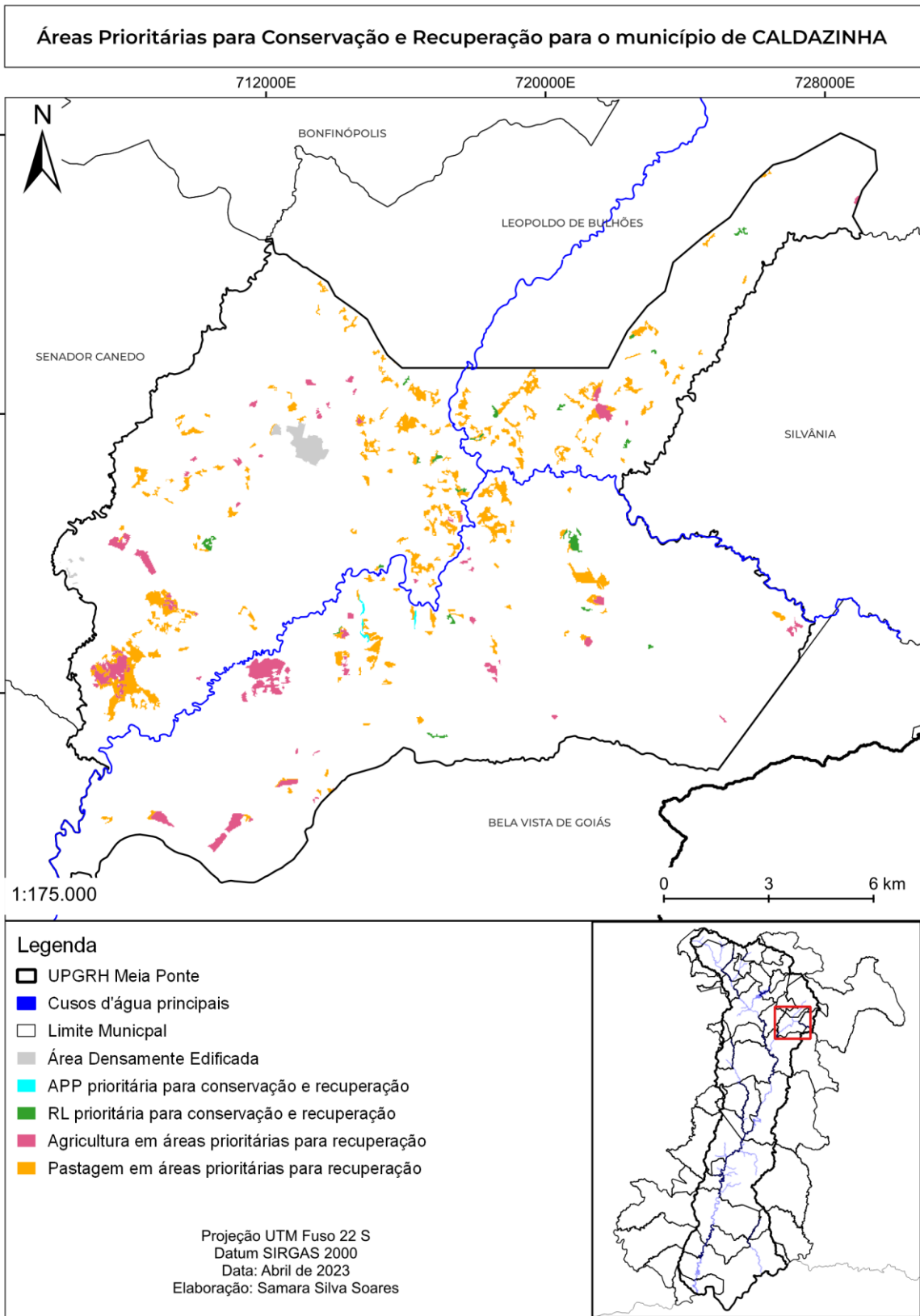




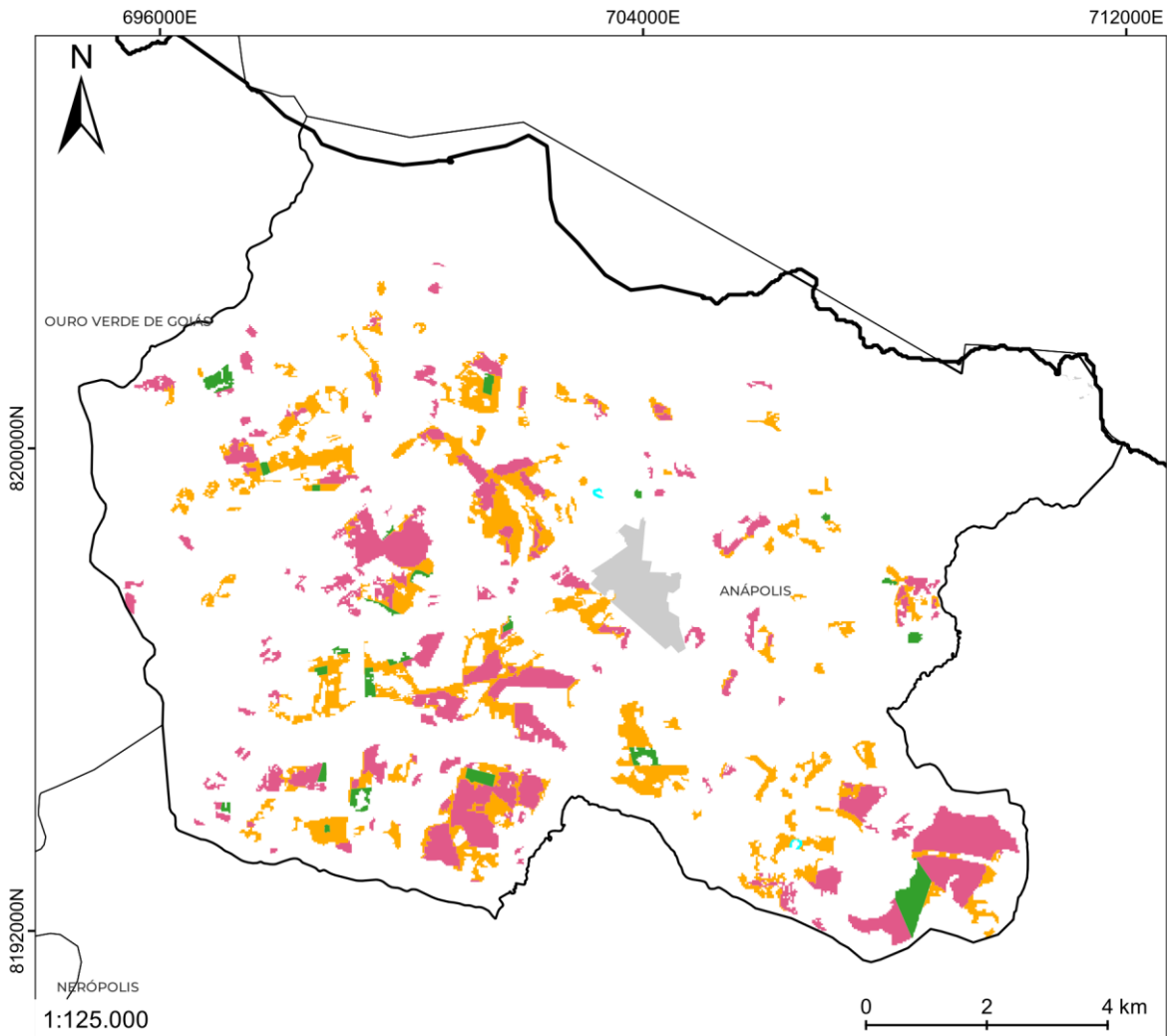








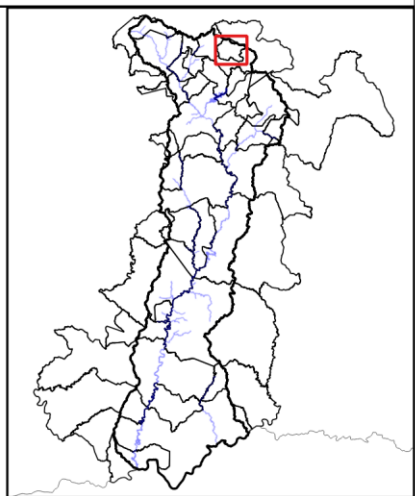
Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação para o município de CAMPO LIMPO DE GOIÁS

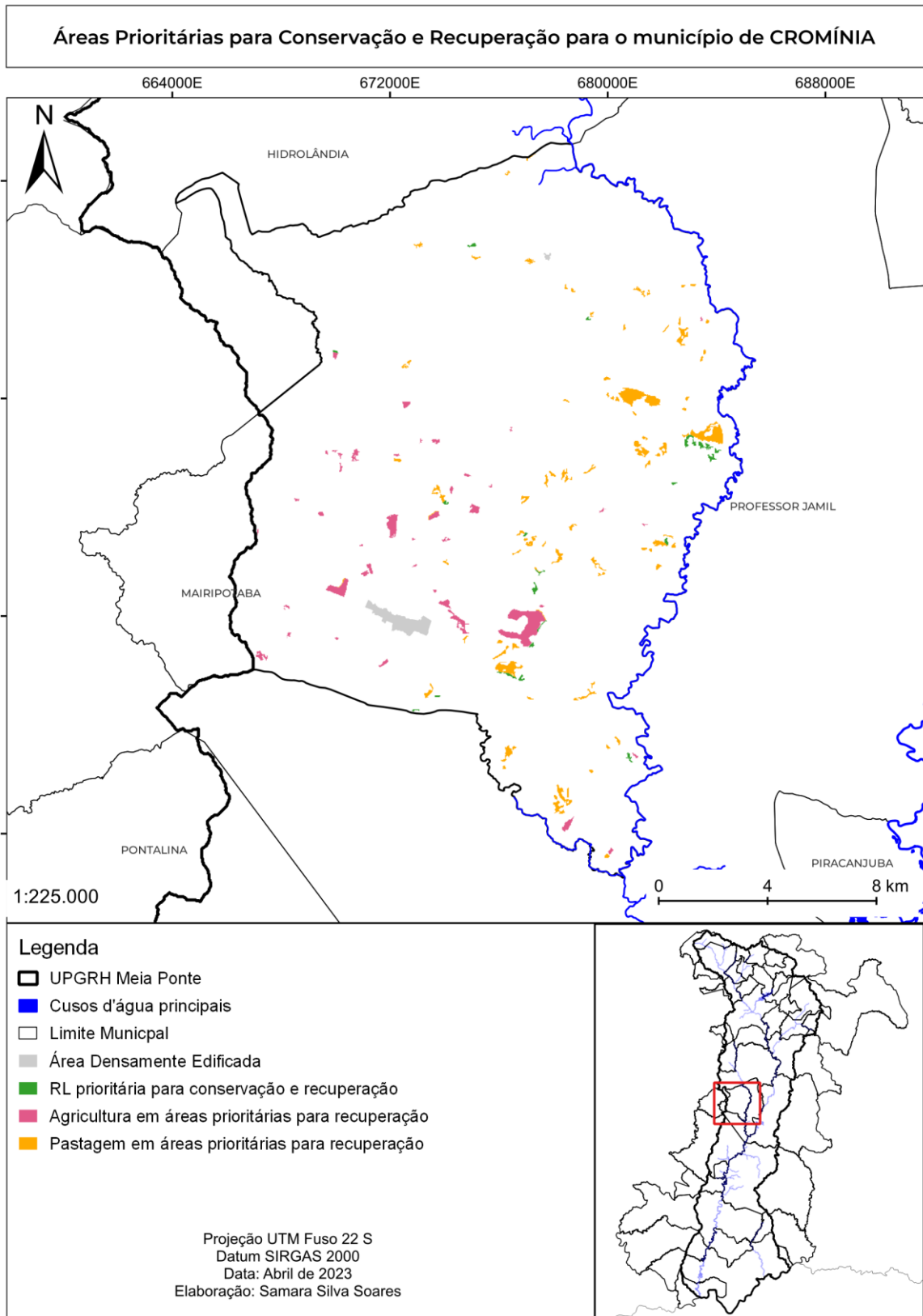


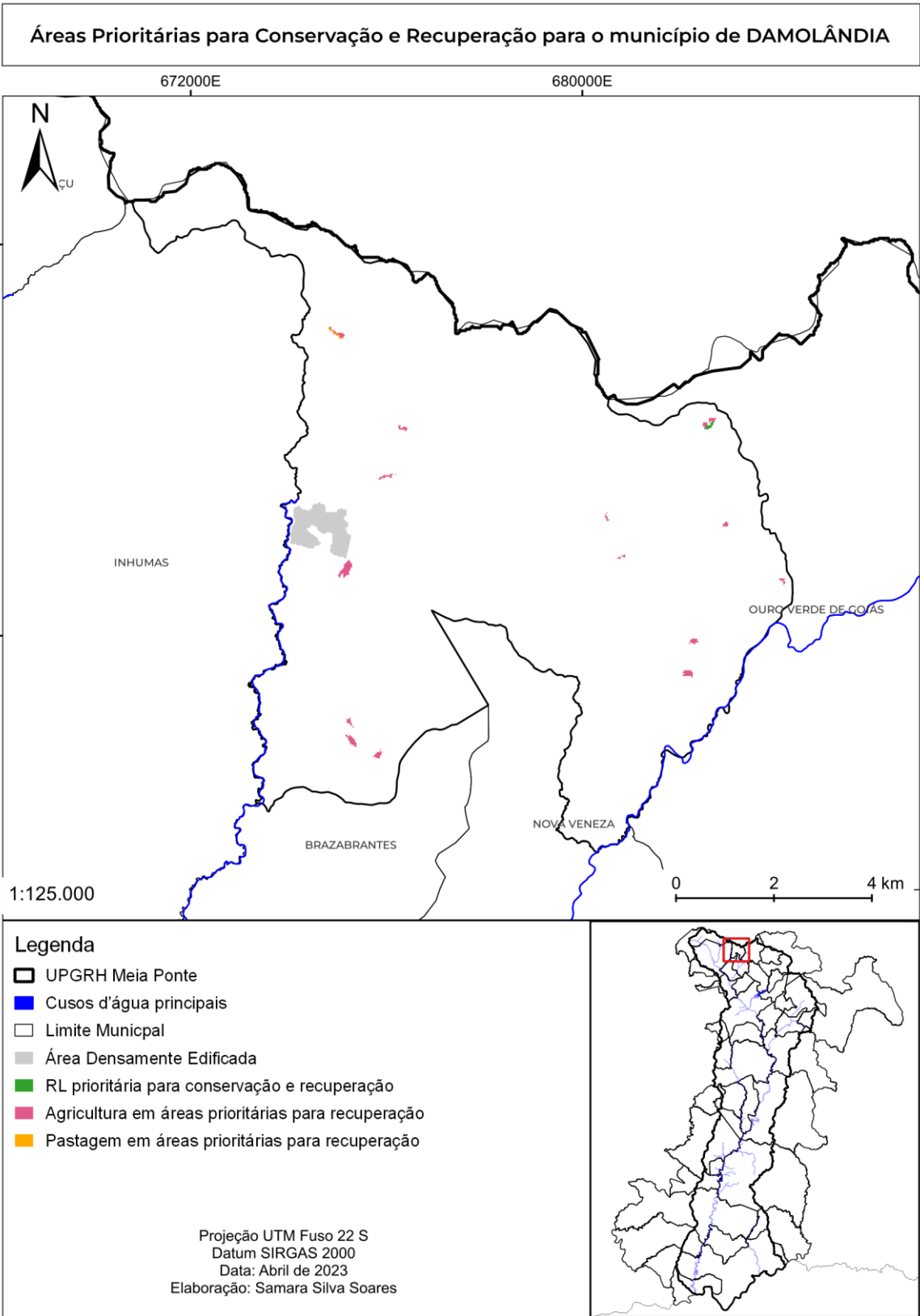
**Legenda**

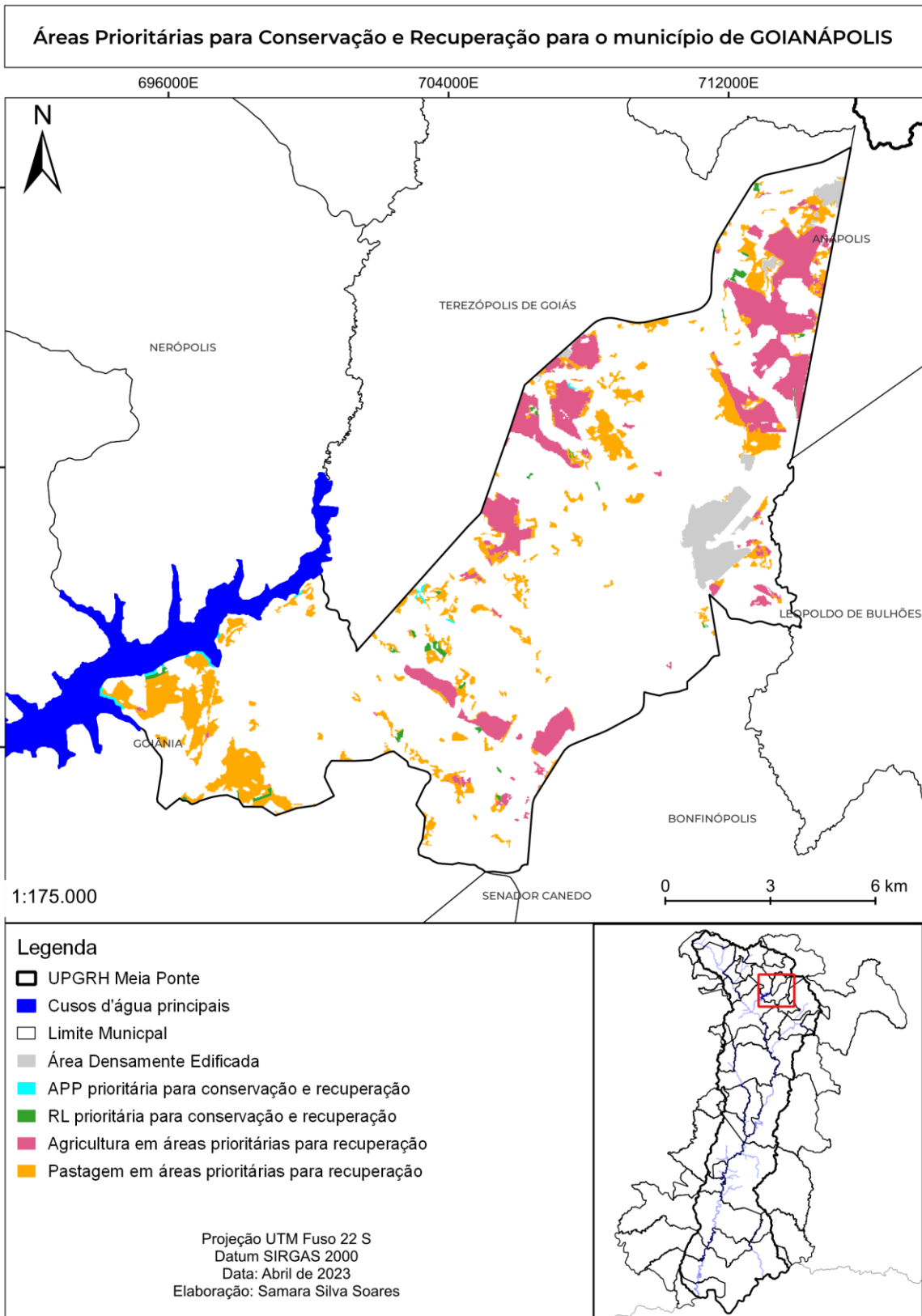
- UPGRH Meia Ponte
- Limite Municipal
- Área Densamente Edificada
- APP prioritária para conservação e recuperação
- RL prioritária para conservação e recuperação
- Agricultura em áreas prioritárias para recuperação
- Pastagem em áreas prioritárias para recuperação

