



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Instituto de Geografia

Vitor Ottoni Pastore

**Análise de cenário de fragilidade ambiental e indicação de áreas
mitigadoras na Microbacia Hidrográfica do Rio Mato Grosso, município de
Saquarema, RJ**

Rio de Janeiro

2023

Vitor Ottoni Pastore

**Análise de cenário de fragilidade ambiental e indicação de áreas mitigadoras na
Microbacia Hidrográfica do Rio Mato Grosso, município de Saquarema, RJ**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Gestão e Estruturação do Espaço Geográfico.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vivian Castilho da Costa

Rio de Janeiro

2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

P293 Pastore, Vitor Ottoni.
Análise de cenário de fragilidade ambiental e indicação de áreas mitigadoras na Microbacia Hidrográfica do Rio Mato Grosso, município de Saquarema, RJ / Vitor Ottoni Pastore.– 2023.
333 f. : il.

Orientadora: Vivian Castilho da Costa.
Tese (Doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia.

1. Bacia hidrográfica – Mato Grosso, Rio – Saquarema (RJ) – Teses.
2. Sistema de Informação Geográfica – Teses. 3. Avaliação de riscos ambientais - Teses. 4. Gestão ambiental – Teses. 5. Planejamento territorial – Teses. I. Costa, Vivian Castilho da. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Geografia. III. Título.

CDU: 504:556.51(815.3)

Bibliotecária Responsável: Priscila Freitas Araujo/ CRB-7: 7322

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta Tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Vitor Ottoni Pastore

**Análise de cenário de fragilidade ambiental e indicação de áreas mitigadoras na
Microbacia Hidrográfica do Rio Mato Grosso, município de Saquarema, RJ**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Gestão e Estruturação do Espaço Geográfico.

Aprovada em 11 de dezembro de 2023.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr^a. Vivian Castilho da Costa (Orientadora)
Instituto de Geografia – UERJ

Prof. Dr. Luis Felipe Umbelino dos Santos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

Prof. Dr. Antonio Jose Teixeira Guerra
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof.^a Dr^a. Maria Carolina Villaça Gomes
Instituto de Geografia – UERJ

Prof. Dr. Patrick Calvano Kuchler
Instituto de Geografia – UERJ

Rio de Janeiro

2023

AGRADECIMENTOS

Início essa página de agradecimentos recordando o quanto aprendi durante essa jornada chamada doutorado, tanto nos estudos quanto nos desafios do próprio dia a dia, afinal passamos por uma pandemia e continuamos aprimorando conhecimentos nas mais diversas oportunidades. Tenho duas certezas, a primeira que minha família sempre me deu suporte e incentivou meus estudos, em especial meus pais Sonia Maria Chaves Ottoni Pastore e Julio Cezar Pastore, que viram em meus olhos o interesse pelo estudo do meio ambiente desde criança. Mas ninguém na família ou próximo tinha condições de me guiar por esse caminho. Hoje sou o primeiro entre os irmãos, primos e tios que pode se tornar doutor, e isso não dependeu somente de mim, mas boa parte de uma pessoa que me direcionou ao que eu tinha interesse. É um grande prazer aprender cada vez mais com a Professora Vivian Castilho da Costa, que me incentivou a evoluir no Geoprocessamento e nos estudos ambientais, a ponto de eu poder cursar o doutorado e participar de diversos projetos com Geotecnologias, considero como parte da minha família.

Destaco a importância da contribuição do Professor Alexander Josef Sá Tobias da Costa em minha qualificação do doutorado direcionando meu estudo, antes voltado para uma Região Hidrográfica, para um recorte mais detalhado de microbacia. Ainda, o Professor Leandro Andrei Beser de Deus que me apresentou o mundo dos cenários ambientais por Processamento Digital de Imagens, essencial neste estudo; e o incansável Horácio Castilho da Costa, parceiro em muitos trabalhos e projetos com Geotecnologias.

Muito importante tem sido a equipe da Escola Técnica Estadual Ferreira Viana, da FAETEC, na qual entrei em 2015 como professor de Meio Ambiente, Gestão Ambiental e Biologia. Tanto os colegas profissionais da escola quanto a direção escolar me incentivaram a cursar o doutorado, dando o suporte necessário, estimulando o desenvolvimento de projetos na escola e me selecionando como coordenador de equipe de Ciências da Natureza. Um pouco do que aprendi já está sendo passado para estudantes bolsistas da FAPERJ, essa contribuição é meu dever e uma honra poder desenvolver a ciência dentro da escola pública.

Agradeço a todos que trocaram informações comigo sobre os temas desse estudo, desde os amigos, familiares, colegas de mestrado e doutorado, aos especialistas que compartilharam seu conhecimento, seja em conversas informais, cursos ou eventos. Que esse estudo seja a melhor forma de agradecimento.

RESUMO

PASTORE, Vitor Ottoni. *Análise de cenário de fragilidade ambiental e indicação de áreas mitigadoras na Microbacia Hidrográfica do Rio Mato Grosso, município de Saquarema, RJ*. 2023. 333 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

A presente tese tem como objetivo analisar áreas indicadas com prioridade à mitigação da fragilidade ambiental em uma microbacia hidrográfica. Localizada no extremo Oeste de Saquarema, a Microbacia do Rio Mato Grosso está sob pressão principalmente pelo aumento populacional e pela proximidade do município de Maricá, integrante da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Tem sofrido alterações no uso e cobertura da terra, de acordo com dados do Projeto Mapbiomas, e foi indicada como suscetível a movimentos de massa e inundação pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB). Apesar disso, poucos estudos têm sido publicados sobre a microbacia deste estudo, enquanto no município vizinho – Maricá – tem sido desenvolvido um gerenciamento de desastres naturais robusto a fim de reduzir danos na ocorrência de eventos climáticos extremos. Nesse estudo foram utilizados dados de acesso livre para estimar a fragilidade ambiental e a vulnerabilidade social, a fim de tornar essa metodologia aplicável à Prefeitura de Saquarema, ao Comitê da Bacia Hidrográfica Lagos São João e outras microbacias ou bacias hidrográficas próximas. Dados geográficos de Geologia, tipo de solo, intensidade pluviométrica – por Sensoriamento Remoto – e declividade – a partir de um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) – foram tratados, reclassificados para nível de fragilidade ambiental, convertidos para a lógica *fuzzy* e integrados considerando pesos definidos por processo analítico hierárquico AHP para estimar a fragilidade potencial no Sistema de Informação Geográfica (SIG) gratuito QGIS. Já a fragilidade emergente foi estimada a partir do uso e cobertura da terra classificado para 2010 (t1) e 2020 (t2) com imagens de maior resolução espacial que as utilizadas pelo Projeto Mapbiomas. O cálculo da fragilidade ambiental considerou a fragilidade potencial e a emergente com o mesmo peso. Ainda, foi avaliada a transição de classes de UCT no QGIS, estimado o cenário preditivo da fragilidade ambiental em 2030 (t3) no SIG comercial IDRISI Selva, e esse foi analisado quanto às macrozonas do Plano Diretor de Saquarema, os setores censitários, as áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundação e a vulnerabilidade social. Entre os resultados desse estudo, foram identificados 6,1 km² (18,7% da microbacia) de áreas frágeis, suscetíveis e vulneráveis. Já as áreas com média a muito alta fragilidade ambiental (t3) foram indicadas em áreas protegidas ou próximas de instituições que podem ser parceiras no desenvolvimento de soluções mitigadoras em 6,3 km², com destaque para as margens de rodovias e cursos d'água, sendo destacadas quanto à necessidade de implementação e práticas mitigadoras da fragilidade ambiental. Essa metodologia poderá ser aprimorada com atualizações de materiais dos diferentes temas considerados neste estudo, como o Censo Demográfico do IBGE, e a adição de novos temas, subsidiando projetos mitigadores da fragilidade ambiental e o Planejamento Ambiental e Territorial em microbacias hidrográficas, como o Plano Diretor Municipal, o Plano da Bacia Hidrográfica e a elaboração de um Plano de Redução de Risco de Desastres Ambientais.

Palavras-chave: sistema de informação geográfica; risco ambiental; cenário preditivo; redução de riscos de desastres; bacia hidrográfica.

ABSTRACT

PASTORE, Vitor Ottoni. *Analysis of environmental fragility scenario and indication of mitigating areas in the Mato Grosso River Watershed, municipality of Saquarema, RJ*. 2023. 333 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

The present thesis aims to analyze areas indicated with priority to the mitigation of environmental fragility in a hydrographic micro-basin. Located in the far west of Saquarema, the Mato Grosso River hydrographic micro-basin is under pressure mainly due to population growth and its proximity to the municipality of Maricá, part of the Rio de Janeiro Metropolitan Region. It has undergone changes in land use and cover, according to Mapbiomas' Project data, and has been indicated as susceptible to mass movements and flooding by the Geological Survey of Brazil. Despite this, few studies have been published about this hydrographic micro-basin., while in the neighboring municipality – Maricá – robust natural disaster management has been developed to reduce damage of extreme weather events. In this study, open-access data was used to estimate environmental fragility and socioeconomic vulnerability, to make this methodology applicable to the Saquarema Municipality, the Lagos São João Watershed Committee and other nearby micro-basins or watersheds. Geographic data on geology, soil type, rainfall intensity – by remote sensing – and slope – from a Hydrologically Consistent Digital Elevation Model – were processed, reclassified to the level of environmental fragility, converted to fuzzy logic and integrated using weights defined by the AHP hierarchical analytical process to estimate potential fragility in the free Geographic Information System (GIS) QGIS. Emerging fragility was estimated based on land use and land cover classified for 2010 (t1) and 2020 (t2) with higher spatial resolution images than those used by Mapbiomas' Project. The calculation of environmental fragility considered potential and emerging fragility with the same weight. In addition, the transition of UCT classes was evaluated in QGIS, the predictive scenario of environmental fragility in 2030 (t3) was estimated in the commercial GIS IDRISI Selva, and this was analyzed in terms of the macro-zones of the Saquarema Master Plan, the census sectors, the susceptible areas to mass movements and flooding and socioeconomic vulnerability. Among the major results of this study, 6.1 km² (18.7% of microbasin) of fragile, susceptible and vulnerable areas were identified. On the other hand, areas with medium to very high environmental fragility (t3) were indicated in protected areas or near institutions that can be partners in developing mitigating solutions on 6.3 km², with emphasis on the banks of highways and watercourses, being highlighted for implementation and practices to mitigate environmental fragility. This methodology could be improved by updating the materials from the different themes considered in this study, such as the IBGE Demographic Census, and by adding new themes, subsidizing projects to mitigate environmental fragility and the Environmental and Territorial Planning in micro-watersheds, such as the Municipal Master Plan, the Watershed Plan and the preparation of an Environmental Disaster Risk Reduction Plan.

Keywords: geographic information system; environmental risk; predictive scenario; environmental risks reduction; hydrographic basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Esquemas dos três tipos de escorregamentos.....	35
Figura 2 –	Perfil esquemático dos processos de enchente e inundação.....	36
Figura 3 –	Mapa de localização da Microbacia do Rio Mato Grosso, município de Saquarema (RJ).....	87
Figura 4 –	Mapa de padrões de relevo na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	89
Figura 5 –	Mapa de curvas de nível de 40 m e declividade na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	91
Figura 6 –	Mapa de orientação de encostas na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	92
Figura 7 –	Mapa de Geologia na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	94
Figura 8 –	Mapa de tipos de solo (EMBRAPA) na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	95
Figura 9 –	Mapa de tipos climáticos e isoietas na Microbacia do Rio Mato Grosso.	97
Figura 10 –	Médias de temperatura do ar e precipitação de Saquarema.....	98
Figura 11 –	Médias de temperatura do ar e precipitação de Maricá.....	98
Figura 12 –	Dados meteorológicos médios mensais de Saquarema, entre 1999 e 2019.....	99
Figura 13 –	Dados meteorológicos médios mensais de Maricá, entre 1999 e 2019....	99
Figura 14 –	Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Rio Mato Grosso, pelo Mapbiomas em 2010 e 2020.....	104
Figura 15 –	Mapa de áreas de vegetação na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	106
Figura 16 –	Mapa de áreas protegidas na Microbacia do Mato Grosso.....	110
Figura 17 –	Mapa de localização de feições erosivas e áreas de inundação da Microbacia do Rio Mato Grosso.....	115
Figura 18 –	Estações hidrometeorológicas no entorno da Microbacia do Rio Mato Grosso.....	125
Figura 19 –	Estações automáticas e convencionais e pluviômetros automáticos no entorno da Microbacia do Rio Mato Grosso.....	126
Figura 20 –	Características definidas para simbologia da imagem utilizada para t1....	139
Figura 21 –	Mapa de tipos de solo na Microbacia do Rio Mato Grosso sem considerar área impermeável.....	141

Figura 22 –	Fluxograma de cálculo e análise da fragilidade ambiental.....	145
Figura 23 –	Cálculo de estatísticas zonais de NDVI para classes de suscetibilidade à inundação de t1.....	148
Figura 24 –	Mapa de amostras de UCT para classificação supervisionada de t1.....	152
Figura 25 –	Associação de camadas de segmentos com estatísticas com amostras das classes.....	155
Figura 26 –	Classificação OBIA no OTB.....	156
Figura 27 –	Mapa de amostras de UCT para classificação supervisionada de t2.....	161
Figura 28 –	Reclassificação de NDVI-NDWI no QGIS para cálculo de fragilidade ambiental.....	168
Figura 29 –	Conversão de camada reclassificada de declividade em níveis de fragilidade para lógica <i>fuzzy</i> por associação de poder.....	169
Figura 30 –	Reclassificação da fragilidade ambiental.....	171
Figura 31 –	Aplicação de Cadeias de Markov na transição de classes em t3.....	173
Figura 32 –	Aplicação de autômatos celulares e Cadeias de Markov na estimativa da fragilidade ambiental de t3.....	174
Figura 33 –	Mapa de visitas de campo na Microbacia do Rio Mato Grosso e entorno	182
Figura 34 –	Fluxograma da classificação de uso e cobertura da terra.....	189
Figura 35 –	Fluxograma da vulnerabilidade social.....	190
Figura 36 –	Mapa de setores censitários e macrozonas do Plano Diretor na Microbacia do Rio Mato Grosso em 2010 e 2020.....	193
Figura 37 –	Mapas Hipsométricos do MDEHC e dos MDEs da Microbacia do Rio Mato Grosso.....	195
Figura 38 –	Porcentagem das classes de hipsometria na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	196
Figura 39 –	Porcentagem das classes de tipo de solo ou cobertura impermeável na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	197
Figura 40 –	Mapa de tipos de solo e área impermeável na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	198
Figura 41 –	Tipos de solo originais em áreas impermeáveis na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	199
Figura 42 –	Geologia (Litologia) na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	201
Figura 43 –	Mapa de suscetibilidades a movimentos de massa e inundação	

	integradas da Microbacia da Serra do Mato Grosso.....	204
Figura 44 –	Valores estatísticos de cada índice espectral por classes de média e alta suscetibilidade à inundação para a Microbacia do Rio Mato Grosso.....	206
Figura 45 –	Valores estatísticos de cada índice espectral por classes de baixa, média e alta suscetibilidade à movimentos de massa para a Microbacia do Rio Mato Grosso.....	207
Figura 46 –	Índices Kappa das classificações de UCT de t1.....	210
Figura 47 –	Índices Kappa das classificações de UCT de t2.....	212
Figura 48 –	Atribuição de valores de prioridades para temas em AHP.....	218
Figura 49 –	Prioridades das camadas para cálculo original da fragilidade potencial pela calculadora de Goepel (2018).....	218
Figura 50 –	Prioridades das camadas para cálculo alternativo da fragilidade potencial pela calculadora de Goepel (2018) com índice adicional proposto.....	219
Figura 51 –	Representatividade das classes de fragilidade ambiental de t1 e t2 no cálculo original.....	220
Figura 52 –	Representatividade das classes de fragilidade ambiental de t1 e t2 no cálculo alternativo.....	220
Figura 53 –	Mapa de fragilidade potencial e emergente de t1 e t2 da Microbacia do Rio Mato Grosso, Saquarema.....	222
Figura 54 –	Ganhos e perdas de classes de fragilidade ambiental entre t1 e t2 (% de área total).....	223
Figura 55 –	Variação líquida de classes de fragilidade ambiental entre t1 e t2.....	223
Figura 56 –	Classes de fragilidade ambiental de t1 que migraram para muito alta em t2.....	224
Figura 57 –	Probabilidade de transição de classes de fragilidade ambiental em t3.....	224
Figura 58 –	Mapa de fragilidade ambiental estimada para t3.....	226
Figura 59 –	Mapa de áreas frágeis na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	229
Figura 60 –	Atribuição de valores de prioridades para temas de vulnerabilidade social em AHP.....	231
Figura 61 –	Prioridades das camadas para cálculo da vulnerabilidade social pela calculadora de Goepel (2018).....	231
Figura 62 –	Mapa de vulnerabilidade social e fragilidade ambiental de t3 por setores	

	censitários na Microbacia do Rio Mato Grosso, Saquarema.....	233
Figura 63 –	Mapa de distribuição de áreas frágeis e suscetíveis da Microbacia do Rio Mato Grosso.....	236
Figura 64 –	Mapa de sobreposição de áreas frágeis, suscetíveis e vulneráveis.....	238
Figura 65 –	Mapa de áreas mitigadoras potenciais na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	244
Figura 66 –	Mapa de áreas prioritárias para mitigação da fragilidade ambiental na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	246
Figura 67 –	Mapa de áreas prioritárias para mitigação da fragilidade ambiental por tema na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	248

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Unidades de Conservação na Serra de Mato Grosso.....	107
Quadro 2 –	Arquivos raster de precipitação baixados do CHELSA.....	129
Quadro 3 –	MDEs consultados para download livre.....	130
Quadro 4 –	Imagens multiespectrais utilizadas para t1 e t2.....	137
Quadro 5 –	Matriz de conversão de imagem multiespectral sem banda do azul em uma imagem de falsa-cor semelhante a cor verdadeira (RGB).....	138
Quadro 6 –	Classes de UCT, valores, códigos de cor e quantidade de amostras.....	150
Quadro 7 –	Qualidade da classificação pelo índice Kappa.....	158
Quadro 8 –	Conversão de intervalos de classes de vulnerabilidade para valores de cálculo de fragilidade ambiental.....	163
Quadro 9 –	Classes de Geologia da Microbacia do Rio Mato Grosso e valores para cálculo da fragilidade (1 a 3).....	164
Quadro 10 –	Classes de solos da Microbacia do Rio Mato Grosso e valores para cálculo da fragilidade.....	165
Quadro 11 –	Classes de intensidade pluviométrica da Microbacia do Rio Mato Grosso e valores para cálculo da fragilidade.....	165
Quadro 12 –	Classes de declividade da Microbacia do Rio Mato Grosso e valores para cálculo da fragilidade.....	166
Quadro 13 –	Relação NDVI-NDWI.....	167
Quadro 14 –	Intervalos de NDVI-NDWI da Microbacia do Rio Mato Grosso e valores para cálculo da fragilidade.....	167
Quadro 15 –	Classes de UCT e valores para cálculo da fragilidade emergente.....	170
Quadro 16 –	Variáveis utilizadas no cálculo da vulnerabilidade social.....	178
Quadro 17 –	Nível e grau de vulnerabilidade social para porcentagens das variáveis de infraestrutura por domicílios de cada setor censitário.....	179
Quadro 18 –	Nível e grau de vulnerabilidade social para faixas de renda nominal média.....	179
Quadro 19 –	Trilhas consultadas no Wikiloc como áreas mitigadoras potenciais.....	185
Quadro 20 –	Temas considerados como áreas mitigadoras potenciais.....	187
Quadro 21 –	Representatividade das classes de UCT por classificador para t1.....	208

Quadro 22 –	Representatividades das classes de UCT de t2 antes e após edição e do Mapbiomas.....	213
Quadro 23 –	Uso e cobertura da terra em APPs na Microbacia do Rio Mato Grosso, Saquarema.....	217
Quadro 24 –	Temas e pesos no cálculo da fragilidade potencial.....	219
Quadro 25 –	Intervalos do critério de pessoas alfabetizadas para cálculo da vulnerabilidade social.....	230
Quadro 26 –	Temas e pesos no cálculo da vulnerabilidade social.....	232
Quadro 27 –	Fotografias de visitas de campo na Microbacia do Rio Mato Grosso e entorno.....	240
Quadro 28 –	Exemplos de áreas prioritárias de mitigação da fragilidade ambiental na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	257

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Áreas de Preservação Permanente (APPs) na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	109
Tabela 2 –	Matriz de transição de classes de UCT de t1 para t2 (m²).....	216
Tabela 3 –	Coeficiente de determinação dos fatores de cálculo da fragilidade ambiental de t1 e t2.....	221
Tabela 4 –	Valores estatísticos de fragilidade ambiental de t1, t2 e t3 por macrozona do Plano Diretor na Microbacia do Rio Mato Grosso.....	227
Tabela 5 –	Valores estatísticos de fragilidade ambiental de t1, t2 e t3 por setor censitário da Microbacia do Rio Mato Grosso.....	228
Tabela 6 –	Áreas mitigadoras potenciais sobrepostas as áreas frágeis.....	247

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Processo Analítico Hierárquico
ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
B	Banda espectral na faixa do azul
BATER	Base Territorial Estatística de Áreas de Risco
BC25_RJ	Base Cartográfica Contínua da Unidade da Federação do Rio de Janeiro na escala 1:25.000
CBHLSJ	Comitê da Bacia Hidrográfica Lagos São João
CHELSA	<i>Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas</i>
CHRS	<i>Center for Hydrometeorology and Remote Sensing</i>
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Prevenção de Desastres Naturais
Cenad	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
CNES	Centro Nacional de Estudos Espaciais da Agência Espacial Francesa
CNM	Confederação Nacional de Municípios do Brasil
CR	<i>Consistency Ratio</i>
CRU TS	<i>Climatic Research Unit gridded Time Series</i>
DER/RJ	Departamento de Estradas de Rodagem do Rio de Janeiro
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPSG:31983	Sistema de coordenadas projetadas SIRGAS 2000 UTM zona 23S
EPSG:4326	Sistema de coordenadas geográficas WGS 1984
EPSG:4674	Sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
ES7	Espodossolo ferrocárbico hidromórfico e neossolo quartzarênico hidromórfico
FUNBOAS	Fundo de Boas Práticas Socioambientais em Microbacias
G	Banda espectral na faixa do verde
GAU	Algoritmo Modelo de Mistura Gaussiana
GDAL	<i>Geospatial Data Abstraction Library</i>
GEA	Grupo de Estudos Ambientais do Instituto de Geografia da UERJ
GEOINEA	Portal de Geoprocessamento do Instituto Estadual do Ambiente

GIP-SBN	Grupo de Interação à Pesquisa em Soluções baseadas na Natureza
GRASS	<i>Geographic Resources Analysis Support System</i>
HAND	<i>Height Above Nearest Drainage</i>
HEC-HMS	<i>Hydrologic Modeling System do Hydrologic Engineering Center</i>
HEC-RAS	<i>River Analysis System do Hydrologic Engineering Center</i>
HGT	Formato de arquivo de imagem
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IMERG	<i>Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM</i>
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
KMZ	<i>Keyhole Markup Language Zipped</i>
KNN	<i>K-Nearest Neighbors</i>
L	Fator de correção da reflectância do solo
LABGEO	Laboratório de Ensino de Geografia do Instituto de Geografia da UERJ
LAGEPRO	Laboratório de Geoprocessamento do curso de Geografia da UERJ
LCM	<i>Land Change Modeler</i>
LIBSVM	Classificação por treinamento de classificador
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MASC	Macrozona Ambiental de Sampaio Correia
MAXLIKE	Algoritmo <i>Maxlikelihood</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDEHC	Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente
MDT	Modelo Digital do Terreno
MDS	Modelo Digital de Superfície
MINDIST	Algoritmo <i>Minimum Distance</i>
MMRJ	Mesorregião Metropolitana do Rio de Janeiro
MOLUSCE	<i>Modules for Land Use Change Simulations</i>
MRRJ	Macrozona Rururbana de Jacaré
MRSC	Macrozona Rural de Sampaio Correia
MUJ	Macrozona Urbana de Jacaré

NC	Níveis de cinza
ND	Números digitais
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i>
NIR	Banda espectral na faixa do infravermelho próximo
OBIA	Classificação orientada a objetos
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OSM	OpenStreetMap
OTB	Orfeo ToolBox
PAN	Banda pancromática
PDI	Processamento Digital de Imagens
PIB	Produto Interno Bruto
PMRR	Plano Municipal de Redução de Riscos
PVA14	Argissolo vermelho-amarelo distrófico, latossolo amarelo distrófico e latossolo vermelho-amarelo distrófico
QMS	Complemento Quick Map Services do QGIS
R	Banda espectral na faixa do vermelho
R ²	Coeficiente de determinação
RAR	Formato de arquivo compactado
RF	Algoritmo <i>Random Forest</i>
RGB	Imagem multiespectral com bandas do vermelho, verde e azul
RL	Reserva Legal
RNA	Redes Neurais Artificiais
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
RRD	Redução de Risco de Desastres
RST	Formato de arquivo de imagem nativo do IDRISI Selva
R99p	Índice de chuvas intensas
RP95p	Índice de chuvas fortes
RX1day	Índice de chuvas em 24h
SAVI	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>
SbN	Soluções baseadas na Natureza
SCP	Semi-Automatic Classification Plugin
SGB	Serviço Geológico do Brasil

SHP	<i>Shapefile</i>
SICAR	Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIMRPPN	Sistema Informatizado de Monitoria de RPPN
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SSP585	Cenário extremo de concentração e gases de efeito estufa na atmosfera
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SVM	<i>Support Vector Machines</i>
SWIR	Banda espectral na faixa do infravermelho médio
t1	Primeiro período considerado
t2	Segundo período considerado
t3	Período considerado para geração de cenário
TIF	Formato de arquivo de imagem
TPS	<i>Thin plate spline</i>
TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
TXT	Formato de arquivo de texto
UC	Unidade de Conservação
UCT	Uso e cobertura da terra
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
VARI	<i>Visible Atmospherically Resistant Index</i>
XLSX	Formato de arquivo de planilha
XML	Formato de arquivo com dados organizados de forma hierárquica
ZIP	Formato de arquivo compactado

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
+	Soma
-	Subtração
/	Divisão
×	Multiplificação
°	Graus
°C	Graus Celsius
cm/ano	Centímetros por ano
h	Horas
ha	Hectares
hab/km ²	Habitantes por quilômetro quadrado
km ²	Quilômetros quadrados
m	Metros
m ²	Metros quadrados
m/h	Metros por hora
m/s	Metros por segundo
Mm	Milímetros
n°	Número
µm	Micrômetros

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	22
1	OBJETIVOS, HIPÓTESES E JUSTIFICATIVAS.....	28
1.1	Geral.....	28
1.2	Específicos.....	28
1.3	Justificativas.....	28
2	BASE CONCEITUAL E METODOLÓGICA.....	33
2.1	Deslizamento de encosta, inundação, desastre ambiental, perigo, suscetibilidade e fragilidade ambiental, vulnerabilidade social e risco ambiental.....	33
2.1.1	<u>O que são deslizamento de encosta, inundação e desastre ambiental?.....</u>	33
2.1.2	<u>Conceitos relacionados à suscetibilidade a deslizamento de encosta e inundação.....</u>	37
2.1.2.1	Perigo.....	37
2.1.2.2	Suscetibilidade.....	39
2.1.2.3	Fragilidade ambiental.....	39
2.1.4	<u>Monitoramento e alertas de deslizamento de encosta e inundação.....</u>	50
2.1.5	<u>Área de estudo sobre deslizamento de encosta e inundação.....</u>	53
2.1.6	<u>Panorama sobre trabalhos com deslizamentos e inundação realizados em território fluminense.....</u>	54
2.2	Planejamento Territorial e Ambiental.....	56
2.2.1	<u>Plano Diretor Municipal.....</u>	56
2.2.2	<u>Instrumentos de Planejamento Territorial e Ambiental.....</u>	57
2.2.3	<u>Geoprocessamento e inferência geográfica aplicados a estimativa de suscetibilidades a movimentos de massa e inundação e fragilidade ambiental.....</u>	59
2.2.4	<u>Discussão sobre delimitação de bacias hidrográficas por geoprocessamento.....</u>	71
2.3	Geração de cenários de suscetibilidade e fragilidade ambiental.....	75
2.4	Práticas ecológicas e sustentáveis de mitigação de suscetibilidades a deslizamento de encosta e inundação e da fragilidade ambiental.....	79
3	ÁREA DE ESTUDO.....	84
3.1	Localização da área de estudo.....	85

3.2	Geomorfologia, Geologia e Pedologia.....	88
3.3	Clima.....	96
3.4	Meio socioeconômico.....	100
3.5	Vegetação.....	105
3.6	Áreas protegidas.....	107
3.7	Instrumentos de Planejamento Territorial.....	111
3.8	Suscetibilidades a movimentos de massa e inundações.....	113
4	METODOLOGIA.....	117
4.1	Consulta de referências sobre os temas do estudo.....	117
4.2	Materiais.....	118
4.2.1	<u>Hardware e Sistema Operacional.....</u>	119
4.2.2	<u>Programas.....</u>	119
4.2.3	<u>Dados geográficos.....</u>	121
4.2.3.1	Base cartográfica contínua.....	122
4.2.3.2	Setores censitários, macrozonas do Plano Diretor e aglomerados subnormais.....	123
4.2.3.3	Precipitação.....	124
4.2.3.4	Topografia.....	130
4.2.3.5	Imagens de Sensoriamento Remoto multiespectral.....	132
4.2.3.6	Pedologia.....	140
4.2.3.7	Suscetibilidades a deslizamento de encosta e inundação.....	143
4.3	Análises espaciais.....	144
4.3.1	<u>Fluxograma de fragilidade ambiental, cenário e análise por macrozonas e setores censitários.....</u>	144
4.3.2	<u>Índices espectrais.....</u>	146
4.3.3	<u>Uso e cobertura da terra (UCT).....</u>	149
4.3.3.1	Classificação supervisionada de t1 no complemento SCP do QGIS.....	150
4.3.3.2	Classificação supervisionada de t1 no complemento dzetsaka do QGIS.....	153
4.3.3.3	Classificação supervisionada de t1 no pacote de ferramentas OTB do QGIS.....	154
4.3.3.4	Avaliação de acurácia das classificações supervisionadas de UCT de t1.....	157
4.3.3.5	Métodos de classificação de uso e cobertura da terra desconsiderados.....	158
4.3.3.6	Edição da melhor classificação de UCT de t1.....	159
4.3.3.7	Classificação supervisionada de UCT de t2.....	160
4.3.4	<u>Transição de uso e cobertura da terra de t1 para t2.....</u>	162

4.4	Fragilidade ambiental.....	163
4.4.1	<u>Método de estimativa da fragilidade potencial desconsiderado.....</u>	172
4.4.2	<u>Cenário preditivo de fragilidade ambiental.....</u>	172
4.4.3	<u>Análise da fragilidade ambiental em t1, t2 e t3.....</u>	174
4.4.4	<u>Relatos de campo.....</u>	181
4.5	Mitigação.....	183
4.5.1	<u>Áreas mitigadoras potenciais.....</u>	183
4.5.2	<u>Áreas prioritárias para mitigação da fragilidade ambiental.....</u>	187
4.6	Instrumentos de Planejamento Territorial e Ambiental e de práticas ecológicas mitigadoras.....	188
4.7	Fluxogramas de fragilidade emergente e vulnerabilidade social.....	188
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	191
5.1	Tratamento dos dados vetoriais e raster.....	191
5.1.1	<u>Setores censitários e macrozonas do Plano Diretor.....</u>	191
5.1.2	<u>Intensidade de pluviosidade.....</u>	194
5.1.3	<u>Topografia.....</u>	194
5.1.4	<u>Tipo de solo ou área impermeável.....</u>	197
5.1.5	<u>Geologia e Geomorfologia.....</u>	200
5.1.6	<u>Suscetibilidades a movimentos de massa e inundação.....</u>	203
5.2	Análises espaciais.....	205
5.2.1	<u>Índices espectrais.....</u>	205
5.2.1.1	Análise estatística de índices espectrais pelas classes de suscetibilidades.....	205
5.2.2	<u>Uso e cobertura da terra.....</u>	207
5.2.3	<u>Transição de uso e cobertura da terra de t1 para t2.....</u>	215
5.2.4	<u>Análise de uso e cobertura da terra (UCT) e presença de vegetação em APPs.....</u>	216
5.2.5	<u>Análise da fragilidade ambiental de t1 e t2.....</u>	218
5.3	Cenário preditivo de fragilidade ambiental.....	223
5.4	Análise da fragilidade ambiental em t1, t2 e t3 por zonas do Plano Diretor do Município de Saquarema.....	227
5.5	Relatos de campo.....	239
5.6	Áreas mitigadoras potenciais.....	243
5.7	Áreas prioritárias para mitigação.....	245
5.8	Soluções mitigadoras.....	249

5.8.1	<u>Instrumentos de Planejamento Territorial e Ambiental e de práticas ecológicas mitigadoras.....</u>	249
5.8.2	<u>Soluções baseadas na natureza indicadas para áreas prioritárias de mitigação.....</u>	257
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	262
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	269
	APÊNDICE A – MATRIZES DE CONFUSÃO DAS CLASSIFICAÇÕES POR DZETSAKA – GAU, KNN E RF (T1).....	326
	APÊNDICE B – MATRIZES DE CONFUSÃO DAS CLASSIFICAÇÕES POR DZETSAKA – SVM, OTB – LIBSVM E OBIA (T1).....	327
	APÊNDICE C – MATRIZES DE CONFUSÃO DAS CLASSIFICAÇÕES POR SCP – MAXLIKE, MINDIST E SPECTRAL ANGLE.....	328
	APÊNDICE D – MATRIZ DE CONFUSÃO DA CLASSIFICAÇÃO POR LIBSVM PÓS-EDIÇÃO (T1).....	329
	APÊNDICE E – MATRIZES DE CONFUSÃO DAS CLASSIFICAÇÕES POR DZETSAKA – GAU, KNN E RF (T2).....	330
	APÊNDICE F – MATRIZES DE CONFUSÃO DAS CLASSIFICAÇÕES POR DZETSAKA – SVM – E OTB – LIBSVM E OBIA (T2).....	331
	APÊNDICE G – MATRIZES DE CONFUSÃO DAS CLASSIFICAÇÕES POR SCP – MAXLIKE, MINDIST E SPECTRAL ANGLE (T2).....	332
	APÊNDICE H – MATRIZ DE CONFUSÃO DA CLASSIFICAÇÃO POR DZETSAKA – GAU PÓS-EDIÇÃO (T2).....	333

INTRODUÇÃO

Os desastres ambientais ocorridos no Brasil, sobretudo durante as duas primeiras décadas do século XXI, têm alertado quanto à urgência de propostas eficazes para a redução de fragilidades ambientais e suscetibilidades a processos como os deslizamentos de encostas e as inundações.

O aumento da exposição às ameaças de deslizamentos e inundações, devido à maior ocupação de áreas suscetíveis, a alteração na cobertura da terra, o baixo poder aquisitivo das pessoas expostas e o limitado acesso ao saneamento, entre outros fatores, levou a maior vulnerabilidade aos desastres no Brasil (SAITO et al., 2019). A população humana tende a se concentrar, cada vez mais, em áreas sem infraestrutura, como em aglomerados subnormais (IBGE, 2010a), que são considerados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019a) como formas de habitação em áreas urbanas a partir da ocupação irregular de terrenos de propriedade alheia – públicos ou privados –, com “padrão urbanístico irregular, carência de serviços públicos essenciais e localização em áreas com restrição à ocupação”, sendo conhecidos no Brasil por diversos nomes como favelas, invasões, grotas, baixadas, comunidades, vilas, loteamentos irregulares, mocambos e palafitas, entre outros. Essa população mais vulnerável deverá enfrentar mais efeitos das mudanças climáticas previstas para ocorrerem até o final do século XXI, como os aumentos de desastres (FREITAS; BARCELOS, 2019) e de eventos meteorológicos extremos devido às mudanças climáticas (INEA, 2022a).

Cabe ressaltar que desastres ambientais são questões relevantes para diversos países no mundo. Entre 1995 e 2015 os países com maior população humana afetada por desastres naturais foram China e Índia, onde há maior população geral. Nessa lista de 10 países, o Brasil foi o único país representante das Américas, enquanto Quênia e Etiópia foram os indicados da África (CRED; UNISDR, 2016).

Entre 2000 e 2019, as inundações foram o tipo de desastre ambiental mais comum na América Latina e Caribe pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2020a; 2020b). Já o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais indicou também como graves e frequentes no país de 1991 a 2012 os movimentos de massa e as secas (CEPED/UFSC, 2012).

Como apresentado no livro *Suscetibilidade a Deslizamentos do Brasil* (IBGE, 2019b), eventos de deslizamentos têm provocado, quase todos os anos, diversos problemas à sociedade em diversos aspectos, tanto relativos ao meio urbano quanto ao meio rural.

De acordo com a Confederação Nacional de Municípios do Brasil (CNM, 2023a), ocorreram desastres ambientais em 93% dos municípios brasileiros nos últimos 10 anos, principalmente ocasionados a partir de tempestades, inundações, enxurradas ou alagamentos. A presidência da CNM (2023b) ressaltou que há falta de apoio do governo federal para prevenção e investimentos para redução de ocorrência e danos por desastres ambientais, sendo sobrecarregada a atuação das prefeituras nessas questões.

Eventos extremos de precipitação levaram a deslizamentos de encosta e inundação que marcaram a história do Estado do Rio de Janeiro desde a última década do século XX. Entre essas ocorrências destacaram-se os alagamentos em bairros cariocas nos anos de 1999, 2010 e 2011 (ARMOND, 2014); a tragédia que já era considerada anunciada pós desabamento de área de lixão desativado desde 1986 no Morro do Bumba, em Niterói, no dia 07 de abril de 2010 (CUNHA, 2016; REZENDE, 2018); e o megadesastre na Microrregião Serrana fluminense e proximidades em 2011, com diversos deslizamentos de encosta, perdas de mais de 900 vidas e que foi considerado como o desastre ambiental de maiores proporções e danos já registrados no país pelo Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (MIN, 2012).

Apesar do funcionamento de sistemas de monitoramento sobre desastres nos eventos mais críticos no Estado do Rio de Janeiro, no desastre ocorrido no Morro da Babilônia as chuvas ocorreram abaixo dos níveis de acionamento de alarmes (HANNA, 2020a), que relatou ainda a falta de investimentos pela prefeitura na gestão de riscos e no salário de servidores responsáveis como limitantes nas ações de emergência. Nesse contexto, algumas favelas cariocas estão localizadas em encostas suscetíveis a deslizamentos de terra, enquanto outras estão em terras baixas e propensas a inundações, ambas sem infraestrutura adequada para redução de danos após eventos meteorológicos extremos, apesar da tendência de continuidade de ocorrência desses eventos no município do Rio de Janeiro (HANNA, 2020b).