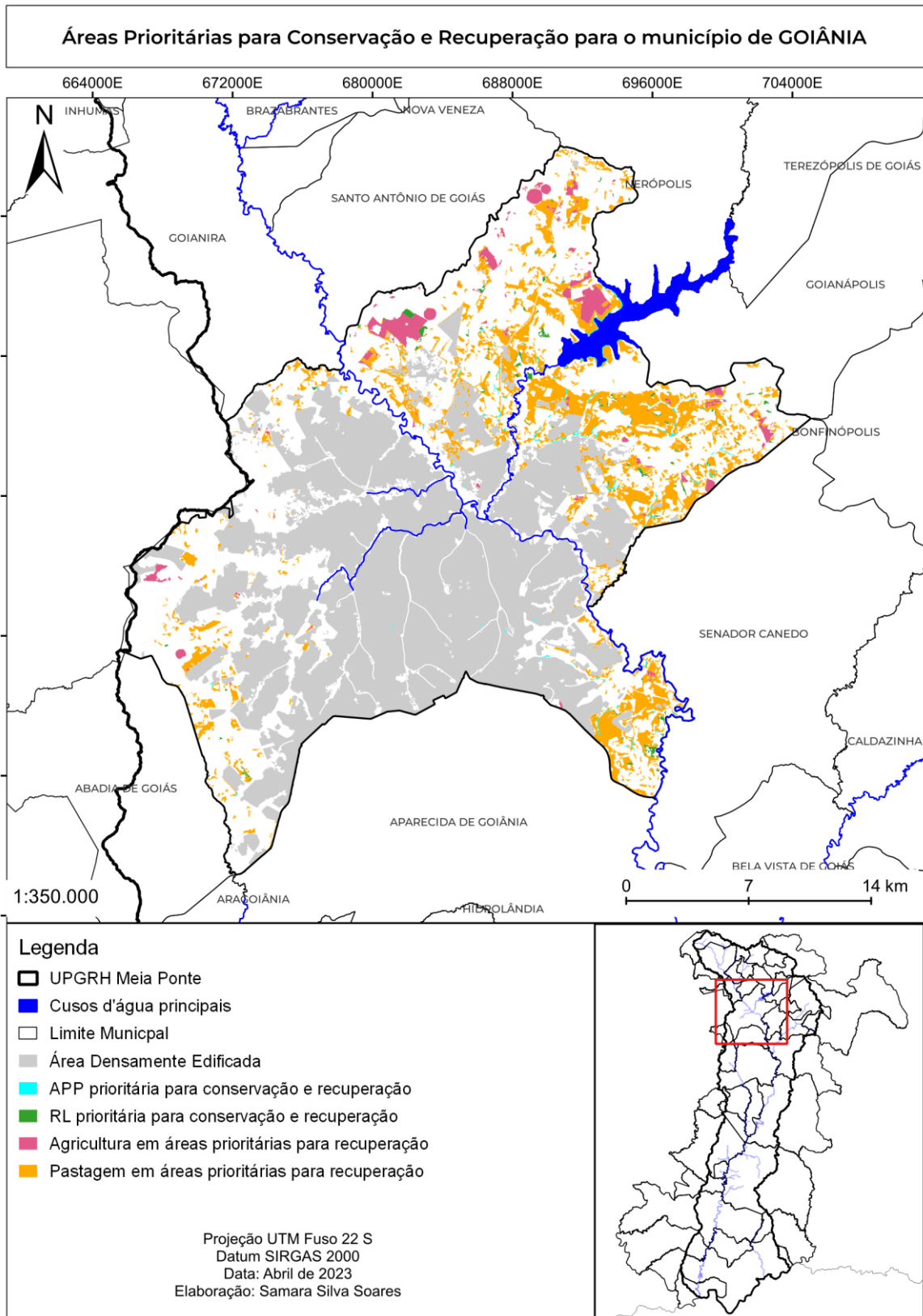
Projeção UTM Fuso 22 S  
 Datum SIRGAS 2000  
 Data: Abril de 2023  
 Elaboração: Samara Silva Soares