O megadesastre na Microrregião Serrana fluminense desencadeou em uma nova Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, na criação do Centro Nacional de Monitoramento e Prevenção de Desastres Naturais (CEMADEN, [s. d.]), com propostas de redução de ocorrências de movimentos de massa e inundações e aprimoramento do sistema de alertas em períodos de maior suscetibilidade (BRASIL, 2012), e foi lançado o Plano Nacional para a Prevenção e Controle de Desastres Naturais pelo Governo Federal em 2012 (MENDONÇA; BUFFON, 2021).

Mesmo após a nova política, outros desastres ambientais relevantes ocorreram no Estado do Rio de Janeiro, como o deslizamento de encosta no Morro da Babilônia, na Zona

Sul carioca, em 2019 (HANNA, 2020a), inundações e deslizamentos em Petrópolis nos dias 15 de fevereiro de 2022 (MARQUES, 2022a), que levaram a mais de 230 mortes confirmadas (CAMPOS, 2022) e teve reconhecimento municipal, estadual e federal (HOLANDA, 2022; PREFEITURA DE PETRÓPOLIS, 2022), e no dia 20 de março de 2022, que causou inundação em áreas centrais do município (MENDONÇA; CRISTIE, 2022), com pelo menos cinco mortes e manifestação da população (MARQUES, 2022b).

Diversos estudos em Geografia têm analisado fragilidades – potencial ou natural do ambiente e emergente ou de influência antrópica – (ROSS, 1994), suscetibilidades – características físicas que tornam o terreno propenso à ocorrência de um fenômeno e/ou processo físico (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007; FELL et al., 2008; KOBIYAMA et al., 2006; SAITO, 2004;) – e vulnerabilidades ambientais – condições de um grupo de pessoas ou elementos localizados em uma área suscetível a processos considerados (AUGUSTO FILHO, 2001; CASTRO; PEIXOTO; RIO, 2005; IUGS, 1997;). O diagnóstico e a análise de fatores como uso e ocupação da terra, topografia, hidrografia e condições meteorológicas em diferentes períodos; assim como das áreas com histórico de ocorrência de desastres, permitem realizar comparações e calcular fragilidades ambientais, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres naturais para determinados períodos e estimados para instantes futuros. Santos (2015) evidenciou a possibilidade de identificar territórios vulneráveis a ocorrência de desastres ambientais a partir de relações entre a fragilidade ambiental e a vulnerabilidade social, termos conceituados com mais detalhamento no referencial teórico-metodológico deste estudo.

Segundo Mendonça (2011), os estudos geográficos voltados para o planejamento urbano e regional deve considerar o dinamismo do espaço, ao invés da perspectiva que considera o espaço estático. Isso obriga o geógrafo a “exercitar um pouco mais sua criatividade científico-técnica” e projetar cenários futuros para a proposição de soluções que, para o autor, devem focar na resiliência da população sob ocorrência de desastres, pois nem sempre a restauração ao estágio anterior é possível e leva à condição mais desejada. Assim, abordando mais de um período ou instante de análise, comparação e projeção futura, a Geografia passa a levar em conta o dinamismo dos parâmetros considerados e suas consequências, podendo servir como base para o planejamento urbano e regional (MENDONÇA, op. cit.).

Enquanto os estudos ambientais realizados com pesquisa de campo têm custo e tempo de levantamento de dados como condições limitantes, aqueles que utilizam dados geográficos

indiretos para o processamento em Sistema de Informação Geográfica (SIG), sob a perspectiva geográfica, surgem como alternativas de menor custo e tempo.

A popularização dos mapeamentos de áreas suscetíveis a deslizamentos a partir do avanço das Geotecnologias, como SIGs e Sensoriamento Remoto (SR), foi reforçada por Marcelino (2003). Nesse sentido, têm sido desenvolvidas pesquisas e publicados produtos sobre movimentos de massa e inundação por instituições públicas, visando contribuir para a prevenção e a resposta sob ocorrência de eventos extremos (MOURA; CUNICO; LUCENA, 2023). Segundo Ross (1991; 1994), os estudos de identificação de áreas propícias à ocorrência de desastres naturais têm sido desenvolvidos em relação às condições que podem levar a fragilidade de ambientes naturais e antropizados.

A partir de eventos climáticos extremos que levaram a perdas e danos de alta magnitude no Brasil e em outros lugares do mundo, aplicações tecnológicas foram mais disseminadas, estimulando a geração de dados geográficos mais precisos e diversificados, como a partir de imagens de SR de altas resoluções espacial e temporal.

Em 2012 o Serviço Geológico do Brasil (SGB) iniciou a elaboração de Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações municipais, em parceria com as prefeituras, que tiveram a responsabilidade de levantar os dados cartográficos dos temas-fim do projeto (SGB, 2023a). Em 2021, o CEMADEN promoveu debates sobre mapeamento de risco ambiental no país (CEMADEN, 2021), demonstrando a continuidade no interesse de aplicações de Geotecnologias sobre desastres naturais.

No Estado do Rio de Janeiro, o Serviço Geológico estadual realizou o mapeamento das áreas de risco iminente a escorregamentos para os municípios fluminenses (SEAERJ, 2013; 2016), porém não realizou publicações sobre os temas de movimentos de massa e inundação por bacias hidrográficas, apesar de serem consideradas como unidade de análise na prevenção a desastres relacionados a cursos e corpos d'água pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012a), assim como unidade territorial para aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

Já em escala detalhada para município, o projeto RioOnWatch relacionou a suscetibilidade a desastres naturais com a exposição de grupos humanos de alta vulnerabilidade social no município do Rio de Janeiro. Foram utilizados dados sobre redução de risco em encostas da Fundação GEO-RIO, gerando mapeamento de áreas de risco e suscetíveis a escorregamentos, treinando líderes comunitários, instalando sistema de alarme sonoro, desenvolvendo projetos de mitigação e procedimentos para a contenção de encostas, e monitorando com drones, equipamentos meteorológicos e de geolocalização; porém o projeto

RioOnWatch está desatualizado desde 2013, não acompanhando a acelerada dinâmica socioespacial carioca (HANNA, 2020c).

De acordo com o Marco de Senai sobre a redução de risco de desastres e as perdas e os danos resultantes, deve-se desenvolver soluções socioeconômicas, ambientais, educativas, entre outras, para diminuir o grau de exposição às ameaças, aumentando a capacidade de resposta e a recuperação quando ocorrem (UNISDR, 2015).

Apesar das principais questões ambientais serem geralmente associadas a eventos de grande escala, as suas consequências são sentidas localmente. Por isso é importante o desenvolvimento de ambientes resilientes que estimulem a redução de suscetibilidades aos perigos identificados. O “pensar globalmente e agir localmente” (BECK, 2000) deve considerar singularidades locais e regionais para propor soluções aplicáveis e duradouras.

A partir de eventos climáticos extremos que levaram a desastres ambientais com perdas e danos relevantes, os países passaram a desenvolver soluções para redução de ocorrência e danos por desastres naturais. Nesse sentido, o governo chinês tem elaborado desde 1998 projetos que visam priorizar a prevenção e combinar prevenção e socorro. São publicados planos quinzenais concentrados na redução da mortalidade e na perda econômica direta, consistentes com a Estrutura de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030 (XU; QIAO; WU, 2020).

Exemplos de projetos desenvolvidos na China para Redução de Risco de Desastres (RRD) foram apresentados no documento sobre gestão do risco de inundação no país (KOBAYASHI; PORTER, 2012), assim como no estudo sobre retrofit de áreas urbanas para aumentar a absorção da água da chuva e retardar o escoamento pela superfície, chamado de cidades-esponja (WONG, 2021). Esse retrofit inclui a construção de parques alagáveis, telhados verdes, calçamentos permeáveis e praças-piscina, e tem sido desenvolvido não somente em cidades chinesas, mas em outras partes do mundo, como em Berlim, na Alemanha; Copenhague, na Dinamarca; e Nova York, nos Estados Unidos da América (MÉDICI; MACEDO, 2020).

Uma revisão de artigos sobre soluções aplicadas à redução de riscos ambientais apresentou que Soluções Baseadas na Natureza (SbN) foram desenvolvidas em bacias hidrográficas, regiões e países na Ásia e Europa. Essas ações tiveram como principal objetivo aumentar a estabilidade de encostas a partir do acréscimo de cobertura vegetal e da proteção ambiental da vegetação remanescente, porém devem incluir outros temas para obter resultados positivos na redução de desastres por deslizamentos de encosta (DEWI; WIJAYANTI, 2023). Sobre medidas de adaptação às mudanças climáticas em cidades

brasileiras, Picarelli (2022) indicou que o avanço na aplicação das SbN deve considerar fatores inibidores e propulsores no contexto municipal a fim de reforçar princípios e critérios dessas soluções e permitir maior robustez e efetividade dos processos de planejamento e implementação. Essas condições deverão ser modificadas a partir de mudanças climáticas e de alterações uso e cobertura da terra (UCT) que deverão ocorrer em diversas áreas, tal como no Estado do Rio de Janeiro, como no projeto proposto pelo Instituto Internacional para a Sustentabilidade (IIS, 2023).

Nesse contexto, este estudo está dividido em cinco capítulos, sendo o Capítulo 1 de apresentação dos objetivos geral e específicos, as hipóteses norteadora e secundária e as justificativas sobre as escolhas do tema e da área de estudo, do uso de dados geográficos e SIG livres, e do diferencial deste estudo.

O Capítulo 2 compreende a base conceitual utilizada na aplicação da metodologia e nas análises deste estudo, com quatro subcapítulos: 1) Deslizamento de encosta, inundação, desastre ambiental, perigo, suscetibilidade e fragilidade ambiental, vulnerabilidade social e risco ambiental; 2) Planejamento Territorial e Ambiental; 3) Geração de cenários de suscetibilidade e fragilidade ambiental; 4) Práticas ecológicas e sustentáveis de mitigação de suscetibilidades a deslizamento de encosta e inundação e da fragilidade ambiental.

O Capítulo 3 compreende a localização e a caracterização geomorfológica, geológica e pedológica, climática, socioeconômica, de vegetação, áreas protegidas, instrumentos de Planejamento Territorial e suscetibilidades a movimentos de massa e inundação da área de estudo.

O Capítulo 4 apresenta a metodologia executada neste estudo, desde a consulta a referências e materiais às análises espaciais, a mitigação e relatos de campo.

No Capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados, seguido da conclusão no Capítulo 6, e da lista de referências bibliográficas citadas ao longo deste estudo.

1 OBJETIVOS, HIPÓTESES E JUSTIFICATIVAS

1.1 Geral

Esta pesquisa tem como objetivo principal analisar áreas indicadas com prioridade à mitigação da fragilidade ambiental na Microbacia do Rio Mato Grosso, localizada no município de Saquarema, Estado do Rio de Janeiro.

1.2 Específicos

Como objetivos específicos pretende-se:

- estimar a fragilidade ambiental para 2010, 2020 e projetada para 2030;
- selecionar diversos fatores para o cálculo da fragilidade ambiental;
- indicar práticas ecológicas e ações integradas a instrumentos de Planejamento Ambiental para mitigação da fragilidade ambiental.

Como hipótese norteadora, as áreas com alta fragilidade ambiental e altas suscetibilidades a deslizamento de encosta e inundação no período inicial (t1) podem apresentar maiores valores de fragilidade no período seguinte (t2). Como hipótese secundária, áreas de alta e altíssima fragilidade projetada para o futuro (t3) podem ocorrer sobrepostas a áreas mitigadoras potenciais, que podem ser indicadas como áreas prioritárias para mitigação.

1.3 Justificativas

Levando em consideração os questionamentos técnicos, científicos e políticos em destaque nas últimas décadas, as temáticas ambientais têm tomado proporções que influenciam na vida desde a escala global à regional e local. Isso não se limita à identificação de problemas e de suas consequências, como a redução de recursos e serviços ambientais

disponíveis, mas também em relação à mitigação dos impactos e danos decorrentes e a indicação de potenciais de planejamento e desenvolvimento socioeconômico integrado à conservação ambiental.

A maioria dos estudos ambientais é realizada para regiões com alta densidade de população humana e áreas urbanas extensas, enquanto há menor interesse técnico-científico quanto as demais regiões. Apesar disso, os problemas ambientais e socioeconômicos ocorridos nas regiões metropolitanas têm estimulado a migração de grupos de menor condição econômica para regiões adjacentes e áreas suscetíveis a desastres, aumentando a pressão sobre a biodiversidade, os corpos e cursos d'água, os solos e as feições topográficas das áreas de encostas. Essas alterações no ambiente natural causam impactos ambientais, principalmente onde há ineficiência de Planejamento Territorial e presença de ecossistemas que deveriam estar protegidos, de acordo com a legislação ambiental brasileira.

Segundo Silva (2020) e Silva, Oliveira e Moraes (2021), Saquarema é um dos municípios fluminenses com “muito alta” probabilidade de ocorrência de desastres do grupo hidrológico. Essa suscetibilidade foi reforçada pelo Serviço Geológico do Brasil, que disponibilizou Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação para municípios mais suscetíveis desde 2012 nas escalas 1:25.000 e 1:50.000, incluindo Saquarema (IBGE, 2019b; SGB, 2019).

A ocupação de áreas sem planejamento territorial em Saquarema entre 1965 e 2005 levou ao desmatamento, à degradação de corpos d'água e à erosão de encostas, acarretando feições erosivas, como “voçorocas, trechos de erosão laminar, erosão linear e movimentos de massa” (FIGUEIRA, 2009, p. 147).

Na década de 1970 foi inaugurada a Rodovia Amaral Peixoto (RJ-106), que conecta a Mesorregião Metropolitana do Rio de Janeiro (MMRJ) à Microrregião dos Lagos (SANTOS et al., 2016, p. 76). Entre 1981 e 1991 o município de Saquarema apresentou crescimento populacional expressivo a partir do extravasamento da população da MMRJ, tanto pelo turismo quanto pelo desenvolvimento da indústria petrolífera na Microrregião dos Lagos (SOUZA; FRUTUOZO, 2018), causando degradação da vegetação pela urbanização principalmente nas áreas mais próximas do litoral antes cobertas por restinga (SANTOS et al., op. cit.).

Entre 1984 e 2014 a classe de UCT mais representativa em Saquarema foi a agropecuária (52,05% e 45,79%, respectivamente), seguida de floresta (25,99% e 25,53%), água (9,39% e 9,19%) e áreas úmidas (4,66% e 6,08%), de acordo com Santos et al. (op. cit.). Ainda, o município se destaca no Estado pela presença de praias, montanhas, cachoeiras e

centro histórico religioso, além de ser considerado como Capital do Surf e de sediar o Centro de Desenvolvimento de Voleibol, conhecido como a Casa do Vôlei Brasileiro, atraindo visitantes, turistas, moradores e praticantes do turismo de veraneio (SANTOS et al., op. cit.).

As ocorrências de desastres noticiadas e estudadas no âmbito da Geografia e outras áreas, assim como das pesquisas sobre redução de desastres ambientais no Estado do Rio de Janeiro, têm como recorte mais comum as áreas urbanas ao invés da bacia hidrográfica (COPPETEC, 2014), que é considerada como unidade de análise na prevenção a desastres relacionados a cursos e corpos d'água pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012a), assim como unidade territorial para aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

Em relação a deslizamento de encosta e inundação,

“observa-se num primeiro momento os efeitos em uma localidade e posteriormente como numa reação em cadeia vão atingindo universos maiores. Ou seja, ao considerar o aspecto que se quer analisar, vincula-se a escala a ser utilizada, se uma bacia maior ou uma sub-bacia. O Marco de Sendai reforça a ideia da necessidade de uma observação mais atenta em nível local, trazendo em um de seus princípios norteadores a ideia de que embora os fatores de risco de desastres possam ser locais, nacionais, regionais ou globais, os riscos de desastres têm características locais e específicas que devem ser compreendidas para determinar as medidas de redução do risco de desastres” (UNISDR, 2015, p.13).

Segundo Porto e Porto (2008, p. 45), “o tamanho ideal de bacia hidrográfica é aquele que incorpora toda a problemática de interesse”, sendo o recorte de microbacia mais indicado para a definição de prioridades, participação dos usuários, pontualização dos problemas difusos e operacionalização de recursos, indicado como unidade básica para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais (SOUZA; FERNANDES, 2000). Ainda, a associação entre características morfométricas, técnicas de Geoprocessamento e ferramentas para Gestão Ambiental Territorial tende a aumentar a eficiência do planejamento da ocupação do solo quando realizada para microbacias hidrográficas (BRUM et al., 2020).

A escolha de uma microbacia relevante sobre deslizamentos e inundações em Saquarema levou à Microbacia do Rio Mato Grosso que apresenta carências de estudos publicados nessa área e de um planejamento para sua gestão (FIGUEIRA, 2009), assim como um histórico desses eventos e ocorrências noticiadas em 2022. Ainda, é local de deslocamento entre os municípios de Saquarema e Maricá, esse localizado na Mesorregião Metropolitana do Rio de Janeiro (MMRJ), pelas Rodovias RJ-106, onde são frequentes as ocorrências de deslizamentos nas áreas mais íngremes e estão localizadas feições erosivas em encostas, e RJ-118, que apresenta trecho próximo de áreas alagáveis (SGB, 2019).

O crescimento populacional de Saquarema advindo de outras áreas do Estado nas últimas décadas foi indicado por Souza e Frutuoso (2018), levando a efeitos na Microbacia do Rio Roncador e áreas próximas, como o desmatamento de encostas (FERNANDES, 2021; FIGUEIRA, 2009; FRIAS, 2011; ROSAS et al., 2003) e o agravamento dos impactos ambientais sobre a bacia hidrográfica (TOLEDO et al., 2021), aumentando a suscetibilidade a movimentos de massa e inundação (FIGUEIRA, 2009).

Com recorte de estudo de bacias hidrográficas no Estado do Rio de Janeiro, Pereira Caldas, Silva e Santos (2019) avaliaram a suscetibilidade a erosão de solos na Bacia Hidrográfica Lagos – São João, tendo indicado que a Microbacia do Rio Mato Grosso, em Saquarema, foi uma exceção por apresentar feições erosivas mais pontuais que as demais microbacias analisadas.

Apesar de serem encontrados estudos de suscetibilidade a erosão de solos (PEREIRA CALDAS; SILVA; SANTOS, op. cit.), de fragilidade ambiental (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016) e de risco ecológico (RIBEIRO; FORMIGA-JOHNSSON; MARTINS, 2018) em escalas locais ou regionais para áreas localizadas próximas da microbacia deste estudo, não foram elencadas soluções específicas por classe de UCT ou por área de influência de instituições ou áreas protegidas.

Os estudos levantados na revisão bibliográfica de fragilidade ambiental em bacias hidrográficas no Brasil de 2011 a 2021 por Pereira, Rocha e Aquino (2023), apesar de identificarem atividades degradadoras e subsidiar o manejo sustentável dos sistemas terrestres, não elencaram soluções específicas por classe de UCT ou por área de influência de instituições ou áreas protegidas, assim como não demonstraram tendências futuras ou prognósticos, limitando-se a proposição de soluções de Planejamento Ambiental e Territorial a partir de diagnósticos (ABRÃO; BACANI, 2018; BACANI et al., 2015; BAHR; CARVALHO, 2012; BELATO; SERRÃO; DIAS, 2019; CABRAL et al., 2011; CUNHA; BACANI; AYACH, 2013; FERREIRA; FERREIRA; GOUVEIA, 2016; GOMES, 2013; GONÇALVES; ARAÚJO; IMAI, 2016; GONÇALVES et al., 2011; GOUVEIA et al., 2015; PERIÇATO; SOUZA, 2019; SALES; NASCIMENTO, 2020; SANTOS; MARCHIORO, 2020; SANTOS; OLIVEIRA, 2013; SCHIAVO et al., 2016; SILVA; COSTA, 2011; SOUZA; REBELATO, 2021; SUTIL; GONÇALVES; VIEIRA, 2020; TEIXEIRA; OLIVEIRA; TEIXEIRA, 2021; VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, op. cit.; VIEIRA et al., 2021; VITTE; MELLO, 2013). Isso também foi observado em estudos de fragilidade ambiental de bacias hidrográficas de Cavalcante et al. (2022), Costa e Leite (2022), Fonseca, Cirolini e

Bruch (2023), Herculano e Souza (2022), Santos, Souza e Sousa (2022), Silva e Bacani (2023a), Silva et al. (2022).

Silva e Bacani (2023b) simularam cenários futuros de fragilidade ambiental, porém não elencaram soluções de Planejamento Ambiental e Territorial ou soluções específicas por classe de UCT ou por área de influência de instituições ou áreas protegidas.

O uso de dados vetoriais e imagens de acesso gratuito surge como alternativa para a gestão de microbacias hidrográficas que, na maioria dos casos, estão compreendidas em um município. Isso porque grande parte dos municípios brasileiros não têm recursos suficientes para a aquisição de materiais para a previsão e análise de fenômenos hidrometeorológicos. O mesmo ocorre em relação aos programas utilizados, que ao priorizar ferramentas gratuitas, permite maior aplicabilidade da metodologia por municípios e comitês gestores de bacias hidrográficas, assim como reduz o tempo dessas estimativas, análises e ações desencadeadas. Assim, este estudo busca priorizar a viabilidade da metodologia para a implementação em Planejamento Territorial municipal e na gestão de microbacias e bacias hidrográficas, de maneira que profissionais e pesquisadores em Geotecnologias possam executar todos os procedimentos propostos e reaplicar para outras áreas e períodos de análise.

Este estudo além de adicionar a análise da distribuição de áreas frágeis ambientalmente e suscetíveis a deslizamento de encosta e inundação, assim como tendências para a Microbacia do Rio Mato Grosso, apresenta o diferencial de indicar áreas potenciais mitigadores da fragilidade ambiental e das suscetibilidades consultadas, considerando dados pretérito, atual e estimado, para propor soluções integradas ao Planejamento Territorial.

2 BASE CONCEITUAL E METODOLÓGICA

Neste capítulo são descritos os principais temas abordados na pesquisa, como: conceitos, fatores e métodos de deslizamento de encosta, inundação, desastre ambiental, suscetibilidade e fragilidade ambiental, vulnerabilidade social, risco ambiental e mitigação, monitoramento e alertas, definição de área de estudo adequada à análises de suscetibilidades a deslizamentos de encosta e inundação e de fragilidade ambiental, instrumentos de Planejamento Territorial e Ambiental, fundamentos de Geoprocessamento voltados para estimativa de fragilidade ambiental e para a geração de cenários futuros, e práticas de mitigação da fragilidade ambiental.

2.1 Deslizamento de encosta, inundação, desastre ambiental, perigo, suscetibilidade e fragilidade ambiental, vulnerabilidade social e risco ambiental

Os estudos geográficos sobre deslizamentos e inundação podem considerar conceitos e métodos diversos, definidos de acordo com a abordagem empregada. Por vezes são exclusivamente voltados para análises físicas do ambiente, ora consideraram parâmetros ecológicos, culturais, econômicos, políticos, tecnológicos etc. Neste tópico são apresentados os conceitos relacionados às análises físicas por Geoprocessamento consideradas na metodologia deste estudo.

2.1.1 O que são deslizamento de encosta, inundação e desastre ambiental?

Neste estudo são consideradas as definições de deslizamento, inundação e desastre ambiental relacionados à pesquisa geográfica, e aplicações na gestão da fragilidade ambiental e de suscetibilidades a eles associados.

Os movimentos de massa do tipo deslizamento abordam o deslocamento de materiais do solo de partes mais altas de encostas para as mais baixas, ou seja, a favor da força da gravidade, e para fora do talude ou da vertente (TOMINAGA, 2015). Cabe ressaltar que

movimentos de massa devem ser analisados a partir de elementos naturais e sociais do meio, que podem ser representados pela suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade e risco (RIFFEL; GUASSELLI; BRESSANI, 2016); e podem levar a danos materiais e físicos a grupos e estruturas antrópicas, assim como alterar características da biodiversidade. De acordo com “O Manual de Deslizamento”:

“um deslizamento é um movimento de descida de rocha, solo, ou ambos, em declive, que ocorre na ruptura de uma superfície – ruptura curva (escorregamento rotacional) ou ruptura plana (escorregamento translacional) – na qual a maior parte do material move-se como uma massa coerente ou semicoerente, com pequena deformação interna. Deve-se observar que, em alguns casos, os deslizamentos podem envolver outros tipos de movimentos, tanto no desencadeamento da ruptura ou posterior a ele, se as propriedades são alteradas durante o movimento do material” (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008, p. 7).

Os deslizamentos podem ser classificados de acordo com o tipo de material deslocado (rocha e/ou solo) e na categoria do movimento (queda, envergamento, escorregamento, espalhamento ou escoamento), sendo que a categoria pode ser de mais de um tipo de movimento, e pode apresentar subcategorias de acordo com suas propriedades e características específicas. Seus efeitos ocorrem em ambientes naturais, construídos ou onde há interação entre esses, como em áreas florestais e em terras cultivadas (HIGHLAND; BOBROWSKY, op. cit.).

Os deslizamentos são também conhecidos como escorregamentos, sendo caracterizados por movimentos de massa que envolvem materiais que compõem a cobertura de superfícies de vertentes ou encostas, podendo ser compostos por solos, rocha e vegetação. Ocorrem principalmente em regiões montanhosas e serranas com predomínio de clima úmido, com destaque para a Serra do Mar na Região Sudeste do Brasil (TOMINAGA, 2015). Os movimentos de massa afetam tanto o ambiente natural quanto a população humana exposta, que cada vez mais se concentra e altera a cobertura do solo, como na urbanização não planejada quanto ao uso do solo e à estabilização de encostas (TOMINAGA, 2007).

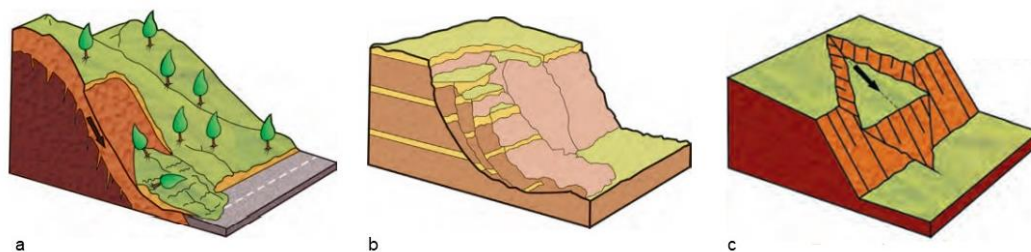
Os movimentos de massa podem ser tipificados de acordo com o material deslocado e o tipo de movimento, porém há dificuldades de definir limites entre as classes, assim como pode haver mais de uma ocorrendo simultaneamente no mesmo evento (FERNANDES; AMARAL, 1996). Entre as classificações mais utilizadas destacam-se a internacionalmente aplicada proposta por Varnes (1978) e as brasileiras apresentadas por Augusto Filho (1992), Freire (1965) e Guidicini e Nieble (1984).

Enquanto os movimentos do tipo rastejo apresentam vários planos de deslocamento (internos) com velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a

profundidade, os escorregamentos apresentam poucos planos de deslocamento (externos) com velocidades médias (m/h) a altas (m/s). As quedas não têm planos de deslocamento, com velocidades muito altas (vários m/s), podendo ser caracterizada como rolamento de matacão ou tombamento. Já as corridas representam movimentos semelhante ao de um líquido viscoso, com muitas superfícies de deslocamento, e velocidades médias a altas (AUGUSTO FILHO, 1992).

Segundo Augusto Filho (op. cit.) e Tominaga (2015), os escorregamentos planares ou translacionais são os mais frequentes entre todos os tipos de movimentos de massa, que ocorrem em solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza. Os escorregamentos rotacionais ou circulares são frequentes nas encostas do Sudeste brasileiro, são caracterizados por uma superfície de ruptura curva ao longo da qual se dá um movimento rotacional do maciço de solo e ocorrem em solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; enquanto os escorregamentos em cunha são mais restritos aos locais com relevo fortemente controlado por estruturas geológicas e ocorrem sobre solos e rochas com dois planos de fraqueza (Figura 1).

Figura 1 – Esquemas dos três tipos de escorregamentos



Legenda: (a) Escorregamento planar ou translacional; (b) Escorregamento rotacional ou circular; (c) Escorregamento em cunha.

Fonte: Tominaga, 2015.

Neste trabalho adotou-se o termo deslizamento de encosta para designar os movimentos de massa rápidos e de elevada magnitude, como definido por Highland e Bobrowsky (2008).

Em relação às inundações, a Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres (UNISDR, 2004, p. 39) as definem como fenômenos ou perigos naturais hidrometeorológicos ou hidrológicos, de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica. Para Tucci (2007) as inundações ocorrem quando as águas dos rios, riachos e galerias pluviais extrapolam o leito de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um desses sistemas e passa a ocupar o espaço que a população utiliza para habitação, transporte (ruas, rodovias e passeios públicos), lazer, comércio, indústria, entre outros.

Amaral e Ribeiro (2015) consideram que esses processos e as enchentes ocorrem com periodicidade nos cursos d'água, de forma natural, sendo deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração.

Diferente das enchentes e inundações (Figura 2), os alagamentos e enxurradas estão relacionados aos sistemas de drenagem, podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial, sendo considerados para áreas urbanas. O alagamento corresponde ao acúmulo momentâneo de água em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem; enquanto a enxurrada está relacionada ao escoamento superficial concentrado com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais (MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT, 2007; TOMINAGA, 2015).

Figura 2 – Perfil esquemático dos processos de enchente e inundação



Fonte: MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT, 2007; TOMINAGA, 2015.

Os movimentos de massa, ou deslizamentos, podem ocorrer simultaneamente com inundações ou outros tipos de perigos ambientais, assim como um ou mais fenômenos podem desencadear um ou mais dos outros tipos. Um deslizamento que cause o bloqueio de um curso d'água pode represar a água por trás da massa de terra e levar à inundação a montante, e caso essa barragem seja rompida, poderá causar inundação a jusante. Ainda, essa inundação pode ocorrer em local onde há ocorrência de erosão de margens e encostas e gerar desestabilização e novos movimentos de massa. Assim, Highland e Bobrowsky (2008) reforçam a importância da análise integrada de diferentes perigos ambientais para uma área de estudo.

A UNISDR (2009) considera que os desastres ocorrem quando eventos naturais ou induzidos pela ação humana resultam em grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade, sendo a causa de perdas de vida humana, materiais, econômicas ou ambientais que excedam a capacidade do grupo afetado de responder aos efeitos com seus próprios recursos. O Glossário da Defesa Civil Nacional apresenta definição semelhante de desastre, porém adiciona a condição de vulnerabilidade do ecossistema afetado

e não menciona a condição de resposta sobre os efeitos do desastre (CASTRO, 2019). Ainda no glossário há distinção de desastres quanto a origem: desastres naturais (que independem da ação humana), desastres humanos (provocados por ações ou omissões humanas) e desastres mistos (contribuição das ações ou omissões humanas para intensificar, complicar e/ou agravar desastres naturais), sendo ainda avaliados quanto à intensidade e evolução (CASTRO, op. cit.).

Para Tominaga (2015), os desastres naturais são resultados de fenômenos naturais que atingem áreas ou regiões habitadas pelo homem, causando-lhe danos, sendo mais restritivo aos impactos na vida humana. A autora classifica os desastres naturais quanto a origem entre naturais ou antropogênicos, sendo esse último tipo relacionado a deslizamentos e inundações, e classifica a intensidade de acordo com Kobiyama et al. (2006), que leva em consideração a importância dos danos, o prejuízo em valor relativo ao Produto Interno Bruto (PIB) municipal e a capacidade do município disponibilizar recursos para superar os danos, que pode ser atendida ou dependente de recursos estaduais, federais ou internacionais.

2.1.2 Conceitos relacionados à suscetibilidade a deslizamento de encosta e inundação

Neste tópico são apresentadas as definições de perigo, suscetibilidade e fragilidade ambiental, vulnerabilidade social, risco ambiental e mitigação.

2.1.2.1 Perigo

Dentre os principais termos geográficos utilizados para avaliar efeitos do ambiente natural nas populações humanas, o conceito de perigo por vezes é confundido com a definição de risco (ANEAS DE CASTRO, 2000). Para Augusto Filho (2001), Ogura (1995) e Zuquette (1993), o perigo, ou hazard em inglês, representa a ameaça potencial a pessoas ou bens, enquanto o risco (risk) expressa o perigo em termos de danos/por período, em geral, unidade monetária/ano. Marandola e Hogan (2004) complementaram que um perigo potencial só existe quando há um risco, enquanto o risco depende de um fenômeno, seja potencial ou consumado, ou seja, o perigo.

Segundo Burton, Kates e White (1993), há uma diferença entre os eventos naturais extremos que ocorrem na natureza sem a presença humana e os eventos que ocorrem em áreas ocupadas por populações humanas, ou que possam alterar a disponibilidade de recursos naturais. Quando há exposição de grupos humanos ou recursos naturais à eventos extremos torna-se necessário avaliá-los não somente pelo prisma dos fatores físicos, mas também de acordo com fatores sociais que interferem e são influenciados por estes eventos. Assim, os eventos naturais que podem causar prejuízos para pessoas e recursos naturais são considerados hazards, ou perigos (BURTON; KATES; WHITE, op. cit.).

Aneas de Castro (2000) distingue o perigo natural – quando o fenômeno que produz o dano tem sua origem na natureza –, do perigo antrópico – quando o fenômeno que produz o dano tem sua origem em ações humanas, e do perigo ambiental – quando o evento que causa prejuízo tem causas naturais e antrópicas combinadas. Augusto Filho (2001), com base na International Union of Geological Sciences (IUGS, 1997), definiu o perigo como uma condição que pode levar a uma consequência desagradável, também explicado como a probabilidade de um fenômeno particular ocorrer num dado período.

Rocha (2005, p. 18) definiu o perigo como “uma situação com o potencial de ameaçar a vida humana, a saúde, a propriedade ou o ambiente”. Para Veyret (2007), o perigo representa a possibilidade de um processo ou fenômeno ocorrer em um componente natural e em um período, enquanto a exposição refere-se às pessoas ou bens potencialmente afetados. Já Tominaga (2009) propôs que o perigo “refere-se à possibilidade de um processo ou fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer num determinado local e num período de tempo especificado” (TOMINAGA, op. cit., p. 151). Mais recente, Mendonça e Buffon (2021), com base em Tominaga (2015), consideram como perigo a possibilidade de ocorrência de um processo ou fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer em um determinado local e período, sendo analisado de maneira qualitativa e/ou quantitativa, além da elaboração de mapas de perigo.

Para Cardona (2004), a exposição de uma sociedade ou um indivíduo a um perigo externo é chamada de ameaça.

2.1.2.2 Suscetibilidade

Diversos autores propuseram definições para o conceito de suscetibilidade (RIFFEL; GUASSELLI; BRESSANI, 2016), tendo em comum que representa a propensão do terreno (características físicas) à ocorrência de fenômeno e/ou processo físico (CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007; FELL et al., 2008; KOBIYAMA et al., 2006; SAITO, 2004). Segundo o Ministério das Cidades e o IPT (2007, p. 26), a suscetibilidade “indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência”.

Para Veyret (2007), a suscetibilidade é entendida como a predisposição de sofrer danos, que podem ser físicos ou materiais, enquanto Bitar et al. (2014, p. 3) propôs que representa a “predisposição ou propensão dos terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico”, levando em consideração as definições apresentadas por Coutinho (2013), Diniz (2012), Fell et al. (2008); Julião et al. (2009); Sobreira e Souza (2012).

Carvalho, Macedo e Ogura (2007, p. 26) incluíram à definição de suscetibilidade os fatores induzidos e a graduação em níveis, ao indicá-la como a “potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência”.

2.1.2.3 Fragilidade ambiental

A fragilidade ambiental foi definida originalmente por Ratcliffe (1971; 1977) como critério de gestão da conservação ambiental, que considera tanto características internas do ambiente natural quanto pressões externas, com destaque para a ação antrópica. Essa definição foi reforçada por Smith e Theberge (1986). Em contraponto, Goldsmith (1983) propôs que a fragilidade ambiental deve ser entendida de duas maneiras, uma exclusivamente relacionada a mudanças internas naturais e outra influenciada por pressões externas, geralmente relacionadas a ação humana. Segundo Gigon (1983) e Nilsson e Grelsson (1995), a dificuldade de separar fatores internos e externos quando uma mudança é observada, reforça

a necessidade de integração, e não separação, dos fatores internos e externos no estudo de fragilidade ambiental.

Veyret (2007) propôs que fragilidade mede a intensidade um ambiente natural ou grupo populacional é suscetível de ser afetado por um fenômeno perigoso. É um conceito atribuído aos estudos relacionados à movimentos de massa e inundação, que considera tanto o UCT, quanto a geomorfologia, a geologia, a pedologia e a climatologia (FLORENZANO, 2011), e no âmbito ecológico permite indicar o quanto os ecossistemas são sensíveis de maneira intrínseca às pressões ambientais, que podem alterar o equilíbrio natural (RATCLIFFE, 1971). Os parâmetros utilizados devem considerar os fenômenos que interferem na vida humana e na conservação ambiental, considerando a fragilidade ambiental relativa a eventos como deslizamentos de encosta e inundação (SILVA et al., 2006).

Na contribuição de Tricart (1977), reforçada por Ross (1994), as áreas podem ser classificadas em Unidades Ecodinâmicas Estáveis (fragilidade potencial) onde há um equilíbrio dinâmico e Unidades Ecodinâmicas Instáveis (fragilidade emergente) para as áreas modificadas pela ação antrópica, que podem subsidiar critérios de ordenação e gestão do território.

As definições de fragilidade ambiental de Crepani et al. (2001) e Monteiro (2001) já têm sido aplicadas nos estudos acadêmicos sobre este tema. Mais recentemente, Santos e Ross (2012) reforçaram que a fragilidade ambiental é um instrumento eficiente na investigação de ambientes urbanizados, servindo como base para estratégias e ações voltadas à redução de problemas socioambientais urbanos. Já Santos (2015) indicou que a fragilidade ambiental e a vulnerabilidade social são partes integrantes da suscetibilidade aos riscos, de modo que as relações entre a fragilidade ambiental e a vulnerabilidade social permite identificar territórios mais vulneráveis aos riscos.

Enquanto a fragilidade potencial está associada à Potencialidade Natural dos Ambientes nos casos em que não há ação antrópica associada, a fragilidade emergente está associada à relação entre o nível de impacto antrópico e a Potencialidade Natural dos Ambientes (PACHECO; CASTRO, 2022). Nesse estudo, os autores revisitam as teorias acerca do conceito de fragilidade ambiental e outros associados a esse termo, também detalhados por Pacheco (2021).