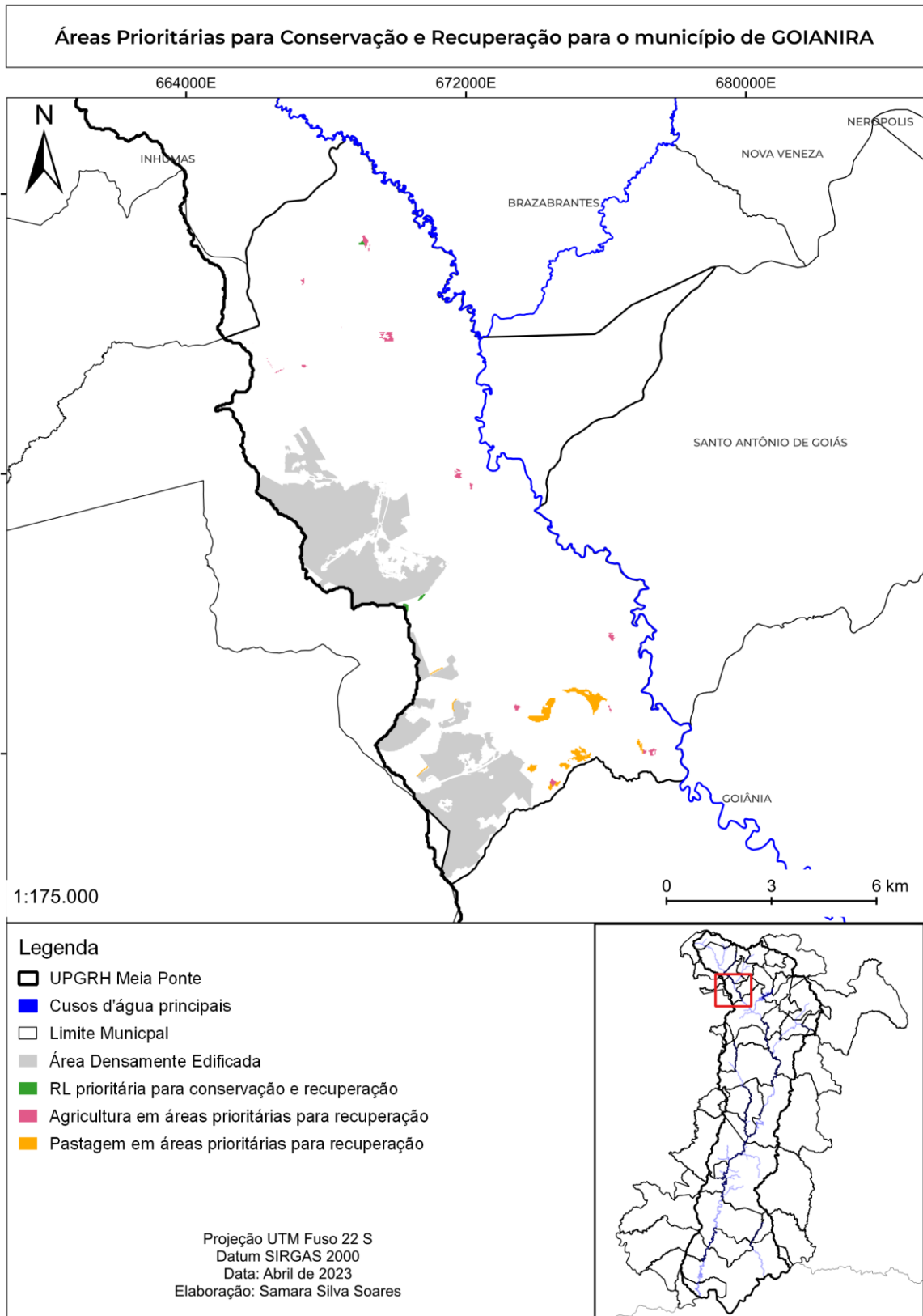


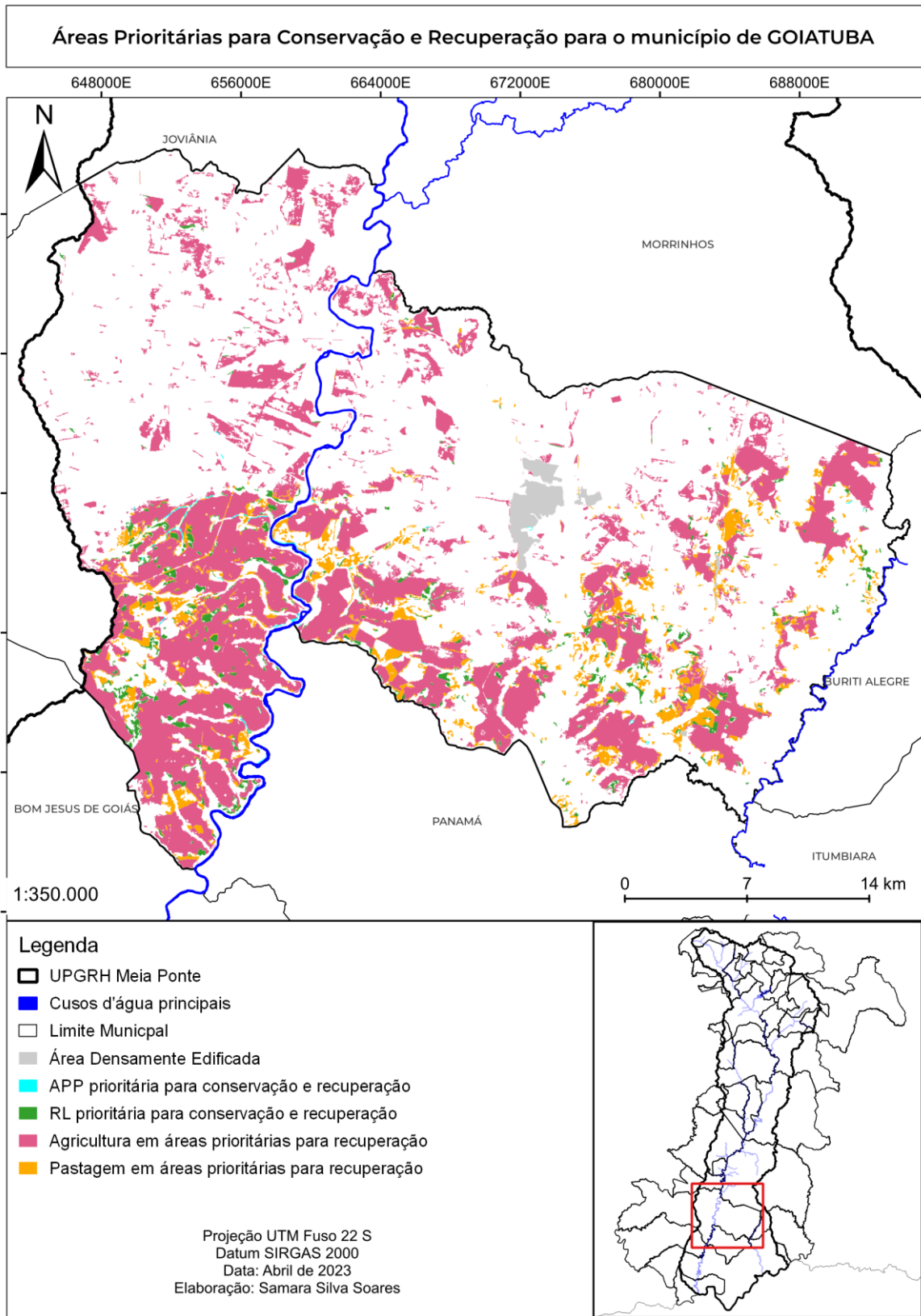


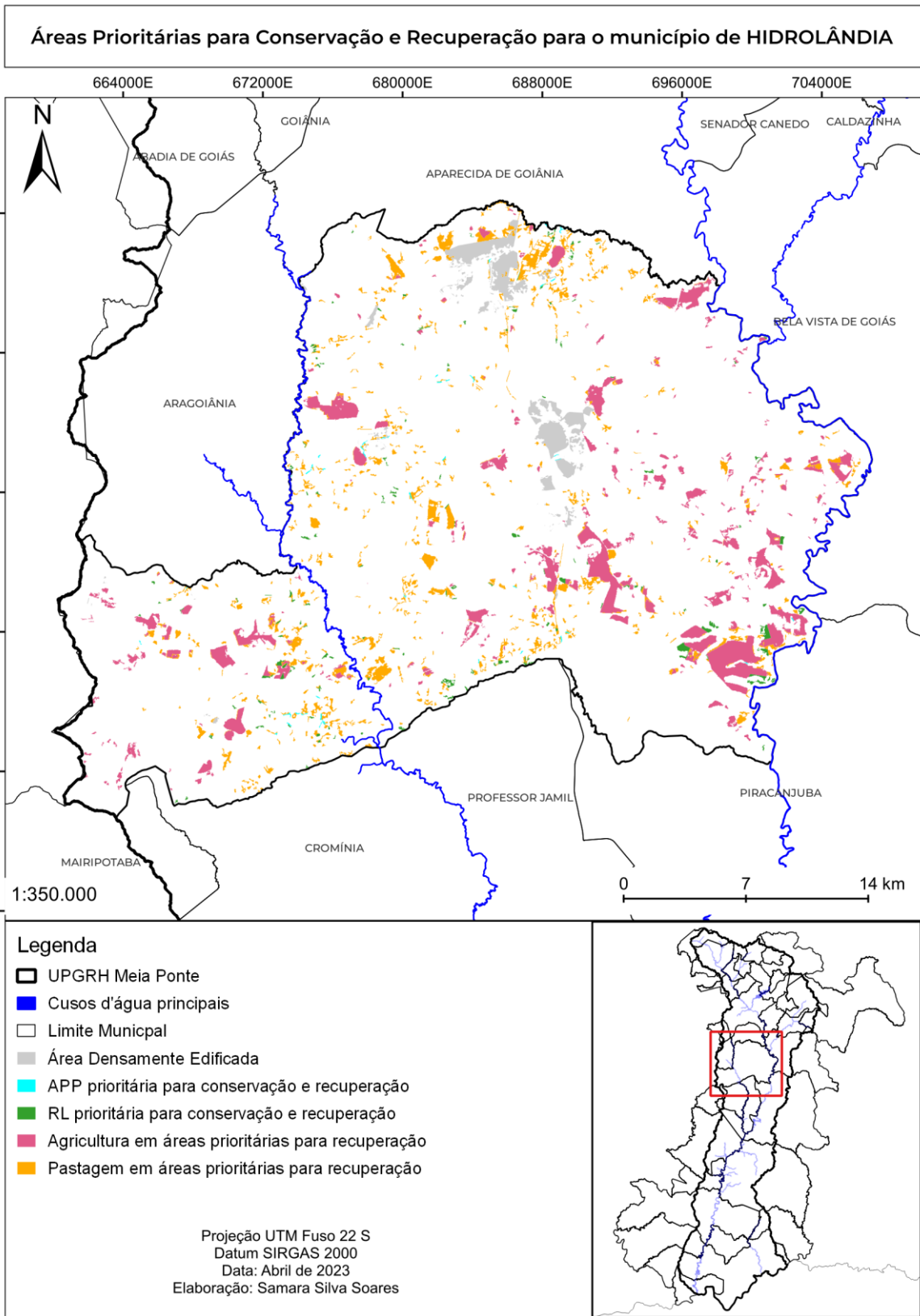


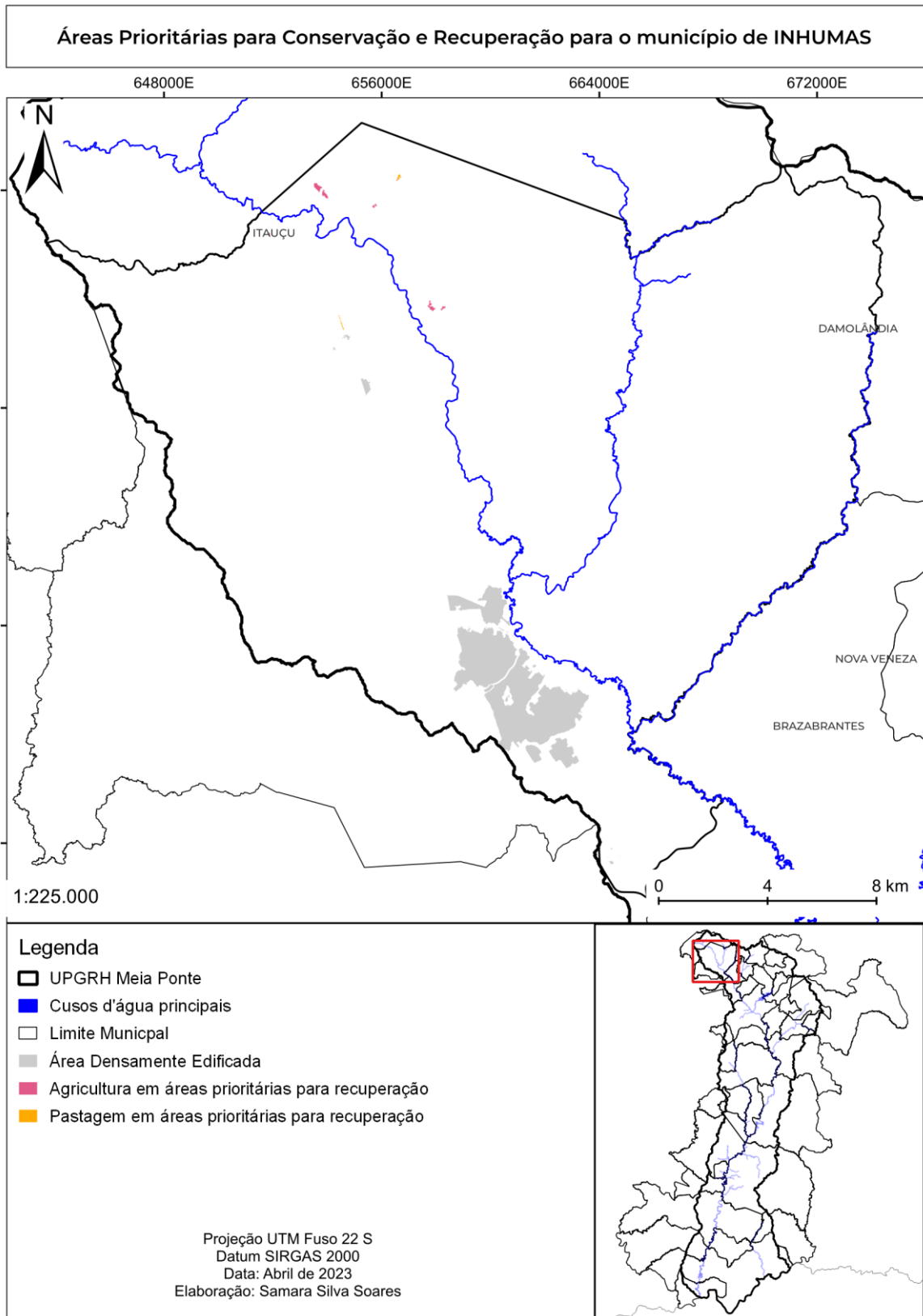


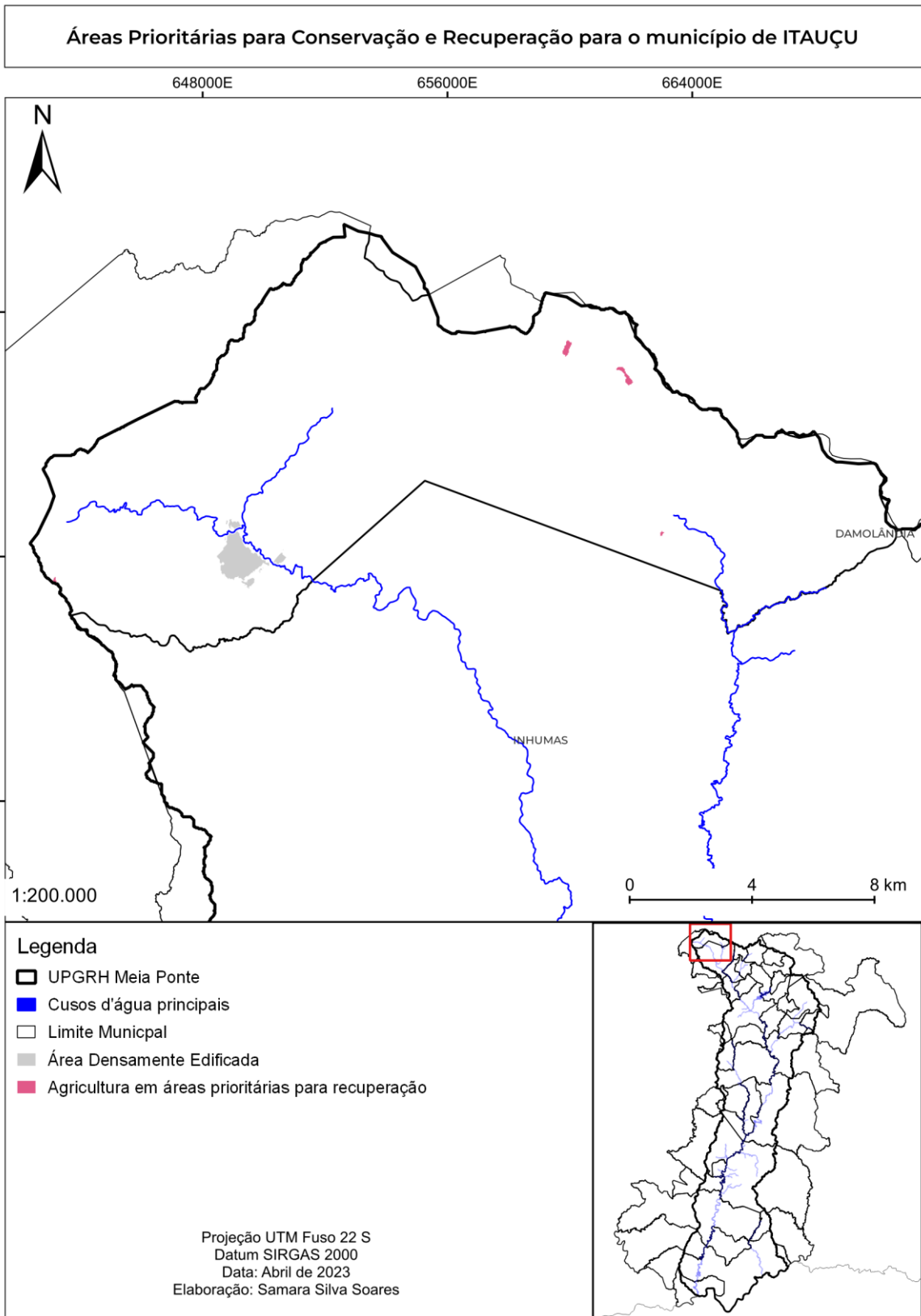




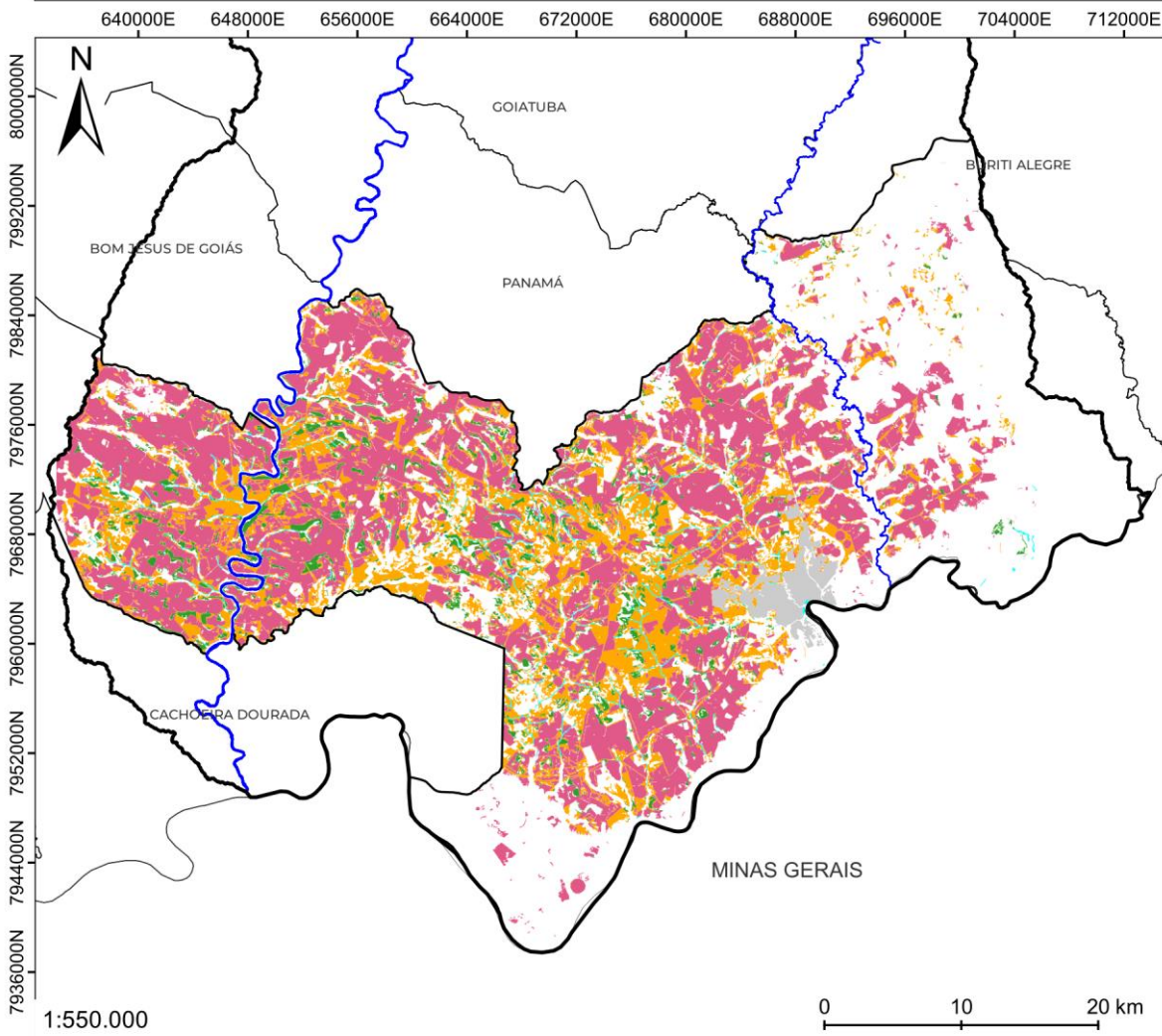








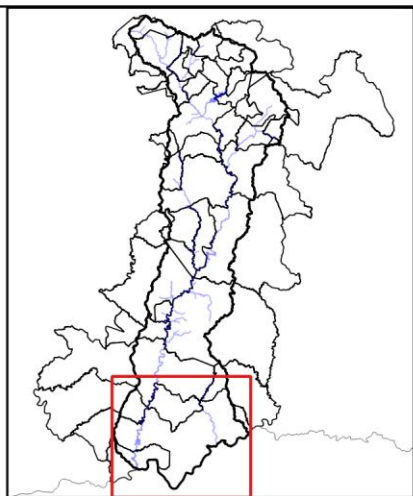
**Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação para o município de ITUMBIARA**

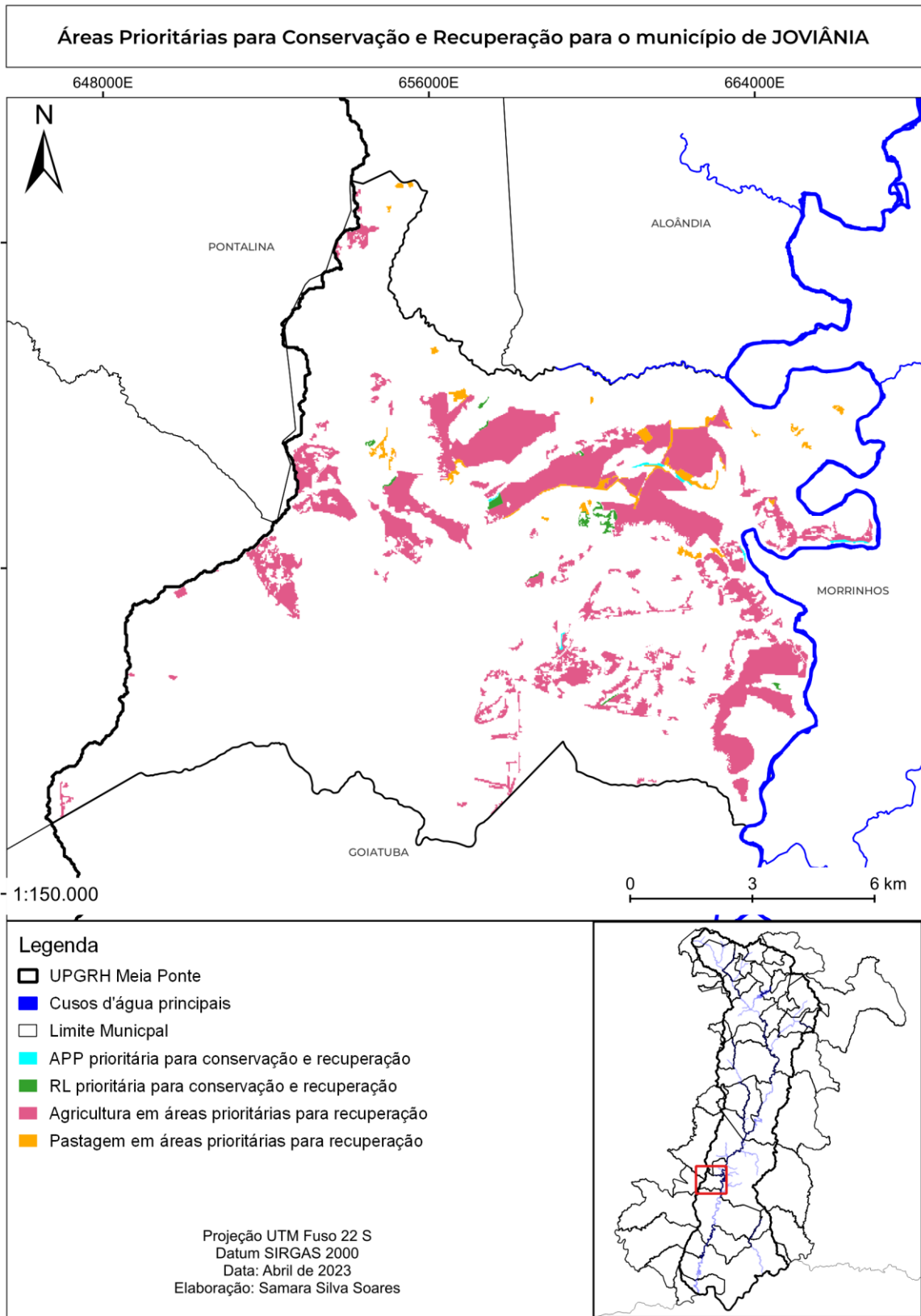


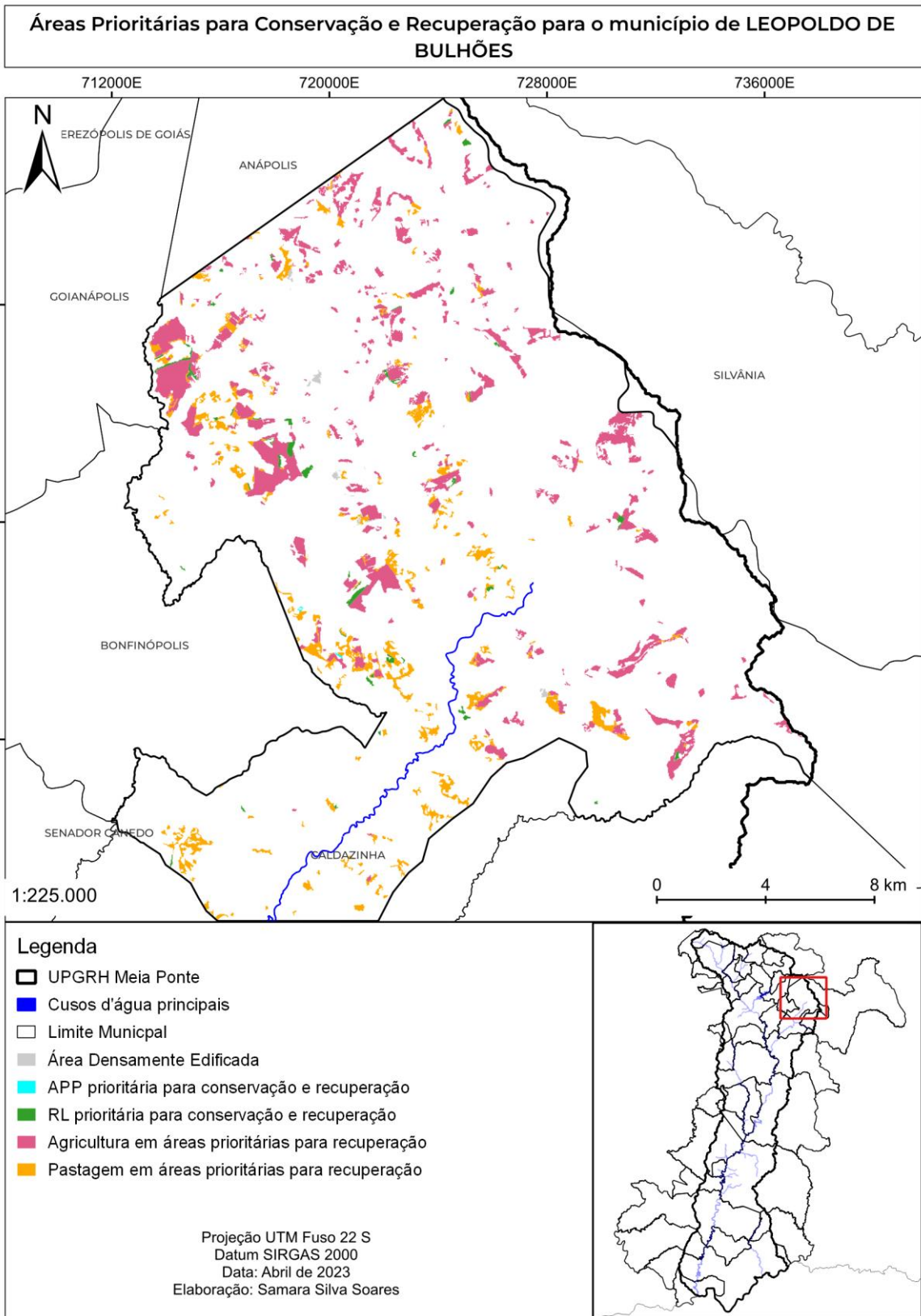
**Legenda**

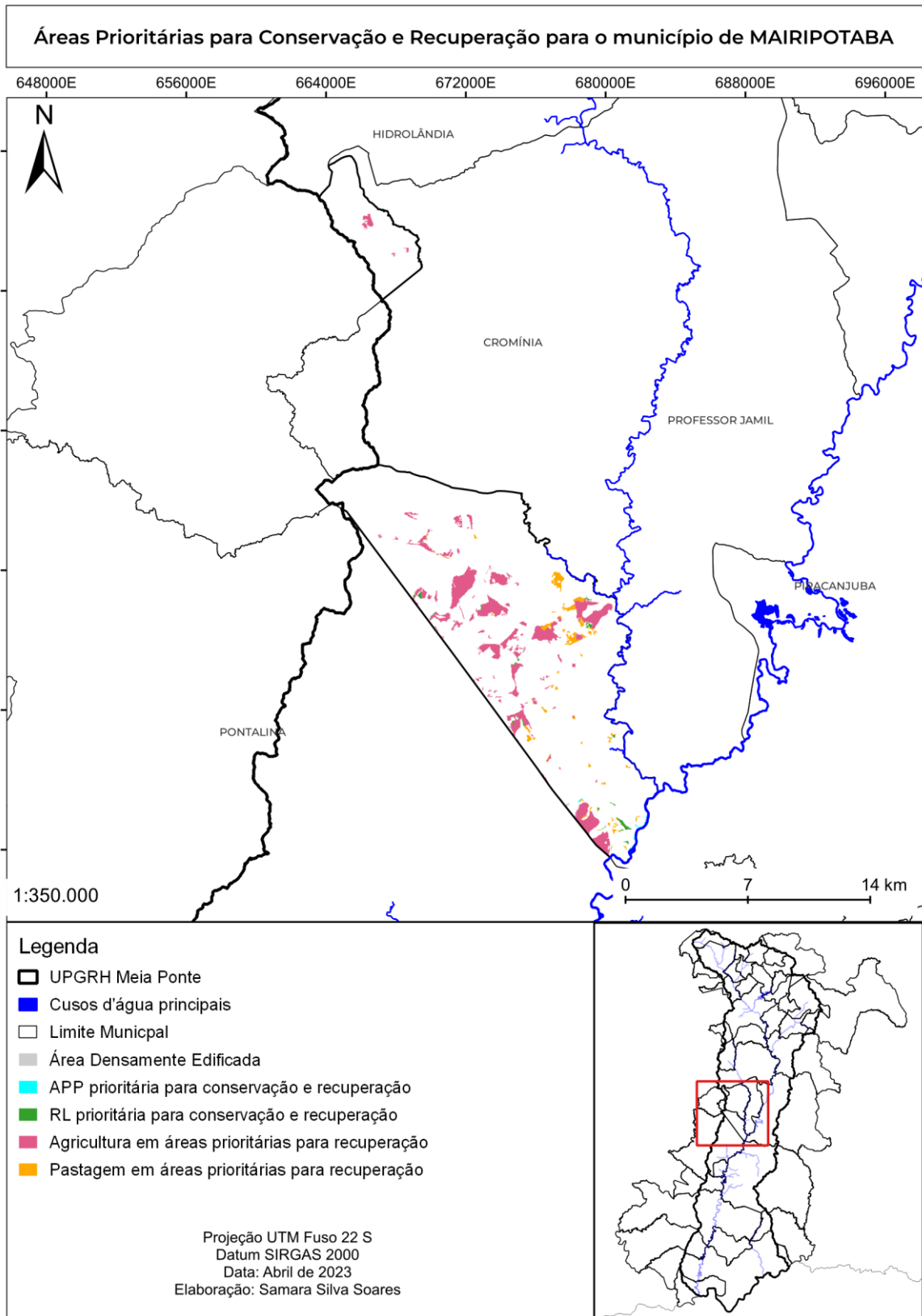
- UPGRH Meia Ponte
- Cusos d'água principais
- Estados
- Limite Municipal
- Área Densamente Edificada
- APP prioritária para conservação e recuperação
- RL prioritária para conservação e recuperação
- Agricultura em áreas prioritárias para recuperação
- Pastagem em áreas prioritárias para recuperação