Cabe ressaltar a importância da integração de fatores da fragilidade potencial e da fragilidade emergente para a estimativa da fragilidade ambiental (KAWAKUBO et al., 2005; ROSS, 1994).

A cobertura vegetal pode não ser suficiente para evitar deslizamentos de encosta, pois a capacidade de atribuir ao solo a resistência após eventos de chuvas pode estar relacionada ao tipo e à idade da vegetação, como suas propriedades hidrológicas e mecânicas (ASADA; MINAGAWA, 2023; KALSNES; CAPOBIANCO, 2022; SATO; KATSUKI; SHUIN, 2023; ZHANG et al., 2022). Nesse sentido, Monte et al. (2022) reforçaram a dominância de samambaias nativas da Mata Atlântica da espécie *Gleichenella pectinata* em uma trilha da Ilha Grande, na Costa Verde do Estado do Rio de Janeiro, que costumam dominar áreas onde houve algum tipo de perturbação, como incêndios, movimentos de massa ou cortes de estrada, e apresentam capacidade inibidora da sucessão ecológica, diminuindo a biodiversidade. Dessa maneira, é indicado considerar os diferentes tipos de vegetação presentes para o cálculo da fragilidade ambiental, como proposto por Guapyassú e Hardt (1998).

Quanto aos temas considerados no cálculo da fragilidade ambiental, Ross (1994) utilizou variáveis de declividade, pedologia e precipitação, adicionadas da cobertura vegetal e do uso e ocupação da terra para estimar a fragilidade ambiental. Segundo o autor, quanto maior a declividade, maior a probabilidade de a fragilidade ser causada por motivos naturais, enquanto o maior valor de UCT indica a fragilidade ocorrer principalmente por fatores antrópicos. O autor não determina os valores que devem ser atribuídos para as camadas na estimativa da fragilidade ambiental, mas indica uma hierarquia entre os temas, sendo a declividade o mais importante, seguida da pedologia, do UCT e, por último, da precipitação.

Valle, Francelino e Pinheiro (2016) geraram um mapa de fragilidade potencial por dados de fontes secundárias de tipos de solo, intensidade das chuvas e declividade do terreno, que foi combinado com classes de UCT para gerar o mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica de um rio localizado no extremo Norte da Mesorregião das Baixadas Litorâneas.

Souza (2021) adaptou as metodologias de estimativa da fragilidade ambiental de Crepani et al. (2001) e Ross (1994), acrescentado as variáveis morfométricas formas do terreno, dissecação fluvial e fator topográfico para a bacia hidrográfica do Rio do Peixe, em Minas Gerais.

2.1.2.4 Vulnerabilidade social

A vulnerabilidade é um conceito largamente discutido na Geografia. Pode ser entendida como o grau de perda para um dado elemento ou grupo de elementos dentro de uma

área afetada pelo processo considerado (AUGUSTO FILHO, 2001; CASTRO; PEIXOTO; RIO, 2005; IUGS, 1997). Estudos de vulnerabilidade social têm sido desenvolvidos sobre consequências e prevenção de desastres naturais, sendo esse termo relacionado à caracterização de grupos sociais potencialmente mais afetados por estresse de natureza ambiental (CONFALONIERI, 2003; MENDONÇA, 2004).

A vulnerabilidade aparece como um fator desfavorável interno ao indivíduo ou sociedade frente àquela ameaça, diferente do risco, que retrata a probabilidade de perdas devido à ameaça e a vulnerabilidade do grupo exposto (CARDONA, 2004). Pode ser entendida como um resultado da exposição física a um perigo natural e da capacidade humana de preparação e recuperação frente a desastres ambientais (CONFALONIERI, op. cit.; MENDONÇA, op. cit.).

Para Vignolli (2006) a vulnerabilidade representa uma relação entre riscos ambientais com população exposta. O autor diferencia vulnerabilidade de vulnerabilidade social, sendo a primeira como o que pode ser ferido ou receber lesão, física ou moral, e a segunda relacionada às condições de incerteza da modernidade (VIGNOLLI, op. cit.). Já Lima (2016) conceitua a vulnerabilidade socioeconômica como condições que afetam a qualidade de vida e o bem-estar na ocorrência de fenômenos físicos, como aquelas relacionadas a alimentação, educação, moradia, saneamento básico, saúde, segurança, trabalho e outros aspectos que influenciam na vida de diferentes maneiras. Segundo Boff e Cabral (2023), essas condições vulneráveis são realidades de muitos brasileiros.

García-Tornel (1984) ressalta as formas de adaptação dos grupos humanos aos perigos naturais e a carência de medidas de alerta e evacuação sob possível desastre ambiental. Nesse sentido, enquanto não são desenvolvidas soluções de alerta, evacuação e redução de vulnerabilidades deve-se buscar escolher onde viver para evitar o perigo e como viver com o perigo quando é inevitável. Neste contexto, Costa (2010) considerou como exclusão hidrológica a limitação de grupos sociais no que se refere à água, e como vulnerabilidade hidrossocial a sobreposição espacial entre grupos populacionais muito pobres e com alta privação (vulnerabilidade socioeconômica) e áreas de perigo em relação às doenças de veiculação hídrica, às enchentes urbanas e aos deslizamentos de encostas. Nesse sentido, Costa (2010) reforçou a aplicabilidade de índices de risco hídrico, de vulnerabilidade socioeconômica e de vulnerabilidade hidrossocial.

A vulnerabilidade social ou socioeconômica pode ser estimada a partir de dados do Censo Demográfico do IBGE por setor censitário (FREITAS et al., 2023), com utilização de ferramentas de Geoprocessamento (MEDEIROS, 2018).

2.1.2.5 Risco ambiental

O conceito de risco foi revisitado por Santos, Rocha e Andrade (2015), tendo como referências as proposições de Aneas de Castro (2000, p. 3) – “probabilidade de ocorrência de um perigo” –; Rocha (2005, p. 18) – “combinação de frequência e consequência de eventos indesejáveis, envolvendo perda”; Veyret (2007, p. 11) – “percepção do perigo, da catástrofe possível” –; e Tominaga (2009, p. 151) – “possibilidade de se ter consequências prejudiciais ou danosas em função de perigos naturais ou induzidos pelo homem”.

Com base em Tominaga (2015), Mendonça e Buffon (2021) complementaram a definição de risco ambiental como “a possibilidade de se ter consequências prejudiciais ou danosas em função de perigos naturais induzidos pelo homem”, que pode ser avaliado a partir de mapas de risco, principalmente elaborados a partir da análise de riscos híbridos.

No âmbito da Geografia, Mendonça (2004) ressalta o desafio de se integrar as questões naturais, sociais e tecnológicas na avaliação de riscos, tanto pela interação entre fatores de diferentes temas, quanto pela própria constituição dos riscos naturais e tecnológicos que, para o autor, são essencialmente híbridos. Mendonça e Buffon (op. cit., p. 36) complementam que os riscos híbridos na leitura geográfica passam por “análises de vulnerabilidade, adaptação e gestão de riscos (controle, mitigação, avaliação, resposta)”, e que na Geografia deve-se considerar que os riscos são resultantes de construção social, que podem ser avaliados e evidenciados antes da ocorrência de desastres; podem ser prevenidos, controlados e reduzidos por gestão adequada; podem ser reduzidos de maneira integrada ao manejo de desastres e ao desenvolvimento local sustentável; são dinâmicos e seus fatores podem ser alterados; e seus cenários são acumulativos, sendo até os menores riscos possíveis de causar grandes desastres na ausência ou ineficiência de uma gestão.

As estimativas e análises de condições ambientais que podem levar a inundações são caracterizadas por Mendonça e Buffon (op. cit.) como estudos de riscos hidrometeorológicos, que devem considerar fatores naturais, sociais e tecnológicos, ou como riscos híbridos, que integram mais de um desses diferentes tipos. Para Mendonça (2014), os riscos naturais estão relacionados a eventos extremos da natureza, isolados ou combinados, com origem nos sistemas da litosfera (terremotos, erupções vulcânicas etc.), hidroclimático (ciclones, tempestades, secas etc.) ou de atividades humanas específicas (poluição, incêndio, desertificação etc.). Mendonça e Buffon (op. cit.) complementam que os riscos tecnológicos são resultados da tecnologia e da industrialização (incêndios, vazamentos, explosão entre

outros decorrentes de sistemas de transporte, poluição, transmissão de energia etc.). Os autores definem como riscos sociais aqueles resultantes do contexto de crises no sistema social, econômico e político, que podem levar a violência, distúrbios, pobreza, desemprego etc. (MENDONÇA; BUFFON, 2021).

Na análise de risco ambiental do Parque Estadual do Cunhambebe e entorno, nos municípios de Angra dos Reis e Mangaratiba na Região da Costa Verde do Estado do Rio de Janeiro, Souza (2017) considerou como risco ambiental a integração do risco natural – fragilidade ambiental e unidades ecodinâmicas – com os riscos social – Indicadores de Desenvolvimento Social IBGE – e tecnológico – áreas de influência direta de empreendimentos. Souza (op. cit.) indicou que a modelagem ambiental em SIG permite estimar o risco ambiental e servir de informação para a tomada de decisão por gestores públicos no sentido da redução de impactos decorrentes de desastres naturais.

Reconhecendo a complexidade dos estudos sobre vulnerabilidade e risco à fenômenos ambientais, principalmente em relação à disponibilidade de dados socioeconômicos e em escalas adequadas, os estudos de suscetibilidade a desastres naturais são alternativas da estimativa de áreas que demandam maior atenção para a redução de ocorrências ou danos decorrentes de deslizamentos de encosta e inundações.

Segundo Highland e Bobrowsky (2008), os estudos de deslizamentos podem ser realizados por especialistas em campo, com observação em áreas que apresentam histórico de ocorrências para a identificação de condições e processos que podem levar a instabilidades de encostas, e quando possível a estimativa de suas contribuições à ruptura de declives. Nesse tipo de avaliação são consideradas principalmente análises geológicas e condições meteorológicas de curto e longo prazo. Como alternativa de menores custo e tempo, as análises de mapas de superfícies rochosa e geológica, topografia, solos e geomorfologia permitem estimar a suscetibilidade a deslizamentos. A modelagem computacional de deslizamentos de terra é utilizada para estimar o volume das massas de deslizamento e as alterações na expressão e na seção transversal da superfície ao longo do tempo, como bases para calcular o potencial de bloqueio do fluxo, o custo de remoção de terra deslizada (com base em volume) e o tipo e mecanismo do movimento.

2.1.2.6 Mitigação

A mitigação é o termo relacionado a ações voltadas diminuir os impactos nocivos no ambiente. No contexto de impactos ambientais, inclui ações tomadas para evitar, reduzir ou compensar os efeitos de danos ambientais diretos ou indiretos (EPA, 2004).

Segundo Campos et al. (2021) a fragilidade potencial, relacionada a aspectos naturais, de uma bacia hidrográfica pode ser mitigada a partir da adoção de políticas de adequação dos usos da terra e de melhoria da proteção do solo.

De acordo com o Conselho Nacional de Pesquisa dos Estados Unidos (NRC, 1992), ações de mitigação incluem aqueles que "restauram, aprimoram, criam ou substituem ecossistemas danificados". O objetivo primordial da mitigação ambiental é alcançar uma condição que mantenha e apoia a continuação de funções e/ou valores ambientais relevantes (NRC, op. cit.).

Assim, o desenvolvimento de práticas ecológicas, sustentáveis ou de Engenharia voltadas para a mitigação de suscetibilidades (GARCIA, 2005), fragilidade (FRANÇA; MUCIDA, 2022), vulnerabilidade e risco ambiental (BENINI, 2015; SULAIMAN, 2021).

2.1.3 Fatores de suscetibilidade a deslizamentos e inundação

A obra de Selby (1985) é uma das mais tradicionais voltadas para a discussão da ciência geomorfológica, que desde então reforça a interseção dessa ciência com outros campos do conhecimento. É dividida em três partes, sendo que a primeira aborda a natureza e a estrutura das principais características físicas da Terra e os resultados do tectonismo; a segunda sobre os processos de intemperismo, erosão e deposição que criam formas de terra, e consequentemente condições relacionadas à suscetibilidade a deslizamentos e inundação; e a terceira sobre as principais zonas bioclimáticas da Terra, como inúmeras variações climáticas do final do tempo Cenozoico. Nesse sentido, Tricart (1986) reforçou que essa ciência não é fechada em si mesma, sendo integrada a outros campos de conhecimento; como proposta por Barros e Valadão (2018) a tríade geomorfológica – formas de relevo, processos e materiais – que sofrem influências de maneira diferenciada ao longo do tempo.

Entre os principais fatores condicionantes de desastres relacionados a deslizamentos de terra e inundação, a pluviosidade é considerada fundamental, porém apresenta maior variabilidade espaço-temporal nas regiões tropicais, o que torna complexa sua previsão e padronização (HASTENRATH, 1985; HUANG; WANG; XUE, 2016; LYRA et al., 2018; MARENGO et al., 2011; OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2012; SELUCHI; CHOU, 2009).

Na publicação “Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil” (IBGE, 2019b) foram considerados elementos em estudos sobre deslizamentos propostos por Guidicini e Nieble (1984), que dividem os agentes e as causas em agentes predisponentes e efetivos. Como agentes predisponentes são considerados pelos autores fatores exclusivamente naturais, em que a ação humana não faz parte, tais como os complexos geológico, morfológico e climático-hidrológico; gravidade; calor solar; e tipo de vegetação natural. Sobre agentes efetivos consideram elementos diretamente responsáveis pelo fenômeno, como a ação humana.

Para diversos autores, os escorregamentos são influenciados por fatores relacionados com o clima, a hidrologia, a geologia, a geomorfologia, a vegetação e o uso e ocupação do solo (AUGUSTO FILHO, 2001; FERNANDES; AMARAL, 1996; FERNANDES et al., 2001; TOMINAGA, 2007; 2015; WOLLE, 1988).

Na região tropical úmida brasileira, a ocorrência de chuvas intensas principalmente na estação das chuvas está fortemente associada aos eventos de deslizamentos de encosta, sendo que nas encostas urbanas diversos fatores naturais responsáveis pela formação dos morros e serras influenciam nesses eventos, porém a ocupação desordenada em áreas com alta suscetibilidade a escorregamento tem aparecido como principal fator (TOMINAGA, 2015).

As características de uma encosta influenciam na suscetibilidade aos diversos tipos de movimentos de massa, tais como a declividade e a forma da vertente (concavidade, convexidade), assim como indicam locais mais prováveis de deposição dos materiais deslocados (BIGARELLA, 2003; CHRISTOFOLETTI, 1980; RITTER et al., 2006). Ainda, segundo Cunha e Guerra (1998), fatores como a quantidade de material intemperizado disponível, a quantidade de chuvas, a cobertura de vegetação, a geologia e principalmente a morfologia do terreno e o grau de declividade das encostas devem ser considerados em análises sobre o equilíbrio de uma encosta, pois alterações que ocorram nesses aspectos podem deflagrar movimentos de massa.

Quanto a fatores naturais de movimentos de massa, esses fenômenos ocorrem principalmente em terrenos com declividade acima de 20°, em que o material do solo sofre movimento gravitacional coletivo de massa, podendo resultar em cicatrizes de deslizamento nas encostas. A água aparece como fator lubrificante dos processos e pode tornar seus

resultados mais catastróficos. Porém, são eventos mais frequentes em áreas urbanas não planejadas, que em estudos locais deve-se avaliar o anterior contato entre solo e rocha e a quantidade e o tipo da massa deslocada (GUERRA, 2016; GUERRA; JORGE, 2013).

Em relação à ação humana na estabilidade de vertentes, suas atividades que alteram a dinâmica natural do relevo podem influenciar na suscetibilidade a movimentos de massa. São processos como a ocupação desordenada de vertentes em regiões serranas brasileiras, que tem desencadeado desastres, afetando populações expostas (TOMINAGA, 2015). Fernandes e Amaral (1996) indicam que as metrópoles brasileiras sofrem com eventos de escorregamentos deflagrados por remoção da vegetação para construção de vias de acesso e moradias, atividades de mineração, lançamento de águas servidas e de depósito irregular de resíduos. Ainda, são consideradas práticas de uso e manejo do solo inadequadas, não-conservacionistas as atividades agropecuárias inadequadas, como a pecuária extensiva o plantio morro acima sem curvas de nível, o não terraceamento e o uso de maquinário pesado, que aumentam a suscetibilidade a processos erosivos e queimadas (GUERRA; JORGE, op. cit.).

Dentre os métodos de avaliação da suscetibilidade a deslizamentos de terra ou fluxos de detritos tem-se os estudos que levam em consideração Modelo Digital de Elevação (MDE) de uma área em *softwares* que estão cada vez mais disponíveis em computadores pessoais (HIGHLAND; BOROWSKI, 2008). Os autores listaram principais causas naturais (geológicas e morfológicas) e humanas da ocorrência de deslizamentos, assim como causas físicas desencadeadoras desses eventos, entre elas: características de permeabilidade, intemperismo e fragilidade dos materiais presentes (geológica); erosões fluvial na base da inclinação e das margens laterais e remoção da vegetação por incêndios e secas (morfológicas); desmatamento, desvios de cursos d'água e estradas instáveis de acesso a florestas (humanas); e precipitação intensa e/ou prolongada e inundações (físicas desencadeadoras).

Ainda, os produtos de Topografia podem incluir outros fatores, como decorrentes da análise de talvegues e divisores de água, que permitem estimar condições tridimensionais. A potencial perda de solos de áreas suscetíveis pode ser estimada a partir de cálculos como da Equação Universal da Perda do Solo indicada para o planejamento da conservação ambiental (WISCHMEIER; SMITH, 1978), que pode ser aplicada no QGIS (OPENGIS, 2021) e outros SIGs (BARBOSA et al., 2015). Já o Índice de Saturação do Solo que pode ser calculado a partir de um MDE (BEVEN; KIRKBY, 1979) foi indicado por Lotte, Almeida e Valeriano (2015) como uma das variáveis em estudos de suscetibilidade a movimentos de massa (AMAN; LATIF; PRADHAN, 2014; LOTTE; ALMEIDA; VALERIANO, op. cit.; NHU et

al., 2020). Também são comuns em estudos sobre deslizamentos de encosta a avaliação da estabilidade da encosta para indicar áreas suscetíveis a escorregamentos translacionais. Essa estabilidade pode ser calculada considerando ou não a influência da vegetação por ferramentas e complementos de SIG (GODOI et al., 2018).

Quanto ocorrência de inundação são considerados diversos fatores nos mais variados estudos, sendo que o incremento no volume de cursos d'água pode ser ocasionado por precipitação pluviométrica intensa e concentrada, assim como da intensificação do regime de chuvas sazonais, da saturação do lençol freático ou do degelo, que combinadas com ações antrópicas podem ocasionar eventos de inundação (CASTRO, 2019).

Segundo Souza (1998), os condicionantes naturais de inundações e enchentes podem ser divididos em grupos, sendo a magnitude e a frequência das chuvas como climático-meteorológicos; o substrato geológico, a morfometria da bacia de drenagem, o solo e a cobertura vegetal como geológico-geomorfológicos; a hidráulica fluvial, as correntes geradas por marés em áreas estuarianas e lagunares como flúvio-hidrológicos; e a influência das marés e da dinâmica de circulação costeira junto à desembocadura fluvial ou lagunar como oceanográficos. Já para Cooke e Doornkamp (1990) há uma relação entre as causas de inundação, sendo considerados como fatores transitórios a precipitação, a saturação do solo e a evapotranspiração; fatores permanentes as características morfométricas da bacia de drenagem e do substrato rochoso; e fatores mistos que englobam os tipos de uso e ocupação do solo. Ainda, Marth, Moura e Koester (2016) complementam que a inundação pode ocorrer devido a precipitação acumulada, que leva a saturação do solo e aumento do escoamento superficial acima da capacidade de vazão dos corpos hídricos, ou extrema, como chuvas acima do esperado pelo clima da área de ocorrência. Porém, a definição de limiares para caracterização de eventos extremos não é simples, devido às especificidades de cada local e bacia hidrográfica, como as diversas características morfométricas (SOUZA, 2005), que têm alta influência na indução de inundação (MARTH; MOURA; KOESTER, op. cit.).

A intensidade da precipitação, a capacidade de infiltração do solo, o relevo, a cobertura vegetal e condições artificiais de origem antrópica (obras hidráulicas, urbanização, agricultura e alterações na vegetação) são consideradas por Tucci (2007) como condicionantes das inundações em áreas ribeirinhas.

Segundo Amaral e Ribeiro (2015), a probabilidade e a ocorrência de inundação são analisadas levando em consideração a interação entre condicionantes naturais (formas do relevo, características da rede de drenagem da bacia hidrográfica, intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas, características do solo e o teor de umidade, e presença

ou ausência da cobertura vegetal) e condicionantes antrópicas (uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água, uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água, alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos d'água, e processos de erosão dos solos e de assoreamento dos cursos d'água). Os autores complementam que a magnitude e a frequência desses processos ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem.

Os dados de precipitação nem sempre estão disponíveis para qualquer área, mas quando há estação meteorológica presente por determinado período podem ser consultadas séries de medições, que associadas a mapas de linhas de padrões de chuvas (isoietas), é possível estimar a precipitação para essas áreas e próximas a partir de procedimentos de validação cruzada, regressão linear e interpolação, que demandam procedimentos complexos (LYRA et al., 2018).

A cobertura vegetal influencia na redução da suscetibilidade a processos erosivos e a movimentos de massa. Quando cobre a partir de 30% da área de estudo, com distribuição mais dispersa do que concentrada, tende a reduzir a probabilidade de ocorrência destes processos (GUERRA, 2016; GUERRA; JORGE, 2013). Cabe ressaltar que diversos estudos destacam o papel estabilizador de encostas pela da vegetação, porém outros demonstram que a vegetação pode contribuir para a instabilização das encostas, pois a “vegetação origina uma sobrecarga vertical e o vento nas arvores causa um momento e tensões cisalhantes na superfície de ruptura” (PINHEIRO, 2000, p. 29).

Quanto maior a cobertura vegetal em uma área, maior a produção de matéria orgânica, que pode formar agregados com as partículas minerais pequenas, aumentando a estabilidade do solo à água. A cobertura vegetal também é diretamente proporcional à bioporosidade, que corresponde aos espaços no solo formados e mantidos pela presença de partes de vegetais, principalmente pelas raízes. Ainda, a maior cobertura vegetal aumenta a área ocupada pela copa das árvores, reduzindo a energia cinética da precipitação, principalmente na estação chuvosa (GUERRA, op. cit.; GUERRA; JORGE, op. cit.). Segundo Peixoto e Oort (1992), a presença de vegetação reduz o escoamento superficial, permite maior infiltração de água no solo, tende a reduzir a temperatura superficial e aumentar a rugosidade superficial, interferindo em dinâmicas da atmosfera (PEIXOTO; OORT, op. cit.). Essas questões são relevantes na Floresta Atlântica, que abrange formações como a Floresta Ombrófila Densa, uma das coberturas vegetais que mais sofreu devastação como consequência da ocupação populacional e da expansão das fronteiras agropecuárias (KLIPPEL, 2011).

As inundações são recorrentes em grandes cidades, principalmente localizadas nas Regiões Metropolitanas, onde a ocupação das margens de cursos d'água por população de baixa renda torna esses grupos mais vulneráveis aos danos desses eventos, como perdas de bens materiais e de vidas. Sendo assim, esse tipo de ocupação deve ser orientado de acordo com leis específicas (AMARAL; RIBEIRO, 2015), como abordadas no tópico 2.2 sobre Planejamento Territorial e Ambiental deste estudo.

2.1.4 Monitoramento e alertas de deslizamento de encosta e inundação

O sistema de alerta de desastres é considerado pela UNISDR (2009) como a união de conhecimentos que permitem gerar e transmitir informações necessárias para a população e instituições se prepararem e tomarem atitudes adequadamente em tempo hábil, a fim de reduzir a probabilidade de sofrer danos e prejuízos.

A Climatempo foi fundada no Brasil em 1988, sendo a pioneira em serviços meteorológicos privados no Brasil, com atuação inicial voltada para fornecer informações meteorológicas para grupos de comunicação, sendo ampliada para diversas áreas como varejo, indústria, engenharia e prefeituras. Em 2019 a Climatempo firmou parceria com a StormGeo (2019), empresa provedora de serviços climáticos, principalmente para indústrias offshore, de energia renovável, transporte marítimo, empresas corporativas e mídia. A partir dessa parceria, a rede da Climatempo foi ampliada e voltada para fornecer inteligência meteorológica inovadora, não apenas para o Brasil, mas para toda a América Latina. No âmbito do Estado do Rio de Janeiro, o CEMADEN-RJ (2021) e a DEFESA CIVIL RJ (2022) elaboraram planos de contingência para chuvas intensas no Estado, enquanto o CEMADEN-RJ (2023) disponibiliza um mapa interativo da previsão do tempo para o monitoramento de condições meteorológicas.

Um marco do monitoramento de áreas suscetíveis a desastres ambientais no Brasil foi o serviço de vigilância a desastres VIGIDESASTRES, implantado pelo Ministério da Saúde que formou uma comissão para estudar e elaborar um plano geral para o país. Posteriormente, esse serviço foi ampliado para o Ministério do Meio Ambiente, e após o megadesastre na Serra do Mar no Estado do Rio de Janeiro em 2011, foi criado o Centro Nacional de Monitoramento e Prevenção de Desastres Naturais (CEMADEN) no ano seguinte, e foi

lançado o Plano Nacional para a Prevenção e Controle de Desastres Naturais pelo Governo Federal em 2012 (MENDONÇA; BUFFON, 2021).

O CEMADEN (2019) foi criado para consolidar o Sistema Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, atuando em parceria com outras instituições. Atua na implementação, no complemento e na consolidação da rede de instrumentos meteorológicos, hidrológicos e geotécnicos para monitoramento ambiental. Considera dados obtidos a partir de pluviômetros automáticos, radares meteorológicos, plataformas de monitoramento de umidade de solo e pluviômetros semiautomáticos localizados em áreas de risco reconhecido com presença de população humana. Tem operação ininterrupta sobre o território nacional e municípios vulneráveis a desastres naturais, emitindo alertas para o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (Cenad), do Ministério da Integração Nacional, como parte do Sistema Nacional de Defesa Civil. Está alinhado com a Declaração de Sendai e o Marco para a Redução de Riscos de Desastres 2015-2030 para o tema desastres. Esse marco foi oriundo da Terceira Conferência Mundial sobre a Redução do Risco de Desastres, realizada de 14 a 18 de março de 2015, em Sendai, Miyagi, no Japão, representando uma oportunidade única para os países signatários.

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil no Brasil, Lei nº 12.608 (BRASIL, 2012a) define que a Defesa Civil no Brasil deve atuar sob forma de sistema, integrando órgãos e entidades da administração pública e privada. Tem como principais objetivos planejar e promover a defesa permanente contra desastres e atuar em emergências e em estado de calamidade pública. Considera como gestão de risco a prevenção, a mitigação e a preparação, enquanto a resposta e a recuperação estão relacionadas ao gerenciamento de desastre. Essa política institui o Sistema Nacional e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil, que deve ser trabalhado em articulação com as esferas competentes a nível estadual e municipal, com atribuições específicas para cada nível, sendo destacada entre as atribuições municipais a identificação e o mapeamento de áreas de risco de desastres (BRASIL, op. cit.).

A publicação “A População em áreas de risco no Brasil” é um dos resultados do Acordo de Cooperação Técnica firmado entre o IBGE e o CEMADEN, voltado para promover pesquisas aplicadas e a geração de bases de dados e informações sobre as populações vulneráveis a desastres naturais no território brasileiro. Serve como subsídio para o monitoramento desses eventos, a elaboração de alertas e a gestão de riscos e respostas a desastres naturais (IBGE, 2018a).

Desenvolvido pelo CEMADEN, o Sistema de Cadastro de Deslizamentos e Inundações permite a participação de equipes de Defesa Civil, universidades e público em geral no cadastramento de eventos ocorridos ou potenciais, relativos a movimentos de massa, inundações e enchentes. É possível inserir dados como localização, tipo de evento, fotografias e data (CEMADEN, 2020a).

O sistema de alertas do CEMADEN criado em 2011, em parceria com coordenadorias de Defesa Civil dos Estados e dos municípios, foi aprimorado em 2017 com o envio de mensagens de texto por SMS para os celulares cadastrados sem custo, assim como alertas em serviços de TV por assinatura e pelo Google Alertas Públicos (MDR, 2021).

Ainda, uma busca no Google relacionada a desastres naturais ou a partir de palavras-chave relacionadas, permite receber informações sobre possíveis áreas afetadas, assim como quando o usuário localizado em uma área de risco utiliza o Google Maps (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2022).

São disparadas mensagens curtas logo que atingidos limiares nas condições meteorológicas, indicando a possibilidade de ocorrência e o impacto potencial. Cabe ressaltar que esse processo depende da avaliação do potencial evento pelo CEMADEN, que recebe dados de Meteorologia; risco e vulnerabilidade a desastres ambientais; mapeamento geológico-geotécnico; informações hidrológicas; informações locais; e informações acadêmicas, a partir de instituições públicas ligadas a cada um desses temas, além das unidades e dos institutos de pesquisa e da comunidade local. Os alertas são enviados pelo Cenad, que aciona as Defesas Civas estaduais e municipais para ações de mobilização e resposta. Em casos de alerta de níveis alto ou muito alto, são recomendadas as ações previstas específicas no Plano de Contingência Municipal, sendo o acionamento do sistema de sirenes, a possibilidade de desocupação das áreas de risco e o deslocamento das equipes de resposta para as proximidades das áreas de risco algumas das ações a serem executadas sob nível de alerta muito alto (CEMADEN, 2020b).

Apesar do esforço das instituições envolvidas no sistema de alarmes de desastres naturais no país, Fonseca, Garcias e Silva (2023) indicaram baixo percentual de pessoas cadastradas, tal como em Curitiba, onde somente 7,5% da população residente esteve cadastrada neste sistema em 2021. Segundo os autores, essa adesão abaixo do esperado ocorre principalmente áreas de vulnerabilidade socioambiental, onde somente 3,3% da população que residia em aglomerados subnormais em 2019 esteve cadastrada no sistema de alarmes naquele ano, e diversas localidades com ocupação informal não contam com CEP, não recebendo alertas.

Em âmbito estadual, como parte do Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil, e integrante do Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil, o Plano de Contingência Tático-Operacional para resposta aos desastres ocasionados pelas chuvas intensas (CEMADEN-RJ, 2021) é o “órgão responsável pelo monitoramento meteorológico, hidrológico e geológico em todo o território do Estado do Rio de Janeiro, ou que se originam fora dos limites do Estado e que possam impactar de alguma forma o seu território”. Estabelece cinco níveis de monitoramento, considerando a probabilidade de ocorrência, sua previsibilidade e tendência a agravamento: vigilância, observação, atenção, alerta e alerta máximo. Os níveis de resposta vão desde o monitoramento de projeções futuras de algum evento adverso, detectável ou não, ao nível onde ocorreram danos e prejuízos não superáveis e não suportáveis pela administração municipal.

Além das iniciativas de monitoramento e alertas de deslizamento de encosta e inundação do CEMADEN, são encontradas outras desenvolvidas por prefeituras, universidades e outras instituições públicas e privadas (LUZ; FILGUEIRA, 2018).

2.1.5 Área de estudo sobre deslizamento de encosta e inundação

A Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Federal nº 9.433 (BRASIL, 1997), que instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, estabelece como unidade territorial para sua aplicação a bacia hidrográfica. Se enquadram nesse instrumento o enquadramento dos corpos d'água, a outorga e a cobrança pelo uso de recursos hídricos, permitindo identificar potenciais conflitos, que são expostos e discutidos entre partes interessadas, com representação das comunidades, dos usuários e do Poder Público.

No Estado do Rio de Janeiro, a bacia hidrográfica é considerada como unidade espacial de análise dos fatores e efeitos de eventos críticos de chuva, como inundações e deslizamentos, e de planejamento de ações para reduzir os impactos ambientais causados (COPPETEC, 2014).

A bacia hidrográfica aparece como unidade de análise das ações de prevenção de desastres relacionados a corpos d'água como uma das diretrizes da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, que busca o planejamento com base em pesquisas e estudos sobre áreas de risco e incidência de desastres (BRASIL, 2012a).

Apesar da disponibilidade de estudos e ações para redução de suscetibilidades, vulnerabilidades e danos decorrentes de eventos críticos para o Estado do Rio de Janeiro, são comuns aqueles que são limitados às áreas urbanas dos municípios e seu entorno próximo, e não a bacia hidrográfica, não abrangendo áreas rurais (COPPETEC, 2014). Apesar disso, o uso e ocupação da terra em áreas rurais pode influenciar na suscetibilidade a deslizamento de encosta e inundação.

2.1.6 Panorama sobre trabalhos com deslizamentos e inundação realizados em território fluminense

Sobre movimentos de massa e inundação em margens de cursos d'água não foram encontrados estudos com recortes de bacia hidrográfica em Saquarema, porém têm destaque as contribuições de Meirelles, Dourado e Costa (2018) que analisaram a influência dos fatores na ocorrência de movimentos de massa na Bacia do Rio Paquequer, em Teresópolis, com métodos de análise multicritério e média ponderada e geração de um mapa de suscetibilidade. Sombra e Silva (2018) estimaram a suscetibilidade a inundações e a movimentos de massa em uma área da bacia de drenagem do rio Muriaé, em Campos dos Goytacazes, com aplicação de Geoprocessamento e parâmetros hipsométricos e de declividade. Já Antunes e Fernandes (2019) analisaram espacialmente a intensidade da urbanização em cada bacia hidrográfica no município de Petrópolis, que permitiu indicar as bacias mais alteradas e correlacionar estes resultados com a ocorrência de enchentes.

Com recorte de estudo de bacias hidrográficas no Estado do Rio de Janeiro, Pereira Caldas, Silva e Santos (2019) aplicaram uma análise multicritério com fatores recebendo valores e pesos a partir da técnica de Análise de Processos Hierárquicos (AHP) para avaliar a suscetibilidade a erosão de solos.

Malta, Costa e Magrini (2017a) estimaram a vulnerabilidade a movimentos de massa e inundações a partir do Índice de Vulnerabilidade Socioambiental para o município do Rio de Janeiro, na Mesorregião Metropolitana do Rio de Janeiro (MMRJ). Este índice considera indicadores sociais, econômicos, ambientais, de saúde e de segurança pública, em análise multicritério integrada a um SIG. Encontraram maior vulnerabilidade em aglomerados subnormais, onde são mais frequentes as perdas e os danos decorrentes destes perigos.

Malta, Costa e Magrini (2017b) aplicaram um Índice de Vulnerabilidade Social e Risco Ambiental em relação a escorregamentos para o município do Rio de Janeiro. Utilizaram dados sociais do Censo Demográfico de 2010 e indicaram maiores vulnerabilidade social e risco ambiental no setor oeste e menores no centro-sul da capital do Estado do Rio de Janeiro. Apesar das contribuições de Malta, Costa e Magrini (2017a; 2017b), os dados do Censo Demográfico não foram atualizados a tempo no presente estudo, sendo considerada a suscetibilidade ao invés da vulnerabilidade.

Souza (2017) realizou uma análise de risco ambiental na zona de amortecimento do Parque Estadual Cunhambebe, uma UC de proteção integral localizada nos municípios de Angra dos Reis e Mangaratiba, que fazem parte da Mesorregião do Sul Fluminense, a oeste da MMRJ. Aplicou a metodologia de análise de risco ambiental de Egler (1996), gerando modelos e cálculos de mapas utilizando análise multicritério, média ponderada, Processo Analítico Hierárquico (AHP) e lógica *fuzzy*. Estimou o risco natural a partir do mapa de fragilidade ambiental e de unidades ecodinâmicas. O risco social foi definido por Indicadores de Desenvolvimento Social. O risco tecnológico considerou áreas de influência a partir dos dados de infraestrutura turística, portuária, energética e viária. Assim, o risco ambiental foi estimado por Souza (op. cit.) considerando os riscos natural, social e tecnológico.

Apesar de existir um banco de dados de áreas de risco ambiental, o Programa Nacional de Prevenção de Riscos e Resposta a Desastres Naturais, Souza (op. cit.) indicou este banco apresenta somente as áreas em que ocorreram desastres ambientais anteriormente, mas não considera riscos potenciais futuros.

No estudo de Silva, Oliveira e Moraes (2021) foram analisados os municípios do Estado do Rio de Janeiro quanto a probabilidade de serem atingidos por eventos de origem hidrológica, considerando cada mesorregião e o percentual de esgotamento sanitário adequado. Saquarema, localizado na Mesorregião das Baixadas Litorâneas, foi um dos municípios indicados com “muito alta” probabilidade, reforçando a importância da implementação de políticas públicas voltadas à prevenção de desastres dessa origem e a priorização na alocação de recursos governamentais.

Avelar et al. (2018) avaliaram mudanças no UCT indicadas por Avelar e Tokarczyk (2014) na Microrregião dos Lagos entre 1976 e 2012, na conformação de 1997 semelhante a Lins-de-Barros e Mansur (2018). Avelar et al. (op. cit.) buscaram identificar questões prioritárias para o desenvolvimento sustentável da região, destacaram a degradação de ecossistemas sensíveis em áreas costeiras, que pode alterar o sistema hidrológico da costa e suas características naturais.

A ocorrência de movimentos de massa após chuvas intensas que levou ao megadesastre ambiental na Microrregião Serrana fluminense em 2011 foi analisada por Rosi et al. (2019) para verificar limiares capazes de definir níveis de alerta crescentes (moderado, alto e muito alto) por município afetado, indicando que devem ser realizados estudos para outros municípios e com diferentes conjuntos de dados para subsidiar sistemas de alerta precoce mais precisos.

2.2 Planejamento Territorial e Ambiental

Os instrumentos de Planejamento Territorial no Brasil nem sempre são postos em prática, apesar de comumente encontrados para as mais diversas escalas espaciais. Desde a promulgação da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, conhecida como “constituição cidadã”, reforça-se a importância da participação popular em ações de interesse coletivo (MOURA, 2019).

O Estatuto da Cidade, Lei nº 10.257 (BRASIL, 2001), regulamentou os artigos 182 e 183 da Constituição Federal e estabeleceu diretrizes gerais da política urbana, com objetivo de ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana. Entre as diretrizes gerais indica a ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar a exposição da população a riscos de desastres, em trecho incluído pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012a).

Neste tópico são apresentados os instrumentos de Planejamento Territorial e Ambiental considerados neste estudo.

2.2.1 Plano Diretor Municipal

A partir do capítulo “Política urbana” da Constituição (BRASIL, 1988) regulamentado pelo Estatuto da Cidade, tornou-se obrigatória a elaboração e implementação de Planos Diretores para municípios que apresentam mais de 20 mil habitantes, ou que pertençam a regiões metropolitanas, ou que contenham paisagens e bens turísticos notáveis. Esses planos devem compreender o município como um todo, não somente as áreas urbanas, e estarem

voltados para estimular processos de orquestração de seu desenvolvimento, crescimento e necessárias transformações sociais, econômicas e ambientais. Moura (2009) propõe que a construção coletiva de um plano de ideias para um território pode ser melhor desenvolvida com aplicações das potencialidades dos SIGs.

2.2.2 Instrumentos de Planejamento Territorial e Ambiental

No Brasil há planos de gestão territorial desenvolvidos para as escalas de país, Estados, municípios, bacias hidrográficas, áreas protegidas, entre outros, como os Planos Municipal, Estadual e Nacional de Gerenciamento Costeiro, o Plano Diretor Municipal, o Plano de Bacia Hidrográfica, ou Plano Diretor de Recursos Hídricos, e o Plano de Manejo de Unidade de Conservação (UC). Assim, um Planejamento Territorial ou Ambiental pode considerar os diferentes instrumentos de planejamento das diferentes escalas para a conservação da biodiversidade e redução de suscetibilidades e fragilidades ambientais.

O Planejamento Territorial busca estruturar planos para ordenar o território com base na redução de impactos ambientais negativos (limitações) e no aumento de impactos ambientais positivos (potencialidades), que são específicos para cada área de estudo. As técnicas e os métodos de planejamento servem como base para a gestão do território e seu monitoramento, que dependem das políticas empregadas na área, e que devem ser analisados para identificar lacunas que deverão ser consideradas no ciclo de planejamento, execução, verificação, ações e ajuste (GAMA, 2002).

A dificuldade de gestão e regulação pública em diversas esferas resultou no surgimento de novos protagonistas sociais na cena política acerca da democratização e das demandas de justiça social das lutas populares (LEFF, 2009). Esses grupos devem ser considerados na proposição e no planejamento para a redução de suscetibilidades e fragilidades ambientais atuais e futuras, porém nem sempre os dados socioeconômicos estão disponíveis para as escalas espaciais e temporais de análise.

No âmbito de bacias e sub-bacias hidrográficas, o planejamento voltado para o uso das águas, conservação e recuperação dos territórios nelas localizados cabe ao Comitê da Bacia Hidrográfica, ou “Parlamento das Águas”, que compreende entidades colegiadas da União, dos Estados e do Distrito Federal, dos municípios, dos usuários de água e das entidades civis atuantes na bacia ou sub-bacia com atribuições consultiva, normativa e deliberativa (BRASIL,

1997; 2022c). Como instrumento de gestão da Política de Gestão de Recursos Hídricos, o Plano de Bacia tem como objetivo propor “ações de gestão, programas, projetos, obras e investimentos prioritários, com a participação dos poderes públicos estadual e municipal, da sociedade civil e dos usuários, tendo em vista o desenvolvimento sustentável da bacia” (CILSJ, 2022).

A proteção de áreas naturais tem sido indicada em diversos estudos como uma das ações frente às mudanças climáticas e aos eventos climáticos extremos, além de diversos outros benefícios ambientais. Rocha, Correia e Fialho (2012) indicaram a proteção dos ecossistemas a longo prazo pela proteção de áreas naturais existentes e o estabelecimento de novas áreas protegidas como aliados na mitigação e adaptação às mudanças climáticas, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e ajudando a sociedade a lidar com seus impactos por meio da manutenção de serviços ecossistêmicos essenciais. Segundo Hopkins et al. (2019), as áreas protegidas podem reduzir riscos e impactos de eventos extremos, além de fornecer serviços ecossistêmicos essenciais que auxiliam as pessoas a lidar com efeitos das mudanças climáticas. Marques e Amorim (2022) indicaram a ressignificação das áreas protegidas em uma agenda ambiental global, na qual foram consideradas importantes na mitigação e na adaptação a eventos climáticos extremos, no sequestro de gases de efeito estufa e no fornecimento de serviços ecossistêmicos, mantendo sua importância para a conservação da biodiversidade. Já Etchegaray e Flores (2023) reforçaram essas importâncias da proteção de áreas naturais e indicaram que o desenvolvimento de políticas e estratégias para a conservação da biodiversidade a longo prazo, como o estabelecimento de áreas protegidas, é uma forma de neutralizar as implicações negativas das mudanças climáticas.

Nesse contexto, a proteção de áreas no Brasil conta principalmente com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) – Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000 (BRASIL, 2000) –, que define as UCs de proteção integral e de preservação permanente; e pelo Novo Código Florestal – Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012b) – instrumento legal de proteção de Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL).

Em relação às APPs no Estado do Rio de Janeiro, o Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA) definiu como APP de declividade as áreas que apresentaram declividade superior a 45° (INEA, 2021a). As APPs de nascente de rio foram delimitadas de acordo com a largura regular dos cursos d’água, conforme o Novo Código Florestal (BRASIL, 2012b). Já as APPs de topo de morro foram “delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação à base, de morros,

montes, montanhas e serras com altura mínima de 100 m e inclinação média maior que 25°” (BRASIL, 2012b; INEA, 2014; 2021b).

Pina (2016) destacou a importância da gestão integrada de bacias hidrográficas e áreas protegidas, no sentido de estimular condições sociais, ecológicas e econômicas adequadas nessas áreas. Porém, o autor indicou que há uma ampla lacuna na efetivação de parcerias institucionais para que a gestão integrada seja efetiva.

Quanto aos cenários de condições futuras, o planejamento e a gestão do território devem promover reformas institucionais e legais para considerar as questões que tornam áreas mais suscetíveis aos fenômenos avaliados (LUERS, 2005). Nesse sentido podem estar voltadas ao atendimento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), tais como o primeiro ODS, que versa sobre acabar com a pobreza em todos os locais; o oitavo sobre promover o crescimento econômico sustentado; o décimo quinto sobre proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres; e em destaques o décimo sexto de promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, e o décimo sétimo de fortalecer meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2022). Os ODS podem estar integrados à projetos e soluções voltadas para a mitigação da fragilidade ambiental em bacia hidrográfica, agregando valores socioeconômicos, culturais e políticos em soluções ambientais.

2.2.3 Geoprocessamento e inferência geográfica aplicados a estimativa de suscetibilidades a movimentos de massa e inundação e fragilidade ambiental

Segundo Menezes, Cruz e Fernandes (2022), a geoinformação acompanha o ser humano em toda a evolução civilizatória, apresentando crescimentos tanto em intensidade quanto de diversidade de aplicações para temas e áreas de conhecimento variados. Nesse sentido, as pesquisas futuras são dificilmente previstas, porém os autores indicaram como “necessário manter o foco nas mudanças que transformam os meios de aquisição, armazenamento, processamento, representação e divulgação de dados espaciais” (MENEZES; CRUZ; FERNANDES, op. cit., p. 81).

Os estudos sobre estimativas de movimentos de massa e inundação podem ser desenvolvidos com auxílio da geoinformação a partir do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), como na construção de mapas, com julgamentos por especialistas sobre

dados diretos obtidos em campo nas técnicas qualitativas ou quantitativas. Nesse ambiente digital pode-se realizar análises empíricas, indicando áreas instáveis em momentos futuros, determinísticas, fornecendo informações quantitativas do perigo, e probabilísticas, definindo fatores de instabilidade nos sistemas (MENDONÇA; BUFFON, 2021).

Segundo Costa e Seabra (2019), uma questão fundamental em estudos geográficos e da paisagem que deve ser considerada nas aplicações com ferramentas geotecnológicas está relacionada à escala de análise, tanto espacial quanto temporal.

Para além dos recortes de área de estudo, chamada de escala geográfica, a escala espacial também define o nível de detalhamento dos dados representados, essa chamada de escala cartográfica (COSTA; SEABRA, op. cit.; MARQUES; GALO, 2009).

Sobre a escala temporal, os processos atuais resultam da coexistência de formas e processos pretéritos (TROLL, 1988). Assim, os estudos geográficos devem considerar que as condições ambientais do presente revelam o que ocorreu em períodos diferentes sobre aquela área, com diferentes intensidades, e não por evolução linear ou ciclos fechados em que fatores sucessivos voltariam ao estágio inicial (FRANCISCO, 2012).

O conceito de Geografia Automatizada referindo-se às Geotecnologias foi proposto inicialmente por Dobson (1983), sendo adicionado em Dobson (2004) que a evolução geográfica dos SIG gerou uma ciência da informação geográfica ou da geoinformação.

Integrados aos produtos do Sensoriamento Remoto (SR) os SIGs permitem diversos tipos de análise sobre áreas suscetíveis a movimentos de massa, principalmente pela parametrização da morfologia do relevo, que pode ser realizada a partir de um Modelo Digital do Terreno (MDT) da área estudada (HENGL, 2003). Essa parametrização representa quantitativamente as características morfológicas descritas de forma contínua, sendo definida como geomorfometria (WOOD, 1996; 2009).

Até 1960 o SR esteve voltado para o uso militar, com fotografias aéreas. A partir de 1960 foram desenvolvidos outros sensores, como embarcados em satélites orbitais e uma melhoria no Processamento Digital de Imagens (PDI). A busca por alternativas em recursos naturais no período de crise da cadeia de exploração de petróleo levou aos Estados Unidos iniciarem a missão Landsat em 1972 e a popularizar o uso de hardwares e *softwares* na ciência da informação geográfica. Esse é um marco do SR ambiental, seguido da elaboração de tecnologias e metodologias de transformação de dados em informação geográfica, como a Cartografia Digital, o gerenciamento de bancos de dados e o SIG (BESER DE DEUS, 2013).

Phiri, Shiferaw e Tesfamichael (2020) indicaram que o PDI de SR pode ser aplicado a diversos estudos ambientais, como no monitoramento de dinâmicas de ecossistemas e na

avaliação da degradação da paisagem. Segundo os autores, o SR permite correlacionar a dinâmica da vegetação com variáveis climáticas quando relacionado a análise de séries temporais.

O processamento de dados em um SIG é realizado a partir de valores de atributos de temas específicos, coletados diretamente ou adquiridos de fontes indiretas e trabalhados principalmente em formato de pontos, linhas e polígonos (vetores) e por imagens de Sensoriamento Remoto (SR) com localização geográfica. Utilizando os materiais e procedimentos adequados para o tratamento e processamento dos dados torna-se possível estimar condições e comportamentos de ambientes naturais, como em relação a Modelagem de Sistemas Ambientais proposta por Christofolletti (1999).

As imagens de SR são dados obtidos sem contato físico entre o sensor e o objeto (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004), com pixels contendo números de números digitais (ND) que podem ser representados em níveis de cinza (NC) para cada pixel em relação à reflexão dos raios solares de cada faixa do espectro eletromagnético, ou brilho de pixel, ou valores que correspondem a atributos de temas específicos para cada pixel.

Os satélites orbitais heliossincrônicos acompanham a luz solar para obter dados de superfície. Já os radares de escaneamento de superfície emitem energia de micro-ondas (com comprimentos de onda acima do infravermelho), permitindo gerar imagens na ausência de luz solar (a noite) e sob qualquer condição meteorológica, semelhante ao sonar emitido por morcegos, que captam seus ecos para localização. Um exemplo dos radares no Brasil é o Projeto de mapeamento RADAMBRASIL que gerou dados de 1971 a 1986 com escala de 1:1.000.000 para todo o país (FLORENZANO, 2011).

Segundo Florenzano (op. cit.), as imagens de sensores formam uma grade de pixels, que correspondem a contração do elemento da imagem, sendo quanto menor o tamanho do pixel, mais detalhes, ou seja, maior resolução espacial. Sua obtenção é dada após chegada de radiação solar na superfície terrestre, em que uma parte é absorvida, outra transmitida e o restante é refletido para a atmosfera e os dados obtidos pelo satélite em órbita, que remete para uma central de tratamento dos dados. Quanto maior a reflectância de um objeto maior os NDs, que varia de 0 para 100% de absorção, apresentando a superfície em cor preta, ao valor máximo para 100% de reflexão, apresentando a superfície em cor branca, para a respectiva faixa do espectro eletromagnético. A quantidade de NC é relacionada à resolução radiométrica do sensor, resultando em um valor a partir da expressão 2^n , sendo n substituído pela quantidade de bits do sensor (ex.: sensor do satélite Landsat 7 com 8 bits tem 28 NC, enquanto sensor do Landsat 8 tem 216 NC).

A resolução espectral dos sensores de satélites orbitais corresponde às faixas do espectro eletromagnético imageadas, enquanto a resolução temporal apresenta a frequência do imageamento, essa expressa em quantidade de dias que o sensor volta a imagear um mesmo ponto. No monitoramento ambiental e na geração de cenários deve-se considerar a resolução temporal na seleção dos materiais de SR, pois o retorno do imageamento sobre a área de estudo pode acontecer em períodos com condições meteorológicas que impedem ou limitam as interpretações, o PDI e as análises, podendo comprometer o estudo ou projeto (FLORENZANO, 2011).

A reflectância dos alvos imageados corresponde à razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente, a transmitância corresponde à razão entre o fluxo transmitido e o fluxo incidente e a absorptância corresponde à razão entre o fluxo absorvido e o fluxo incidente. A soma entre reflectância, transmitância e absorptância resulta no valor 1 (FLORENZANO, op. cit.).

Os sensores medem diferentes porções do espectro eletromagnético separando por grupos em bandas. O conjunto das respostas de um objeto para cada banda do sensor é chamado assinatura espectral, que engloba a emissão, a absorção e a reflexão da energia para cada faixa de comprimento de onda, sendo influenciado pelas condições atmosféricas presentes no momento da captação dos dados de superfície. Já a curva espectral representa a variação da reflectância de um objeto para cada comprimento de onda (FLORENZANO, op. cit.).

Entre os espectros eletromagnéticos do Sensoriamento Remoto, a faixa de comprimentos de onda associada a cor azul (B) é utilizada na identificação de superfícies de água litorânea, de tipos florestais, de feições culturais de agropecuária e na diferenciação entre solo e vegetação. O espectro do verde (G) é indicado para avaliar vigor de vegetação e qualidade de água com carga sólida (sedimentos). O espectro do vermelho (R) permite diferenciar tipos de plantas e limites de solo pelas taxas de absorção pela clorofila. O infravermelho próximo permite estimar biomassa vegetal, identificar plantas e relacionar solo e plantação ou terreno. Já o infravermelho médio é indicado para estimar umidade de vegetação e do solo, seca em plantações, salubridade de plantas, relacionar nuvens, neve e gelo, diferenciar tipos de rocha geológica e de limites de solo. Já a banda pancromática (PAN) é utilizada para fundir com outras melhorar o realce para cada pixel. Por fim, o espectro termal é indicado para os estudos de deformação de vegetais ou de plantio, de intensidade de calor, de efeitos da aplicação de inseticidas e de identificação e avaliação de poluição térmica (FLORENZANO, op. cit.).

Enquanto a vegetação tem alta absorção dos canais vermelho, verde e azul (RGB) e alta reflexão na banda espectral do infravermelho próximo (NIR), as superfícies verdes sintéticas absorvem o NIR. As folhas absorvem mais na faixa de espectro de cores visíveis devido a ação de pigmentos fotossintetizantes e refletem mais NIR pelo espalhamento da radiação no interior de folhas. Já a areia de praia reflete mais RGB e as sombras e água limpa absorvem RGB (FLORENZANO, 2011).

A saúde de uma vegetação pode ser estimada de acordo com a absorção do canal R, que é maior nos vegetais com alta atividade fotossintética, e reflexão dos canais G e NIR, que são maiores nos vegetais saudáveis. Além disso, é possível gerar índices para coberturas da terra específicas, que demandam o tratamento de dados seguido de aplicação de fórmulas, como índices de vegetação (FLORENZANO, op. cit.).

Assim, as bandas espectrais utilizadas em estudo deve ser compatível com as características biofísicoquímicas da superfície que se deseja imagear. Com a geração de combinações de bandas adequadas seguida de interpretação visual ou PDI em um SIG, torna-se possível distinguir coberturas da superfície terrestre e algumas condições delas. Ainda, é possível considerar outras características dos objetos imageados para tais análises, como tamanho, textura e formato (FLORENZANO, op. cit.).

Quanto a resolução espacial de imagens de SR, diversos sensores apresentam uma banda pancromática com menor tamanho de pixel que as demais bandas, sendo possível realizar o processo de fusão entre cada banda com a pancromática, ou até mesmo de uma composição de bandas com a pancromática, a fim de obter imagens com melhor resolução espacial. A técnica de fusão para melhoramento das imagens é conhecida como pansharpening (ZHANG, 2004).

O índice de vegetação por diferença normalizada – *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI, do inglês) – apresenta maiores índices onde há maior cobertura vegetal, tal como em áreas protegidas, principalmente cobertas por vegetação arbórea. Nas áreas urbanas e de produção agropecuária, a remoção de vegetação para construções e pastagens resulta em menores índices de NDVI, enquanto nas áreas agrícolas, este índice varia com a fase produtiva. Esses usos e coberturas da terra influenciam nas condições de fragilidade, suscetibilidade e vulnerabilidade ambiental. Quanto maior o NDVI, maior a capacidade fotossintética do dossel da vegetação presente e o teor de cor verde natural. Onde há NDVI negativo espera-se por estresse vegetativo, com menor quantidade de clorofila, menor atividade fotossintética e alterações físicas na estrutura das folhas devido ao murchamento do vegetal, quando presente (GU et al., 2008).

O Índice de Vegetação Melhorado – *Enhanced Vegetation Index* (EVI, do inglês) é capaz de detectar as variações da vegetação em termos de estrutura, sazonalidade e seus aspectos biofísicos. É um índice sensível ao dossel, principalmente nas áreas que apresentam maior densidade de biomassa, como os parques e florestas (HUETE et al., 2002). Tal índice utiliza em seu cálculo as bandas do canal vermelho e infravermelho próximo, mas acrescenta-se valores de constantes para estabelecer a correção dos efeitos atmosféricos no vermelho e na água, e do solo (HUETE et al., op. cit.).

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI, do inglês) considera a presença do solo na área de estudo. É obtido a partir da combinação matemática das reflectâncias dos alvos nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo, sendo utilizado para minimizar os efeitos da presença do solo em áreas semiáridas (RIBEIRO; SILVA; SILVA, 2016). O SAVI introduz um fator de ajuste ao NDVI para minimizar os efeitos da presença do solo, sendo utilizado em pesquisas que envolvem a análise de cobertura vegetal, identificação de áreas com potencial a desertificação, entre outras aplicações.

Além dos índices NDVI, EVI e SAVI, muitos outros são utilizados para analisar a cobertura da terra, sobretudo onde há áreas vegetadas e não vegetadas. O estudo de Ribeiro, Silva e Silva (2016, p. 2058-2059) traz uma lista de índices de vegetação por ordem cronológica indicando seus autores, que pode ser complementada com a lista de índices disponíveis no portal Index DataBase (HENRICH et al., 2009; 2023), que indica os nomes e abreviações de índices de vegetação e de outros temas, suas fórmulas considerando os comprimentos de onda médios ou intervalos espectrais representados pelas bandas, indicações de índices por sensor utilizado e aplicação, entre outras características de cada índice.

Já o índice de água por diferença normalizada – *Normalized Difference Water Index* (NDWI, do inglês) – proposto por McFeeters (1996) e modificado por Gao (1996) é utilizado para detectar e monitorar mudanças no teor de água em superfície. O NDWI é calculado considerando as bandas espectrais do infravermelho próximo e do verde (MCFEETERS, 1996) ou dos infravermelhos próximo e médio (GAO, op. cit.). Esse índice tem sido aplicado em estudos sobre inundação (ANDRADE; BRABO, 2022; SILVEIRA; GUASSELLI, 2019) e processos erosivos (PARANHOS FILHO, 2021, p. 215).

A diversidade de métodos de estimativa e validação, variáveis aplicadas, áreas e períodos de estudo considerados, assim como da fonte de inventários, nos estudos de suscetibilidade a deslizamentos de encosta no Brasil foi avaliada por Dias, Hölbling e

Grohmann (2021). Os autores indicaram a Região Sudeste como a principal do país para a ocorrência desses fenômenos, em crescimento significativo de publicações desde 2015.

Na aplicação de ferramentas de Geoprocessamento para avaliação de vulnerabilidades ambiental e socioambiental, Barata (2014) estimaram índices de vulnerabilidade da população dos municípios do Estado do Rio de Janeiro frente às mudanças climáticas. Utilizaram dados vetoriais, como do Censo Demográfico do IBGE de 2010, e imagens de satélite, como do satélite Landsat 5, para estimar os índices de vulnerabilidade da saúde, social e ambiental, que integrados estimaram o índice de vulnerabilidade geral para cada município. Indicaram que a Mesorregião das Baixadas Litorâneas apresenta baixos índices de vulnerabilidade geral e de cenário climático de temperatura, porém valores mais elevados para índice de cenário climático de anomalias precipitação (BARATA, op. cit.).

Para uma área de 468 km² da Microrregião Serrana do Estado do Rio de Janeiro, Calderano Filho et al. (2018) aplicaram análise multicritério e álgebra de mapas no ArcGIS 9.3 para avaliar a vulnerabilidade ambiental a perigos de meio físico, como processos erosivos, movimentos de massa e inundação. Utilizaram dados de solos, geologia, relevo, UCT, drenagem, vegetação, precipitação local, áreas sujeitas a inundação e suscetibilidade à erosão. Metz e Bear-Crozier (2014) apresentaram uma abordagem de mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos baseada em SR no SIG livre QGIS versão 2.2, foram utilizadas imagens de topografia e multiespectrais para o tratamento dos dados e elaboração das análises e dos mapas. Já Araújo, Barella e Fernandes (2021) estimaram a suscetibilidade a escorregamentos por pesos e evidências aplicados à fatores predisponentes topográficos (elevação, ângulo e orientação das encostas) e hidrológicos (área de contribuição e índice topográfico de umidade) no SIG livre SAGA (CONRAD et al., 2015).

Nos estudos voltados a análise do comportamento de cursos d'água são comuns as modelagens hidrológica e hidrodinâmica no Brasil e no mundo (LOPES, 2017; PONTES, 2016; POSSA, 2019; WINTER, 2018).

A modelagem hidrológica permite simular comportamentos de fenômenos físicos em sistemas definidos, como escoamento em rios, evaporação, infiltração e precipitação (TUCCI, 2005). Esse modelo representa simplifica a representação do sistema analisado (CADIER et al., 1987). A modelagem de sistemas de recursos hídricos foi proposta por DeVantier e Feldman (1993) e Feldman (1981), que publicaram uma revisão bibliográfica contendo tipos de dados indicados e métodos de armazenamento e gerenciamento desses dados para modelagens hidrológicas. Entre as aplicações indicadas pelos autores, foram desenvolvidos

modelos de chuva e vazão de cursos d'água, previsão de inundações e erosão de encostas, movimentação de solo, entre outras.

Entre os modelos hidrológicos difundidos, o *Hydrologic Modeling System do Hydrologic Engineering Center* (HEC-HMS) tem diversas aplicabilidades no gerenciamento de recursos hídricos, como a simulação da transformação de chuva em vazão em sistemas de bacias e sub-bacias hidrográficas. Desenvolvida pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE, 2016a), o HEC-HMS trata a bacia hidrográfica em diferentes elementos hidrológicos, sendo a sub-bacia sua representante, o trecho como parte do canal, por onde a vazão dos cursos d'água segue a jusante, a junção representando um nó, a fonte para introduzir a vazão em um ponto do sistema, o sumidouro para onde a água sai da bacia, o reservatório e a derivação (USACE, op. cit.).

Em relação a estudos de inundação em bacias hidrográficas, os modelos hidrodinâmicos permitem prever esses fenômenos, analisar cenários e alternativas. São indicados para elaborar planos emergenciais e ações da Defesa Civil (WINTER, 2018).

No módulo *River Analysis System do Hydrologic Engineering Center* (HEC-RAS) o escoamento não permanente é simulado pelas equações da continuidade e da quantidade de movimento de Saint-Venant (USACE, 2016b). Cabe ressaltar que são encontrados outros modelos hidrodinâmicos na literatura voltada à simulação hidrodinâmica de rios e várzeas de inundação na escala local, como TELEMAC e LISFLOOD-FP, assim como soluções indicadas para estudos globais, como o CaMa-Flood (YAMAZAKI et al., 2011).

Outra solução para especializar graus de suscetibilidade de inundação é o modelo *Height Above Nearest Drainage* (HAND), desenvolvido pela parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o CEMADEN (INPE, 2022a; NOBRE et al., 2011; et al., 2015). O HAND “mede a diferença altimétrica entre qualquer ponto da grade do MDE e o respectivo ponto de escoamento na drenagem mais próxima, considerando a trajetória superficial de fluxo (flowpath) que liga topologicamente os pontos da superfície com a rede de drenagem” (IPT; SGB, 2014). O HAND Model, como é chamada sua ferramenta de modelagem, permite estimar, a partir de modelo digital de terreno normalizado pela rede de drenagem, processos superficiais relativos ao movimento, acumulação, infiltração, armazenamento e drenagem da água (INPE, 2022a). A modelagem de inundações permite mapear a várzea, calcular potenciais danos e delimitar inundações, construir base para alerta de cheias e aplicar para a restauração de ecossistemas (USACE, 2016b).

A integração de dados pode ser realizada a partir de operadores de inferência espacial, como nos modelos bayesiano, Média Ponderada, AHP e Redes Neurais, que podem utilizar dados representados na lógica booleana ou *fuzzy* (RUHOFF, 2004).

A lógica booleana não explica variantes de meio termo, pois atribui valor 0 ou 1 para a ocorrência ou não de algum fator, sem termo médio (ZADEH, 1965), com integração de planos de informação por ponderadores lógicos simples “E”, “OU”, “Exclusivo OU (XOR)” e “NÃO” (FUSHIMI; NUNES, 2016), gerando dados temáticos (classes favorável ou não favorável) expressos espacialmente em forma de polígonos (CÂMARA et al., 2001).

Os outros métodos, lógica *fuzzy*, abordagem bayesiana, Média Ponderada, inferência por AHP e Redes Neurais Artificiais (RNA) geram dados numéricos da potencialidade, como diferenciados por Câmara et al. (op. cit.).

Na lógica *fuzzy*, ou lógica difusa, ou nebulosa, são determinados valores difusos entre os limites “completamente verdadeiro” (valor 1) e “completamente falso” (valor 0), com transição gradual entre o elemento não-membro para o elemento membro do conjunto é gradual. A lógica *fuzzy* representa com mais detalhes a variedade que ocorre na realidade, considera regras inferidas pelo especialista, de modo que a experiência do mesmo é determinante para a qualidade dos estudos dessa maneira (ZADEH, 1965).

Na abordagem bayesiana (BONHAM-CARTER, 1994), ou modelo empírico, são estabelecidas probabilidades atuais e futuras (a priori e a posteriori, respectivamente) para determinar ou identificar eventos geográficos a partir de uma condição (CÂMARA et al., 2001). A abordagem bayesiana é análoga a sobreposição de camadas em um SIG, envolvendo uma combinação lógica de mapas binários através de operadores condicionais, em que é realizada uma combinação de vários planos de informação para dar suporte a uma hipótese ou preposição. As evidências são testadas para cada localização para avaliar se satisfazem ou não as regras definidas pela hipótese, sendo atribuídos valores binários de 0 para hipótese não satisfeita e 1 para hipótese satisfeita, inexistindo a condição de talvez (CÂMARA et al., op. cit.).

A Média Ponderada é considerada um dos métodos de análise multicritério mais utilizadas para análise espacial, na qual são atribuídos pesos de importância diferenciados para cada camada que representa um tema (CÂMARA et al., op. cit.).

Como técnica de definição de pesos de importância de cada variável ou tema, Câmara et al. (op. cit.) indicam o AHP, desenvolvido e aplicado para a tomada de decisão por Saaty (1977; 1990; 2008), que permite determinar a contribuição relativa de cada fator para um estudo por combinação pareada. No AHP os fatores são comparados dois-a-dois para atribuir

um critério de importância relativa de acordo com uma escala que é pré-definida pelo pesquisador, sendo 1 para importância igual e valores superiores para maior importância. Segundo Câmara et al. (2001), esses pesos podem ser aplicados à lógica *fuzzy*, de modo que a soma dos mesmos resulta até o valor inteiro 1.

As Redes Neurais Artificiais (RNA) formam um modelo matemático mais complexo, inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes, que aprimoram a partir da experiência (MARTINELLI; CARVALHO, 1999). São definidos elementos de processamento, que interagem a partir de pesos definidos pela força de conexão entre os elementos, esses testados por um algoritmo definido até que o erro entre os padrões de entrada e saída esteja abaixo de um valor mínimo desejado, e o resultado representa a soma desses valores multiplicados pelos pesos (CÂMARA et al., op. cit.).

Nos estudos de suscetibilidade a deslizamento de encosta e outros tipos de movimento de massa em bacias hidrográficas ou municípios são aplicados diversos métodos de inferência espacial. Segundo Shano, Raghuvanshi e Meten (2020), os métodos mais utilizados para estimar a suscetibilidade a deslizamento de encosta estão o AHP e a Média Ponderada, com dados na lógica *fuzzy*.

Bispo et al. (2011) analisaram a suscetibilidade a movimentos de massa para a porção continental do município costeiro de São Sebastião, no Estado de São Paulo, com dados de geomorfologia, geologia, pedologia, uso da terra, declividade, curvaturas vertical e horizontal. Os autores compararam três métodos de inferência espacial, sendo que o booleano não permitiu uma classificação detalhada das classes de suscetibilidade; o bayesiano utilizou efetivamente apenas as variáveis de declividade e curvatura horizontal; e o a lógica *fuzzy* apresentou uma maior flexibilidade na identificação de áreas, principalmente na inclusão dos dados de curvaturas horizontal e vertical.

Silva Junior et al. (2013) mapearam a suscetibilidade a deslizamento de encosta na Bacia Hidrográfica do Rio Anil, localizada na capital do Estado do Maranhão, a partir da modelagem espacial baseada em lógica *fuzzy* e do AHP, com dados geológicos, geomorfológicos, de solos, MDE e forma do terreno. Os autores indicaram boa concordância da estimativa com a realidade, sobretudo nas áreas de maior adensamento populacional.

No estudo de Meirelles, Dourado e Costa (2018) sobre suscetibilidade a movimentos de massa gravitacionais na Bacia Hidrográfica do Rio Paquequer, em Teresópolis, no Estado do Rio de Janeiro. Foram atribuídos pesos pelo AHP para as camadas de declividade, orientação das vertentes, forma do terreno, geologia, morfologia do terreno, formações superficiais, uso e cobertura do solo, pedologia, proximidades de drenagens e de estradas. A

integração dos dados foi realizada pelo método de Média Ponderada, tendo resultados considerados satisfatórios pelos autores.

Quevedo (2019) realizou a modelagem e o mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa por RNA e pela aplicação de outro método de aprendizagem de máquinas Florestas Aleatórias – *Random Forest* (RF, do inglês), que seleciona aleatoriamente os percentuais dos dados de entrada para separá-los em conjuntos (nós), determinando o valor do atributo preditivo que minimiza o nó da impureza. A autora utilizou MDEs ALOS PALSAR e ASTER GDEM para extrair dados de elevação, declividade, curvaturas longitudinal e vertical, relevo sombreado, fator do efeito da topografia na erosão do solo e profundidade do vale de uma bacia hidrográfica no Estado do Rio Grande do Sul, e indicou elevada acurácia de ambos os modelos.

Ainda, Mehravar et al. (2023) calcularam a suscetibilidade a inundação com imagens multitemporais do radar Sentinel-1 no Google Earth Engine. Consideraram os locais de ocorrência de inundação pretéritas e os seguintes fatores condicionantes: altitude, declividade, orientação de encostas, índice topográfico de umidade, índice de poder de drenagem, NDVI, distância de cursos d'água, curvatura de encostas, precipitação, tipo de solo e UCT. Mehravar et al. (op. cit.) utilizaram séries temporais de imagens de radar, o que demandou conhecimento de programação para execução do PDI.

Como tema principal deste estudo, a fragilidade ambiental pode ser estimada em SIG pelo cálculo da fragilidade potencial, essa derivada de fatores físicos do ambiente, e da fragilidade emergente, que corresponde ao UCT.

A integração das fragilidades potencial e emergente leva à fragilidade ambiental, como proposto por Ross (1994) e Crepani et al. (2001), e aplicada em diversos estudos (ABRÃO; BACANI, 2018; BACANI et al., 2015; BAHR; CARVALHO, 2012; BELATO; SERRÃO; DIAS, 2019; CASTRO, 2022; CUNHA; BACANI; AYACH, 2013; GONÇALVES, 2013; GONÇALVES et al., 2011; PERIÇATO; SOUZA, 2019; PINHEIRO, 2016; SALES; NASCIMENTO, 2020; SANTOS; MARCHIORO, 2020; SANTOS; OLIVEIRA, 2013; SOUZA; REBELATO, 2021; TEIXEIRA; OLIVEIRA; TEIXEIRA, 2021; VALLE; FRANCELINO; PACHECO).

Outros autores calcularam a fragilidade ambiental sem distinguir entre fragilidade potencial e emergente, mas diretamente a partir de valores atribuídos a classes de características e em alguns casos aplicando pesos específicos por tema (FERREIRA; FERREIRA; GOUVEIA, 2015; GONÇALVES; ARAÚJO; IMAI, 2016; GOUVEIA et al.,

2015; SCHIAVO et al., 2016; SILVA; COSTA, 2011; SUTIL; GONÇALVES; VIEIRA, 2020; VITTE; MELLO, 2013; VIEIRA et al., 2021).

Apesar de ser muito comum em estudos de fragilidade ambiental a atribuição de valores e pesos, que são somados para gerar os mapas de fragilidade potencial e emergente, outras pesquisas têm transformados esses valores para a lógica *fuzzy*, seguido do cálculo por média ponderada. Cabe ressaltar que essa modelagem pode ser representada por diferentes funções de associação dependendo de características do problema analisado (BURROUGH; MCMILLAN; DEURSEN, 1992).

Cunha et al. (2011) empregaram a lógica *fuzzy* com pesos atribuídos por AHP para associar graus suscetibilidade das classes de morfogênese e pedogênese, seguido da sobreposição ponderada das camadas de relevo, pedologia, cobertura do solo, geologia e precipitação para estimar a fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica no Estado de São Paulo.

Já Souza (2021) propôs uma metodologia para mapear a fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica. Foram processadas variáveis de forma do terreno, dissecação vertical, comprimento da vertente, geologia, tipo de solo e cobertura vegetal e uso da terra; seguido da aplicação da inferência *fuzzy*. O autor ressaltou a alta complexidade da modelagem dos sistemas ambientais.

Souza (op. cit.) aplicou a lógica *fuzzy* na transformação dos dados de entrada em suas respectivas variáveis linguísticas, na construção dos pesos por atribuição de graus de pertinência de cada variável, considerando imprecisões e incertezas, na relação entre as variáveis com regras pré-estabelecidas e na “tradução do resultado linguístico do processo de inferência *fuzzy*, em um valor numérico” (SOUZA, op. cit., p. 61). A aplicação da lógica *fuzzy* e do AHP na classificação de fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica também foi realizada por Lira, Francisco e Feiden (2022), que utilizaram dados de um MDE com dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de resolução espacial média de 30m, de uso e ocupação do solo do Projeto MapBiomass na escala 1:100.000 com resolução média de 30 m, e do tipo de solo na escala 1:250.000.

Essas e outras abordagens podem ter como área de estudo uma bacia hidrográfica a partir de Geotecnologias, como apresentado no livro “Geoprocessamento aplicado no planejamento de bacias hidrográficas” (CAMPOS et al., 2019), tais como: uso e ocupação para o planejamento, análise morfométrica, delimitação de APPs, aptidão e planejamento agrícola a partir de imagens de SR e dados de tipo de solo, uso de imagens de drone e dados do Cadastro Ambiental Rural, entre outros.

A dificuldade de gestores municipais e de bacias hidrográficas na estimativa de suscetibilidades, fragilidades e cenários relativos a movimentos de massa e inundação, reforça a importância da elaboração de uma metodologia acessível para aplicação, como proposta nesse estudo, ao invés da alta complexidade relacionada à diversidade de variáveis, procedimentos, métodos de inferência geográfica e interações entre modelos apresentados nesse tópico.

2.2.4 Discussão sobre delimitação de bacias hidrográficas por geoprocessamento

Este item reforça a escolha dos limites da microbacia propostos pelo comitê da bacia ao invés da Agência Nacional de Águas (ANA) e da delimitação por PDI de SR, que não seria um produto oficial e apresenta limitações devido a resolução espacial das imagens de Topografia disponíveis. Além disso, serve de referência para as futuras edições vetoriais dos limites da microbacia a fim de compreender somente áreas localizadas em Saquarema.

Apesar da definição de bacia hidrográfica como unidade territorial pela ANA, essa agência indicou dificuldades na delimitação dessas áreas, principalmente devido a variedade de métodos e materiais utilizados:

“Ainda não existem soluções triviais para a geração de bacias. Para onde o analista se volte, há barreiras que o levam a empregar muitas horas de trabalho para solucionar, principalmente, questões relativas aos dados disponíveis. Os algoritmos são maduros o bastante, porém não resistem às deficiências dos dados existentes... Em geral a ANA tem utilizado a cartografia oficial, combinada com o SRTM, e muitas horas de edição para chegar ao traçado das suas áreas de drenagem” (ANA, 2012, p. 10).

Segundo Sobrinho et al. (2010), as técnicas de delimitação automática de bacias hidrográficas em SIG têm evoluído a partir de estudos desenvolvidos em ferramentas mais simples e com dados de SR de menor qualidade, que já reduziram o tempo e os custos dos levantamentos tradicionais em campo e com ferramentas de topografia. No SIG são comumente utilizadas bases de dados de relevo, por vetores ou imagens com pixels indicando a distribuição espacial da altitude na superfície do terreno, chamada de Modelo Numérico de Terreno. Esse modelo também pode ser estimado por interpolação de dados indiretos de curvas de nível, que podem ser extraídos de cartas topográficas ou pelo processamento de imagens de sensores remotos, e de dados diretos obtidos em campo, tal como levantamentos realizados por topógrafos e/ou com auxílio de ferramentas de geolocalização.

Os dados de altitude por sensoriamento remoto mais utilizados em estudos geográficos e ambientais são aqueles gerados pela missão SRTM, a bordo da nave Endeavour em 2000, que levantou dados de radar de todo o planeta (NASA, 2022a).