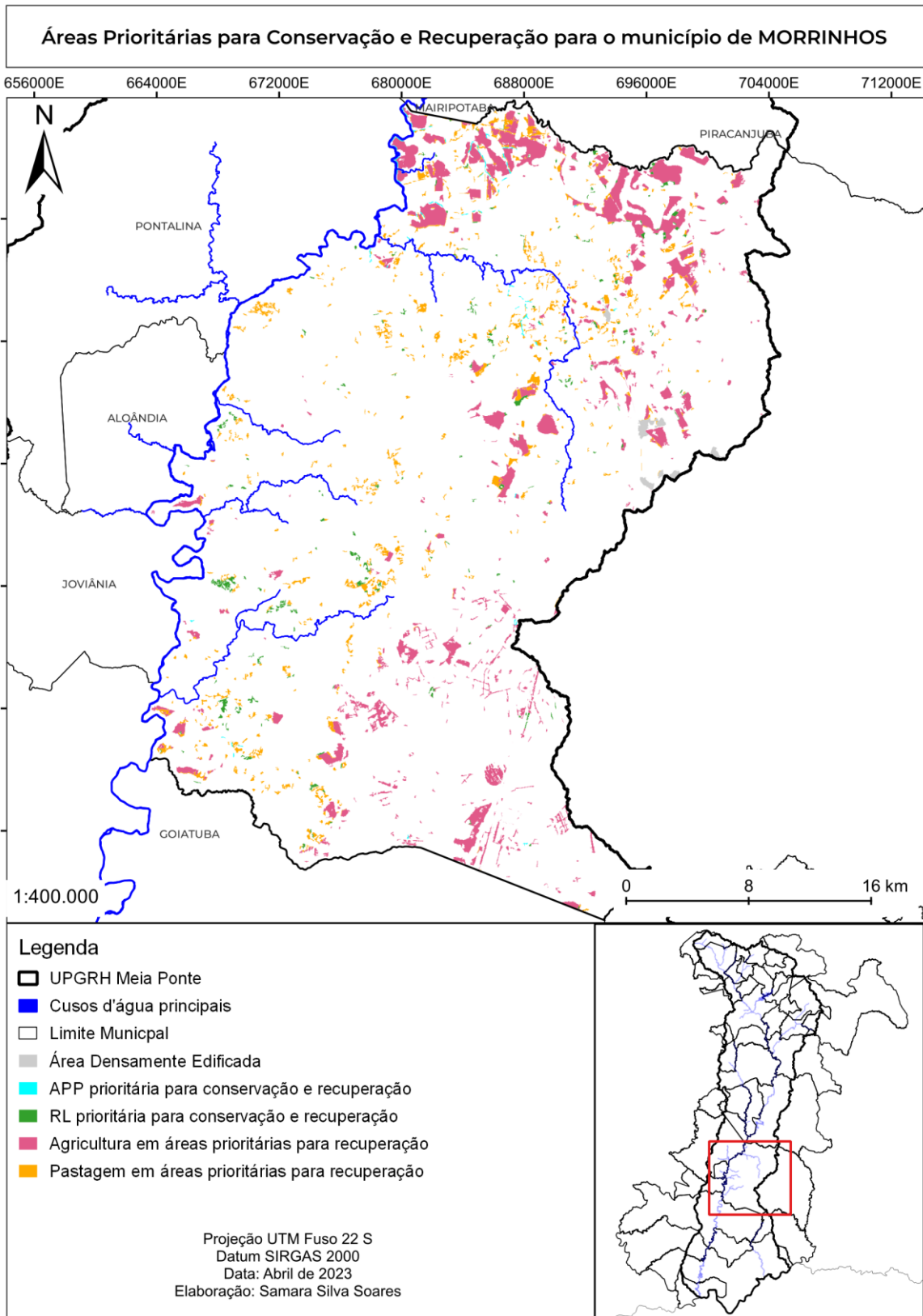
Projeção UTM Fuso 22 S  
 Datum SIRGAS 2000  
 Data: Abril de 2023  
 Elaboração: Samara Silva Soares