O NASADEM (LP DAAC, 2020) é um reprocessamento dos dados da missão SRTM, apresentando dados com maior precisão altimétrica e com correção de preenchimento de vazios (gaps) com dados de elevação ASTER e GDEM V2 refinados e dados GLAS. O NASADEM está disponível para download no portal Earthdata (NASA, 2022b) com resolução espacial de 30 m do SRTM, assim como arquivo gerados nas correções do SRTM, como “um mosaico de imagens de retroespalhamento de radar a ser usado como uma camada para classificação global de terrenos cobertura e uso da terra” (FOREST GIS, 2020).

Os dados de altitude do COPERNICUS DEM (COPERNICUS, 2022) apresentam um Modelo Digital de Superfície (MDS) com 30 m de resolução espacial, que inclui edificações, vegetação e infraestrutura, ao invés de um MDE, que representa a topografia. As imagens do COPERNICUS DEM foram geradas a partir da missão TanDEM-X entre 2011 e 2015, estão disponíveis para download gratuito a partir de dezembro de 2019 com previsão de funcionamento até 2026, apresentam mais de uma versão e demandam cadastro e liberação para download (ESA, 2021; SPAMLAB IEE-USP, 2021).

As imagens do sistema de pares estereoscópicos ou multivisão ALOS World 3D, gerenciado pela Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial, também formam MDS. Estão disponíveis para download gratuito com 30 m de resolução espacial e são comercializadas imagens de MDS de maiores resoluções espaciais, sendo a resolução temporal das imagens de poucos anos (JAXA, 2023).

Quanto ao escaneamento de superfície por sensores ativos, os dados captados por resposta à incidência de radiação na faixa do infravermelho próximo *Light Detection and Ranging* (LiDAR) aparecem como soluções para aumentar a acurácia vertical e a resolução espacial dos dados altimétricos, de caracterização da estrutura da vegetação, assim como da volumetria de edificações e ambientes urbanos (INPE, 2021). Apesar dessa potencialidade, esses dados estão disponíveis gratuitamente somente para algumas áreas no Brasil, tais como o município de São Paulo e o Estado de Pernambuco (GROHMANN, 2022).

A ferramenta de preenchimento de depressões é o tratamento inicial das imagens da missão SRTM, que atribui valores aos pixels sem dados (“sinks”). Esses vazios representam, principalmente, áreas rodeadas por elevações com valores de cotas superiores, semelhantes a uma depressão (MENDES; CIRILO, 2001), que podem influenciar na elaboração de modelos hidrológicos, sedimentológicos e de poluentes de origem difusa (SOBRINHO et al., 2010).

Quanto ao levantamento da Topografia e a delimitação de bacias hidrográficas em um SIG, o SIG ArcGIS apresenta complementos aplicáveis tais processos. Nesse sentido, o ArcGIS inclui ferramentas que permitem gerar MDEs por imagens de Sensoriamento Remoto ou gerados por interpolação de dados de hidrografia e Topografia oriundos de levantamentos aerofotogramétricos (LANA et al., 2011), que podem ser utilizados para delimitar bacias hidrográficas (DIAS et al., 2004).

Nemirovsky et al. (2017) utilizaram ferramentas do ArcGIS para avaliar a acurácia vertical e horizontal de MDEs SRTM PLUS, ALOS WORLD 3D e ASTER GDEM 2, e indicaram que esses modelos podem ser utilizados para estudos na escala de 1:100.000, com destaque para o SRTM Plus e o Alos World 3D.

Para ajustar o MDE com as linhas de drenagem de referência a partir da marcação da rede de drenagem no MDE, Zanetti et al. (2022) aplicaram o algoritmo AGREE presente em ferramenta de hidrologia do ArcGIS (“stream burn”), gerando assim um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), seguido de ferramentas do complemento ArcHydro Tools para delimitar bacias hidrográficas.

Integrando as inovações em estimativa da topografia e na delimitação de bacias hidrográficas, Hyslop e Galdino (2021) geraram um MDEHC na ferramenta Topo to Raster do ArcGIS com dados de pontos cotados, curvas de nível e hidrografia obtidos a partir de cartas topográficas; seguido de aprofundamento da drenagem com aplicação de ferramentas do Arc Hydro Tools, que também foi utilizado para delimitar uma bacia hidrográfica na Amazônia. Goularte e Marcuzzo (2022) realizaram a transformação de imagens SRTM em MDEHC pela aplicação do algoritmo AGREE e executaram diversos processos no ArcHydro Tools do ArcGIS, para delimitar bacias hidrográficas, tendo resultados classificados como padrão classe A (para escala 1:100.000), conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica – Altimétrica definido nas Normas Técnicas da Cartografia Nacional (BRASIL, 1984).

Faria, Nunes e Botelho (2023) compararam três métodos diferentes de delimitação automática de bacias hidrográficas na Mata Atlântica, Amazônia e no Pantanal. Os autores utilizaram imagens do projeto TOPODATA nos SIGs ArcGIS, QGIS e TerraView, e indicaram limitações em processos automatizados, que devem ser reconhecidas e tratadas para evitar impactos nas consequentes tomadas de decisões a partir das informações geradas.

Entre os principais parâmetros calculados no procedimento de delimitação automática de bacias hidrográficas por SIG, a direção do fluxo considera as relações hidrológicas entre pontos localizados em uma bacia hidrográfica que, segundo Rennó et al. (2008), não são as mesmas que aquelas baseadas em distância Euclidiana. Os autores reforçam que para que

ocorra uma drenagem funcional é necessário que haja continuidade topológica. A estimativa da direção de fluxo de água na rede de drenagem pode ser realizada pela função “flow direction”, que gera uma grade regular definindo as direções de fluxo, tomando-se por base a linha de maior declividade do terreno. A nova grade numérica gerada determina a direção de maior declividade de um “pixel” em relação a seus oito “pixels” vizinhos. Assim, ocorre a descrição numérica da direção que a água irá percorrer após atingir cada “pixel”, que pode ser representada graficamente por meio da aplicação do código de direção.

O fluxo acumulado é um parâmetro que indica o grau de confluência do escoamento e pode ser associado ao fator comprimento de rampa aplicado em duas dimensões. O fluxo acumulado, também denominado área de captação, apresenta obtenção complexa, manual ou computacional, uma vez que reúne, além de características do comprimento de rampa – conexão com divisores de água a montante –, também a curvatura horizontal – confluência e divergência das linhas de fluxo (VALERIANO, 2008).

A partir da grade regular gerada, conforme descrito na etapa anterior, o fluxo acumulado é obtido pela função “flow accumulation”. De acordo com Mendes e Cirilo (2001), o fluxo acumulado representa a rede hidrográfica, sendo possível montar nova grade contendo os valores de acúmulo de água em cada “pixel”. Desse modo, cada “pixel” recebe um valor correspondente ao número de “pixels” que contribuem para que a água chegue até ele. A partir da direção de fluxo, o fluxo acumulado é obtido somando-se a área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (ou escoamento).

O delineamento de microbacias é favorecido, significativamente, pelo processo denominado por Valeriano (op. cit.) de sobreposição de fatiamentos criteriosos da curvatura horizontal (para realce da drenagem e divisores de água) a classes de orientação de vertentes. As feições de drenagem e divisores de água, convertidas em vetores, são alvos de análises clássicas do terreno em que se busca a delimitação de zonas homólogas para fins de mapeamento geológico, geomorfológico e pedológico. A delimitação das bacias é realizada processando os mapas de direção de fluxo e fluxo acumulado na função “Watershed”. O valor da área de cada bacia hidrográfica gerada corresponde à quantidade de células que são processadas. Como cada célula do MNT obtido do SRTM possui “pixels” de 90 m, a área de cada “pixel” é equivalente a 8.100 m². Desse modo, realiza-se a definição do valor de células, testando até obter a que melhor corresponde à área de estudo. Quanto menores os valores de célula definidos, maior o número de microbacias que é criado, sendo que Valeriano (op. cit.) o definiu como 45.000 células. Assim, foram processadas bacias de até 364.500.000 m², equivalente a 36.450 ha. Depois de processar as informações na função “Watershed”,

delimitaram-se as bacias, que, posteriormente, foram convertidas para o formato vetorial, na função “Raster to Features” da extensão “Spatial Analyst”. Após a delimitação das bacias hidrográficas, Valeriano (2008) utilizou o comando “Stream Network” para delimitação da rede hidrográfica, tendo como camadas de entrada os resultados da direção de fluxo e do fluxo acumulado, e adotando o valor 500 como o número mínimo de células para geração de fluxo.

Segundo Argento e Cruz (1996) o entorno de uma bacia hidrográfica pode ser delimitado a partir das linhas divisoras de água, que são definidas pela ligação dos pontos mais elevados ao redor dos cursos d’água identificados em cartas planialtimétricas. Para de reproduzir com maior exatidão o caminho preferencial do escoamento da água superficial encontrado na realidade, Chaves (2002) indica que a delimitação de bacias hidrográficas deve ser realizada a partir do processamento de imagem de Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Esse modelo aprimorado tem como base científica a proposição de Hutchinson (1989) de adicionar a rede de drenagem, gerada a partir de bases cartográficas, na construção de um MDE, a fim de aumentar a concordância da drenagem extraída desses modelos com as áreas indicadas com menor altitude, construindo um modelo de relevo com células indicando maior profundidade onde ocorre a hidrografia, pela qual o escoamento deve ocorrer (CHAVES, op. cit.). Dessa maneira, Ribeiro e Ferreira (2014) e Saito et al. (2012) indicaram que os MDEHCs aprimoram os MDEs por considerarem a rede hidrográfica na estimativa do relevo, sendo indicados como soluções para estudos de bacias hidrográficas.

A partir do MDE ou MDEHC é possível extrair planos de informação de variáveis topográficas em um SIG, tais como de declividade e orientação de encostas, que são gerados por derivação da vizinhança de cada célula (VALENZUELA, 1991), uma das técnicas aplicadas a partir de ferramentas presentes nos SIGs mais utilizados (VALERIANO, 2002).

2.3 Geração de cenários de suscetibilidade e fragilidade ambiental

Os estudos de suscetibilidade e fragilidade ambiental são geralmente elaborados para avaliar condições de um instante ou período. A comparação entre estimativas de diferentes instantes para uma mesma área permite identificar possíveis tendências e estimar cenários

futuros prováveis, servindo como base para a implementação de práticas e políticas públicas de mitigação de impactos ambientais, da suscetibilidade e da fragilidade ambiental.

Enquanto os mapas são modelos de estimativa da realidade para um tema em um determinado momento e para uma localização, os cenários indicam futuros plausíveis, que podem acontecer ou não, e que podem considerar não somente fatores biofísicos, mas sociais e panoramas políticos, como programas de governo nos diversos níveis. São formados mapas temáticos, chamados cenas ambientais que, comparados e projetados para o futuro de acordo com forças motrizes de mudança da paisagem, tendem a direcionar potenciais modificações no tema (BESER DE DEUS, 2013).

As cenas ambientais de um momento ou média de um período do passado podem ser elaboradas por Processamento Digital de Imagens (PDI) a partir de imagens de SR ou por Cartografia. Já em relação ao futuro, os cenários são gerados a partir da aplicação de algoritmos sobre planos de informação de entrada (inputs), como na análise de possibilidade de mudanças de classes por Cadeias de Markov (CLARK, 1965) ou por estimativas com grande quantidade de variáveis, e aplicação de testes por RNA. Tanto as cenas do passado quanto do futuro devem considerar a história ambiental na elaboração de cenários ambientais completos.

O preparo das variáveis para gerar cenas ambientais de cada tema deve definir se o parâmetro seguirá um modelo preditivo gradual, em que varia de 0 a 1 de acordo com a proximidade de um objeto (ex.: via), sendo chamado modelo *fuzzy*. Já no modelo booleano, são atribuídos valores lógicos de 0 para inexistência do objeto e 1 para sua presença, como por exemplo uma área protegida (BESER DE DEUS, op. cit.).

Segundo Beser de Deus (op. cit.), os cenários ambientais propriamente ditos são aqueles que consideram tanto os fatores dos temas analisados quanto as forças motrizes de mudança da paisagem. Podem ser exclusivamente narrativos (storylines), em que as comparações e projeção são realizadas a partir de um contexto descrito a partir da história ambiental da área de estudo; ou gerados em modelos de simulação (passado) ou de projeção (futuro) com cálculos matemáticos a partir de números, gráficos ou mapas de cenas ambientais, acrescidos das condições e descrições qualitativas. Já os cenários tendenciais, ou projeções, extrapolam o passado para o futuro somente a partir da diferença de um determinado tema entre dois momentos. O modelo Story and Simulation engloba tanto a análise quantitativa em modelos quanto a qualitativa em narrativas, com aplicação de forças motrizes de mudança da paisagem, sendo indicado para orientar tomadas de decisão e elaborar estudos de Zoneamento Ecológico-Econômico.

Segundo Beser de Deus (2013), os cenários ambientais podem ser considerados ideais quando as forças motrizes são de estímulo à conservação ambiental, como no respeito da sociedade em geral ao Código Florestal (BRASIL, 2012b). Os cenários possíveis são de equilíbrio entre o ideal e o oposto, como no respeito em partes à legislação ambiental. Já os cenários utópicos podem ser gerados para estimar futuros alternativos. As áreas onde não se espera por alterações podem formar vetores de máscara para que não sejam avaliadas mudanças de classes nestas áreas.

A geração de cenários ambientais especializados em um SIG permite estimar possíveis futuros com alocação espacial, ou seja, indicando onde deverão ocorrer. Compara-se cenas de um instante ou período inicial (t_1) e de outro instante ou período (t_2) para estimar a ocorrência destes fatores em um futuro (t_3). Esta metodologia permite comparar temas entre dois momentos pretéritos para estimar o momento presente para validar o método utilizado (BESER DE DEUS, op. cit.).

Os prazos de tempo para elaboração de cenários consideram como curto para diferenças entre t_2 e t_3 de até 5 anos, médio entre 5 e 10 anos, longo entre 10 e 25 anos e pós-ficcionais ou utópicos quando os cenários são estimados para mais de 25 anos da última cena ambiental. Para os estudos de curto prazo são indicados modelos matemáticos, enquanto para os demais de longo prazo são indicadas as narrativas (BESER DE DEUS, op. cit.).

A definição dos instantes t_1 e t_2 podem estar relacionadas à eventos dos fenômenos analisados e disponibilidade de dados com projeção para um período futuro t_3 , esse definido de acordo com metas de desenvolvimento sustentável, como o ano de 2030, que representa as metas dos ODS pós-2015 (ONU, 2022).

Quanto às ferramentas de geração de cenários ambientais em SIG há complementos para os *softwares* mais utilizados, como o *Land Change Modeler* (LCM) que utiliza Cadeias de Markov e NRA nos ambientes do SIG IDRISI (EASTMAN, 2012), que posteriormente foi chamado de TerrSet, da empresa Clark Labs, e no ArcGIS da empresa Esri (CLARK LABS, 2023).

No LCM é possível gerar diversos produtos de comparação, projeção e previsão, por meio de ferramentas divididas em 5 ambientes: análise de mudanças, com mapa de mudanças, gráficos de perdas e ganhos em quilômetros (km) e porcentagem (%) e análise de tendência cúbica, que indica para onde as mudanças tendem a ocorrer; potencial de transição, como as NRA, distribuindo valores de Markov no espaço para identificar quais variáveis explicam a transição; predição de mudanças, como a tabela de Markov de mudanças de classes, o mapa de futuro determinístico e o mapa de futuro estocástico; implicações, que podem gerar

cenários alternativos; e planejamento, em relação a instrumentos de zoneamento. O LCM permite estimar a associação entre duas variáveis qualitativas nominais, quando não há uma ordem natural entre suas categorias (ex.: cor dos olhos), pelo coeficiente de contingência V de Cramér (1946), sendo 0 para baixa associação e 1 para alta, de modo que quanto mais próximo de 1 no LCM as variáveis apresentam maior influência sobre a transição analisada.

Além do LCM, o IDRISI/TerrSet também conta com a ferramenta CA_Markov que integra funções das Cadeias de Markov com os Autômatos Celulares. Enquanto o LCM considera as várias mudanças de classes ao mesmo tempo, o CA_Markov demanda um procedimento para cada transição de uma classe para outra.

Nas versões de acesso livre e gratuito, chamadas open-source, Soares Filho, Cerqueira e Pennachin (2002) desenvolveram o *software* Dinamica EGO para geração de cenários com SR utilizando cadeias de Markov e Autômatos Celulares, que realizam a comparação das cenas e a geração de cenários a nível de pixels.

Abdalla, Oliveira e Volotão (2015) compararam classificações de UCT de um fragmento florestal em unidade de conservação no município de Silva Jardim, geradas com imagens de alta resolução espectral (de 0,5 m e 0,63 m) de 1999 e 2005 nos softwares ArcGIS 10.0 e Definiens 7.0. Reamostraram os pixels para 10 m para coincidir com os arquivos de menor resolução espacial. As comparações e as projeções futuras foram estimadas no Dinamica EGO com modelagem por autômatos celulares.

Neves et al. (2019) compararam os usos e coberturas do solo do município de Duque de Caxias, na Mesorregião Metropolitana do Rio de Janeiro (MMRJ), classificados no Google Earth Engine a partir de imagens Landsat 5 e 8 de 2007 e 2016. Geraram probabilidades de cada classe se tornar outra em 2026 com matriz de transição de Markov através da ferramenta LCM no IDRISI Selva 17.0. Indicaram que a expansão urbana sobre áreas de vegetação ocorreu no sentido para áreas suscetíveis a inundação.

Passos et al. (2020) compararam as classificações de UCT geradas a partir de imagens Landsat 5 de 1984 Landsat 8 e 2014 para o município de Mangaratiba, na MMRJ. Geraram projeção para 2034 com o uso de Cadeias de Markov do LCM no IDRISI Selva 17.0, que indicou maior probabilidade de transição de área rural e solo exposto para área urbana.

Já Weckmüller e Vicens (2019) compararam UCT a partir de séries temporais de imagens Landsat 5 e 8 entre 1984 e 2016 para o Estado do Rio de Janeiro. Utilizaram o algoritmo LandTrendr no programa Google Earth Engine e observaram transição de 58.969 ha de florestas para perdas florestais em 64% e para regenerações em 36% desta área. Indicaram que a Região Turística dos Lagos, com limites diferentes da Microrregião dos Lagos,

apresentara tendências de recuperação florestal, enquanto as regiões no interior do estado tendem a sofrer com degradação florestal, e encontraram maior estabilidade entre perda e ganho florestal no litoral.

Para uma área de parque nacional no nordeste do Iraque, Hamad, Balzter e Kolo (2018) compararam os UCT de 1993, 1998, 2003, 2008 e 2017, classificados com imagens Landsat 5 e 8. Geraram projeções de UCT analisando tendências potenciais para 2023 com aplicação de autômatos celulares e Cadeias de Markov no programa TerrSet.

Para capital da Etiópia, Mohamed e Worku (2020) compararam os UCT de 2005, 2011 e 2015, classificados com imagens Landsat 5, 7 e 8 e amostras das classes levantadas com GPS em campo e imagem de alta resolução espacial. As comparações entre classes e as projeções para 2025 e 2035 consideraram fatores direcionadores para aplicação das Cadeias de Markov.

Desenvolvendo análise com dados climáticos e produtos orbitais, Gois (2017) indicou que a avaliação de catástrofes naturais no Estado do Rio de Janeiro pode ser realizada com testes estatísticos, paramétricos e não-paramétricos, Cadeias de Markov e análise multivariada.

2.4 Práticas ecológicas e sustentáveis de mitigação de suscetibilidades a deslizamento de encosta e inundação e da fragilidade ambiental

As soluções de mitigação de vulnerabilidades ambientais devem seguir no sentido de estimular a capacidade de um ambiente ou sociedade de se recuperar para uma condição melhor do que a encontrada antes de um desastre ambiental. Isso porque as condições pré-existent apresentavam, em si, graus de vulnerabilidade não recomendados para evitar desastres futuros, sobretudo para os grupos sociais com menores condições de enfrentar e se recuperar de desastres ambientais (MENDONÇA, 2011). O mesmo pode ser relacionado à suscetibilidade e à fragilidade ambiental, visto que são influenciados por ações humanas, sobretudo quanto às formas de uso e ocupação do solo, expressas em classes de UCT por classificação de imagens de Sensoriamento Remoto.

Enquanto a recuperação ambiental busca atingir uma condição estável em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança, buscando recuperar o solo e a paisagem; a reabilitação de processos funcionais tem como objetivo

retornar ao estado biológico apropriado de uma área, resultando em maior lucro de produção ou em maior recreação ou valorização estético-ecológica; já a restauração demanda o retorno do estado ambiental da área anterior à degradação em todos os aspectos bióticos, físicos e químicos, sendo praticamente intangível (BEZERRA, 2011; COSTA et al., 2005).

Mendonça (2011) revisou conceitos de vulnerabilidades ambientais a efeitos do clima urbano, indicando a resiliência como termo adequado para a busca da implementação de práticas de mitigação e planejamento territorial. O autor reforçou que é necessária análise da origem dos problemas estudados para compreender as questões atuais, que podem ser projetados para o futuro através da geração de cenários, entendendo as alterações na superfície da terra ocorrem de forma dinâmica. Ainda, que além das características geográficas, deve-se levar em conta as potencialidades naturais e econômicas das áreas de análise, como em relação aos planos diretores municipais, e as condições de exposição e de fragilidade de grupos sociais aos perigos ambientais. Apesar deste estudo não abordar vulnerabilidade nem mesmo o clima urbano, Mendonça (op. cit.) reforça a importância dos diagnósticos e da estimativa da fragilidade ambiental.

Dentre as técnicas mais comuns de recuperação ou reabilitação ambiental de feições erosivas, Guerra e Jorge (2013) indicaram o plantio de muda de árvores, como as leguminosas, que demanda um tratamento prévio do solo com micro-organismos, porém cresce rapidamente e permite maior fixação de nitrogênio quando comparado ao plantio de mudas nativas. As leguminosas podem ser acompanhadas de frutas, palmito, café e outras plantas com potencial de consumo.

O plantio de espécies nativas nas margens dos cursos e corpos d'água que se mantêm ou que secaram auxiliam na recuperação ou reabilitação ambiental das drenagens e de feições erosivas presentes. Também deve-se evitar a chegada de novos sedimentos, que aumentariam a ocorrência de processos erosivos e poderiam causar o assoreamento de corpos e cursos d'água (GUERRA; JORGE, op. cit.).

Desastres decorrentes de inundações e movimentos de massa gravitacionais não são naturais, mas resultantes de políticas públicas ineficientes em conservação de áreas naturais. A Educação em todas as etapas de ensino é sugerida como uma das principais forças na redução de ocorrências e efeitos desses eventos e na resiliência quando ocorrem (FILHO; AIRES; JUNIOR, 2020; RIBEIRO; VILELA, 2018; SULAIMAN, 2018).

Considerando potenciais mudanças no clima global, que devem alterar condições de vida, suscetibilidades, fragilidades e vulnerabilidades no Estado do Rio de Janeiro, o Inea (2022a) apresentou que as Soluções baseadas na Natureza (SbN) podem ser desenvolvidas

como modo de adaptação e mitigação a eventos climáticos extremos, que poderão ser cada vez mais frequentes, como no caso de enchentes e inundações. A proposta de recuperação florestal para o Estado do Rio de Janeiro busca atenuar impactos da ocorrência desses eventos, que deverão ser cada vez mais frequentes. As SbN aparecem como soluções com benefícios ambientais, econômicos e sociais, com proteção e recuperação de ecossistemas, provisão de serviços ecossistêmicos e recuperação de áreas abandonadas ou degradadas.

Em 2003, o Governo Federal Brasileiro iniciou um programa de incentivo à elaboração de Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRRs), tendo como estimulador o cenário de desastres associados a deslizamentos e inundações no país (MENDONÇA, GREGORIO e ALFRADIQUE, 2023). Esses planos podem auxiliar na redução de ocorrências e danos por desastres naturais, assim como dar suporte às ações pós-eventos climáticos extremos, definindo um planejamento de redução dos fatores que aumentam a probabilidade de ocorrência e os danos desses eventos, assim como as ações que devem ser tomadas quando há previsão e danos após eventos climáticos extremos (EBC, 2023). O “Guia para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Riscos: apontamentos técnicos para inovações metodológicas”, elaborado pelo Ministério das Cidades, foi entregue a representantes de 17 universidades responsáveis pela elaboração dos PMRRs de 20 municípios, com previsão de início dos trabalhos em fevereiro de 2024 (EBC, op. cit.).

Alguns planos de redução de riscos têm sido elaborados para bacias hidrográficas específicas, como o Plano Integrado de Prevenção e Mitigação de Riscos de Desastres Naturais na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, que compreende áreas em 14 municípios catarinenses. Esse plano integrado tem diversos projetos, incluindo aerolevantamentos, elaboração de cartografia digital em escala de detalhes (1:10.000 para toda a bacia e escala 1:2.000 nas áreas urbanas e nas áreas de maior potencial de risco), mapeamento dos temas considerados na avaliação do risco e o mapeamento de equipamentos sociais, como abrigos, e serviços públicos e privados relevantes em situações de desastres naturais, incluindo estradas vicinais/carreadores, fontes naturais e alternativas de águas potáveis (GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2009).

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão Isidoro, localizada na porção Norte do município de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, deverá receber um Programa de Redução de Riscos de Inundações e Melhorias Urbanas. A prefeitura de Belo Horizonte está realizando a captação de recursos para a implementação do programa voltado para essa bacia hidrográfica, prevista para ocorrer entre até 2027 (PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 2023).

Mendonça, Gregorio e Alfradique (2023) analisaram 33 PMRRs disponibilizados no site do Ministério do Desenvolvimento Regional. Indicaram que a maioria dos planos considera principalmente os processos físicos das ameaças (susceptibilidades), em detrimento dos aspectos sociais (vulnerabilidades), além de não citar ações que reduzam riscos, ou quando citadas, aparecem pouco detalhadas e não têm seus custos de implementação estimados. Também destacaram a baixa utilização do inventário de ocorrências de deslizamentos e inundações nesses planos, a baixa participação da população no processo de construção dos planos e a importância da integração dos PMRRs com outros instrumentos de planejamento, como “Carta Geotécnica de Aptidão à Urbanização, Plano de Contingências / Plano de Operações de Resposta, Plano de Recuperação Pré/Pós-Desastre, Plano Diretor, Plano de Desenvolvimento Integrado da Metrópole (se for o caso), dentre outros”. (MENDONÇA; GREGORIO; ALFRADIQUE, op. cit., p. 22).

A integração de um PMRR com outros planos territoriais foi avaliada por Fonseca e Kobiyama (2022) para o município de Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina, que indicaram o Plano Municipal de Contingência, o Plano Diretor e o Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico como instrumentos potenciais a serem integrados ao PMRR para gestão eficiente sobre risco de desastres hidrológicos, que pode ser aplicado em estudos de bacias hidrográficas que estejam localizadas integralmente em um município.

O município de Nova Friburgo, da Microrregião Serrana do Estado do Rio de Janeiro, deverá receber o Projeto Cidades Presente a partir da parceria entre o Ministério das Cidades e o Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento da Alemanha. Voltado para o enfrentamento aos desafios climáticos e ao impulsionamento do desenvolvimento urbano sustentável, o projeto será executado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano Sustentável de Nova Friburgo, aplicado para o distrito de Riograndina, que foi escolhido pelo município devido à grande desigualdade social na localidade e por apresentar intenso potencial de risco de desastres. Esse projeto prevê estudos e ações voltadas à redução de riscos e desastres, assim como fornecer subsídios técnicos para a adoção de medidas de prevenção e mitigação do risco de desastres no processo de ocupação de novas áreas da localidade e de regularização das ocupações já existentes, considerando a população como um dos principais agentes de transformação local (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2023).

Como tema indicado para educação ambiental no sentido de conscientização sobre desastres ambientais em bacias hidrográficas, Kobiyama et al. (2020) indicaram o conceito de bacia-escola como uma abordagem socio-hidrológica voltada para a redução do risco de

desastres ambientais. Esse conceito considera a integração de fatores ambientais (físicos) e humanos e sociais para debater acerca da população afetada e prejuízo econômico por desastres naturais. Inclui temas como ciclo, processos e balanço socio-hidrológicos, assim como sobre desastres naturais aplicáveis a bacias hidrográficas e limites político-administrativos, como municípios, Estados, país e continente.

Em Saquarema não foi publicado um plano voltado para desastres naturais, porém Ações da Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil de Saquarema, parte da Secretaria Municipal de Segurança e Ordem Pública, têm buscado mapear áreas suscetíveis e vulneráveis a deslizamentos e inundações nos bairros do município, assim como alertar a população sobre percepção de riscos e vistorias de emergência (O DIA, 2023a). Esse projeto é intitulado “Defesa Civil no Seu Bairro”, teve início em novembro de 2021, que teve Sampaio Correia como primeiro destino, e visitou o bairro Mato Grosso em dezembro de 2021 (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2021c). Em maio de 2022 foi realizado o 1º Congresso em Proteção e Defesa Civil Municipal de Saquarema, reforçando a importância da gestão de desastres naturais pela Prefeitura de Saquarema (2022a).

3 ÁREA DE ESTUDO

A expansão urbana da Mesorregião Metropolitana do Rio de Janeiro (MMRJ) de 1980 a 2010 levou ao crescimento populacional em outras regiões do Estado. Essa interiorização do crescimento teve como destaque os municípios de Saquarema, na Mesorregião das Baixadas Litorâneas, e Quissamã, na Mesorregião do Norte Fluminense (SOUZA; FRUTUOZO, 2018). No caso de Saquarema e Araruama, os autores indicaram como fatores do crescimento populacional o extravasamento do crescimento populacional da MMRJ para áreas interioranas contíguas, a vocação turística e os impactos da indústria petrolífera.

O município de Saquarema, onde está inserido o recorte espacial do presente estudo, está a leste de Maricá, o qual foi reintegrado à MMRJ (ALERJ, 2009), com área total de 352,5 km² (IBGE, 2018b). Esses municípios têm apresentado aumento populacional nas últimas décadas (SOUZA; FRUTUOZO, op. cit.), com expansão urbana no sentido de fragmentos da Mata Atlântica, como nas encostas de morros e no entorno dos corpos hídricos (FIGUEIRA, 2009).

Entre os cursos d'água de Maricá e Saquarema avaliadas por Toledo et al. (2021), os Rios Roncador, Seco e Tinguí apresentaram os melhores índices de qualidade de água entre 2014 e 2017. Segundo os autores, o sistema de saneamento de Maricá não é adequado para manter uma boa qualidade da água no sistema lagunar, enquanto Saquarema conta com três estações de tratamento de esgoto e coleta de 100% do esgoto somente nas áreas urbanas.

O Rio Roncador tem origem em nascente localizada na Serra de Mato Grosso e sua foz e do Rio Mato Grosso ocorrem na Lagoa de Urussanga ou Mombaça, componente mais a oeste da Lagoa de Saquarema. É fonte hídrica para o crescente bairro de Jaconé, este localizado a jusante e na foz do Rio Roncador e no entorno da Lagoa de Jaconé (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2020a).

A montante dos contribuintes da Lagoa de Saquarema, na Serra do Mato Grosso, encontra-se a divisa entre Maricá e Saquarema, onde o desmatamento realizado principalmente para o desenvolvimento da pecuária e outras alterações na cobertura da terra têm levado ao aumento de processos erosivos nas encostas, resultando em voçorocas, erosão laminar, erosão linear e movimentos de massa em trechos de maior declividade (FERNANDES, 2021; FIGUEIRA, op. cit.; FRIAS, 2011; ROSAS et al., 2003). Os movimentos de massa que ocorrem na Serra do Mato Grosso carregam sedimentos para as

áreas de baixada, próximas do sistema lagunar, podendo causar assoreamento dos cursos e corpos d'água (FIGUEIRA, 2009).

O aumento na ocupação humana próxima às lagoas em Maricá e Saquarema tem agravado a pressão ambiental sobre a bacia hidrográfica (TOLEDO et al., 2021). Considerando a importância da definição de área de estudo em Geografia a partir da unidade territorial de bacia hidrográfica, principalmente em relação ao tema de análise – suscetibilidades de deslizamento de encosta e inundação, e práticas sustentáveis – o recorte espacial de microbacia hidrográfica pretende aproximar a escala de análise para envolver questões, população e instituições locais na identificação de riscos de deslizamentos e inundações e propor ações de mitigação.

A microbacia de estudo foi definida a partir consultas a estudos acadêmicos – artigos científicos e teses nacionais e internacionais –, relatórios técnicos e legislação ambiental aplicável a expansão urbana e ocorrência de deslizamentos de encostas e inundações na Mesorregião das Baixadas Litorâneas, no Estado do Rio de Janeiro, complementada pelo conhecimento empírico sobre a área.

Neste item será apresentada a delimitação da área de estudo, seus aspectos físicos, e áreas mais suscetíveis a deslizamento de encosta e inundação.

3.1 Localização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica da Lagoa de Saquarema, Jacaré e Jacarepiá faz parte da Sub-bacia Hidrográfica dos Lagos São João, localizada na Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste, com destaque para os rios Roncador, Bonito, São João e Una quanto ao abastecimento hídrico (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2020a). Tem área total de 288 km², que compreende 19 microbacias, sendo 10 que formam o sistema hidrográfico da Lagoa de Saquarema. Faz limite a oeste com a bacia hidrográfica da Lagoa de Maricá, ao norte com as bacias hidrográficas da Baía de Guanabara e do Rio São João, e a leste com a bacia hidrográfica da Lagoa de Araruama. É formada por quatro sistemas hidrográficos: da Lagoa de Saquarema; da Lagoa de Jacarepiá, formada pela Lagoa de Jacarepiá e sua área de drenagem; da Lagoa de Jacaré, formado pela Lagoa de Jacaré, pelo rio Grande de Jacaré, pela Ponta Negra e pela Praia de Jacaré; e o Litorâneo, formado pelas praias de Jacaré, da Vila e de Itaúna (INEA, 2019).

A Lagoa de Saquarema é formada pelo complexo de quatro lagoas interligadas: de Saquarema (ou de Fora) com 6,0 km²; do Boqueirão (0,9 km²); do Jardim (3,4 km²) e de Mombaça (ou Urussanga) com 13,7 km² (INEA, 2019).

A ANA, instituição reguladora que tem como objetivo estabelecer a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), apresenta limites de bacias hidrográficas otocodificadas de até nível 7 (ANA, 2017), sendo este maior detalhe que abrange a área de estudo, mas não corresponde à topografia local. Além disso, a delimitação da Microbacia do Rio Mato Grosso proposta pela ANA inclui áreas localizadas em Maricá e outras no distrito de Sampaio Correia (Mapa 1), antes conhecido como Mato Grosso (HERCULANO, 2017).

Apesar do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) disponibilizar dados de bacias hidrográficas com escala de 1:50.000 para todo o Estado do Rio de Janeiro, não contempla a escala de microbacias, sendo a área deste estudo parte das Bacias Contribuintes ao Complexo Lagunar de Saquarema (INEA, op. cit.).

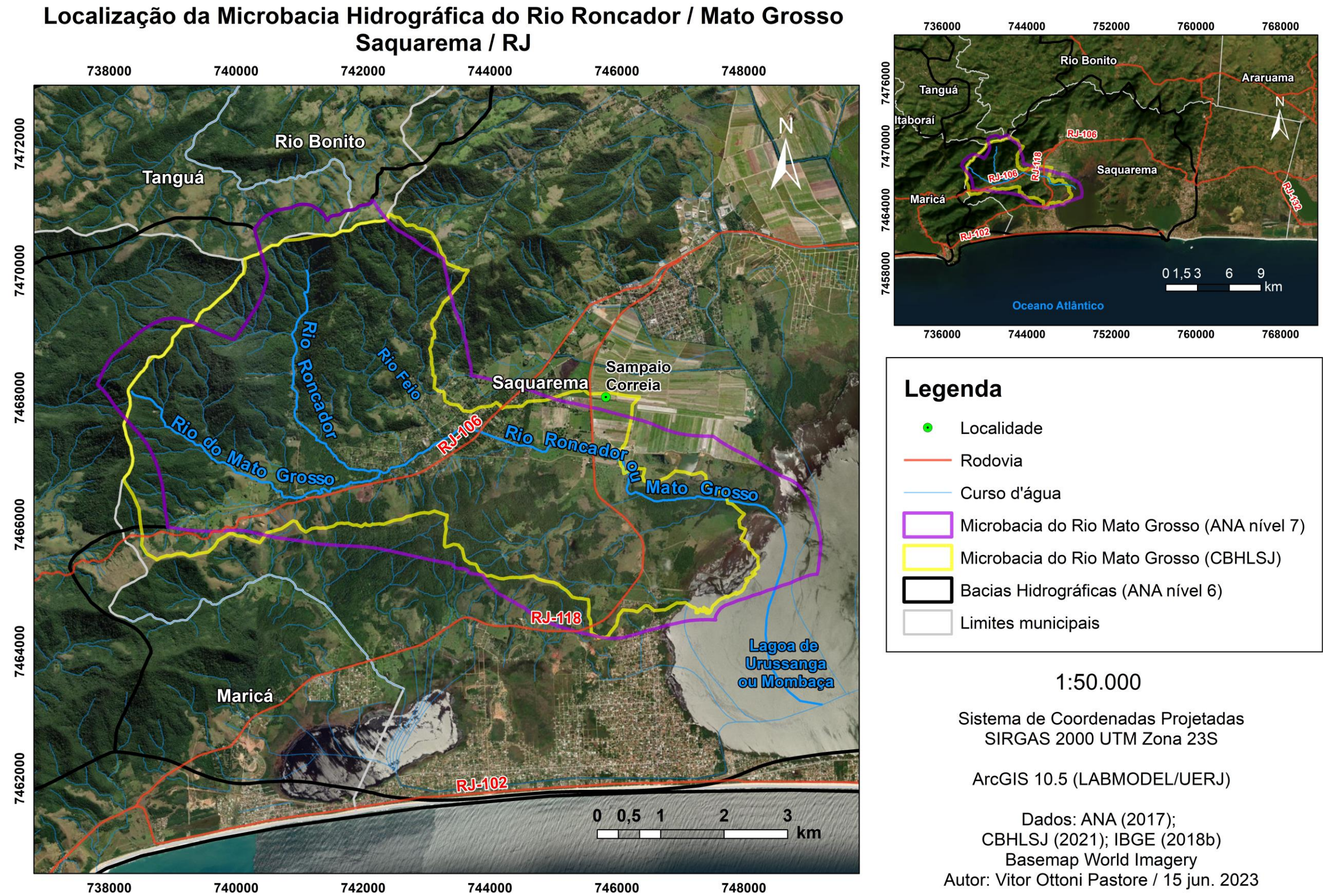
Ainda, há possibilidade de delimitação de bacias hidrográficas a partir de um MDEHC como alternativa na ausência de dados oficiais, assim como na atualização delas e na comparação com os limites da Microbacia do Rio Mato Grosso propostos pelo Comitê da Bacia Hidrográfica Lagos São João (CBHLSJ, 2021). O CBHLSJ é composto por diferentes usuários dos recursos hídricos e atores ambientais envolvidos.