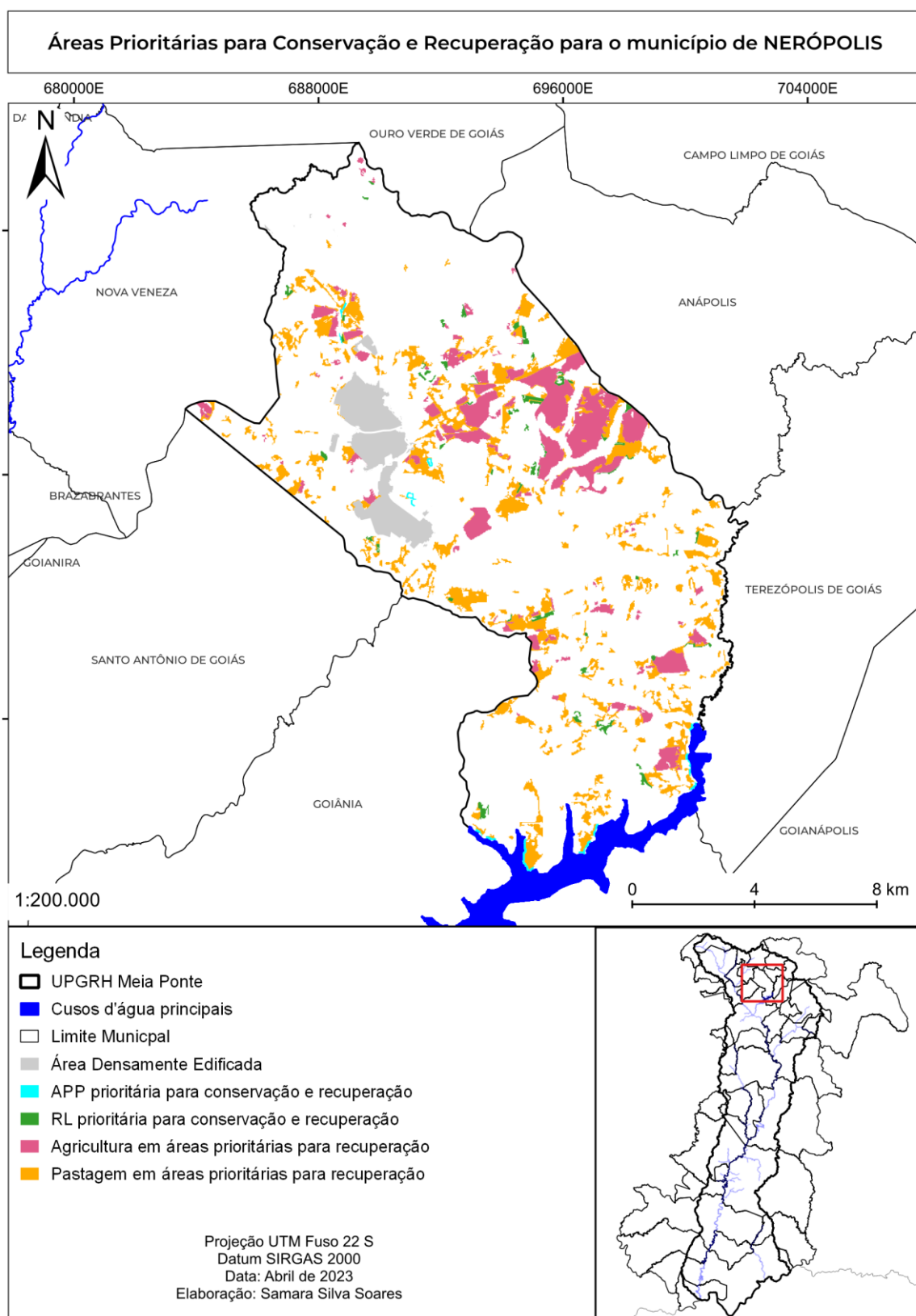


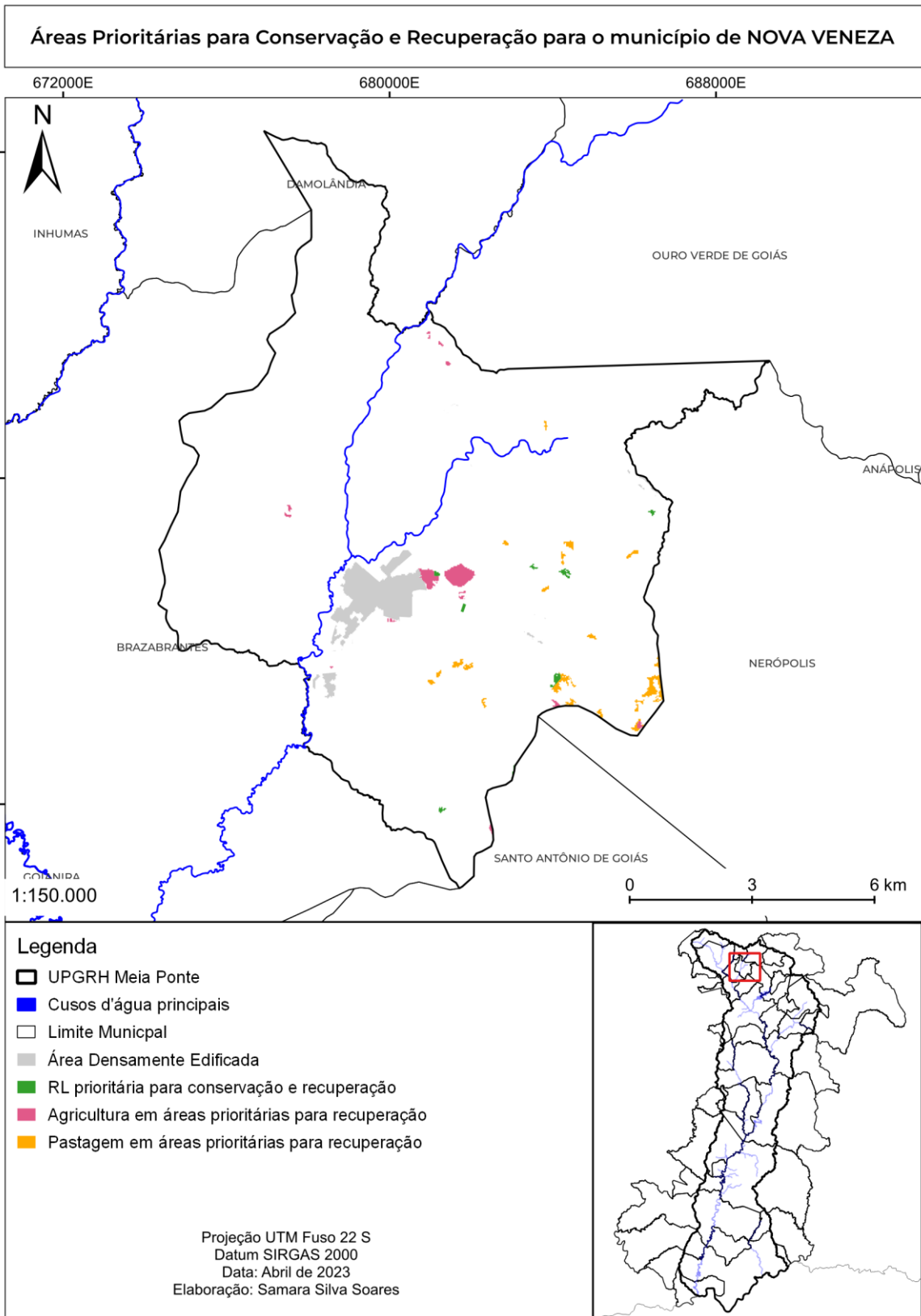


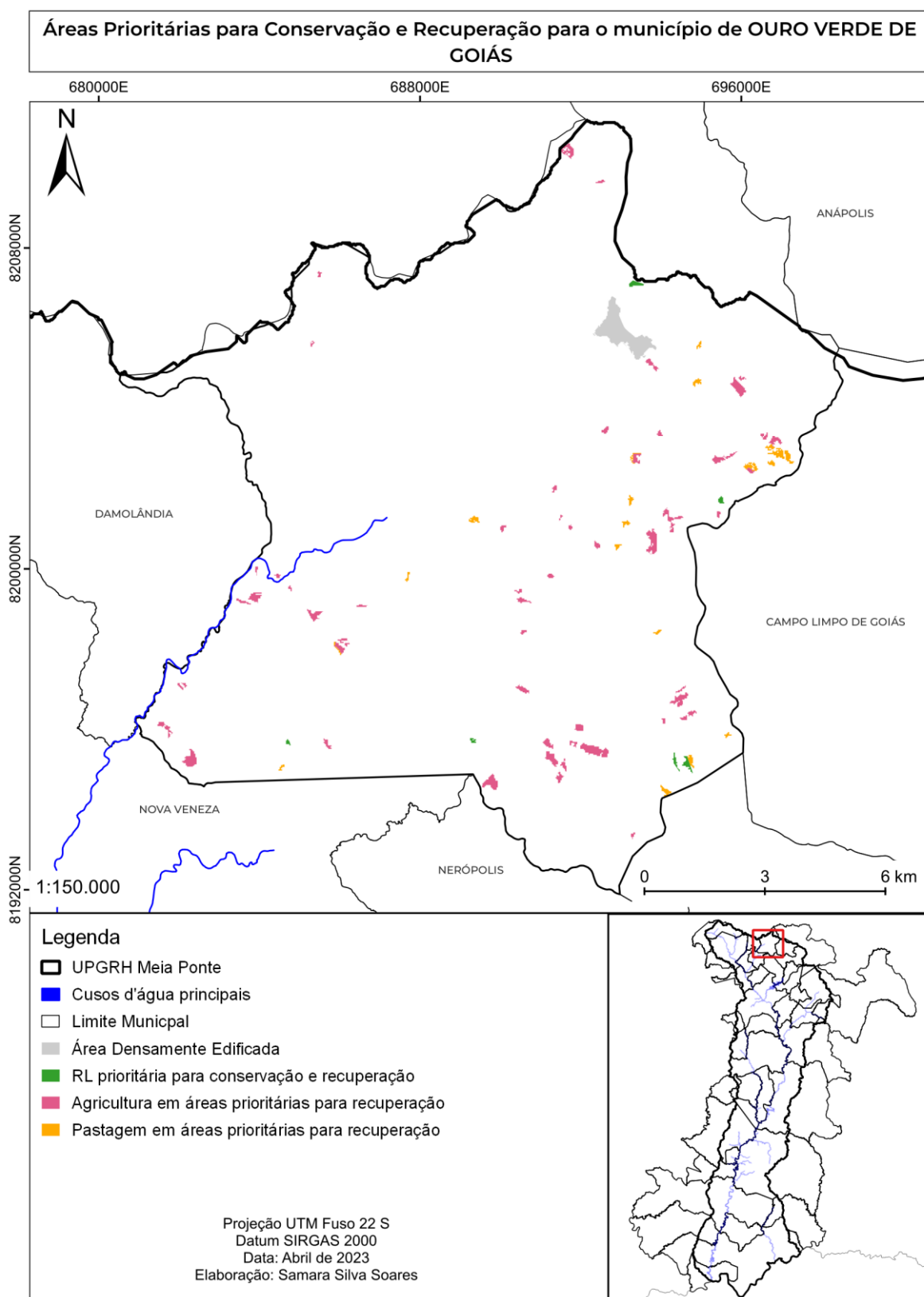


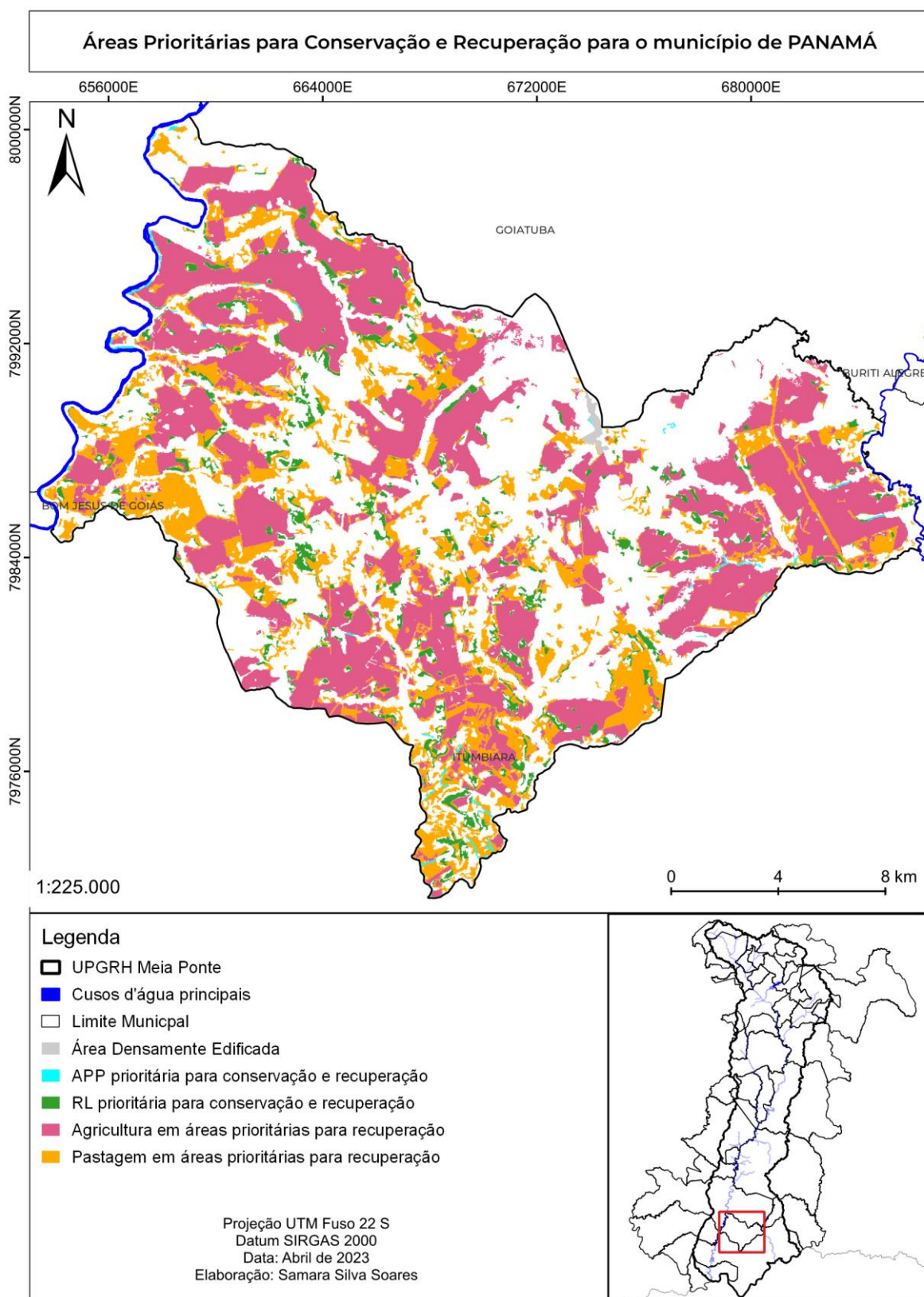


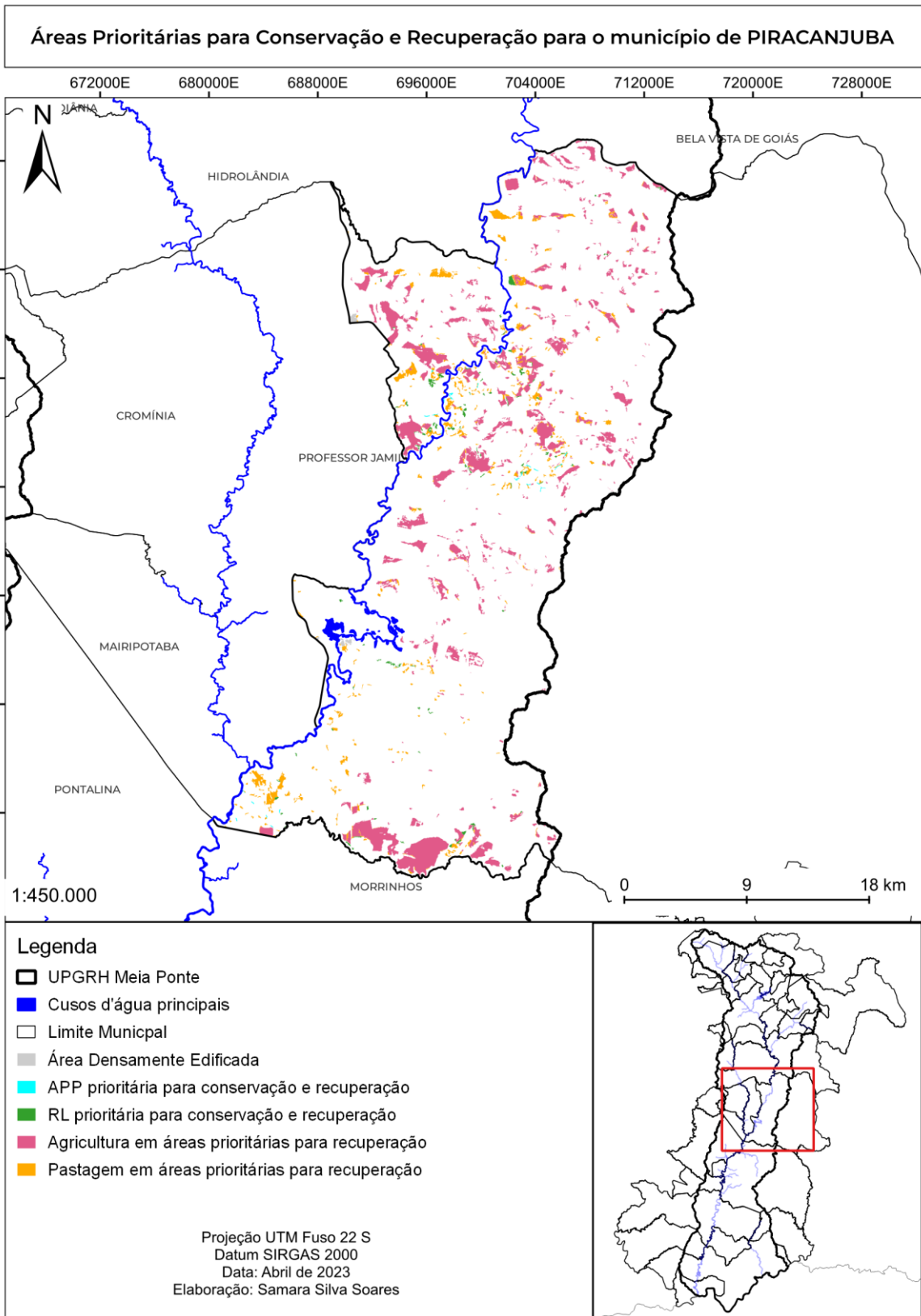


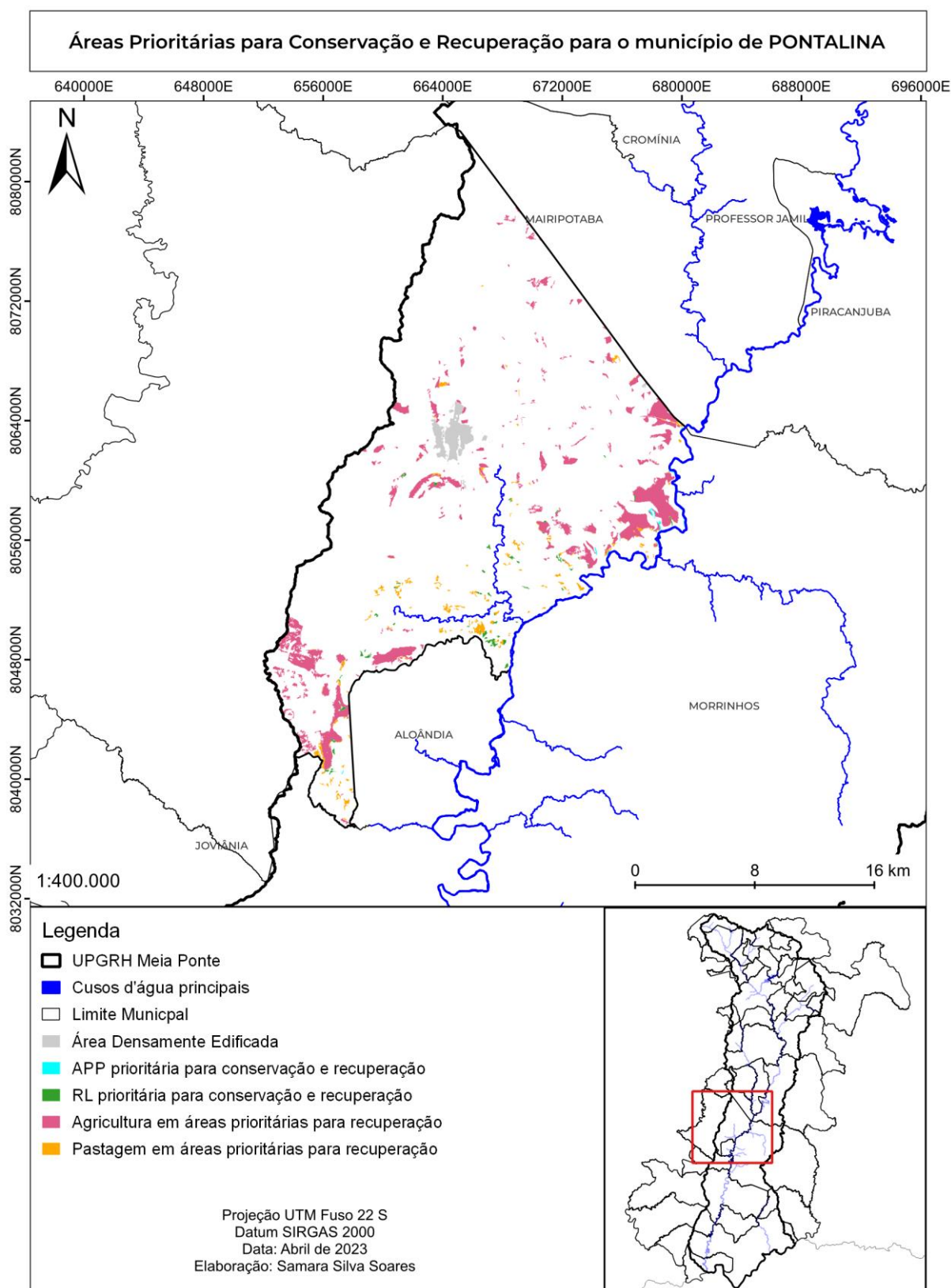


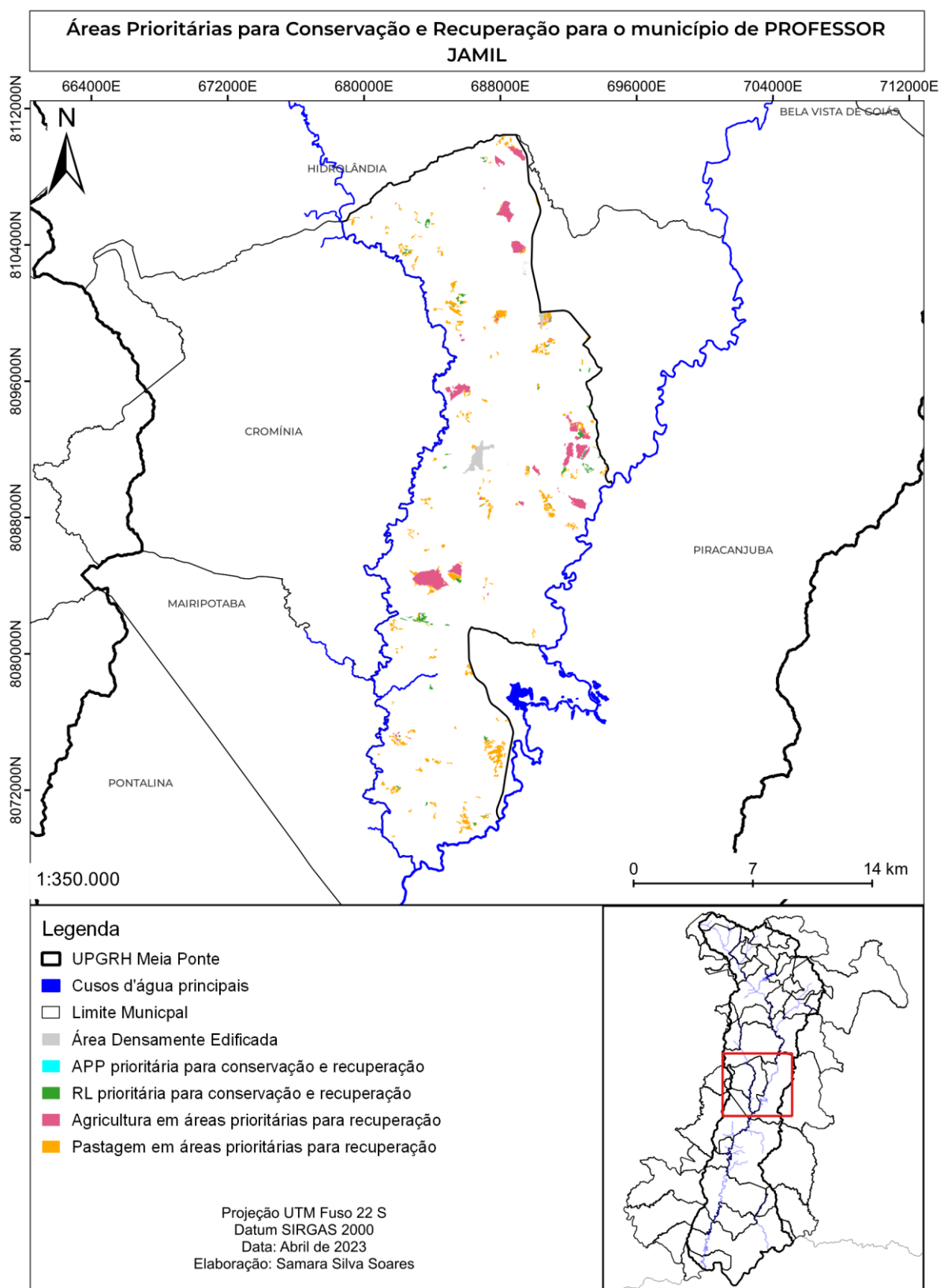


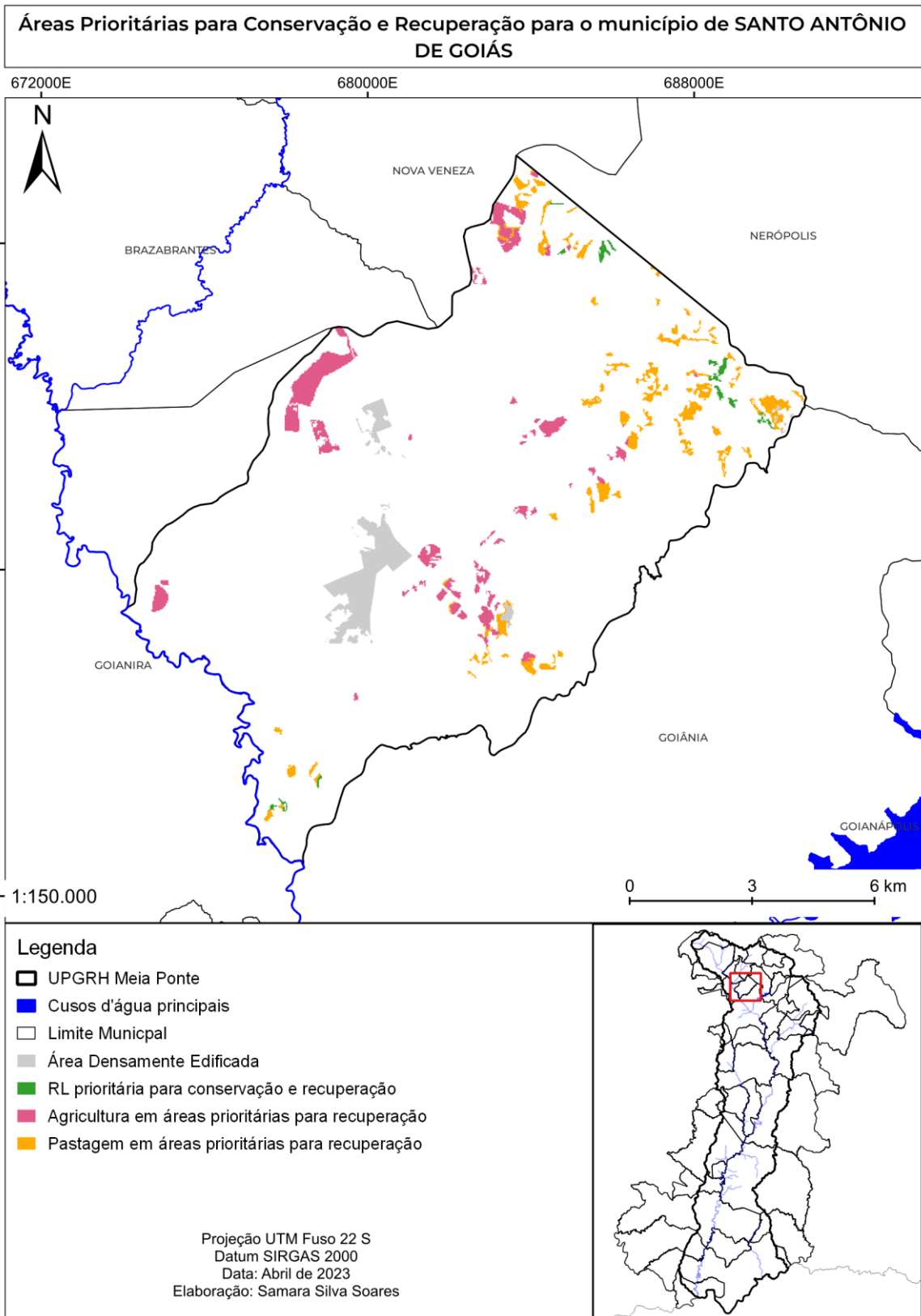


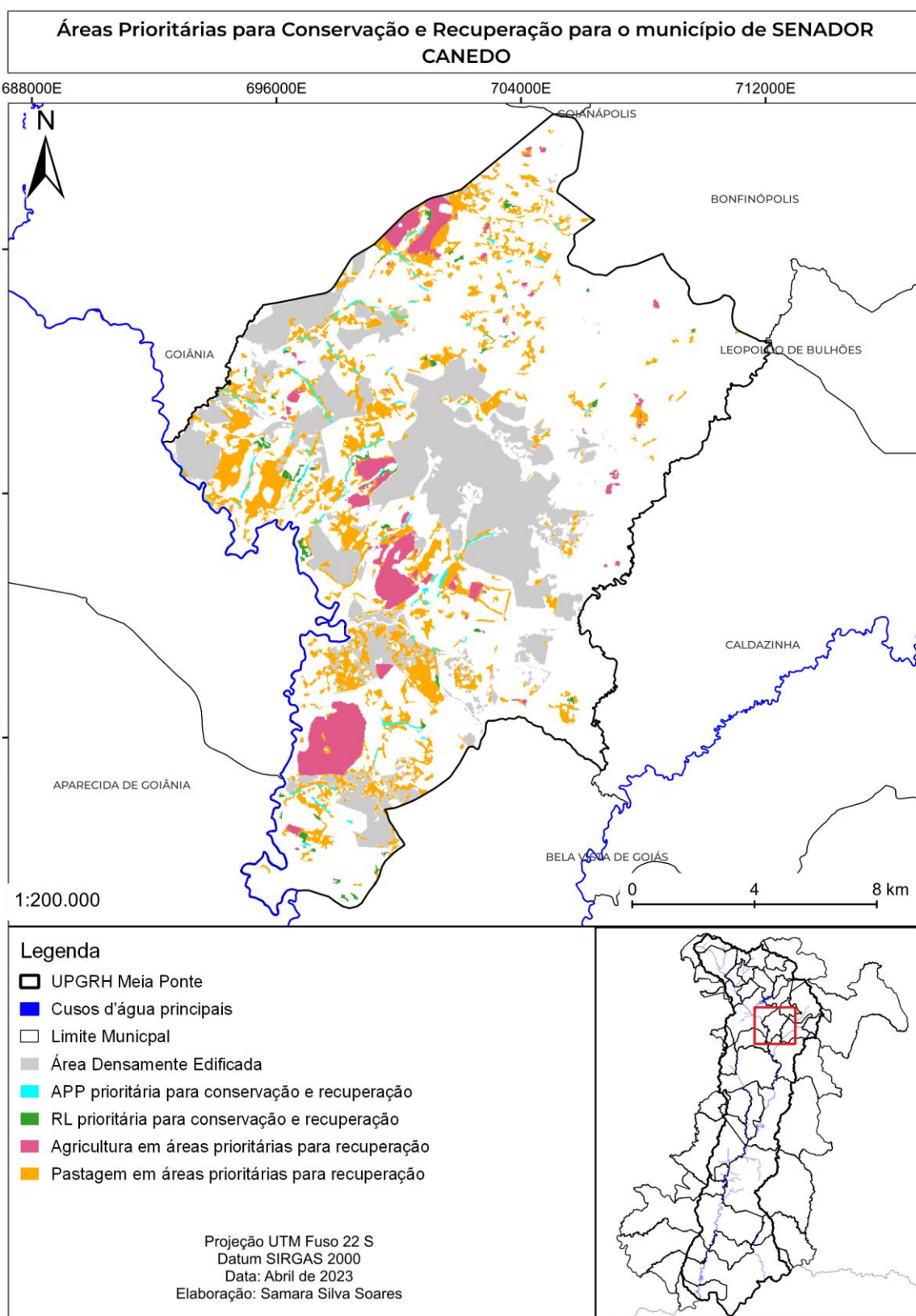


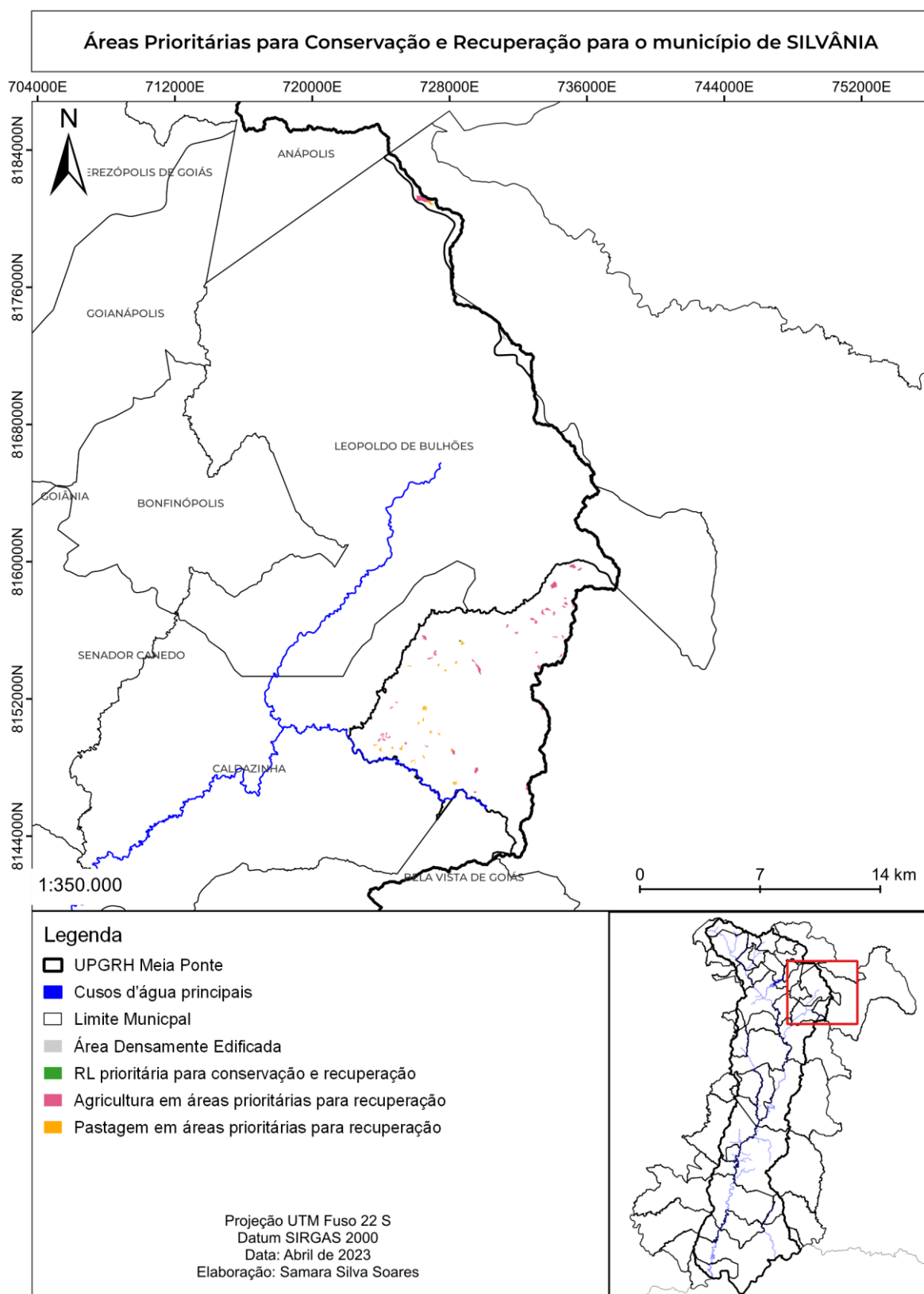




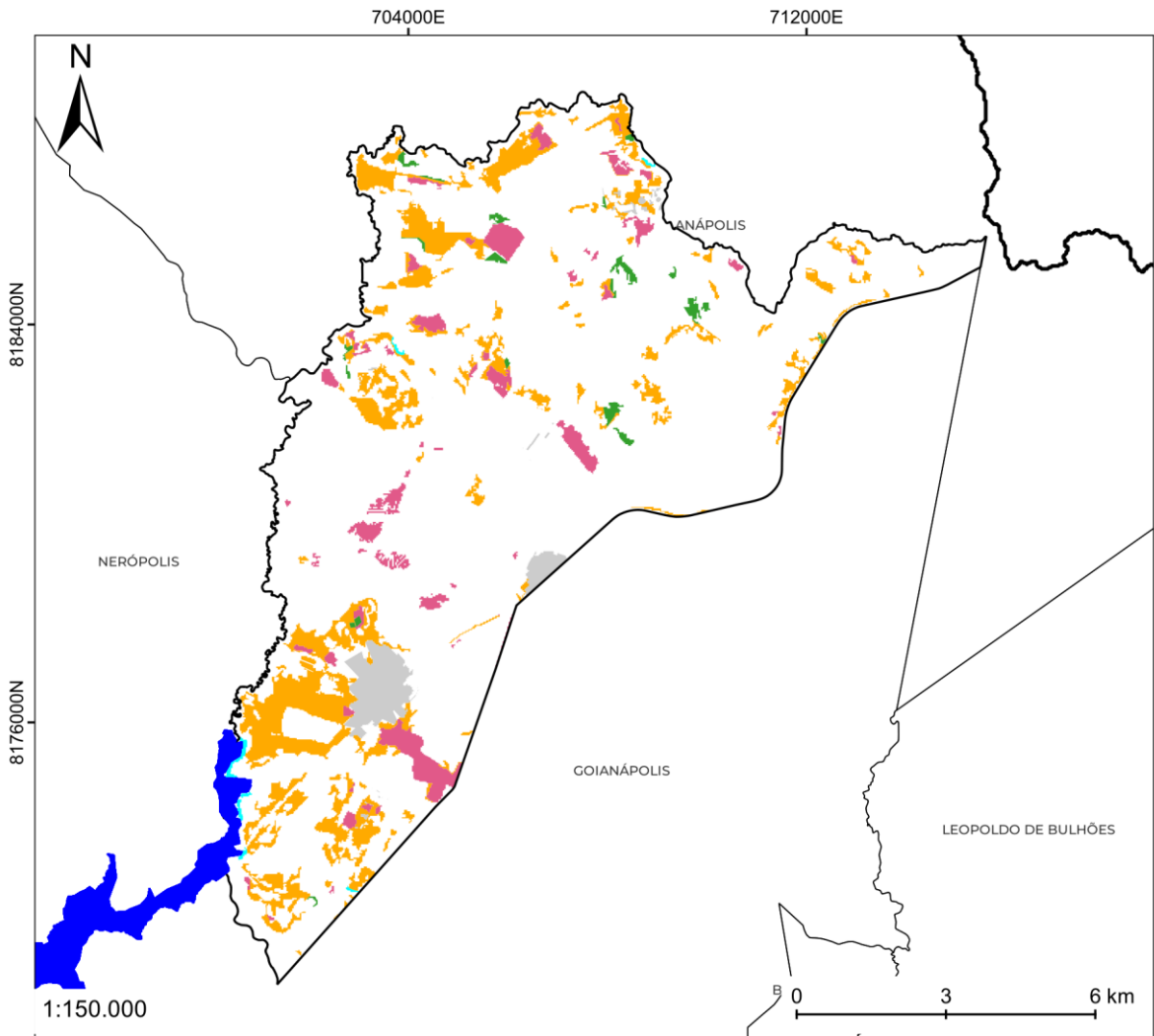








**Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação para o município de TEREZÓPOLIS DE GOIÁS**

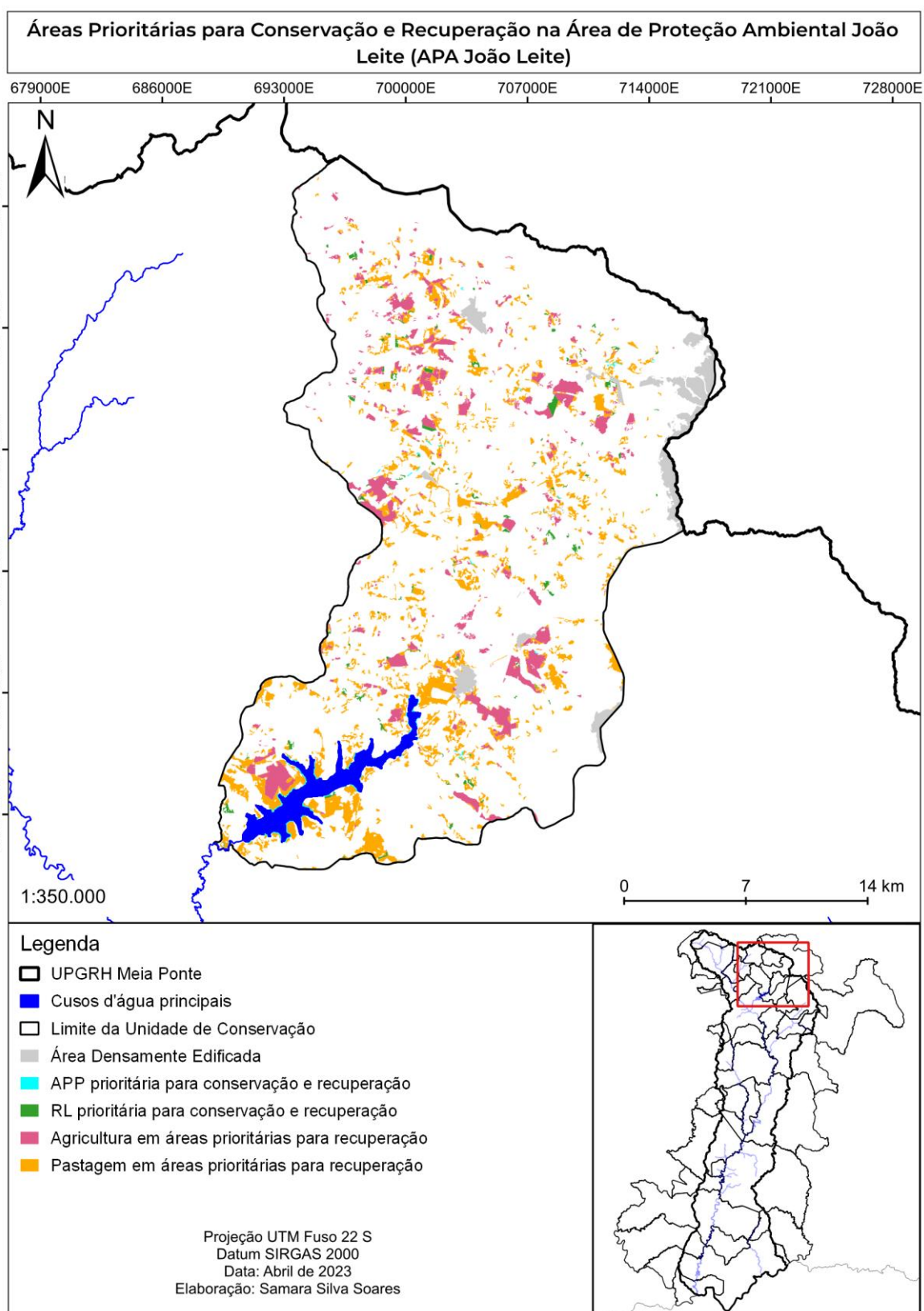


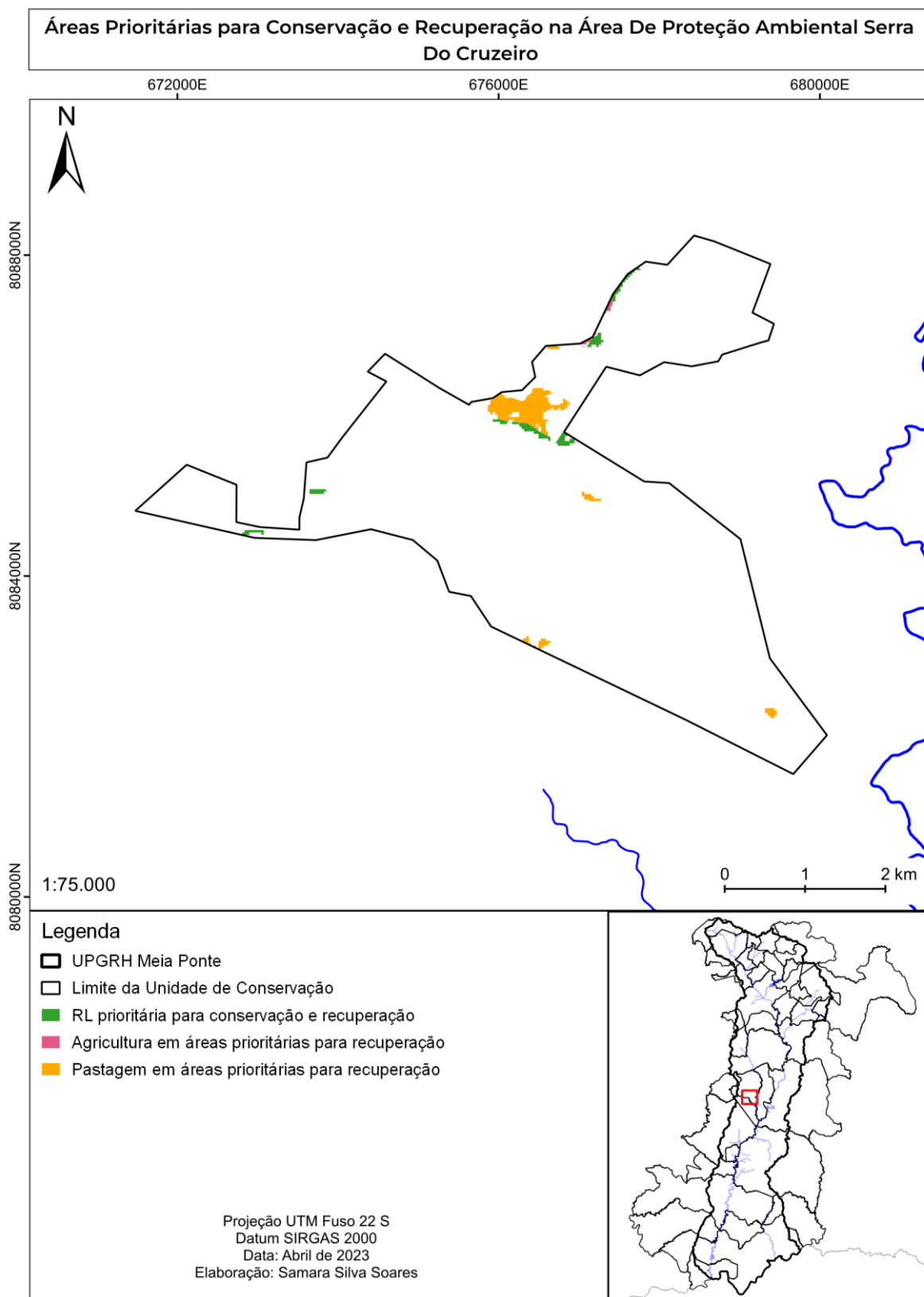
**Legenda**

- UPGRH Meia Ponte
- Cursos d'água principais
- Limite Municipal
- Área Densamente Edificada
- APP prioritária para conservação e recuperação
- RL prioritária para conservação e recuperação
- Agricultura em áreas prioritárias para recuperação
- Pastagem em áreas prioritárias para recuperação

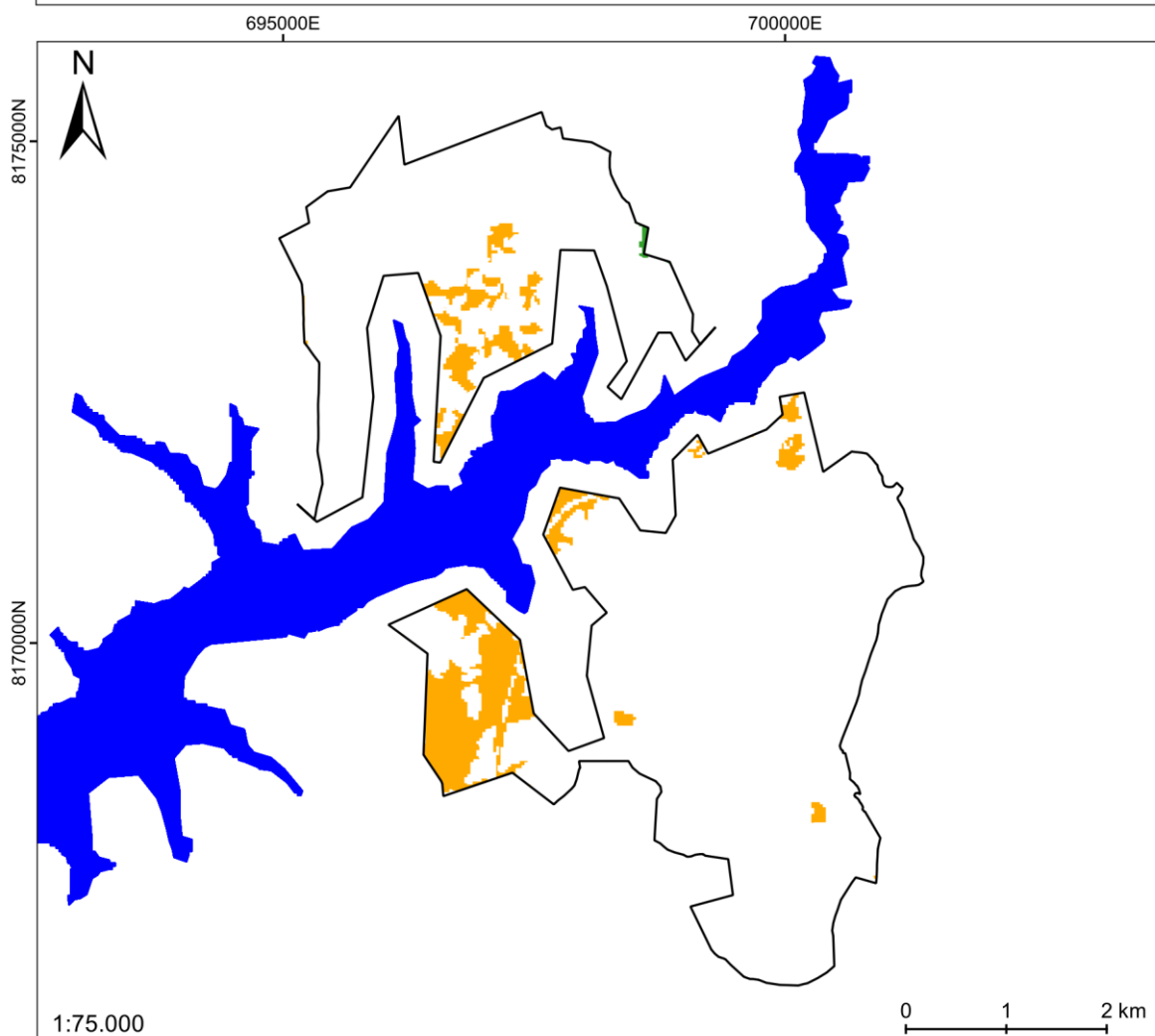
Projeção UTM Fuso 22 S  
 Datum SIRGAS 2000  
 Data: Abril de 2023  
 Elaboração: Samara Silva Soares

**APÊNDICE H – MAPAS DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS POR  
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NA UPGRH MEIA PONTE**









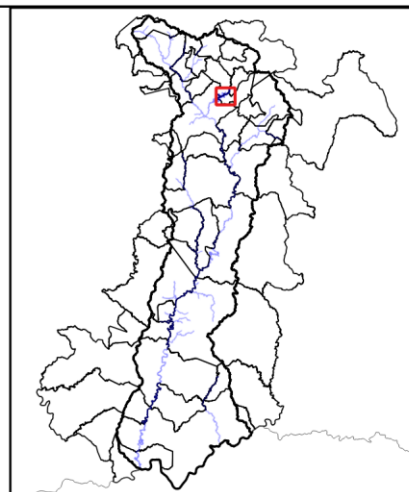
### Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação no Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP)