Assim, a área de estudo foi definida como os limites da Microbacia Hidrográfica do Rio Mato Grosso ou Roncador (Microbacia do Rio Mato Grosso) propostos pelo CBHLSJ (op. cit.), que compreende área total de 32,6 km², integralmente localizada no município de Saquarema, na Microrregião dos Lagos, Mesorregião das Baixadas Litorâneas do Estado do Rio de Janeiro, o que permitiria uma gestão mais eficiente e não totalmente dependente de relações políticas entre gestões municipais vizinhas.

A diferença entre as proposições de limites da microbacia de estudo pela ANA e pelo CBHLSJ pode ser visualizada na Figura 3.

A Microbacia do Rio Mato Grosso pertence à Bacia Hidrográfica da Lagoa de Saquarema, Jaconé e Jacarépia (INEA, op. cit.), gerida pelo Comitê das Bacias Hidrográficas das Lagoas de Araruama e Saquarema e dos Rios São João e Una, sendo o Plano da Bacia Hidrográfica da Região dos Lagos e do Rio São João elaborado em 2005 (BIDEGAIN; PEREIRA, 2005), com Termo de Referência para a revisão e complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Lagos São João aberto em 09 de junho de 2022 (CILSJ, 2022).

Figura 3 – Mapa de localização da Microbacia do Rio Mato Grosso, município de Saquarema (RJ)



Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

3.2 Geomorfologia, Geologia e Pedologia

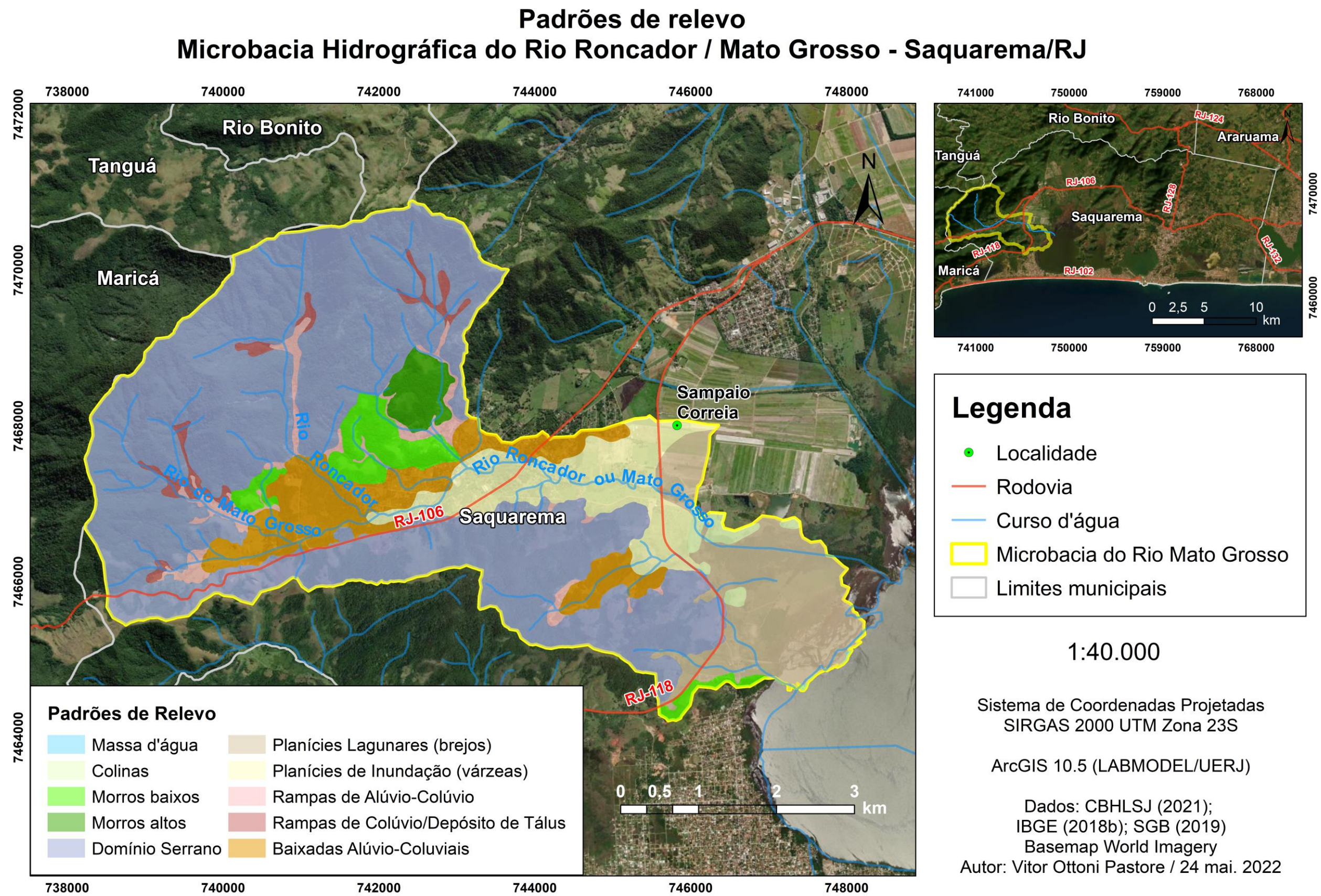
A Microbacia do Rio Mato Grosso compreende área com elevações que fazem parte dos Maciços da Região dos Lagos, conhecida como Serra do Mato Grosso. Além desse domínio morfoestrutural, compreende área em Planícies Fluviomarinhas das Baixadas da Região dos Lagos (DANTAS, 2001), essas sujeitas a inundações principalmente no entorno da Lagoa de Saquarema (FIGUEIRA, 2009).

No alto curso da Microbacia do Rio Mato Grosso é encontrado substrato geológico de idade Pré-Cambriana, com vales encaixados, vertentes íngremes e áreas degradadas pela agropecuária, representadas por voçorocas e ocorrências de movimentos de massa na proximidade das estradas (FIGUEIRA, op. cit.). As áreas mais próximas da Lagoa de Saquarema estão em uma baixada formada por sedimentos fluviais e fluviomarinhas de idade quaternária sobre um material proveniente de um período de maior nível do mar (FIGUEIRA, op. cit.).

No substrato datado do Pré-cambriano são encontradas colinas de topo convexo, onde ocorrem pastagens e erosão laminar; encostas de média declividade, com ou sem cursos d'água, cobertas por capoeiras, pastagens e/ou culturas, sendo nas últimas identificadas feições decorrentes de erosão laminar e em sulcos; e encostas com alta declividade, cobertas por florestas e capoeiras, com algumas áreas de pastagem, onde ocorreram movimentos de massa e voçorocas (ROSAS et al., 2003).

Entre os padrões de relevo encontrados na Microbacia do Rio Mato Grosso, o domínio serrano é o mais representativo, correspondendo a 57,8% da área total da microbacia (SGB, 2019). Também são frequentes as áreas de planícies lagunares ou brejos (11,7%), principalmente a jusante do Rio Roncador / Mato Grosso e no entorno do complexo lagunar de Saquarema; assim como as baixadas alúvio-colúvies (9,6%), que ocorrem nas áreas mais baixas e próximas dos Rios Roncador e Mato Grosso e das rodovias; e as planícies de inundação ou várzeas (9,1%), essas concentradas no encontro dos Rios Roncador e Mato Grosso, próximas à sede do distrito e aos brejos (Figura 4).

Figura 4 – Mapa de padrões de relevo na Microbacia do Rio Mato Grosso



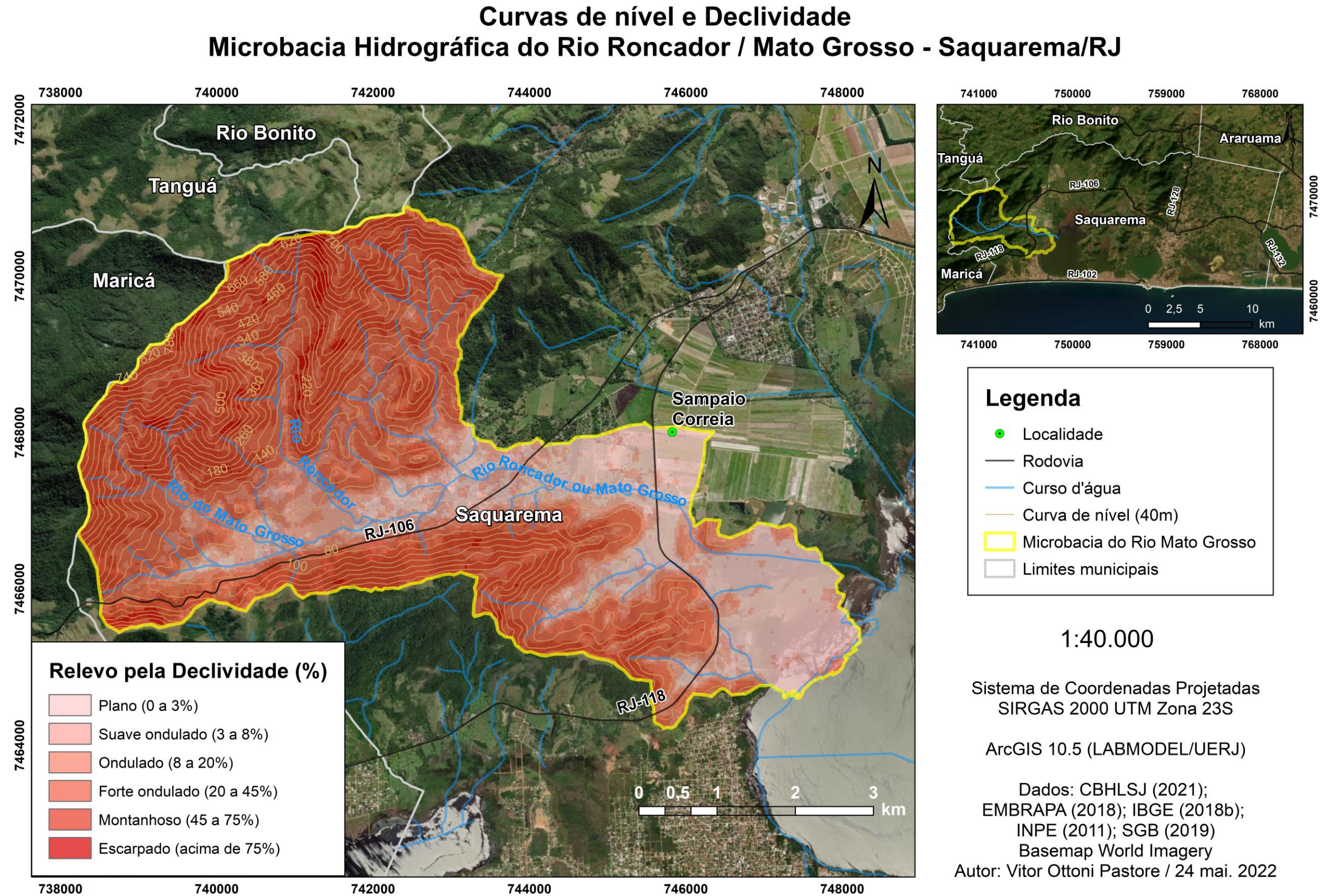
Fonte: Organizado pelo autor, 2022.

As curvas de nível da Microbacia do Rio Mato Grosso indicam altitudes de 20 a 860 m (SGB, 2019), estando as áreas mais baixas próximas do complexo lagunar, a jusante dos cursos d'água, e as mais altas nos topos de morro da Serra do Mato Grosso a noroeste a microbacia, na divisa com o município de Maricá.

Segundo o projeto Topodata do INPE (2011), a declividade encontrada na Microbacia do Rio Mato Grosso a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) de 30 m de resolução espacial indica valores de 0,14 a 114,62%. Considerando a classificação proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018), 30,9% da área da Microbacia do Rio Mato Grosso apresenta relevo montanhoso, 28,9% forte ondulado, 17,7% plano, 10,7% suave ondulado, 9,8% ondulado e 2,1% escarpado. As curvas de nível (SGB, 2019) e as declividades (EMBRAPA, op. cit.; INPE, op. cit.) na Microbacia do Rio Mato Grosso estão representadas na Figura 5.

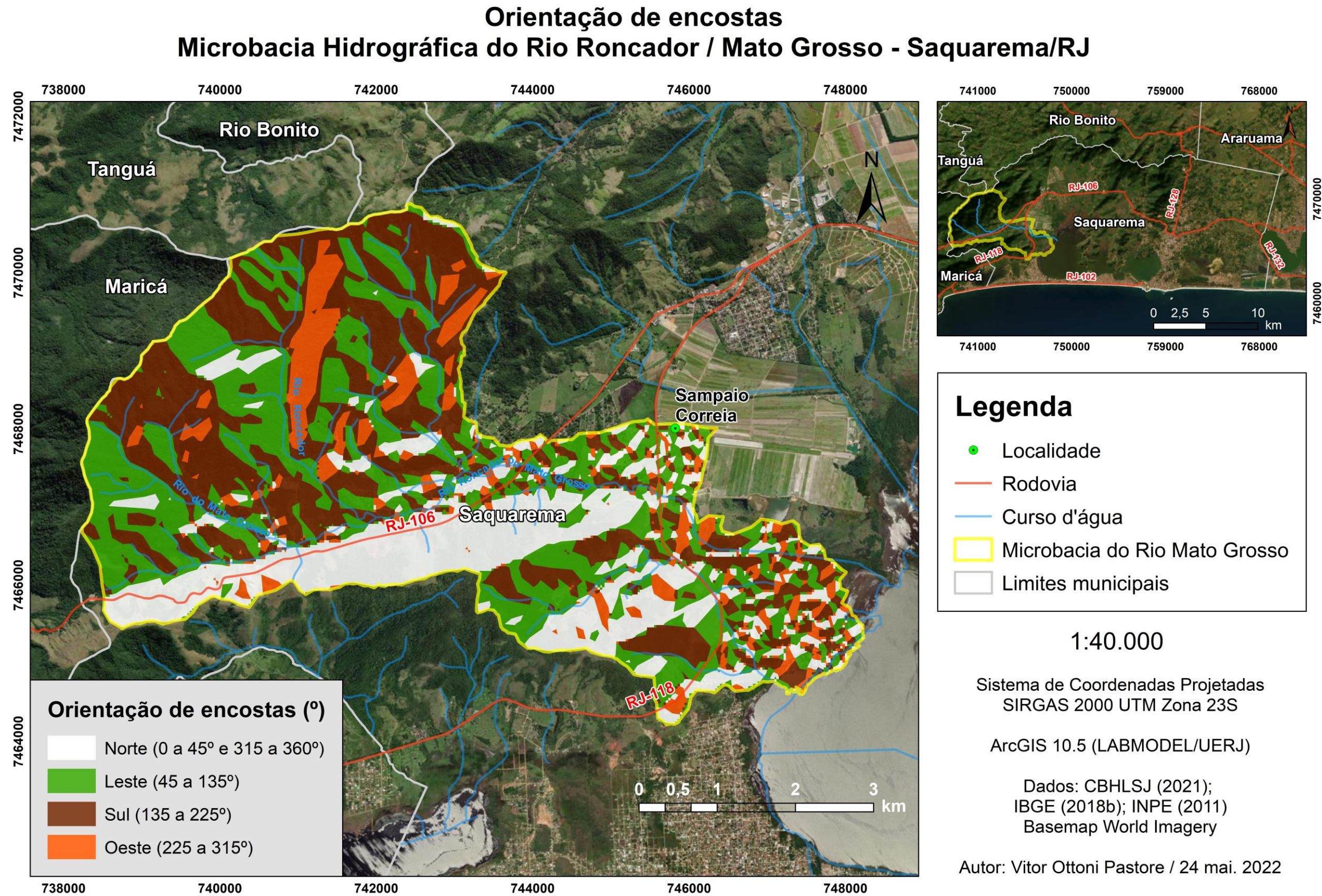
As encostas na Microbacia do Rio Mato Grosso são orientadas para Sul em 34,1%, para Leste em 32,1%, Norte em 24,1% e Oeste em 9,7% (Figura 6; INPE, op. cit.).

Figura 5 – Mapa de curvas de nível de 40 m e declividade na Microbacia do Rio Mato Grosso



Fonte: Organizado pelo autor, 2022.

Figura 6 – Mapa de orientação de encostas na Microbacia do Rio Mato Grosso

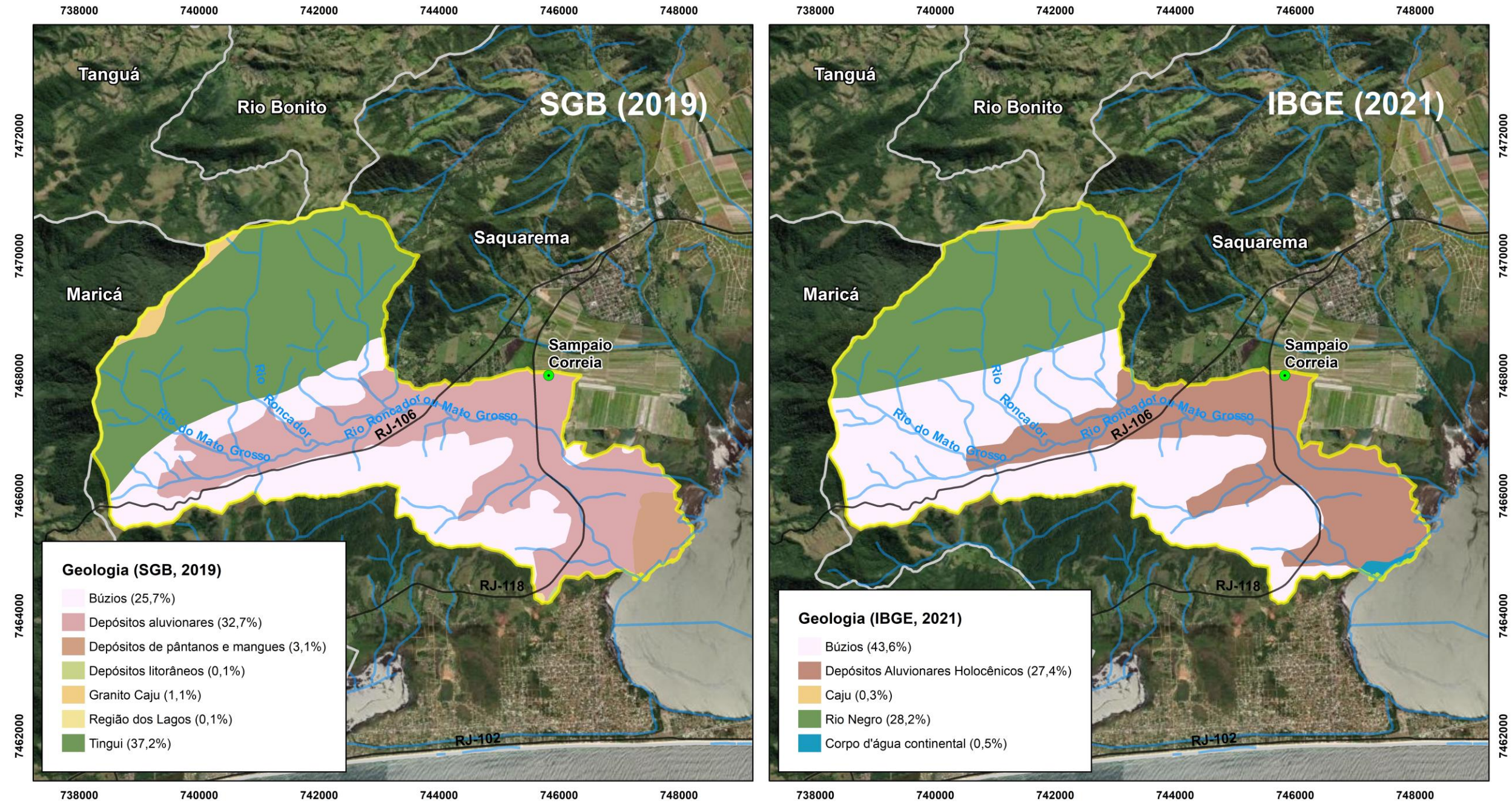


Fonte: Organizado pelo autor, 2022.

A comparação entre a caracterização da Geologia da microbacia proposta pelo IBGE (2021a) – na escala 1:250.000 – e pelo SGB (2019) – na escala 1:400.000 – está apresentada na Figura 7, sendo selecionada a delimitação da Geologia do SGB (op. cit.) devido a maior quantidade de classes de unidades litoestratigráficas.

O solo na Serra do Mato Grosso foi classificado como argissolo vermelho-amarelo distrófico, latossolo amarelo distrófico e latossolo vermelho-amarelo distrófico (PVA14) em 4,2 km² (12,9%); e como espodossolo ferrocárbico hidromórfico e neossolo quartzarênico hidromórfico (ES7) em 21,7 km² (66,6%), não compreendendo 6,7 km² (20,6%) da microbacia na porção Sul (Figura 8), conforme o Mapa de Solos do Brasil (ANTUNES, 2021; IBGE; EMBRAPA, 2001), considerado na caracterização da área de estudo. Já as classificações de tipos de solo em maior escala propostas pelo IBGE (2021a) e pelo SGB (2019) apresentaram outros tipos de solo na Microbacia do Rio Mato Grosso, como pode ser observado na Figura 21 (p. 145).

Figura 7 – Mapa de Geologia na Microbacia do Rio Mato Grosso



Geologia

Microbacia do Rio Mato Grosso

Saquarema/RJ

SIRGAS 2000 UTM Zona 23S

Legenda

- Localidade
- Rodovia
- Curso d'água
- Microbacia do Rio Mato Grosso
- Limites municipais

N

1:60.000

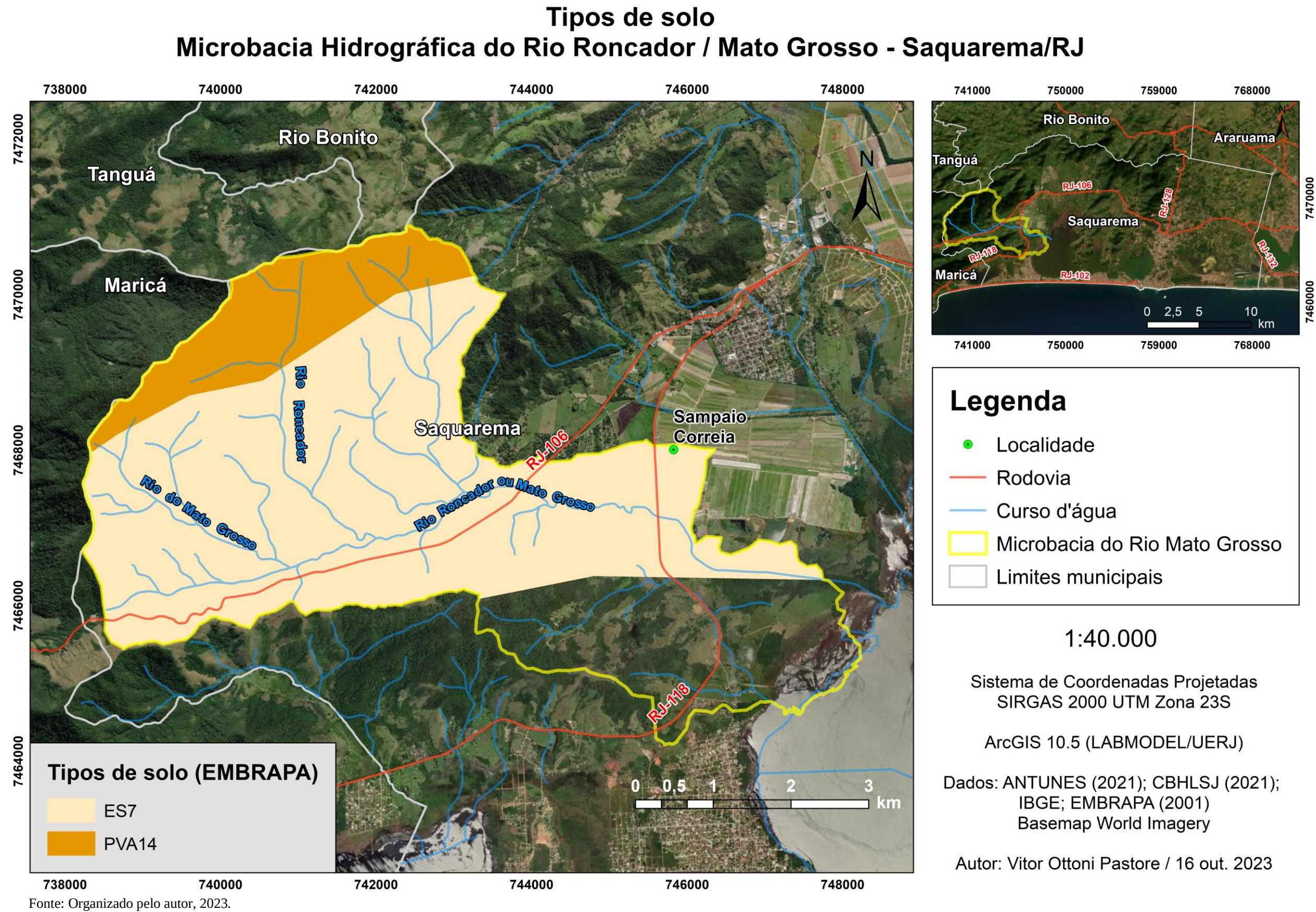
0 0,5 1 2 3 km

Dados: CBHLSJ (2021);
IBGE (2018b; 2021a); SGB (2019)
Basemap World Imagery

Elaborado por: Vitor Ottoni Pastore
Elaborado em: 28 ago. 2023
ArcGIS 10.5
(LABMODEL/UERJ)

Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

Figura 8 – Mapa de tipos de solo (EMBRAPA) na Microbacia do Rio Mato Grosso



3.3 Clima

A Microbacia do Rio Mato Grosso está localizada em uma região com clima:

“tropical úmido, com estação chuvosa no período de primavera-verão, iniciando-se no mês de outubro. As temperaturas são elevadas durante o ano todo, apresentando uma pequena amplitude térmica (cerca de 5°C). Estas características climáticas têm favorecido de forma expressiva o desenvolvimento e expansão da atividade turística, pois na maior parte do ano os dias são ensolarados com temperatura amena” (FIGUEIRA, 2009).

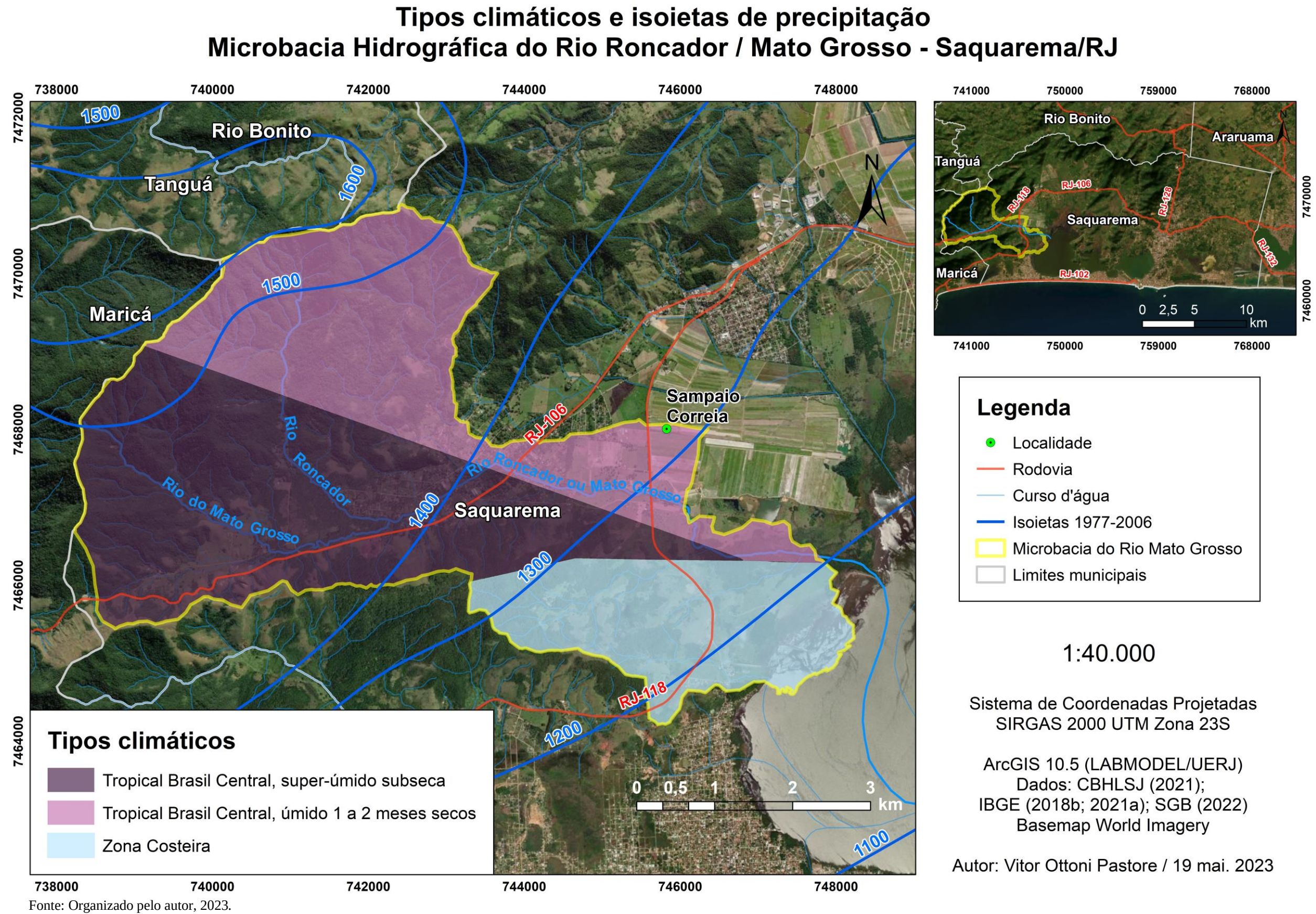
No sistema de classificação de Köppen-Geiger, o clima da área de estudo pode ser caracterizado como tropical, com temperatura média anual entre 18 e 28°C e precipitação média anual entre 800 e 2500 mm (com chuvas no verão), que é comum a toda região costeira no contorno de vales e planaltos com altitude inferior a 400-450 m (ALVARES et al., 2014; FERNANDES, 2021).

De acordo com a base vetorial de tipos climáticos encontrados no Brasil na escala de 1:5.000.000 (IBGE, 2002), a Microbacia do Rio Mato Grosso apresenta áreas localizadas na Zona Costeira (total de 6,5 km²); Tropical Brasil Central, quente com média maior que 18° C em todos os meses do ano, super-úmido subseca (14,7 km²) e Tropical Brasil Central, quente com média maior que 18° C em todos os meses do ano, úmido com 1 a 2 meses secos (11,2 km²).

As isoietas de precipitação na escala 1:000.000 apresentadas pela ANA (2005) indicam que a Microbacia do Rio Mato Grosso está localizada entre as linhas que indicam precipitação média anual de 1200 a 1300 mm. Porém, de acordo com o Atlas Pluviométrico do Brasil (SGB, 2022) são encontradas isoietas de precipitações médias anuais que indicaram precipitação média anual de 1200 a 1600 mm entre 1977 e 2006 na microbacia.

A distribuição dos tipos climáticos (IBGE, op. cit.) e das isoietas de precipitação (SGB, op. cit.) na microbacia está apresentada no Figura 9.

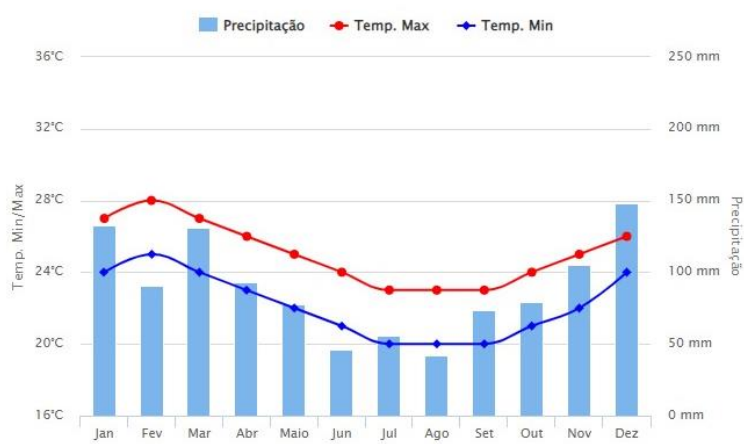
Figura 9 – Mapa de tipos climáticos e isoietas na Microbacia do Rio Mato Grosso



A estação meteorológica A667 está em operação no distrito de Sampaio Correia desde 01 de setembro de 2015, não sendo possível traçar padrões climáticos, além de estar distante 600 m da microbacia de estudo. Está localizada a 26 m de altitude nas coordenadas (datum SIRGAS 2000, projeção UTM zona 23S) 745327E, 7468758S (INMET, 2022a).

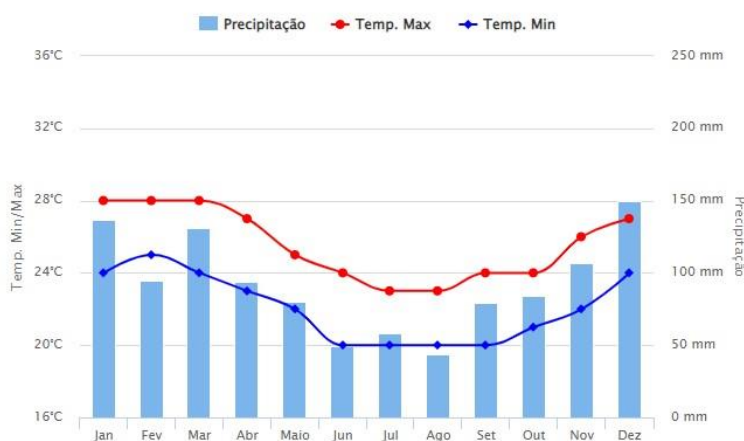
O ClimaTempo (2021) apresentou dados médios de temperatura do ar máxima e mínima e de precipitação mensal de médias climatológicas para Saquarema (Figura 10) e Maricá (Figura 11), com destaque para os meses mais chuvosos: dezembro, janeiro, março e novembro, em ordem decrescente, para os dois municípios.

Figura 10 – Médias de temperatura do ar e precipitação de Saquarema



Fonte: CLIMATEMPO, 2021.

Figura 11 – Médias de temperatura do ar e precipitação de Maricá



Fonte: CLIMATEMPO, 2021.

O Climate-Data, calculado a partir de dados do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo coletados entre 1999 e 2019 com 9 km de resolução espacial, considerando localizações do projeto OpenStreetMap. São disponibilizados gráficos e tabelas

de acordo com o Serviço de Mudança Climática do Copernicus (CLIMATE-DATA, 2022), como apresentados para Saquarema (Figura 12) e Maricá (Figura 13). Nessa estimativa, os meses com maior precipitação acumulada para Saquarema foram, em ordem decrescente: março, dezembro, janeiro e novembro. Já para Maricá a única diferença foi a média similar para dezembro e janeiro. Quanto a sequência de dias chuvosos, março teve destaque para os dois municípios, além de novembro, dezembro e abril.

Figura 12 – Dados meteorológicos médios mensais de Saquarema, entre 1999 e 2019

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	25.8	26.1	25.5	24.2	22.1	21.2	20.7	20.9	21.6	22.7	23.4	24.9
Temperatura mínima (°C)	23.8	23.9	23.6	22.3	20.1	19	18.4	18.6	19.5	20.7	21.5	22.9
Temperatura máxima (°C)	28.5	29	28	26.6	24.5	23.9	23.6	24.1	24.8	25.6	26	27.4
Chuva (mm)	121	79	132	85	81	45	46	40	64	72	116	126
Umidade(%)	82%	81%	83%	82%	80%	81%	80%	79%	78%	80%	82%	83%
Dias chuvosos (d)	8	7	11	10	9	6	6	6	7	8	10	10
Horas de sol (h)	10.1	10.1	8.9	8.2	7.5	7.4	7.3	7.7	7.7	8.0	8.3	9.2

Fonte: CLIMATE-DATA, 2022.

Figura 13 – Dados meteorológicos médios mensais de Maricá, entre 1999 e 2019

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	26.2	26.5	25.7	24.1	21.8	20.9	20.4	20.8	21.8	23	23.7	25.2
Temperatura mínima (°C)	23.6	23.8	23.2	21.7	19.4	18.3	17.5	17.8	18.9	20.3	21.3	22.7
Temperatura máxima (°C)	29.7	30.1	28.8	27.2	24.8	24.4	24	24.9	25.8	26.8	27	28.5
Chuva (mm)	127	83	130	85	83	46	50	41	67	77	118	127
Umidade(%)	78%	78%	80%	81%	80%	81%	79%	77%	75%	77%	79%	80%
Dias chuvosos (d)	9	7	11	10	9	6	6	6	8	8	11	10
Horas de sol (h)	10.0	10.1	8.9	8.2	7.4	7.3	7.2	7.6	7.6	7.9	8.2	9.1

Fonte: CLIMATE-DATA, 2022.

3.4 Meio socioeconômico

Por séculos povos indígenas que pertenciam ao agrupamento Tamoios dominaram a parte litorânea onde está localizada a sede do município de Saquarema. A ocupação europeia no município de Saquarema teve como início registrado em 1531, quando uma frota de navios liderada por Martim Afonso de Souza atracou em frente ao Morro de Saquarema (morro da Igreja de Nossa Senhora de Nazareth). A Leste desse morro é encontrada a Barra Franca, local de troca hídrica entre a Lagoa de Saquarema e o Oceano Atlântico. Próximo à Barra Nova, em Saquarema, Martim Afonso de Souza encontrou uma aldeia Tamoios chefiada pelo índio denominado “Sapuguaçu”. Após a divisão do território nacional em Capitanias Hereditárias pelo Rei D. João III entre os anos de 1534 e 1536, a Capitania de São Vicente passou a pertencer a Martim Afonso de Souza, que inclui a atual área de Saquarema. Os Tamoios eram aliados dos franceses e por isso foram exterminados sob ordem do então governador da Capitania do Rio de Janeiro, Antonio Salêma, em expedição iniciada em 04 de agosto de 1575. Naquele período, a aldeia Tamoios estabelecida em Maranguá, onde está localizada a área deste estudo, foi então local de batalhas entre os portugueses e aliados contra os indígenas locais e os franceses que os apoiavam (PREFEITURA DE SAQUAREMA, [s. d.]).

Em 1755, a área atual de Saquarema foi subordinada ao município de Cabo Frio como uma freguesia, posteriormente em 1841 como vila, tendo a constituição do distrito sede nesse mesmo ano. Somente em 03 de janeiro de 1890 Saquarema foi assim denominada e elevada à condição de cidade por decreto estadual. Até 1943 a área deste estudo esteve em área do então distrito de Mato Grosso, quando foi alterado para Maranguá, e passou a ser definido como Sampaio Correia a partir de 1946 (IBGE, [s. d.]).

O município recebeu o nome Saquarema originado de “socó-rema” que, no idioma Tupi, significa bandos de socós, uma ave pernalta abundante na lagoa durante aquele período (PREFEITURA DE SAQUAREMA, op. cit.).

A ocorrência natural de aves conhecidas como socó abrange a microbacia de estudo, como subespécies do socó-dorminhoco – *Nycticorax nycticorax hoactli* (Gmelin, 1789); socozinho – *Butorides striata striata* (Linnaeus, 1758), esse mais abundante na Microbacia do Rio Mato Grosso; savacu-de-coroa – *Nyctanassa violacea cayennensis* (Gmelin, 1789), socó-boi-baio – *Botaurus pinnatus pinnatus* (Wagler, 1829); e socó-boi – *Tigrisoma lineatum marmoratum* (Vieillot, 1817). Apesar dessas espécies estarem consideradas como pouco relevantes quanto à ameaça de extinção pela Lista Vermelha da União Internacional para a

Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (WIKIAVES, 2021), a remoção de fragmentos de ecossistema nativo para produção agropecuária, atividades e estruturas turísticas e expansão urbana tem pressionado a conservação desses remanescentes de Mata Atlântica e da biodiversidade.

O Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro apresentou no estudo socioeconômico de 2020 comparações entre os dados dos Censos Demográficos de 2000 e 2010, tendo indicado um crescimento de 41,5% da população de Saquarema, com densidade demográfica de 210 hab/km² (TCE-RJ, 2020, p. 9). Ainda entre 2000 e 2010, Saquarema apresentou um aumento no Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0,59 para 0,71. Em 2018, o PIB per capita do município aumentou 79% entre 2010 e 2018 (IBGE, 2021b). Para 2020 a população de Saquarema estimada foi de 91.938 pessoas, para 2020 a população de Saquarema estimada foi de 91.938 pessoas, aumentando a densidade demográfica para 260,79 hab/km² (IBGE, op. cit.). Já Maricá, município limítrofe a Saquarema, apresentou tanto aumentos de IDHM e do PIB per capita observados em 2018, quanto de densidade demográfica, de 351,5 hab/km² em 2010 para 463,7 hab/km² estimada para 2021 (IBGE, op. cit.).

Com aumentos no IDHM e no PIB per capita no século XXI, Saquarema e Maricá passaram a atrair moradores, trabalhadores e investidores, demandando por mais área e recursos, pressionando as áreas naturais remanescentes e expondo pessoas aos riscos de deslizamentos de encosta e inundações.

No município de Saquarema, o distrito de Sampaio Correia teve aumento de população após implementação do Polo Industrial ou Polo de Desenvolvimento Econômico de Saquarema. Esse desenvolvimento ocorreu quando os governos estadual e municipal concederam benefícios fiscais aos empreendimentos localizados à margem da Rodovia Amaral Peixoto (RJ-106), que conecta com a Rodovia BR-101 e está a aproximadamente 100 km da capital fluminense (FERNANDES, 2021).

O Distrito de Sampaio Correia apresentou como atividade econômica principal a monocultura de cana-de-açúcar entre as décadas de 1960 e 1970 (FRIAS, 2011), representada pela chaminé da antiga Usina Santa Luzia próxima a rodovia RJ-106, que foi construída onde fora Estrada de Ferro Maricá (FERNANDES, op. cit.). Na década de 1970 a produção de laranja e limão foi a mais representativa na economia do distrito e do município de Saquarema, enquanto o turismo de veraneio cresceu a nível municipal a partir da construção da Ponte Rio-Niterói (FRIAS, op. cit.), que foi inaugurada em março de 1974 com nome de

Ponte Presente Costa e Silva (MORAIS, 2023), assim como a implantação de loteamentos (FRIAS, 2011).

Na primeira década do século XXI, a agropecuária passou a ser a principal atividade econômica em Sampaio Correia, com destaques para a pecuária de corte e de leite, produção de banana nas serras onde ocorrem limites municipais e de coco-verde nas áreas de baixada (FRIAS, op. cit.). Em relação ao turismo, entre os principais atrativos para visitantes e turistas no Distrito de Sampaio Correia destacam-se a Igreja Nossa Senhora da Conceição, localizada no centro, as rampas de voo livre e a cachoeira do Roncador (FERNANDES, 2021), essa última localizada na Microbacia do Rio Mato Grosso.

Na Microbacia do Rio Mato Grosso não foram encontradas comunidades tradicionais indígenas (FUNAI, 2021) ou quilombolas (FCP, 2020; FERREIRA et al., 2023; INCRA, 2020), assim como não há assentamentos rurais registrados no município (INCRA, op. cit.), apesar da localização de áreas de vegetação cultivada pelo IBGE (2018b) e da indicação de diversos empreendimentos de agricultura e pecuária em Saquarema pelo Censo Agro, com destaque para a criação de bovinos e produção de mandioca, banana, limão e feijão preto, em ordem decrescente (IBGE, 2017). Há uma colônia de pescadores localizada em Saquarema (FIPERJ, 2020), no bairro Areal, que está a mais de 5 km da microbacia de estudo. Apesar de serem identificados cerca de 27 sítios arqueológicos em Saquarema (GUIDA DE FREITAS et al., 2020; GUIMARÃES, 2011; KNEIP; CRANCIO; RODRIGUES FRANCISCO, 1988; SILVEIRA, 2001), nenhum ocorre na área da Microbacia do Rio Mato Grosso.

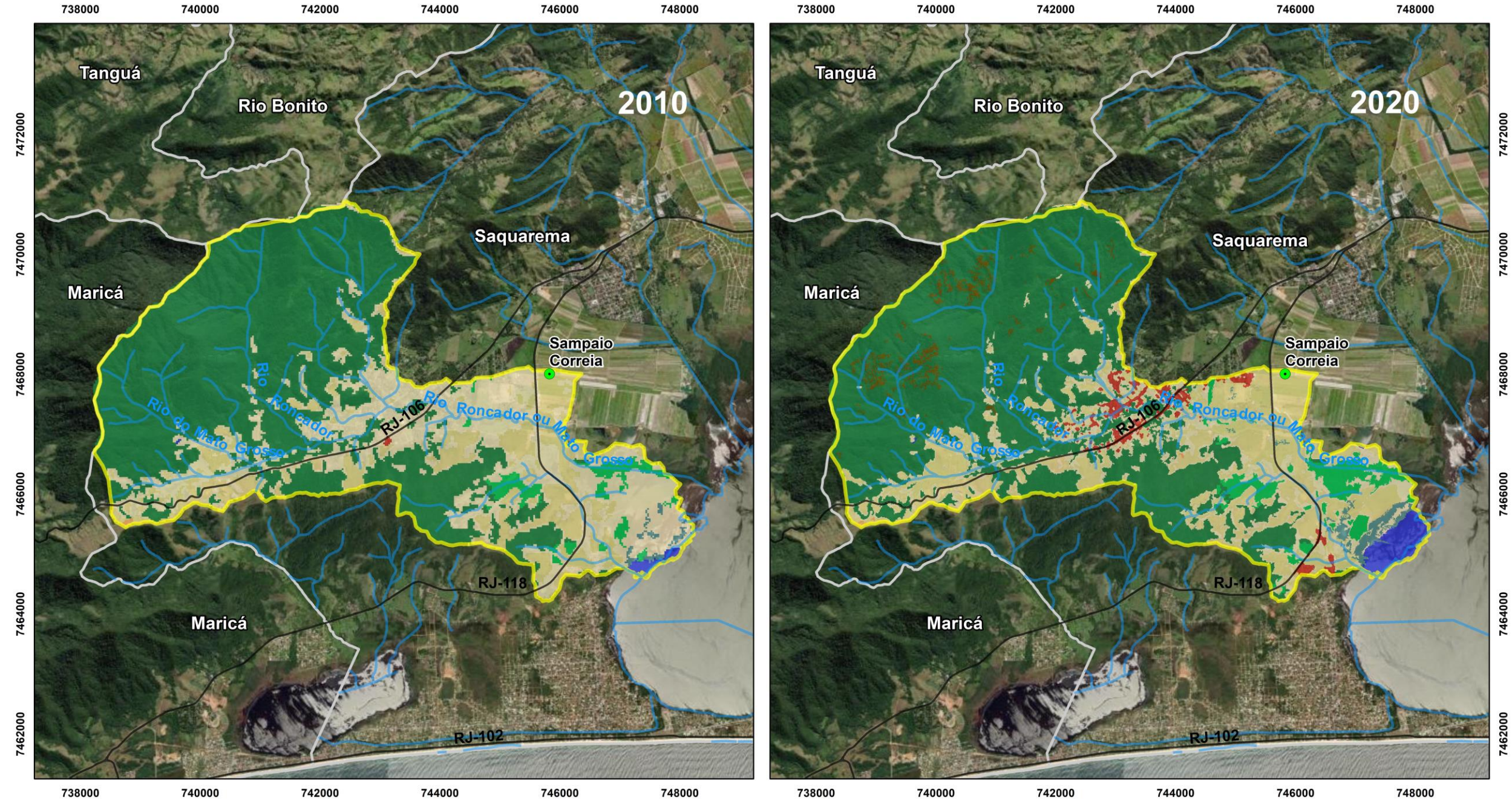
Os mapeamentos de UCT do Estado do Rio de Janeiro na escala 1:1.000.000 elaborados a partir da compatibilização com o Sistema de Classificação da Cobertura e Uso da Terra do IBGE para 2010 pelo IBGE (2018c) e INEA (2021c), e para 2018 pelo IBGE (op. cit.), foram consultados para identificar as principais classes de UCT na Microbacia do Rio Mato Grosso. As classes encontradas na microbacia de estudo em 2010 e 2018 apresentaram a mesma porcentagem em relação à área total da microbacia e mesma distribuição espacial, sendo identificadas: área agrícola (2,5%), corpo d'água continental (0,7%), mosaicos de ocupação em área florestal (32,9%) e em área campestre (19,9%), e vegetação florestal (44,0%). Cabe ressaltar que as classificações de UCT apresentadas pelo IBGE (op. cit.) e pelo INEA (op. cit.) foram realizadas na escala 1:1.000.000, não detalhando alterações menores que 1 km².

Como alternativa de maior detalhamento, o Projeto Mapbiomas (2023) utilizou séries temporais de imagens de SR de acesso livre, como versões dos satélites Landsat para os diferentes períodos desde 1985 e o satélite Sentinel-2 de 2016 em diante, gerando

classificações anuais de UCT com pixel de 30 m e de 10 m, respectivamente. No mapeamento de UCT da Coleção 7 do Projeto Mapbiomas (2023) foram encontradas 8 classes com ocorrências na Microbacia do Rio Mato Grosso em 2010 (t1) – gerado com imagens do satélite Landsat 5 com sensor TM – e na Coleção Beta (PROJETO MAPBIOMAS, op. cit.) foram encontradas 10 classes em 2020 (t2) – satélites Sentinel-2A e Sentinel-2B com sensor MSI. Esses mapeamentos de UCT em t1 e t2 pelo Projeto Mapbiomas (op. cit.) recortados para a Microbacia do Rio Mato Grosso estão apresentados na Figura 14.

Cabe ressaltar que a classe de silvicultura esteve presente na Microbacia do Rio Mato Grosso em 2020, porém em 2010 não foram indicadas pelo Mapbiomas áreas de silvicultura, o que pode estar relacionado a imagem de maior resolução espacial utilizada para 2020, assim como dos algoritmos disponíveis e aplicados para a classificação de UCT em t1 e t2 pelo Projeto Mapbiomas (op. cit.).

Figura 14 – Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Microbacia do Rio Mato Grosso, pelo Mapbiomas em 2010 e 2020



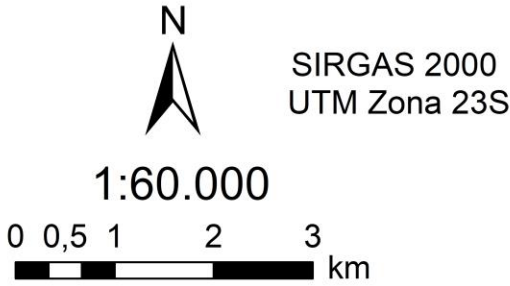
Uso e Cobertura da Terra
Microbacia do Rio Mato Grosso, Saquarema/RJ

Legenda

- Localidade
- Rodovia
- Curso d'água
- Microbacia do Rio Mato Grosso
- Limites municipais

Classes UCT 2010 e 2020 (Mapbiomas)

Afloramento rochoso	Pastagem
Área urbanizada	Restinga arbórea
Campo alagado	Rio, lago e oceano
Formação florestal	Silvicultura (ano de 2020)
Mosaico de usos	



Dados: CBHLSJ (2021); IBGE (2018b);
Projeto Mapbiomas (2023)
Basemap World Imagery

Elaborado por: Vitor Ottoni Pastore
Elaborado em: 22 jul. 2023
ArcGIS 10.5
(LABMODEL/UERJ)

Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

O aprimoramento no mapeamento de UCT pelo Projeto Mapbiomas (2023) aumentou a resolução espacial das informações geradas, elevando sua aplicabilidade para áreas menores que os municípios e biomas. Isso reforça a importância da elaboração de estimativas em maior escala espacial para avaliar alterações na Microbacia do Rio Mato Grosso, que podem levar à maior fragilidade ambiental.

3.5 Vegetação

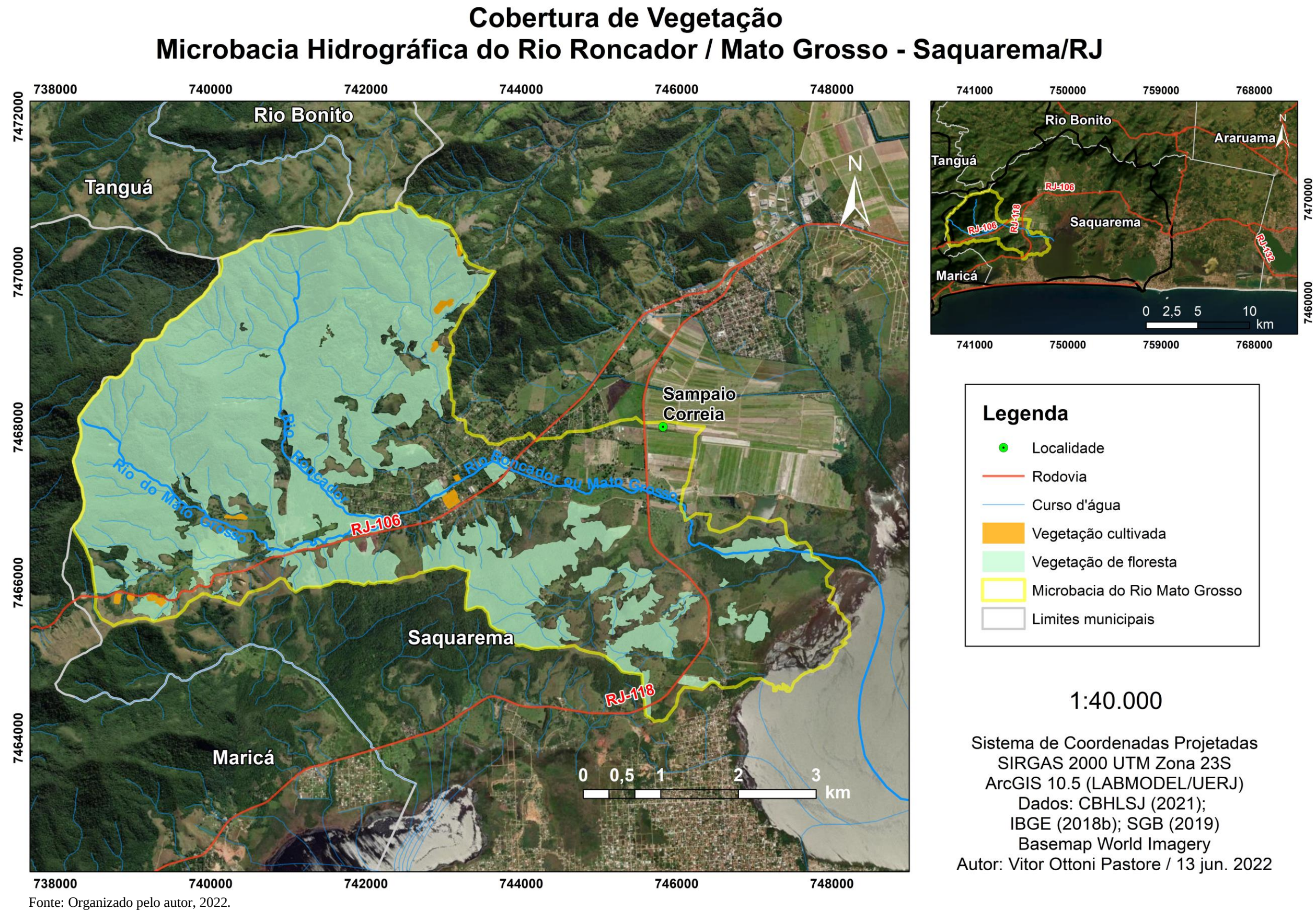
A Microbacia do Rio Mato Grosso está em área sob domínio do bioma Mata Atlântica, cuja formação predominante é de Floresta Ombrófila Densa Submontana (FERNANDES, 2021). Este bioma é um dos que mais foi degradado devido a ocupação humana e a expansão das fronteiras agropecuárias (KLIPPEL, 2011). Faz parte da Ecorregião das Florestas Costeiras da Serra do Mar (BORSATO, 2015).

Incluída no Centro de Diversidade Vegetal de Cabo Frio (ARAUJO, 1997; BOHRER et al., 2009), a vegetação da Microbacia do Rio Mato Grosso está sob pressão de atividades agropecuárias e da expansão urbana, sendo seus fragmentos indicados como prioritários para conservação (MÜLLER, 2021).

Entre 1965 e 2005 na Microbacia do Rio Mato Grosso houve perda de vegetação pela expansão de áreas construídas (FRIAS, 2011). No período seguinte, a agropecuária passou a ser a principal atividade econômica na microbacia, pressionando as áreas de vegetação remanescentes (FERNANDES, op. cit.). Segundo Fernandes (op. cit.) e Rosas et al. (2003), diversas áreas com floresta localizadas nas encostas da Serra de Mato Grosso foram convertidas em pastos e capoeiras ralas.

Quanto à cobertura por vegetação de floresta, foram identificados 18,7 km² na Microbacia do Rio Mato Grosso, de acordo com a Base Cartográfica Contínua da Unidade da Federação do Rio de Janeiro na escala 1:25.000 – BC25_RJ (IBGE, 2018b). Em relação a vegetação cultivada foram 0,1 km², distribuídas principalmente próximas à rodovia RJ-106 e no setor nordeste da microbacia, além de uma parte próxima a margem do Rio Mato Grosso (Figura 15).

Figura 15 – Mapa de áreas de vegetação na Microbacia do Rio Mato Grosso



Nas áreas da Microbacia do Mato Grosso próximas ao sistema lagunar são comuns os brejos salinos, pressionados principalmente por construções irregulares em áreas de preservação permanente (FRIAS, 2011). Apesar dessa indicação, não foram encontradas áreas de brejos ou pântanos a partir da base cartográfica de 1:25.000 (BC25_RJ) do IBGE (2018b) para a microbacia.

3.6 Áreas protegidas

Na Microbacia do Rio Mato Grosso, além das Áreas de Preservação Permanente (APPs), Reservas Legais (RL) e Faixas Marginais de Proteção protegidas de acordo com o Novo Código Florestal (BRASIL, 2012b), nessas que estão relacionadas à topografia e proximidade de cursos e corpos d'água, são encontradas três Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs), sendo duas federais e uma estadual, e uma Área de Proteção Ambiental (APA) municipal, antes considerada como do tipo Refúgio da Vida Silvestre, mantendo a área da antiga UC (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2018). O Quadro 1 representa as UCs que ocorrem na Microbacia do Rio Mato Grosso, que somam área de 26,0 km², desconsiderando as sobreposições, que compreende 79,7% da microbacia.

Quadro 1 – Unidades de Conservação na Serra de Mato Grosso.

Nome	Categoria	Tipo	Esfera	Área na microbacia (km ²)	Criação
Mato Grosso	RPPN	Proteção Integral	Federal	0,3	Portaria ICMBio nº 72 de 04/06/2001
Mato Grosso II	RPPN	Proteção Integral	Estadual	0,5	Portaria Inea nº 63 de 16/08/2009
Eldorado	RPPN	Proteção Integral	Federal	1,4	Portaria ICMBio nº 856 de 09/10/2018
Serras do Mato Grosso – Tinguí – Castelhañas	APA	Uso Sustentável	Municipal	24,9	Lei nº 1739 de 2018

Fonte: FERNANDES, 2021, P. 26; ICMBIO, 2022; INEA, 2009; PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2018.

A RPPN Mato Grosso é uma área protegida a nível federal, que está localizada na Fazenda Mato Grosso. Sua localização aproximada foi consultada no Sistema Informatizado de Monitoria de RPPN – SIMRPPN (ICMBIO, 2022). A localização da RPPN estadual Mato Grosso II foi consultada na Base de Dados Geoespaciais do INEA (2021d), e está localizada na mesma fazenda que a RPPN federal Mato Grosso, sendo ambas do tipo proteção integral.

Não foram encontrados planos de manejo das RPPNs Mato Grosso e Mato Grosso II até dezembro de 2023 (FERNANDES, 2021; ICMBIO, 2023).

A RPPN Eldorado, de gestão federal e do tipo proteção integral, está localizada no Sítio Nossa Senhora da Conceição, compreendendo 83,9% da área total da propriedade. Essa RPPN federal quase triplicou a área de RPPNs em Saquarema. Apresenta vegetação de Mata Atlântica tipificada como Floresta Ombrófila densa sub-montana (até 500 m de altitude) e montana (acima de 500 m), em estágio sucessional médio e avançado. Abriga espécies exóticas, invasoras e em risco de extinção, raras ou endêmicas, e conta com trilhas para visitação, potenciais para pesquisas, educação e conscientização ambiental (ICMBIO, 2019). A localização da RPPN Eldorado foi consultada no SIMRPPN (ICMBIO, 2022), com ponto de localização indicado no plano de manejo (ICMBIO, 2019) e altitudes que variam de 340 m (740674E – 7469239S) a 856 m (739248E – 7469176S).

O plano de manejo da RPPN Eldorado (ICMBIO, 2019) indica que tanto a Eldorado quanto as RPPNs próximas, Mato Grosso e Mato Grosso II, estão em um maciço florestal nativo coberto pela mesma fitofisionomia, que favorece o fluxo gênico. É considerado um dos maiores fragmentos florestais nativos da Microrregião dos Lagos e da Mesorregião das Baixadas Litorâneas, com diversidade de habitats e altitudes, disponibilidade de água perene, entre outras características de importância ecológica (ICMBio, 2019, p. 24). Esse plano conta com oito programas de manejo, como o Programa de Sustentabilidade Econômica voltado para desenvolver parcerias da gestão da área protegida com empresas, organizações não-governamentais e instituições de ensino, a fim de diminuir custos de gestão. Sobre a mitigação de impactos ambientais, aborda como parte das normas gerais para implementação da infraestrutura a necessidade de implementar no entorno da RPPN projetos de mitigação de erosão e contaminação das águas subterrâneas e superficiais em APPs (ICMBio, 2019).

A APA das Serras do Mato Grosso – Tinguí – Castelhanas tem gestão do município de Saquarema, e foi definida após recategorização da unidade de conservação do tipo Refúgio da Vida Silvestre em Área de Proteção Ambiental, mantendo a área da antiga UC. Seus limites estão exibidos no memorial descritivo anexo à lei da recategorização (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2018), porém não apresentou plano de manejo publicado até novembro de 2023 (NUNES, 2022; PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2023). Para visualização dos limites da APA foi consultado o portal de dados abertos do Governo Federal (2022).

As Reservas Legais consultadas no portal do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR, 2023) para a microbacia deste estudo somaram área de 2,0 km², distribuídas

em 21 propriedades privadas. Dentre essas somente uma Reserva Legal foi averbada até a consulta, com área de 0,5 km², enquanto as demais foram indicadas como propostas.

Os limites das Áreas de Preservação Permanente (APPs) de declividade, lagos e lagoas, nascentes e topo de morro localizadas na microbacia de estudo foram consultadas no portal de Geoprocessamento do Instituto Estadual do Ambiente – GEOINEA (INEA, 2022d).

As APPs de faixas marginais de curso d'água natural perene ou intermitente foram estimadas em SIG considerando largura dos rios de até 10 m, indicada como valor acima do que foi observado por Fernandes (2021) para o Rio Mato Grosso e de acordo com a “Norma operacional para demarcação das faixas marginais de proteção e das faixas non aedificandi de cursos d'água no Estado do Rio de Janeiro” (INEA, 2016). Essa estimativa foi realizada com a ferramenta “Buffer” do ArGIS definindo como APP a área com distância de 30 m a partir das linhas de drenagens. Cabe ressaltar que esse método foi simplificado e alterou a área real de APPs desse tipo na microbacia, pois não foram consideradas as margens pela ausência de dados médios oficiais.

O total de APPs definidas pelo INEA (2022d) na Microbacia do Rio Mato Grosso foi de 9,1 km², que corresponde a 27,9% da microbacia, sendo apresentadas na Tabela 1. Nessa estimativa foram unidos os polígonos dos diferentes tipos e posteriormente dissolvido para considerar somente uma vez cada hectare de APP.

Tabela 1 – Áreas de Preservação Permanente (APPs) na Microbacia do Rio Mato Grosso.

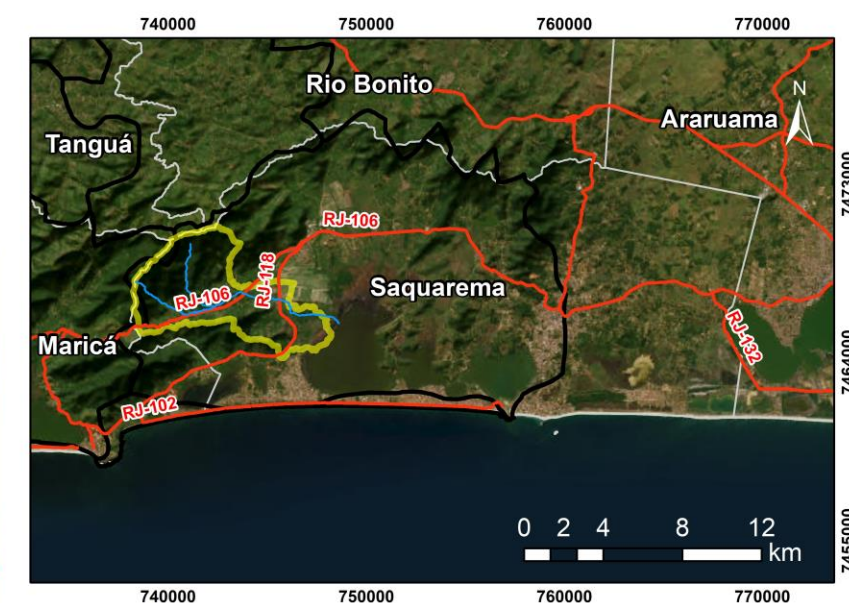
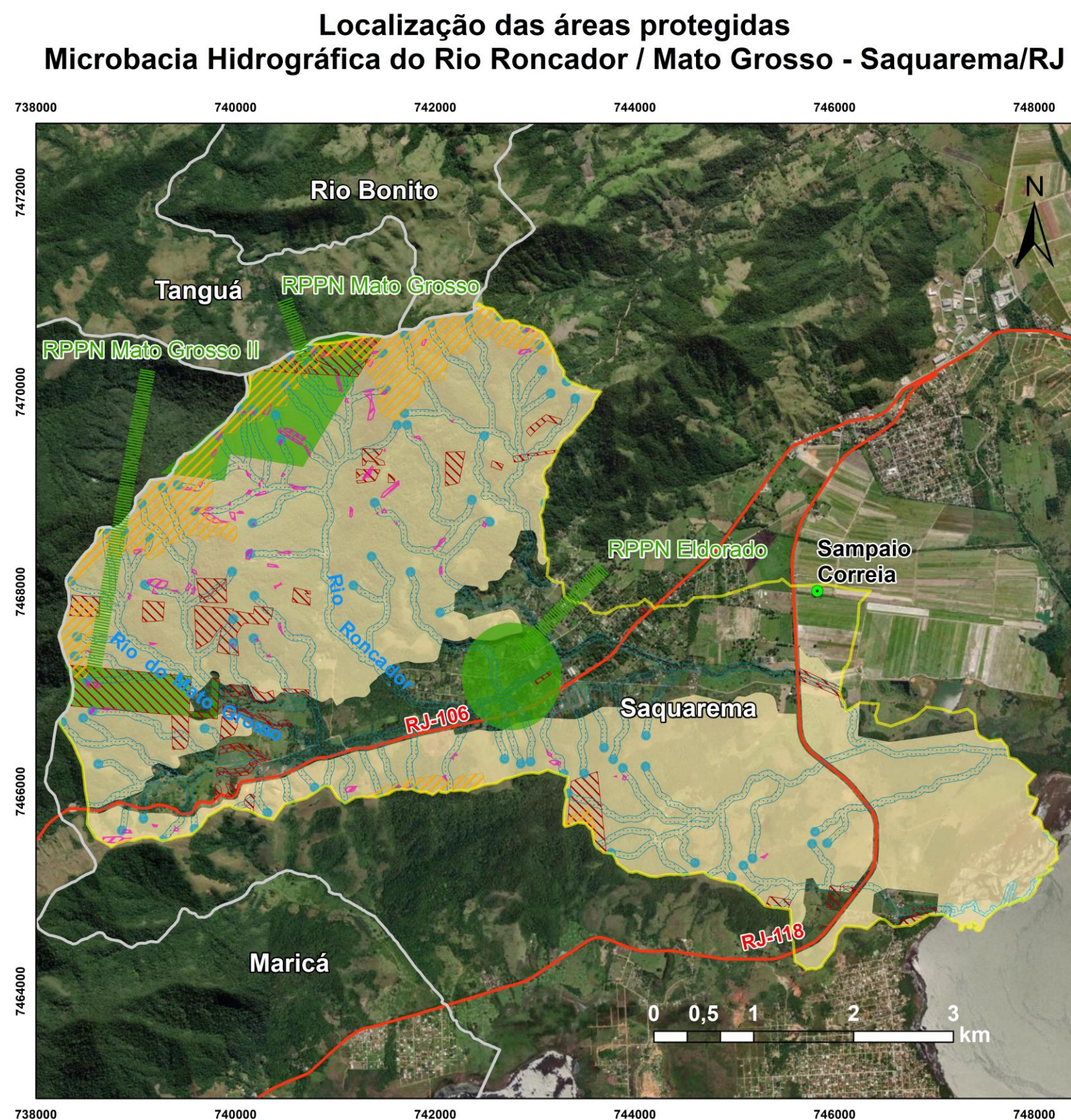
Tipo de APP	Área total (km ²)	Área relativa (%)
Curso d'água	5,8	17,8
Declividade	0,2	0,6
Lagos e lagoas	0,1	0,3
Nascente	0,6	1,8
Topo de morro	2,4	7,4

Fonte: Modificado de INEA, 2022d.

As classes de UCT em 2010 e 2020 segundo o Projeto Mapbiomas (2023), assim como a camada de cobertura por vegetação de floresta da BC25_RJ (IBGE, 2018b) foram sobrepostas à camada de APPs, a fim de identificar as APPs que apresentam usos e coberturas distintos do estabelecido no Código Florestal (BRASIL, 2012b).

A Figura 16 apresenta a localização das áreas protegidas da microbacia de estudo, sendo possível visualizar que as áreas à jusante da microbacia, mais próximas da confluência dos rios Mato Grosso e Roncador, localizadas nas margens da Rodovia RJ-106 e onde há presença de maior ação antrópica, são as menos protegidas.

Figura 16 – Mapa de áreas protegidas na Microbacia do Mato Grosso



Legenda

-  Localidade
-  Rodovia
-  APP de topo de morro
-  APP de declividade
-  APP de nascente
-  APP de cursos d'água
-  APP de lagos e lagoas
-  Área de Proteção Ambiental (APA)
-  RPPN
-  Reserva Legal (RL)
-  Microbacia do Rio Mato Grosso
-  Limites municipais

1:40.000
Sistema de Coordenadas Projetadas
SIRGAS 2000 UTM Zona 23S
ArcGIS 10.5 (LABMODEL/UERJ)
Dados: CBHLSJ (2021); IBGE (2018b); ICMBIO (2022)
Basemap World Imagery
Autor: Vitor Ottoni Pastore / 25 set. 2023

Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

3.7 Instrumentos de Planejamento Territorial

O Plano Diretor de Desenvolvimento Sustentável do Município de Saquarema, Lei Complementar nº 71 de 08 de dezembro de 2021 (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2021a), tem como princípios:

“I- Garantia da função social da cidade e da propriedade; II- Promoção do desenvolvimento sustentável, entendido como o acesso à moradia, infraestrutura, serviços, geração de emprego e renda, e equipamentos públicos e privados, para as atuais e futuras gerações, de forma ambientalmente correta; III- Garantia da gestão democrática com a participação da população no processo de desenvolvimento da cidade; IV- Adequação dos instrumentos de política econômica, tributária e financeira aos objetivos do desenvolvimento municipal; V- Proteção, preservação e recuperação do ambiente natural e dos patrimônios socioambiental e cultural; VI- Inclusão social, compreendida como garantia de acesso a bens, serviços e políticas sociais a todos os munícipes; VII- Justiça social e redução das desigualdades sociais e regionais”.

O artigo 9 do Plano Diretor de Saquarema (PREFEITURA DE SAQUAREMA, op. cit.) indica a sustentabilidade ambiental como pressuposto dessa lei, estando de acordo com o artigo 225 da Constituição da República e demais dispositivos legais de competência federal, estadual e municipal referentes à proteção ao meio Ambiente. Já o artigo 11 apresenta objetivos do “desenvolvimento de políticas, programas e/ou projetos setoriais voltados à preservação e conservação do patrimônio socioambiental do Município de Saquarema”, tais como: o cumprimento da Lei do Zoneamento, a conscientização da população e o estímulo à geração de trabalho e renda em áreas protegidas (quando permitida no respectivo plano de manejo) a fim de valorizar a sustentabilidade do meio ambiente.

Quanto à Política Ambiental do Município de Saquarema, são consideradas as diretrizes da Política Nacional de Meio Ambiente, da Política Nacional de Recursos Hídricos, da Política Nacional de Saneamento Básico, da Política Nacional de Resíduos Sólidos, da Política Nacional sobre Mudanças do Clima, do Código Florestal, da Lei Federal da Mata Atlântica, do Sistema Nacional de Unidades de Conservação, da Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios, da Lei 9.966/2000, e de normas e regulamentos federais e estaduais relacionados (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2023).

Em Saquarema não foi publicado um plano voltado para desastres ambientais, sendo abordado esse termo no Plano Diretor de Saquarema no terceiro capítulo, artigo 165, no qual define atribuições do Sistema de Defesa Civil do município, que é responsável por implementar ações preventivas, de socorro, assistência e reconstrutivas destinadas a evitar ou minimizar desastres. No mesmo capítulo do Plano Diretor, o artigo 12 detalha conceitos

abordados, como áreas de risco e infraestrutura verde, essa abordada no inciso XVII, que a descreve como:

“planejar, projetar e manejar construções e infraestruturas novas e existentes, como uma rede ecológica urbana que reestrutura a paisagem, e mitiga alguns impactos advindos da urbanização convencional, como reduções de gases do efeito estufa, prevenção de enchentes e deslizamento, redução das ilhas de calor, redução do consumo de energia, produção de alimentos, melhoria da saúde física e mental das pessoas, melhoria da biodiversidade nativa” (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2021a, p. 5).

O Plano Diretor de Maricá considera a questão ambiental como tema transversal entre os ODS e interfaces entre políticas, programas, ações de proteção ambiental e outros temas abordados no documento. Sobre a gestão de riscos, busca estabelecer e promover prevenção e combate às situações de risco, no âmbito do projeto Maricá Cidade Resiliente, que também considera potenciais alterações por mudanças climáticas (PREFEITURA DE MARICÁ, 2020). Esse projeto do Instituto Federal Fluminense, Campus Avançado Maricá, em convênio com a Defesa Civil da de Maricá, prevê ações educativas para colaborar com as estratégias de RRD no município, esse coordenado pelo CEMADEN. Tem como principais ações a educação e a prevenção de riscos e ameaças junto aos jovens e crianças desde 2018, com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (IFF, 2020).

O Plano Diretor de Maricá destaca medidas estruturantes urgentes, como a prevenção em áreas suscetíveis, que assegurem o regime natural das águas do sistema lagunar e o controle de enchentes, a efetivação de programa de contenção de encostas, a transferência dos ocupantes dessas áreas, e o aumento da permeabilidade do solo. A face da Serra do Mato Grosso voltada para Maricá está localizada no distrito de Ponta Negra, contida em áreas protegidas pela UC de uso sustentável Refúgio de Vida Silvestre das Serras de Maricá e pelas RPPNs Mato Grosso e Mato Grosso II, acessadas pela Rodovia RJ-106. O Plano Diretor de Maricá indica pontos de baixa e média suscetibilidade a movimentos de massa nessa rodovia na Serra do Mato Grosso, enquanto nas encostas são indicadas baixa, média e alta probabilidades de ocorrência de movimentos de massa (PREFEITURA DE MARICÁ, 2020).

3.8 Suscetibilidades a movimentos de massa e inundações

Dos 92 municípios fluminenses analisados por Silva (2020), sete apresentaram probabilidade “muito alta” de serem atingidos por desastres do grupo hidrológico, indicando Saquarema entre esses. O autor analisou a prevalência de municípios do Estado do Rio de Janeiro atingidos por desastres de origem hidrológica (inundações, enxurradas ou alagamentos) no quinquênio 2015-2019, considerando a associação entre indicadores demográficos, socioeconômicos e ambientais. Destacou a importância da implementação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, atuando na prevenção e buscando reduzir riscos, desastres e danos e, fundamentalmente, salvaguarda de vidas.