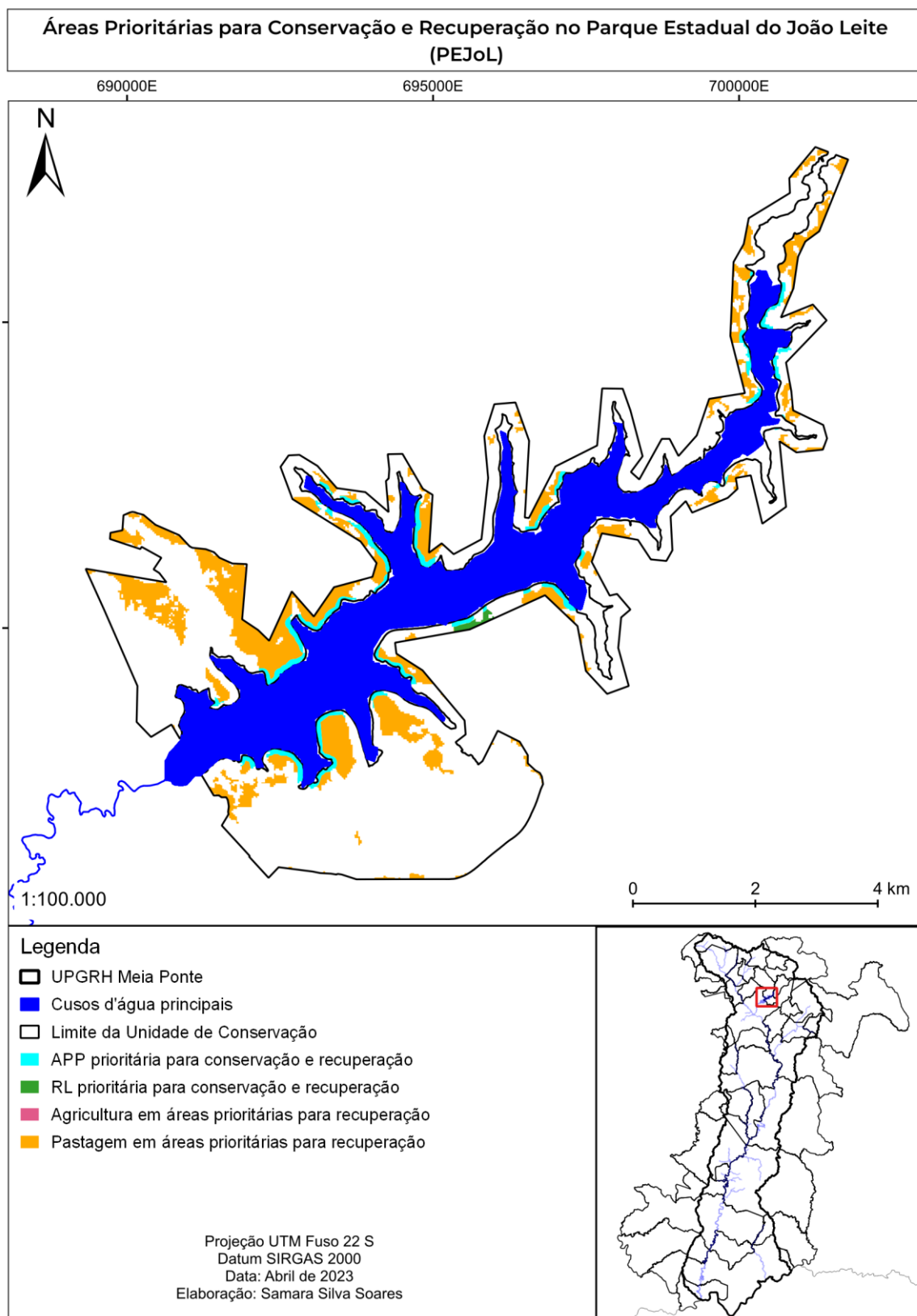


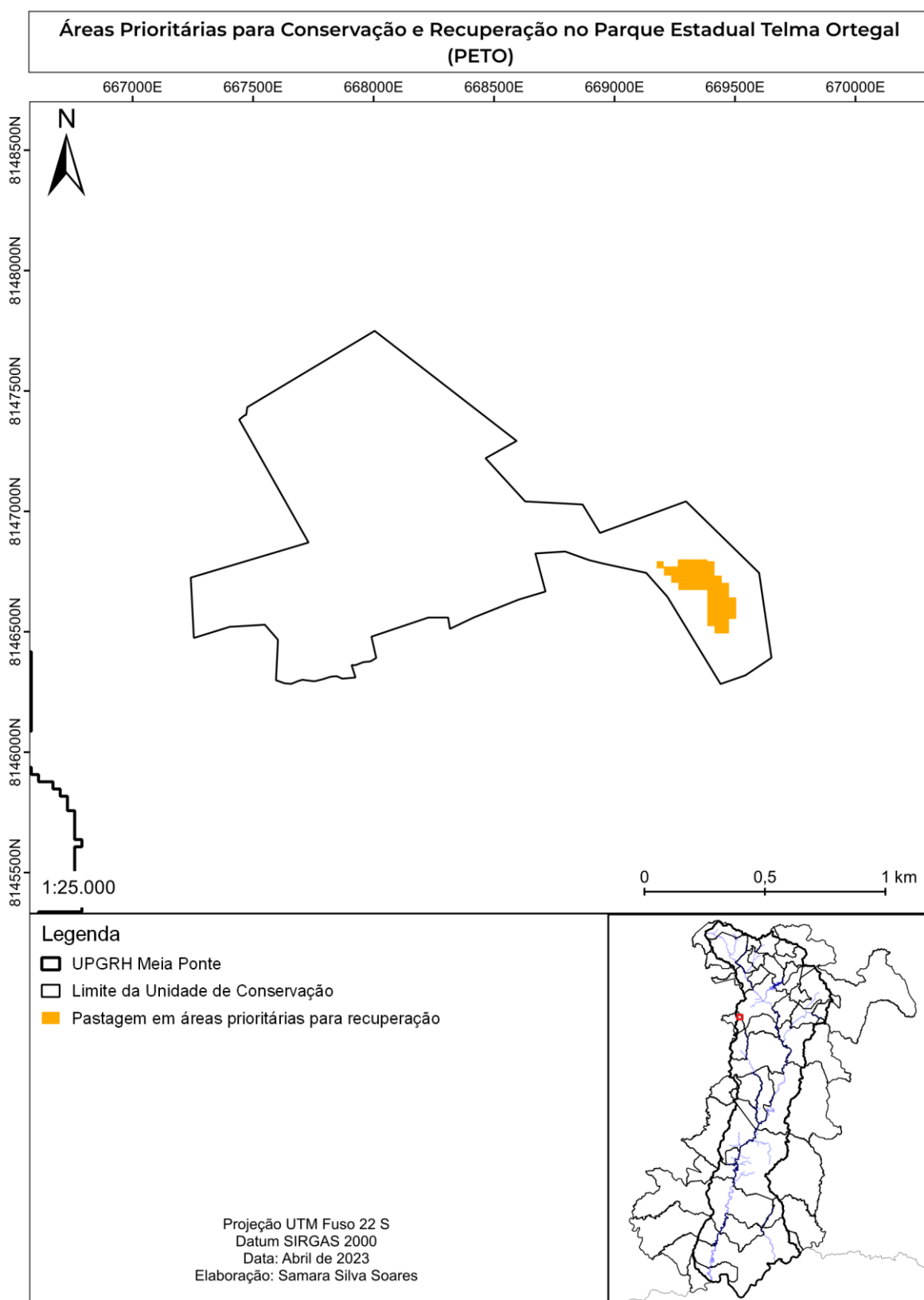
#### Legenda

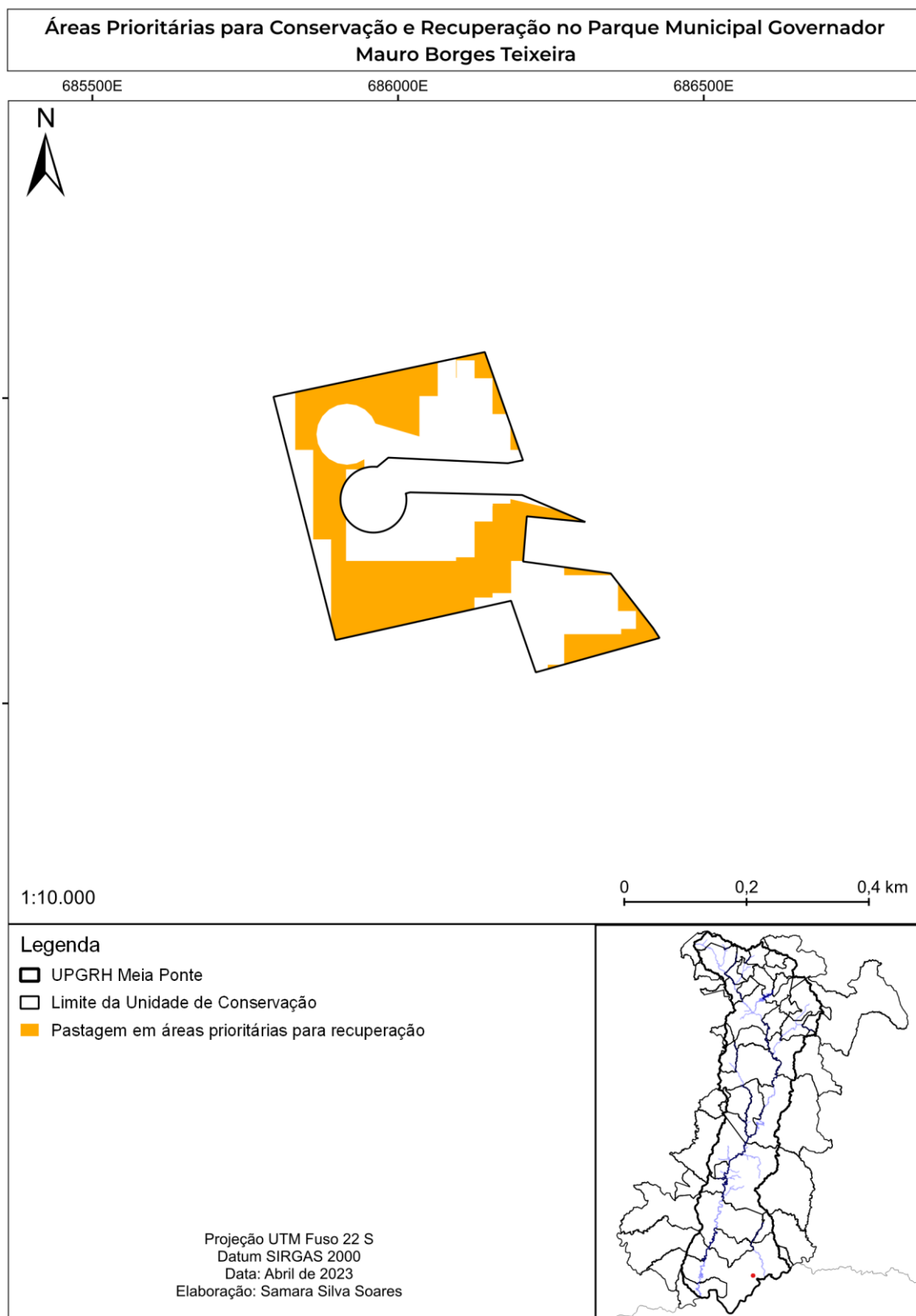
-  UPGRH Meia Ponte
-  Limite da Unidade de Conservação
-  RL prioritária para conservação e recuperação
-  Pastagem em áreas prioritárias para recuperação

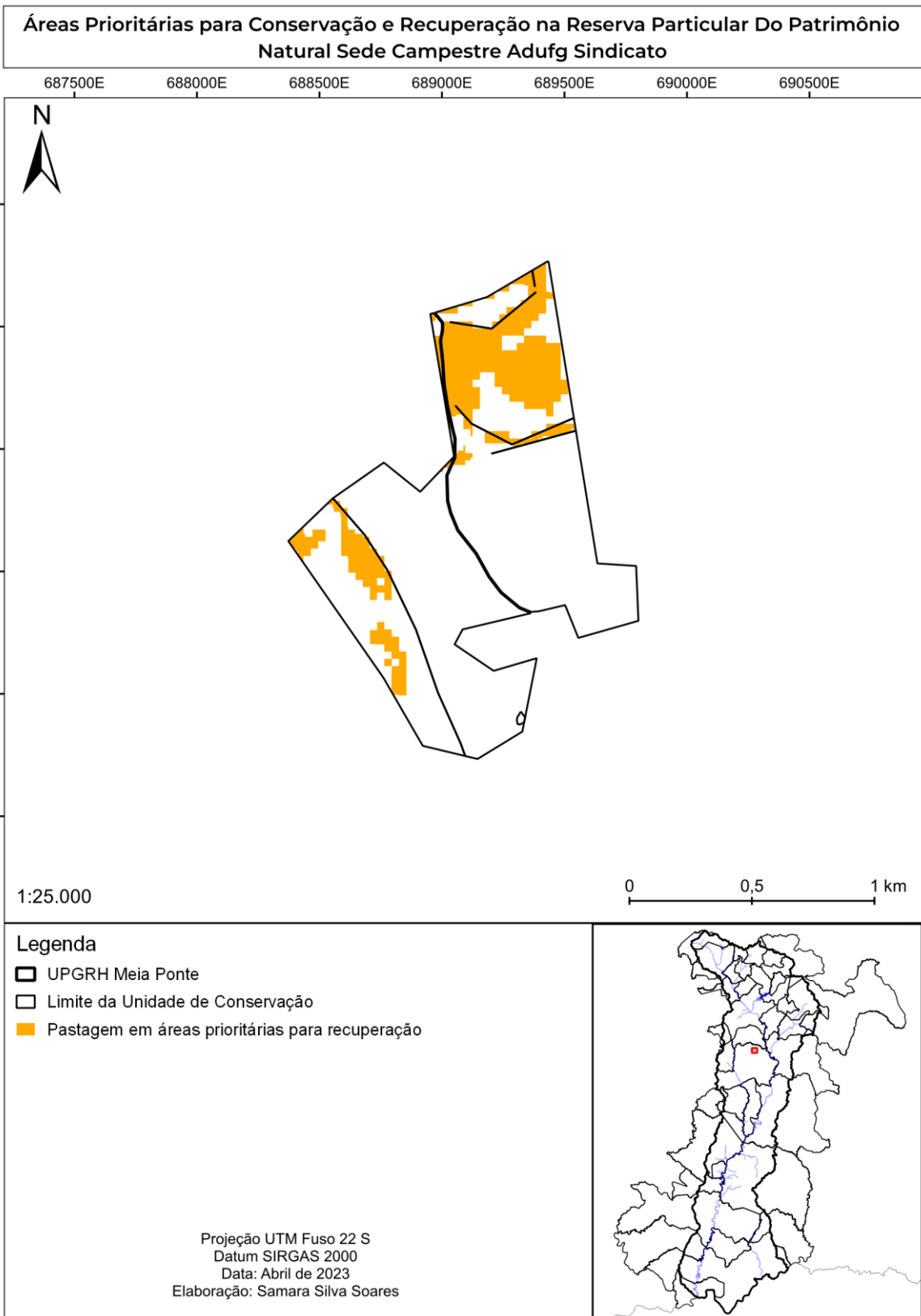
Projeção UTM Fuso 22 S  
Datum SIRGAS 2000  
Data: Abril de 2023  
Elaboração: Samara Silva Soares

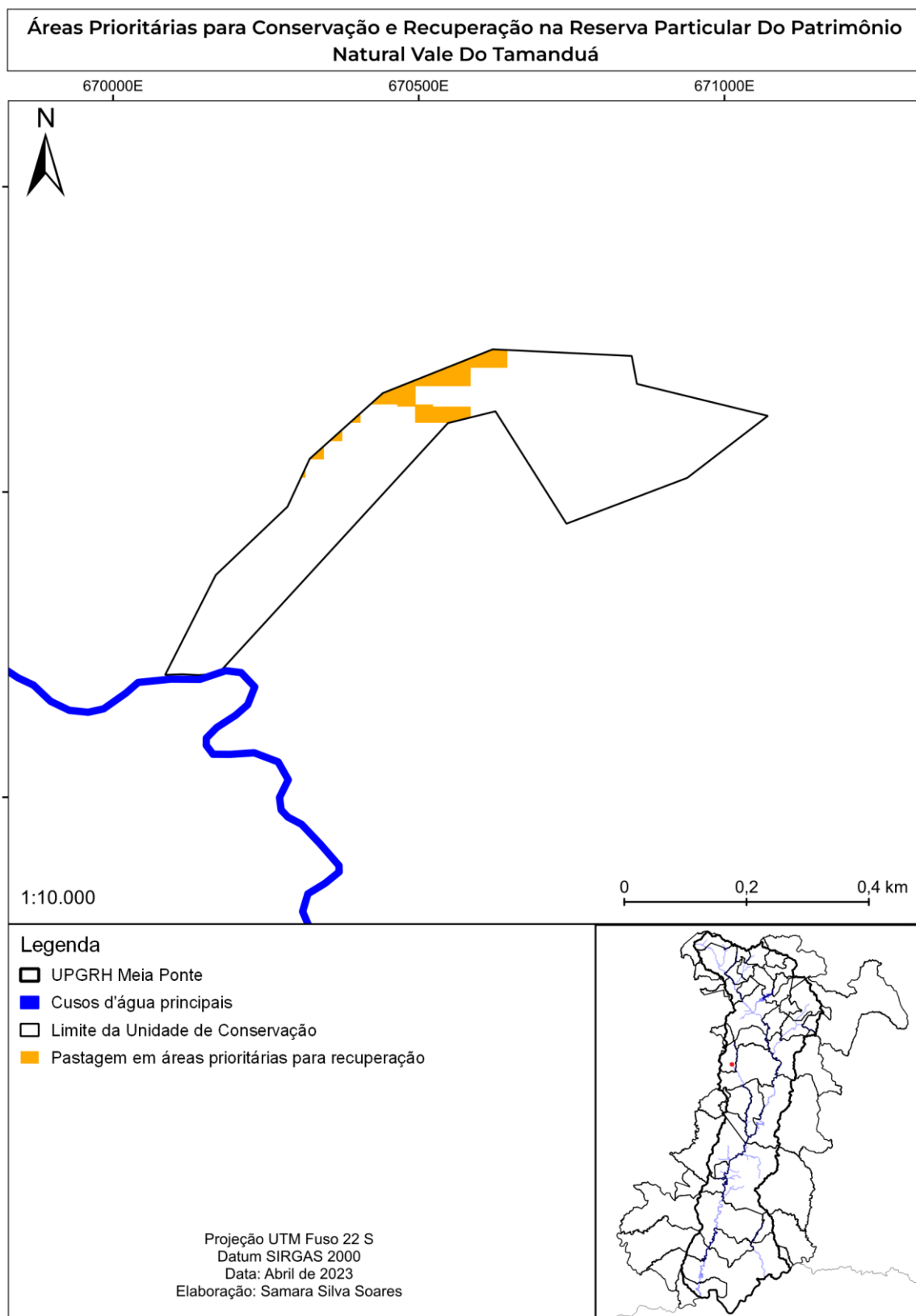






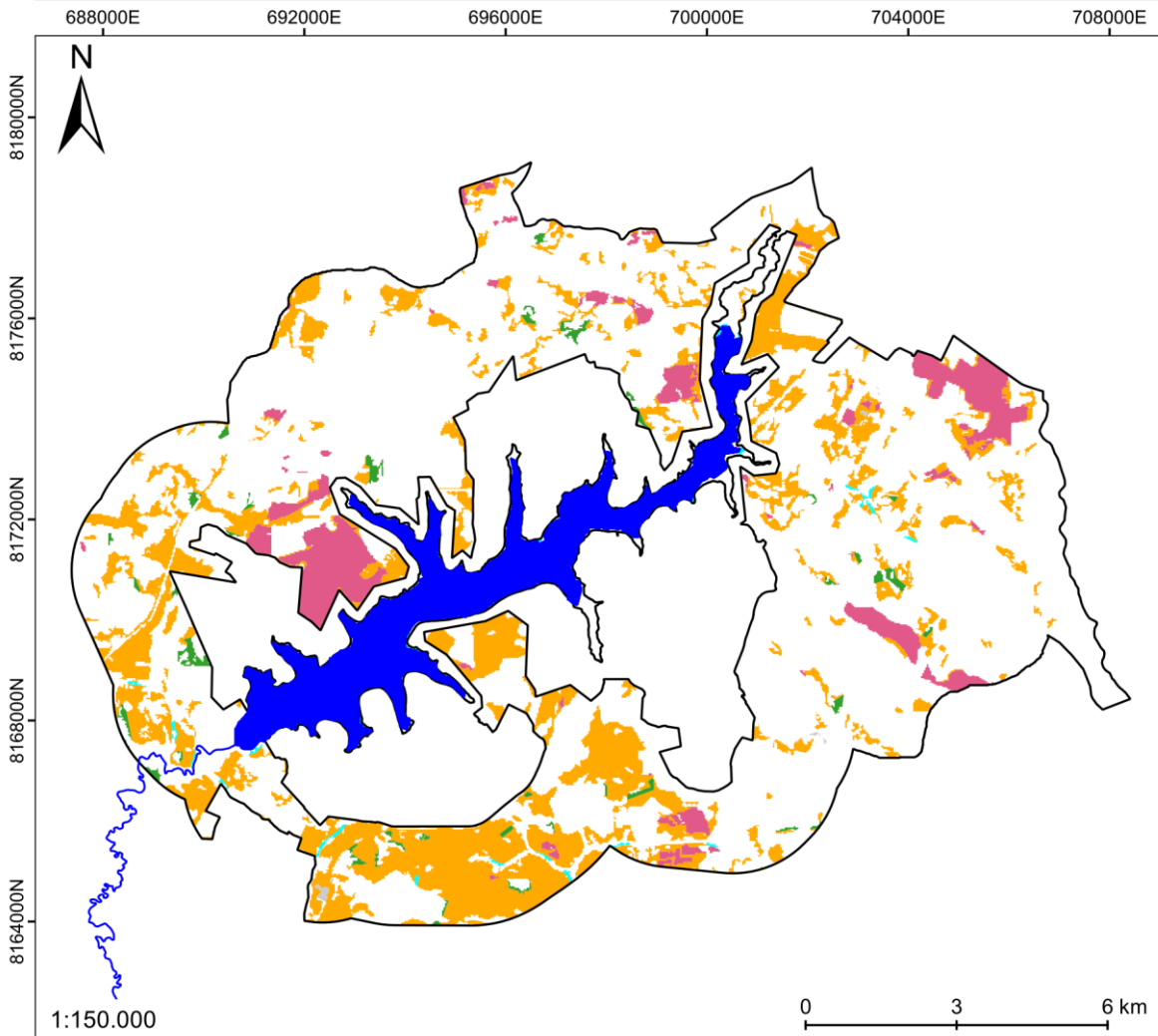






**APÊNDICE I – MAPA DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS POR  
ZONAS DE AMORTECIMENTO NA UPGRH MEIA PONTE**

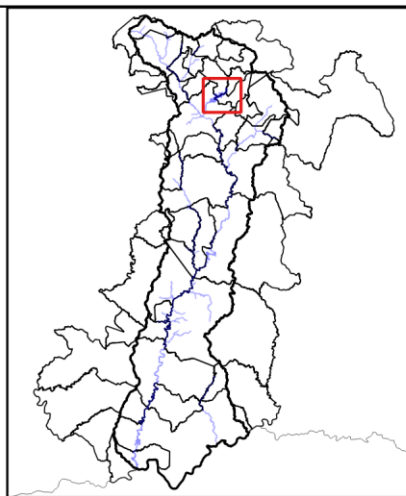
**Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação na Zona de Amortecimento do Parque Estadual Altamiro de Moura Pacheco (PEAMP)/Parque Estadual João Leite (PJOL)**



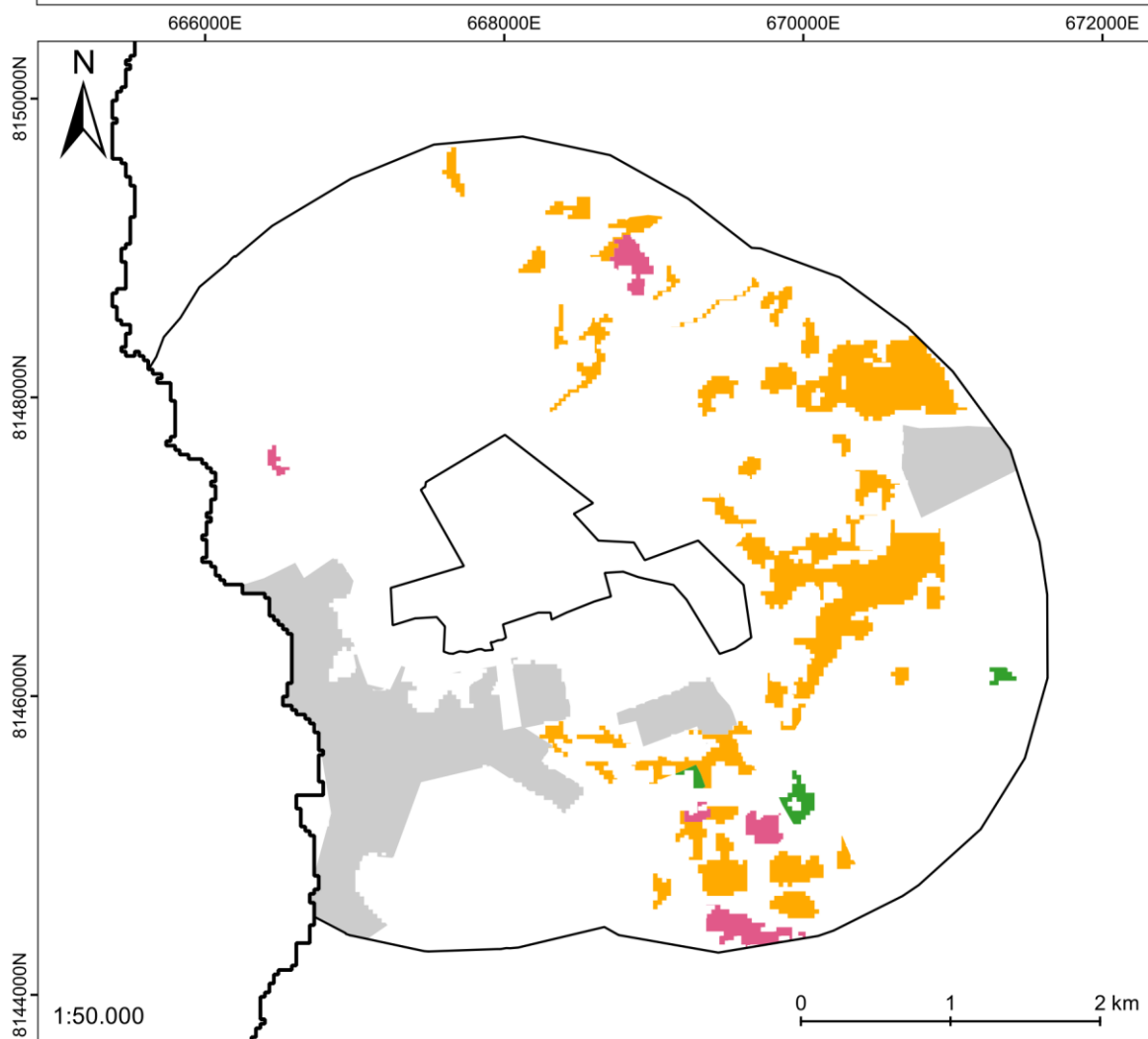
**Legenda**

- UPGRH Meia Ponte
- Cursos d'água principais
- Área Densamente Edificada
- APP prioritária para conservação e recuperação
- RL prioritária para conservação e recuperação
- Agricultura em áreas prioritárias para recuperação
- Pastagem em áreas prioritárias para recuperação
- Zona de Amortecimento de UC







Projeção UTM Fuso 22 S  
 Datum SIRGAS 2000  
 Data: Abril de 2023  
 Elaboração: Samara Silva Soares



### Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação na Zona de Amortecimento do Parque Estadual Telma Ortegal (PETO)



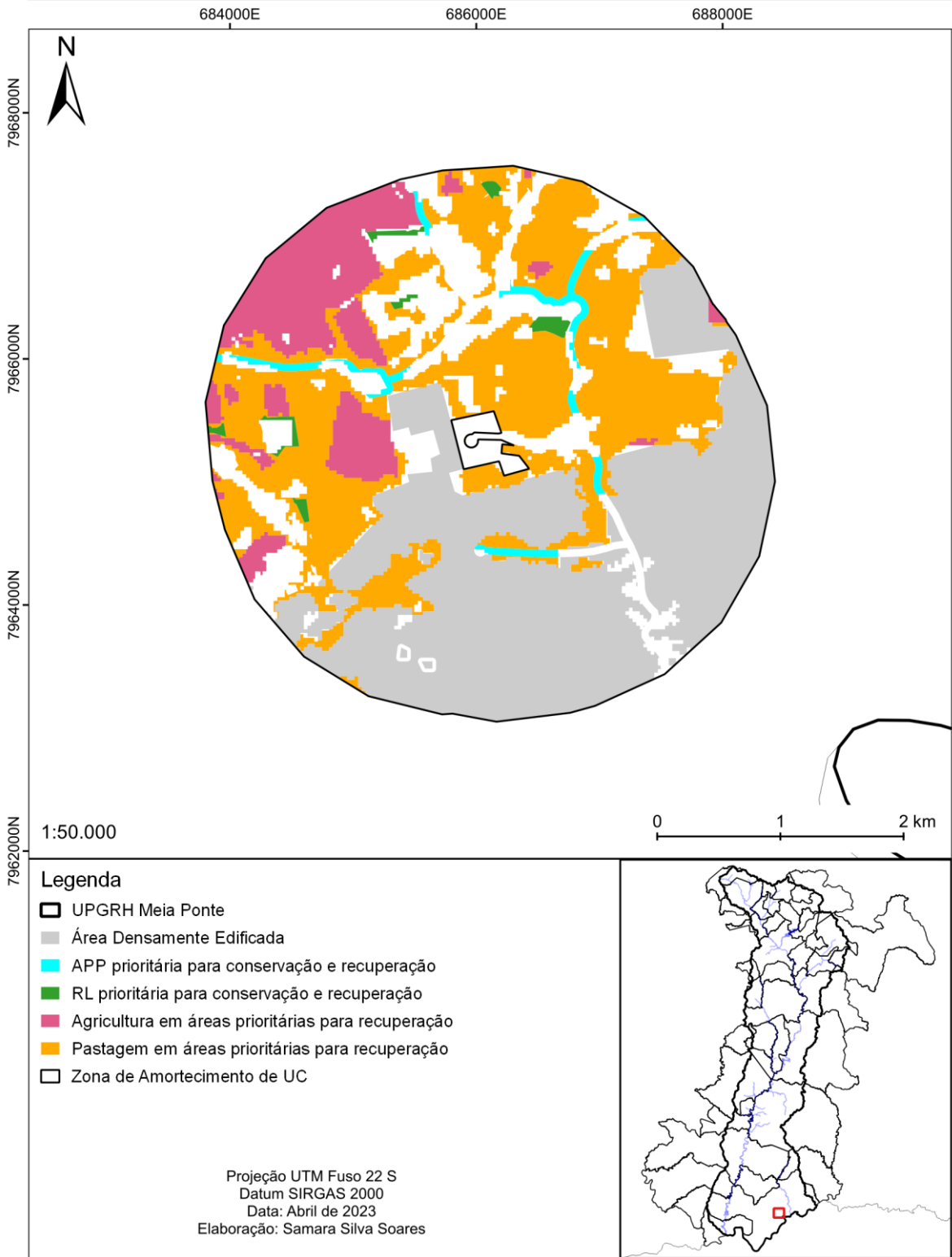
#### Legenda

-  UPGRH Meia Ponte
-  Área Densamente Edificada
-  RL prioritária para conservação e recuperação
-  Agricultura em áreas prioritárias para recuperação
-  Pastagem em áreas prioritárias para recuperação
-  Zona de Amortecimento de UC

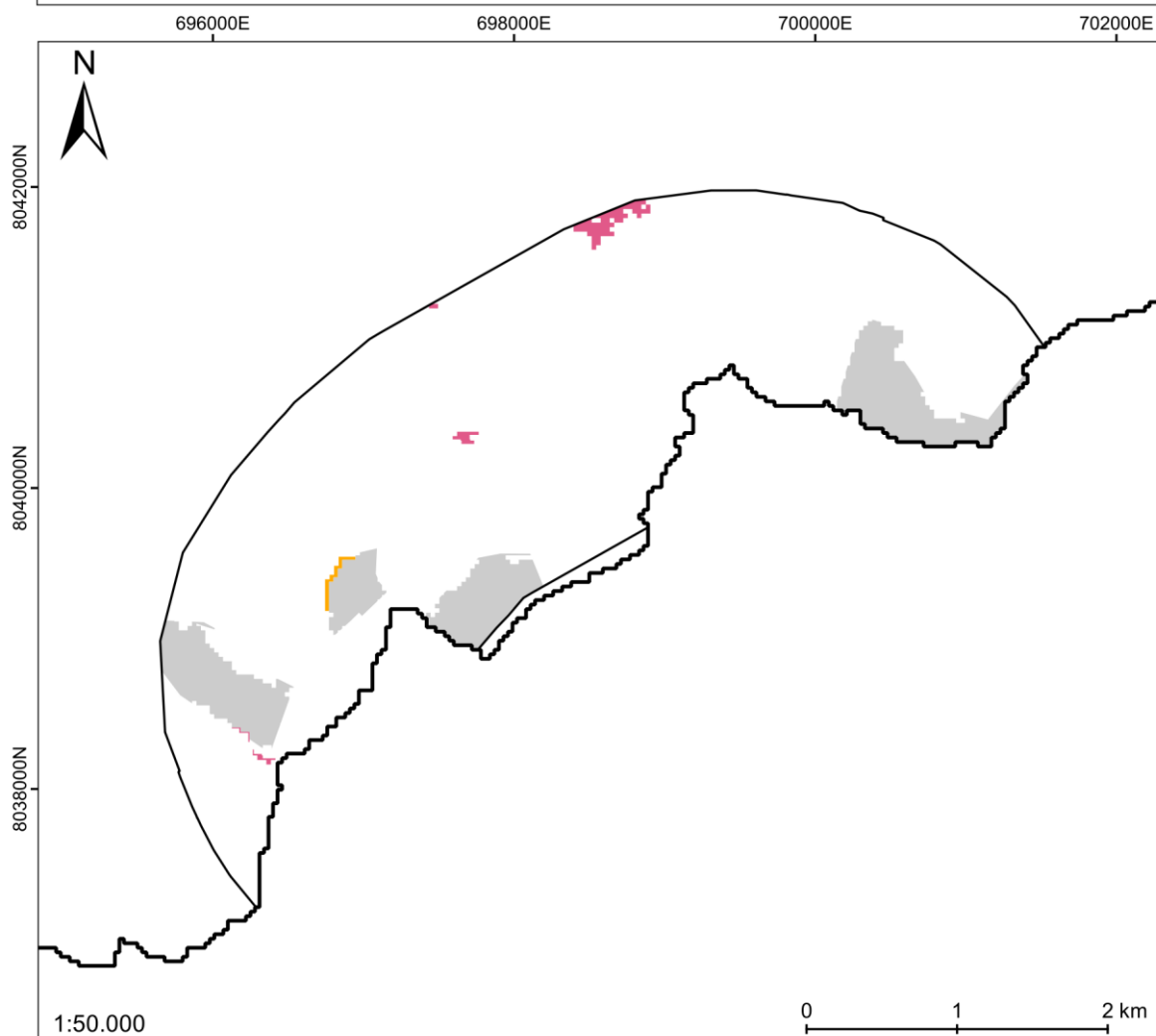
Projeção UTM Fuso 22 S  
Datum SIRGAS 2000  
Data: Abril de 2023  
Elaboração: Samara Silva Soares








**Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação na Zona de Amortecimento do Parque Municipal Governador Mauro Borges Teixeira**



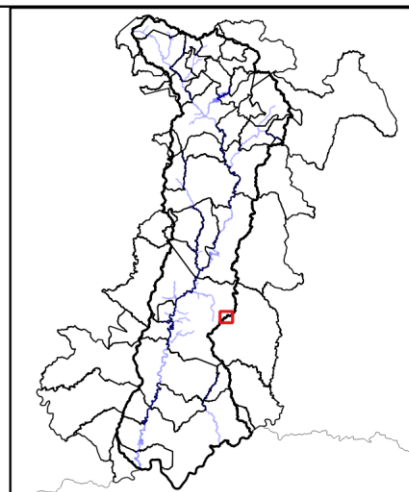
### Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação na Zona de Amortecimento do Parque Natural De Morrinhos



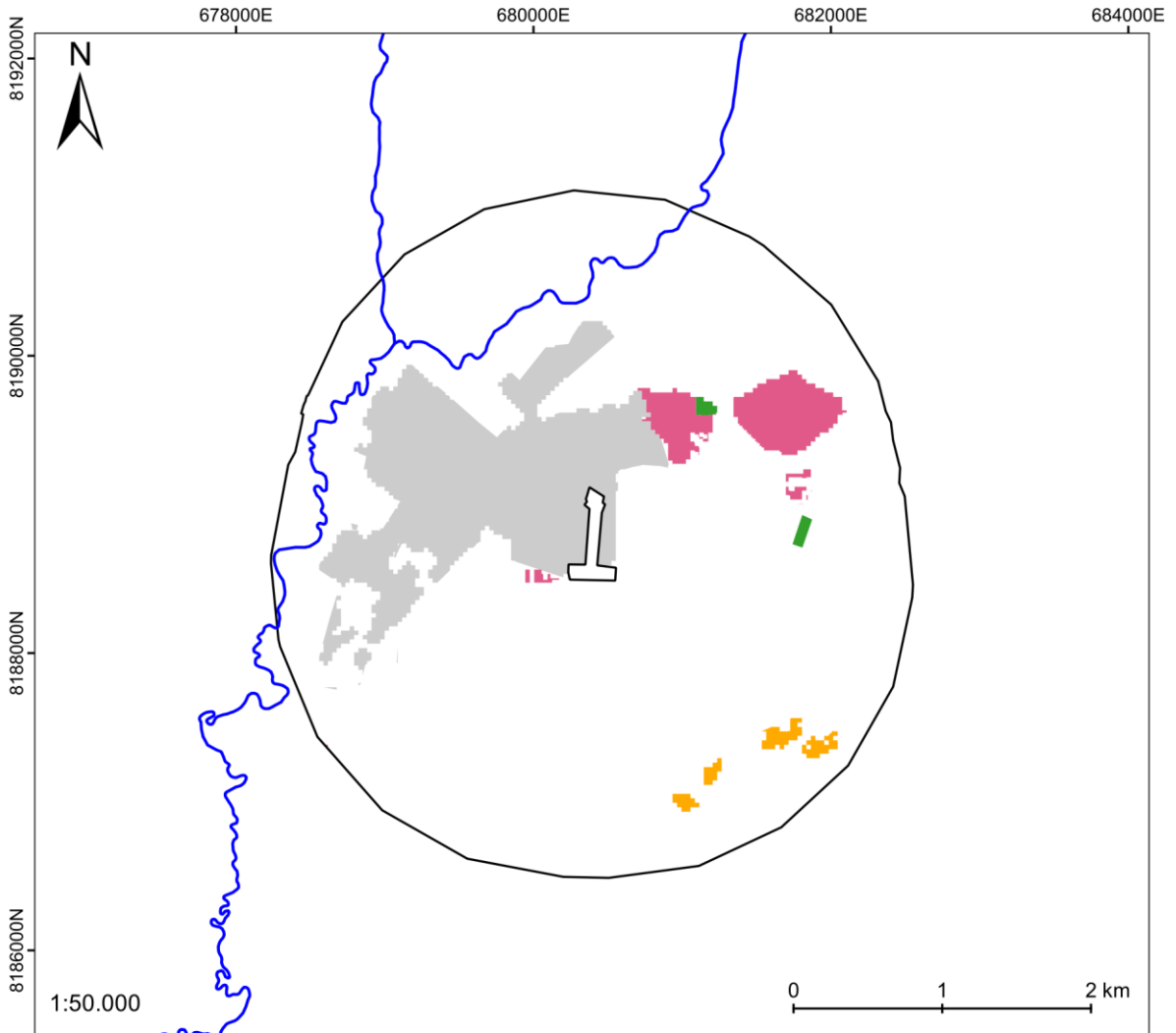
#### Legenda

-  UPGRH Meia Ponte
-  Área Densamente Edificada
-  Agricultura em áreas prioritárias para recuperação
-  Pastagem em áreas prioritárias para recuperação
-  Zona de Amortecimento de UC








Projeção UTM Fuso 22 S  
 Datum SIRGAS 2000  
 Data: Abril de 2023  
 Elaboração: Samara Silva Soares



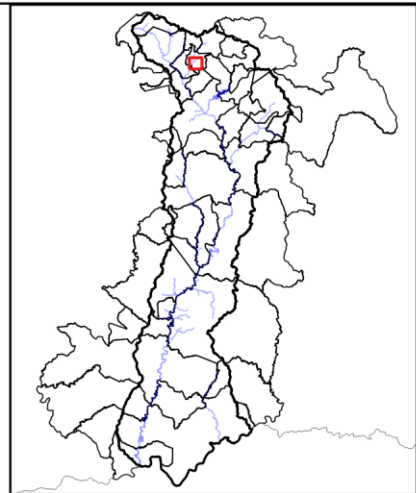
**Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação na Zona de Amortecimento do Parque Natural Municipal Ângelo Stival**



**Legenda**

-  UPGRH Meia Ponte
-  Cursos d'água principais
-  Área Densamente Edificada
-  RL prioritária para conservação e recuperação
-  Agricultura em áreas prioritárias para recuperação
-  Pastagem em áreas prioritárias para recuperação
-  Zona de Amortecimento de UC

Projeção UTM Fuso 22 S  
 Datum SIRGAS 2000  
 Data: Abril de 2023  
 Elaboração: Samara Silva Soares



**Áreas Prioritárias para Conservação e Recuperação na Zona de Amortecimento do Refúgio De Vida Silvestre De Santo Antônio De Goiás**