Avisos de interdição de trânsito para veículos e pessoas transitando nas rodovias que perpassam a Serra do Mato Grosso são divulgados por meio de placas após grandes eventos de chuvas, como no início de abril de 2022, quando após fortes chuvas, foi necessário interditar a via para obras de contenção de encosta em dez pontos da rodovia pelo Departamento de Estradas de Rodagem (DER/RJ), órgão da Secretaria das Cidades do Governo do Estado do Rio de Janeiro, sendo liberada meia pista após mais de duas semanas da intervenção (ROCHA, 2022). Além dos prejuízos a quem precisa transitar entre Saquarema e Maricá, o comércio informal local, presente nas margens da rodovia com venda de frutas, peças em cerâmica, tapetes, entre outros produtos, sofre com essas interdições, limitando o trabalho e a geração de renda no local.

As ocorrências de deslizamentos e inundações na Serra do Mato Grosso têm sido noticiadas, como em abril de 2019 quando matações e terra deslizaram da encosta após chuvas intensas e limitaram o tráfego na rodovia RJ-106 em Sampaio Correia (G1, 2019). Em novembro de 2020, uma erosão no solo próximo à Rodovia RJ-106 ocorreu após chuvas intensas, sendo o trânsito pela rodovia limitado a meia pista, com indicação da Rodovia RJ-118, que conecta Sampaio Correia a Jaconé, como alternativa (NUNES, 2020).

Em novembro de 2021, a Prefeitura de Maricá, com suporte da Defesa Civil, decretou Estágio de Atenção após fortes chuvas, que ocasionaram alagamentos em 12 áreas, entre elas o limite com o município de Saquarema pela Serra do Mato Grosso, onde também deixou pessoas desalojadas (PREFEITURA DE MARICÁ, 2021). Em janeiro de 2022 ocorreram fortes chuvas sobre a Serra do Mato Grosso, levando a queda de árvores e deslizamento de encostas (O DIA, 2022a) em pelo menos cinco pontos da rodovia RJ-106 (CARVALHO, 2022a), que foi interditada após ocorrência de um acidente na rodovia (CARVALHO, 2022b).

Já nos primeiros dias de abril de 2022 ocorreram quedas de barreiras interditando totalmente a rodovia RJ-106 no km 48, e de uma ponte na Serra do Mato Grosso, deixando 10 pessoas desabrigadas e quatro desalojadas (G1, 2022). Em 18 de abril foi liberado o tráfego pela rodovia nos dois sentidos após implementação de camadas de brita nos bordos da via no sentido Saquarema – Maricá, que fica na base da encosta, e massa asfáltica para regularizar a pavimentação (FARIAS, 2022). Em março de 2023 iniciaram obras de contenção de encostas e drenagem na rodovia RJ-106, executadas pelo DER/RJ (O DIA, 2023b).

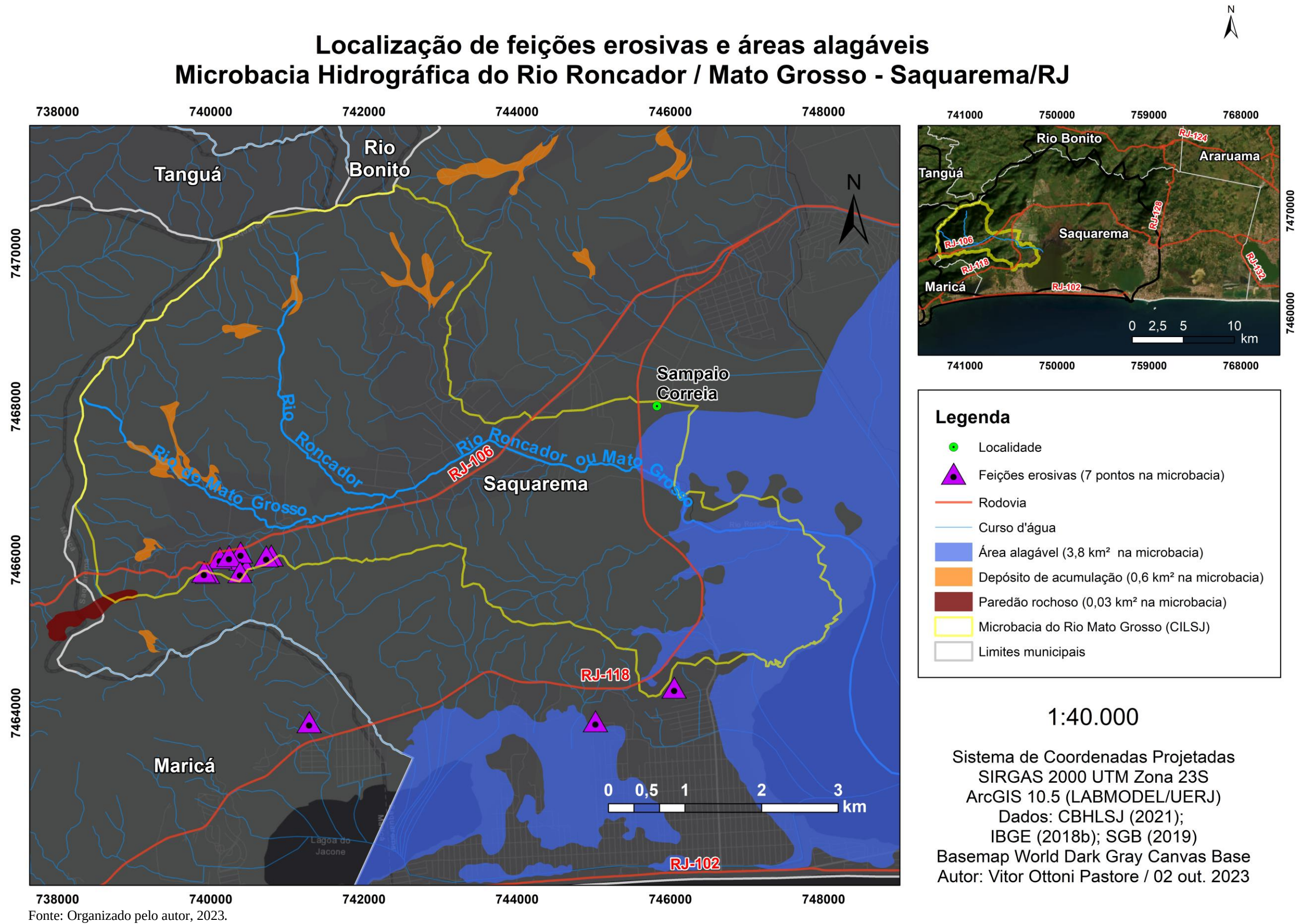
Apesar de não elaboradas Cartas de Perigo, de Padrões de Relevô Municipais e Geotécnicas de Aptidão à Urbanização, assim como não disponíveis até maio de 2022 Avaliações Técnicas Pós-Desastre, Diagnósticos da População em Áreas de Risco Geológico e Setorização de Riscos Geológicos para Saquarema, o SGB (2019) disponibilizou a Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação de Saquarema; e o Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial de sua elaboração (ANTONELLI et al., 2020). Não foram encontrados mapeamentos realizados pela Prefeitura de Saquarema sobre essas suscetibilidades.

A carta de suscetibilidade a movimentos de massa e inundação do Serviço SGB (op. cit.) permite obter dados sobre a distribuição de feições erosivas, áreas de acumulação de fluxos e sedimentos, paredões rochosos e áreas alagáveis no município de Saquarema, compreendendo a Microbacia do Rio Mato Grosso. Nessa carta foram destacadas a porção oeste do município quanto a áreas suscetíveis aos perigos ambientais considerados neste estudo, principalmente relacionadas a amplitude de altitudes a Norte da Rodovia RJ-106 e às áreas baixas próximas de corpos e cursos d'água sujeitas a inundação a Leste da Rodovia RJ-118, próximas da Lagoa de Urussanga/Mombaça.

O deslizamento de encosta foi o tipo de processo indicado pelo SGB (op. cit.) em áreas de alta, média e baixa suscetibilidade a movimentos de massa em Saquarema e no recorte da Microbacia do Rio Mato Grosso, sendo que nas áreas de baixa suscetibilidade ocorrem somente mediante indução. Nas áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa em Saquarema e na microbacia também ocorrem processos de rastejo e queda de bloco, não analisados neste estudo (SGB, 2019).

Ambas as rodovias RJ-106 e RJ-118 são vias de acesso para o núcleo urbano do distrito de Sampaio Correia. A localização de feições erosivas e área de inundação reconhecidas pelo SGB na Microbacia do Rio Mato Grosso e entorno estão apresentadas na Figura 17.

Figura 17 – Mapa de localização de feições erosivas e áreas de inundação da Microbacia do Rio Mato Grosso



O Plano de Contingências do Estado do Rio de Janeiro para chuvas intensas no período do verão entre 2022 e 2023 (DEFESA CIVIL RJ, 2022) faz parte do Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil. Está amparado legalmente na Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e na Política Estadual de Proteção e Defesa Civil (GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2020b), assim como considera o Marco de Sendai para Redução do Risco de Desastres 2015-2030 e a Agenda 2030 com os ODS. Esse plano estabelece protocolos, ações e responsabilidades das instituições que fazem parte do Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil para executar ações de mitigação, resposta e recuperação dos municípios atingidos por desastres, o monitoramento meteorológico e sua divulgação, com o apoio do CEMADEN. São consideradas as chuvas que levam a deslizamentos, inundações, enxurradas e alagamentos, potencialmente causadoras de danos e prejuízos à população, e os cenários estimados sobre os tipos de risco (DEFESA CIVIL RJ, op. cit.). Apesar da Microbacia do Rio Mato Grosso apresentar maior suscetibilidade a movimentos de massa e inundação que outras áreas do município e do entorno, o plano de contingência atual atua no nível de microrregiões, regiões hidrográficas e município, limitando aplicações locais.

Não foram encontradas iniciativas de monitoramento e alertas de deslizamento de encosta e inundação que compreendam a Microbacia do Rio Mato Grosso, assim como não houve pluviômetros considerados pelo CEMADEN-RJ (2023) no sistema de alarmes até outubro de 2023 na microbacia deste estudo.

Em 18 de maio de 2022 foi realizado o 1º Congresso em Proteção e Defesa Civil Municipal pelas Defesas Civas dos municípios litorâneos do Rio de Janeiro, em parceria com o CEMADEN, sendo Saquarema representado pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2022a), parte integrante do Sistema Municipal de Defesa Civil em parceria com as Comissões Distritais de Defesa Civil e os Núcleos Comunitários de Defesa Civil (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2001). No evento foram apresentados os temas da gestão de riscos e desastres principalmente para residentes, buscando reforçar seus conhecimentos sobre o enfrentamento aos eventos adversos. Ainda, a Política Estadual de Proteção e Defesa Civil, os órgãos setoriais municipais na gestão de risco e desastres, o monitoramento de alerta e alarmes para desastres naturais no Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil, e a integração dos entes federativos foram abordados nesse congresso (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2022a). Dessa maneira, foi destacada a importância da identificação de áreas frágeis e suscetíveis a deslizamentos de encosta e inundação, assim como a elaboração de propostas de mitigação e indicação de potenciais soluções no sentido do desenvolvimento sustentável.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo são abordados os passos para realização deste estudo, iniciando pelos tratamentos iniciais dos dados vetoriais e matriciais. A seguir são apresentados os métodos divididos em subtópicos de cálculo e análise do índice de vegetação por diferença normalizada, do UCT, da fragilidade ambiental, de cenário preditivo, das análises espaciais, da indicação de áreas prioritárias de mitigação e das indicações de instrumentos de Planejamento Territorial e Ambiental e de práticas ecológicas mitigadoras.

4.1 Consulta de referências sobre os temas do estudo

As referências bibliográficas utilizadas neste estudo foram pesquisadas ou revisitadas de junho de 2020, após a qualificação deste estudo no programa de pós-graduação, até a primeira semana de novembro de 2023 a partir dos principais termos abordados no início deste capítulo; das ferramentas e metodologias apresentadas nos próximos tópicos; dos instrumentos de Planejamento Territorial e de áreas protegidas; e da microbacia, da bacia hidrográfica, do município de Saquarema e do Estado do Rio de Janeiro; em português e inglês.

O portal de busca de trabalhos acadêmicos Google Acadêmico foi a principal fonte inicial de referências de artigos científicos, teses, dissertações, livros e relatórios técnicos, sendo acessados os portais em que foram publicados para acesso a outros estudos. Outros portais de consulta a trabalhos acadêmicos utilizados foram o SciELO, o Periódicos CAPES e o Research Gate.

Os artigos científicos também foram pesquisados em portais de revistas especializadas nos temas de Geotecnologias, suscetibilidades a deslizamento de encosta e inundação, fragilidade ambiental, Geografia, recuperação ambiental e temas associados, com destaques de publicação nacional para a Revista Brasileira de Geografia Física (ISSN: 1984-2295), a Revista Brasileira de Geomorfologia (ISSN: 2236-5664), o Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ (ISSN: 0101-9759) e a revista Geo UERJ (ISSN: 1415-7543).

As teses e as dissertações foram buscadas tanto no Google Acadêmico quanto nos portais da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações do Instituto Brasileiro de

Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT, [s. d.]), do Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, [s. d.]), do Repositório Institucional da Universidade Federal do Rio de Janeiro – Pantheon (UFRJ, [s. d.]) e das Bibliotecas Digitais de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo (USP, [s. d.]) e da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ, [s. d.]).

4.2 Materiais

Considerando o alto custo de coleta de dados em campo para estudos de fragilidade ambiental, a disponibilidade de dados geográficos livres por instituições reconhecidas como os dados vetoriais e os dados matriciais tornam-se alternativas para as estimativas, análises, proposições de atividades e planos de redução de fragilidades e suscetibilidades ambientais. Esses dados geográficos são disponibilizados em bancos de dados de acesso livre para download dos arquivos de temas específicos, como os portais GEOINEA do Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2022d) e GeoSGB do Serviço Geológico do Brasil (SGB, 2023b); assim como a partir de geosserviços, como a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE, 2023), que além de disponibilizar dados geográficos em diversos formatos para download e visualização com o seu respectivo dado explicativo (metadado), por instituição, reúne uma lista de

“serviços web específicos para o domínio geoespacial, constituindo um poderoso conjunto de funcionalidades para coletar, armazenar, recuperar sem restrições, transformar e apresentar dados espaciais associados a um determinado objetivo. Essas funcionalidades são usadas por meio de um navegador Web ou outra aplicação qualquer (QGIS ou um aplicativo em Smartphone, por exemplo)” (INDE, op. cit.).

Através dos geosserviços é possível exportar informações geoespaciais para uma ampla gama de formatos, tanto para edição de objetos como para a apresentação de mapas.

Nesse sentido, o uso de ferramentas livre de Geotecnologias, quando disponíveis, soma-se aos dados geográficos disponibilizados sem custo no desenvolvimento de estudos geográficos em escalas aplicáveis para municípios e microbacias hidrográficas. Sendo assim, a quantidade de fatores considerados depende da escala de análise, que neste estudo foram buscados materiais disponibilizados gratuitamente para download com detalhamento viável para avaliações em uma microbacia.

4.2.1 Hardware e Sistema Operacional

Todos os procedimentos desta metodologia foram realizados em um notebook com processador Intel Core i5 10210U 1.6 GHz, com 20 GB de memória RAM DDR4, placa de vídeo NVIDIA GeForce MX250 GDDR5 de 2 GB e armazenamento por Solid State Drive de 512 GB.

O Sistema Operacional utilizado foi o Windows 11 Home Single Language 64 bits em português.

4.2.2 Programas

Quanto aos programas utilizados neste estudo, os tratamentos de dados vetoriais e raster, assim como as estimativas das fragilidades ambientais, de áreas mitigadoras potenciais e da sobreposição dessas às áreas frágeis foram executados no *software* de acesso livre QGIS 3.28.9 Firenze (QGIS, 2023).

Além das ferramentas de outros SIG incluídas nativamente na instalação do QGIS, como o *Geospatial Data Abstraction Library* (GDAL), *Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS) e SAGA GIS, foram instalados no QGIS 3.28.9 os complementos:

- CBERS-4A Downloader 0.3.2 (KLIPPEL, 2022), para pré-processamento das imagens de t2;
- dzetsaka: Classification tool 3.7.0 (KARASIAK, 2021), para realizar classificação supervisionada de UCT;
- Orfeo ToolBox (OTB) 8.1.2-rc1, atualizado em 23 de junho de 2023 e compatível com versões do QGIS a partir da 3.18 (CNES, 2023a), um pacote de ferramentas utilizado para realizar testes no tratamento das imagens de Sensoriamento Remoto multiespectral de t1 e na classificação supervisionada de UCT;
- QuickMapServices 0.19.33 (NEXTGIS, 2023), com adição de serviços de exibição de diversos mapas base (GISMOBRASIL, 2017);

- Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) 7.10.11 Mtera (CONGEDO, 2021), para executar parte dos procedimentos de delimitação das macrozonas do Plano Diretor, classificação supervisionada de UCT, e cálculo da fragilidade ambiental;
- Point sampling tool 0.5.4 (JURGIEL, 2022), para copiar valores de imagem das amostras para pontos de amostras de UCT.

O *software* comercial ArcGIS Pro, com licença de teste gratuito por 21 dias, foi utilizado em 24 de agosto de 2023 (ESRI, 2023a) para a conversão espectral e fusão com a banda pancromática (PAN) das imagens de t1.

O programa livre Google Earth Pro versão 7.3.6.9326 com 64 bit (GOOGLE, 2022) foi utilizado para consultar localidades na microbacia de estudo, auxiliar na construção de amostras de treinamento da classificação e imagens, e para a interpretação visual de imagens sobre áreas de interesse.

Em relação aos cenários preditivos de fragilidade ambiental e UCT foi utilizado o módulo LCM do *software* comercial IDRISI Selva 17.0 (SULSOFT, 2020), pela disponibilidade de licença do Laboratório de Ensino de Geografia (LABGEO) do Instituto de Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Cabe ressaltar que o complemento *Modules for Land Use Change Simulations* (MOLUSCE) do QGIS, que permite realizar análise de alterações e predição de cenários, foi descontinuado para as versões 3 do programa (QGIS, 2017), sendo necessário utilizar versão antiga do SIG, como a 2.18.16 (QGIS, 2023). Para utilização desse complemento é necessário incluir entradas de dados de variáveis espaciais na composição dos cenários (FERNANDES, 2022). Apesar da descontinuidade desse complemento em versões mais recentes do QGIS, estudos têm sido publicados sobre a geração de cenários preditivos no MOLUSCE (ABBAS et al., 2021; GAO et al., 2023; MUHAMMAD et al., 2022), principalmente para predição de UCT.

Ainda, há um complemento do módulo LCM para o SIG comercial ArcGIS desde 2006, e a nova versão do *software* IDRISI é chamada TerrSet, que também conta com o módulo LCM (SULSOFT, op. cit.), porém não são soluções disponíveis no laboratório associado.

A geração de gráficos foi realizada no Google Planilhas, de acesso livre a partir de conta de e-mail criada na Google.

4.2.3 Dados geográficos

Os dados vetoriais e matriciais utilizados neste estudo foram consultados a partir de bases estaduais, federais e internacionais de dados com download gratuito.

O Censo Demográfico do IBGE teve última atualização publicada em 2010 e deveria ser atualizado em 2020, porém foi adiado devido a ocorrência da pandemia do Coronavírus SARS-CoV-2 em 2020, causador da doença COVID-19, e da falta da previsão de recursos orçamentários para ser realizado em 2021 (CONGRESSO NACIONAL, 2022). Em 3 de outubro de 2022 foi divulgada a prorrogação do término da coleta do Censo Demográfico para o início de dezembro de 2022, sendo os primeiros dados divulgados no final de 2022 (IBGE, 2022a). Porém, em 6 de dezembro de 2022 foi publicado o quarto balanço da coleta de dados do Censo, que foi respondido por 79,73% da população estimada em 2021, apesar das opções de resposta presencial, por telefone ou internet (IBGE, 2022b). No dia 03 de maio de 2023 foi anunciado outro adiamento da entrega dos dados do novo Censo Demográfico, sendo informado “que os dados definitivos de população do censo serão divulgados, pelo instituto, impreterivelmente, em 28 de junho próximo” (CORRÊA, 2023). Em 05 de setembro de 2023 foi noticiado o adiamento do anúncio dos resultados do Censo 2022 relativos à idade e ao sexo da população e a revisão das datas de divulgação dos dados do recenseamento demográfico nacional (RODRIGUES, 2023). Assim, esse estudo foi direcionado para a análise da fragilidade ambiental da microbacia de estudo estimada para o cenário de 2030 (t3), considerando a suscetibilidade a movimentos de massa e inundação (SGB, 2019) e um ensaio de vulnerabilidade social com dados do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010b) para cada setor censitário localizado na Microbacia do Rio Mato Grosso.

Para todos os dados utilizados foi definido o Sistema de Coordenadas Projetadas com datum SIRGAS 2000, projeção UTM e zona 23S (EPSG:31983), sendo alguns procedimentos realizados no sistema de coordenadas original da imagem obtida. Os dados vetoriais foram obtidos ou convertidos para o tipo *shapefile* (SHP) a fim de manter o padrão dos dados das bases consultadas.

4.2.3.1 Base cartográfica contínua

A Base Cartográfica Contínua da Unidade da Federação do Rio de Janeiro na escala 1:25.000 (BC25_RJ) foi elaborada pelo IBGE (2018b) em parceria com a Secretaria de Estado do Ambiente do Governo do Estado do Rio de Janeiro, atendendo às exigências do Sistema Cartográfico Nacional e aos padrões e normas da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. Tem sido utilizada em planejamento de regiões e de áreas protegidas, na elaboração de planos diretores municipais, em estudos de bacias hidrográficas e de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação, na elaboração de projetos básicos de recuperação ambiental e em análises posicionais de empreendimentos submetidos ao licenciamento ambiental.

Até 23 de junho de 2023 estiveram disponíveis versões da BC25_RJ para os anos de 2016, 2018 e uma versão da base cartográfica de 2018 lançada em 2023 adequada para as Especificações Técnicas para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais na versão 3.0 (IBGE, 2023). Como as bases de 2016 e 2018 apresentam somente 2 anos de diferença, foi utilizada a BC25_RJ de 2018 para os dois períodos desse estudo.

A BC25_RJ de 2018 foi atualizada com uso de imagens orbitais dos satélites de alta resolução espacial RapidEye e de média resolução espacial Sentinel-2, ortomosaicos derivados de cobertura aerofotogramétrica cedidos pela Câmara Metropolitana do Rio de Janeiro, e dados de instituições parceiras, como os órgãos estadual e federal de transportes rodoviários. Apresenta dados georreferenciados de temas variados organizados em bases de dados digitais para todo o Estado do Rio de Janeiro. Contempla 13 categorias com subcategorias em cada: abastecimento de água e saneamento básico, administração pública, educação e cultura, energia e comunicações, estrutura econômica, limites, localidades, pontos de referência, relevo, saúde e serviço social, sistema de transporte e vegetação (IBGE, 2018b).

A utilização de dados do Censo Demográfico do IBGE é reforçada por ter sido aplicada como dados primários na elaboração da Base Territorial Estatística de Áreas de Risco (BATER) do IBGE e do Cemaden, com base nos dados censitários de 2010, que indica populações expostas a desastres ambientais. Na BATER não foi indicada nenhuma área localizada na Microbacia do Rio Mato Grosso ou nos municípios de Saquarema ou de Maricá (IBGE, 2018a).

Cabe ressaltar que são disponibilizados dados vetoriais de acesso livre de diversos temas para todos os continentes pelo projeto de mapeamento colaborativo chamado

OpenStreetMap (OSM), que reúne interessados contribuintes para atualização dos dados (OSMF, 2022). Apesar disso, este estudo buscou utilizar prioritariamente dados de instituições brasileiras, complementados com outras fontes quando ausentes, o que não é o caso das bases vetoriais de hidrografia, rodovias, entre outros para a microbacia de estudo. Ainda, a camada de curvas de nível do IBGE (2018b) apresenta maior detalhamento em relação aos dados do SGB (2019), que têm equidistâncias de 10 m e de 40 m, respectivamente.

A BC25_RJ para o ano de 2018 foi baixada do portal do IBGE (op. cit.) em formato de SHP. As camadas são disponibilizadas seguindo a norma vigente do IBGE quanto ao sistema de referência, definido como SIRGAS 2000 com sistema de coordenadas geográficas, em graus decimais.

As camadas de curvas de nível, limites municipal e estadual, trecho de drenagem, vegetação de floresta e área edificada da BC25_RJ (IBGE, op. cit.) foram reprojetadas para o EPSG:31983 a partir da ferramenta “Reprojetar camada” do QGIS, seguido de recorte com limites da Microbacia do Rio Mato Grosso no mesmo sistema de coordenadas.

4.2.3.2 Setores censitários, macrozonas do Plano Diretor e aglomerados subnormais

Em relação às divisões de setores censitários, foram baixadas as malhas de setores de 2010 e 2020 disponibilizadas pelo IBGE (2022c), que foram as reprojetadas para o sistema de coordenadas do projeto (EPSG:31983), recortadas para a microbacia de estudo e editadas para expandir os polígonos no extremo Noroeste da microbacia a fim de compatibilizar com os limites da microbacia. Isso foi necessário devido à base de setores censitários considerar limites do município de Saquarema do IBGE (2018b) diferentes dos limites da microbacia definidos pelo comitê gestor da bacia hidrográfica.

A delimitação das zonas do Macrozoneamento de Saquarema definida na revisão do Plano Diretor de Saquarema (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2021a) foi georreferenciada no QGIS com a ferramenta “Georreferenciador”, testando os diferentes tipos de transformação disponíveis (Polinomial 1, 2 e 3, Linear, Helmert, Suavizador em Lâminas Finas – *Thin plate spline* (TPS, do inglês) e Projetiva. Foram atribuídos 6 pontos de controle nos extremos do município, reconhecidos a partir da camada de limites do município de Saquarema (IBGE, 2018b) no Sistema de Coordenadas Geográfico com datum SIRGAS 2000

(EPSG:4674), e verificação com imagens Google Satellite adicionadas com o complemento QuickMapServices. Após testar as alternativas de configurações do Georreferenciador, o tipo de transformação TPS, com método de reamostragem “Cúbico”, obteve melhor resultado e a imagem das macrozonas resultante foi utilizada.

Georreferenciada, a imagem das macrozonas foi reprojetada para o sistema de coordenadas de código EPSG:31983, recortada para a Microbacia do Rio Mato Grosso e vetorizada a partir de edição pela ferramenta de edição avançada do QGIS “Quebrar feições” sobre a camada vetorial de limites da microbacia.

Os limites de aglomerados subnormais de 2010 (IBGE, 2010a) foram convertidos em SHP. Apesar da falta da atualização do Censo Demográfico até dezembro de 2022, em 2019 foram disponibilizados arquivos de primeiros resultados sobre aglomerados subnormais no formato *Keyhole Markup Language Zipped* (KMZ) pelo IBGE (2019a), assim como apresentados no Wikimapia (2022) por mapeamento participativo, não sendo encontrado nenhum aglomerado subnormal na Microbacia do Rio Mato Grosso em 2010 ou 2019.

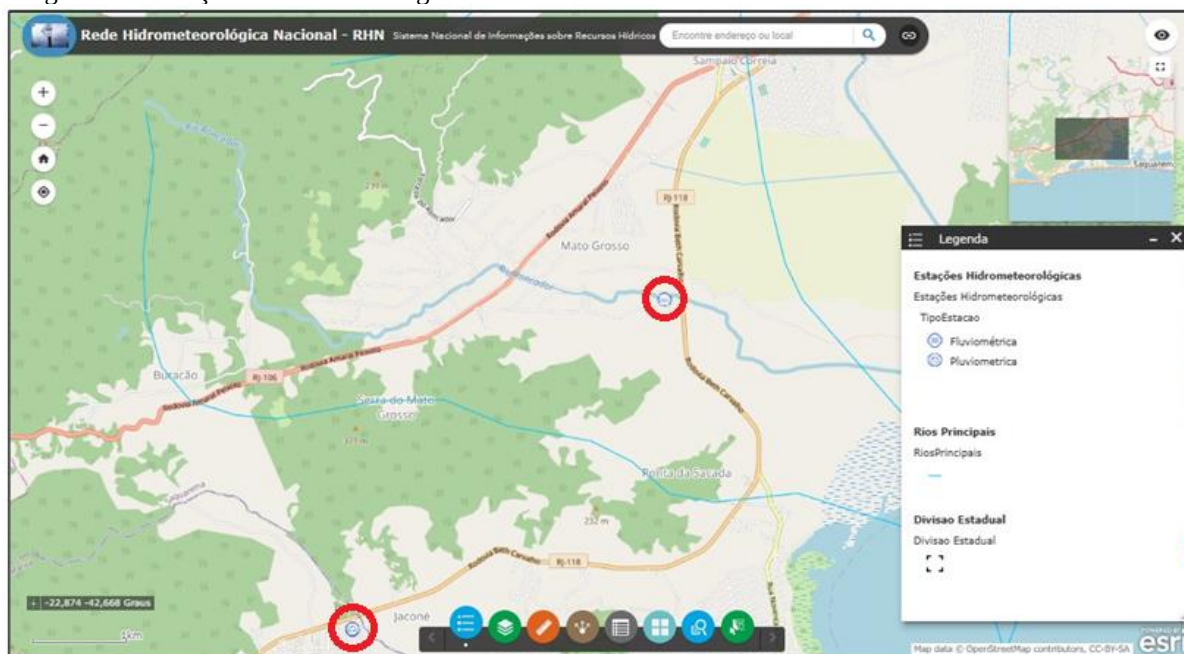
4.2.3.3 Precipitação

Devido à ausência de dados contínuos de precipitação das diferentes áreas da Microbacia do Rio Mato Grosso em 2010 (t1) e 2020 (t2), foram consultados métodos de estimativas, como a partir de estações meteorológicas próximas, interpolação de isoietas, PDI de SR e downscaling de dados globais.

Os dados meteorológicos da ANA cobrem diversas regiões do país e podem ser acessados no portal HidroWeb (ANA, 2022a). Foram coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional, como níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos. Essa ferramenta é integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos e os dados são indicados para “acompanhar a ocorrência de eventos hidrológicos considerados críticos, inundações e secas, e se planejar medidas de mitigação dos impactos decorrente desses eventos” (ANA, 2022a, p. 18). Estão disponíveis séries históricas para quatro estações pluviométricas da ANA no entorno da Microbacia do Rio Mato Grosso no portal HidroWeb: Palmital (código 2242045), Rio Mole (2242101), Saquarema (2242104) e Jaconé (2242105), que estiveram em operação antes do período de t1, porém nenhuma localizada no interior da microbacia. A localização das estações

hidrometeorológicas no entorno da Microbacia do Rio Mato Grosso são operadas pelo INEA e estão apresentadas na Figura 18.

Figura 18 – Estações hidrometeorológicas no entorno da Microbacia do Rio Mato Grosso

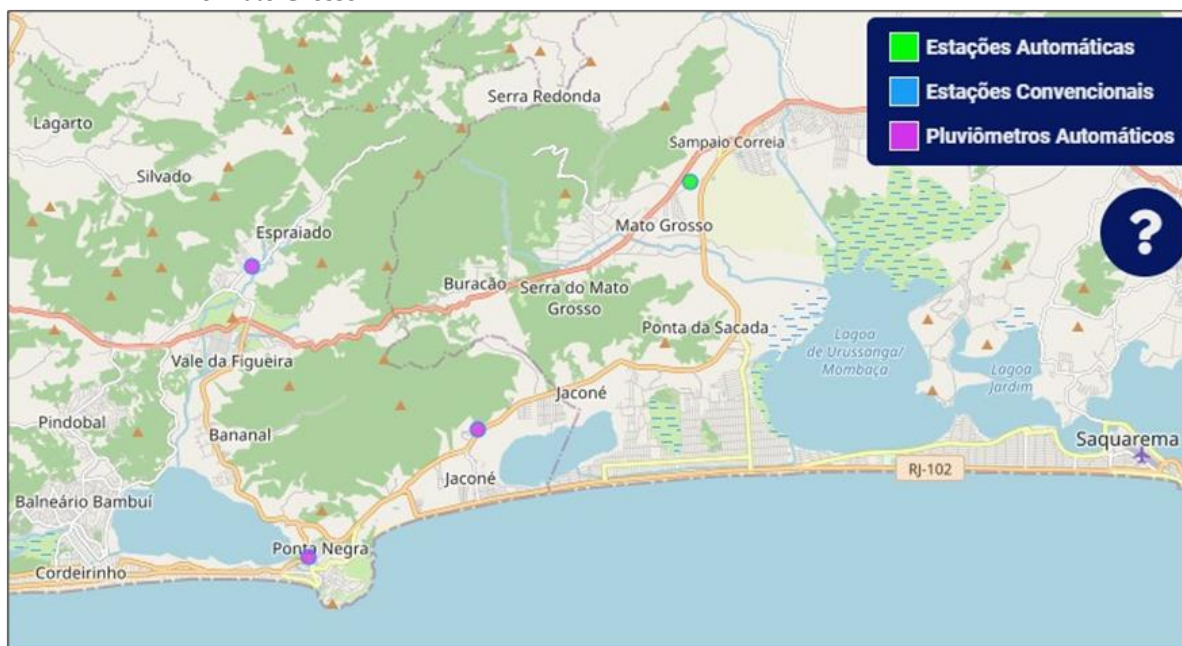


Fonte: ANA, 2022a.

Já os dados em tempo real da ANA, que também fazem parte da Rede Hidrometeorológica Nacional, estão disponíveis no portal do Sistema HIDRO Telemetria (ANA, 2022b), porém nenhuma estação pluviométrica está localizada na Microbacia do Rio Mato Grosso. A mais próxima recebe o código 2242010 e está em funcionamento na localidade de Manoel Ribeiro, em Maricá, a mais de 6 km da microbacia de estudo.

O INMET disponibiliza dados de precipitação obtidos em estações meteorológicas automáticas ou convencionais ou por pluviômetros automáticos, administrados pelo órgão e instituições parceiras, como o CEMADEN e a ANA. As estações geradoras de dados foram consultadas no portal de Mapas de Estações do INMET (2022b), não sendo encontrada nenhuma na Microbacia do Rio Mato Grosso. As mais próximas com dados de precipitação acumulada foram: estação automática de Sampaio Correia (INMET A667) e pluviômetros automáticos de Maricá – Jacaré (CEMADEN D1693), Maricá – Ponta Negra (CEMADEN D1695) e Maricá – Espreado (CEMADEN D1702), distribuídos de acordo com a Figura 19. Cabe ressaltar que na Figura 19, apesar de apresentadas na legenda, não foram encontradas estações convencionais ativas no quadro que compreende a microbacia e o entorno.

Figura 19 – Estações automáticas e convencionais e pluviômetros automáticos no entorno da Microbacia do Rio Mato Grosso



Fonte: INMET, 2022b.

A estimativa da precipitação média por interpolação de isoietas é uma alternativa de simplificação e redução no tempo de elaboração da estimativa de precipitação, a fim de gerar imagem e vetor de volumes de chuva médios esperados para determinados período e área. Somente estão disponíveis para o Brasil as isoietas anuais de 1977 e 2006 (ANA, 2005), que podem ser acessadas no portal da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE, 2023). Porém, este período não compreende t1 ou t2.

São encontrados sensores de estimativa da precipitação por instantes e meses a partir de imagens de SR, porém com resolução espacial incompatíveis com o estudo de microbacias hidrográficas. Ainda, esses materiais demandam maior conhecimento de procedimentos em PDI e SIG, e maior espaço para armazenamento dos dados.

O satélite geossíncrono ambiental de órbita polar de medição de precipitações – *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM, do inglês) monitorou a precipitação, a cobertura por nuvens e outros dados relacionados à água entre 35 graus de latitude norte e 35 graus sul do primeiro dia de 1998 ao último de 2019. Os dados mensais gerados pelo TRMM têm resolução espacial de 0,25°, que corresponde a aproximadamente 28 km, sendo incompatível para o estudo de microbacias (NASA, 2011; PASSOW, 2010).

O algoritmo *Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* (IMERG) combina informações da constelação de satélites GPM para estimar a precipitação na maior parte da superfície da Terra. Na versão 06 do IMERG foram fundidas as estimativas de precipitação do

TRMM, entre 2000 e 2015, com as estimativas de precipitação do satélite GPM, iniciadas em 2014 e ativas em agosto de 2022. Os dados IMERG têm resolução espacial de 0,1°, que corresponde a aproximadamente 11,2 km (HUFFMAN et al., 2019). Ainda, o ERA5 entrou em atividade em 1950 e permaneceu durante t1 e t2, com última consulta em 15 de agosto de 2022, gerando dados de chuvas convectivas, intensidade de chuvas, total de precipitação, entre outros; porém apresenta resolução espacial de 31 km para reanálise atmosférica de áreas terrestres (C3S, 2019; HERSBACH et al., 2020), não sendo indicado para o presente estudo.

O EcoClimate disponibiliza dados gerados a partir de técnicas de redução de escala e projeções hidrológicas associadas aos cenários de mudanças climáticas globais do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, do inglês), para os períodos pré-industrial (1760 como ano de referência), histórico de 1900 a 1949, e moderno a partir dos dados de 1950 a 1999 para diferentes períodos geológicos e considerando cenários propostos para o período de 2080 a 2100. Com resolução espacial de aproximadamente 28 km, não servindo para o presente estudo, dados do EcoClimate são indicados para estudos de macro-ecologia e biogeografia (LIMA-RIBEIRO et al., 2015; 2022).

O Centro de Hidrometeorologia e Sensoriamento Remoto da Universidade da Califórnia – *Center for Hydrometeorology and Remote Sensing* (CHRS, do inglês) disponibiliza dados de precipitação em formato de imagem com resolução espacial de até 4 km, gerados a partir de diferentes metodologias, tais como aplicação de Redes Neurais Artificiais (RNA) sobre imagens de temperatura de brilho, a partir espectro infravermelho e imagens do espectro visível; segmentação e categorização de nuvens a partir de imagens de satélite; monitoramento com alta resolução temporal, entre outros (CHRS, 2022). Apesar da disponibilidade de dados aprimorados com aplicação de algoritmos avançados e de outros sensores remotos não considerados nos produtos iniciais, os dados CHRS não foram utilizados neste estudo devido à baixa resolução espacial para o estudo de microbacia.

Os dados de precipitação anual do *Climatic Research Unit gridded Time Series* (CRU TS) são derivados da interpolação de anomalias climáticas mensais de extensas redes de observação de estações meteorológicas. Os dados CRU TS estão disponíveis para download gratuito em formato de imagem para todo o planeta. A versão 4.06 do CRU TS foi lançada em 26 de maio de 2022, cobrindo o período de 1901 a 2021 (CRU TS, 2022), sendo possível baixar de acordo com ENG-School (2022), porém os dados são entregues com resolução espacial de aproximadamente 5 km.

A base de dados WordClim – Global Climate Data disponibiliza imagens mensais de precipitação de 1970 a 2000 e projeções futuras para períodos de 20 anos (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100) com resolução espacial de até aproximadamente 1 km (FICK; HIJMANS, 2017), sendo considerada nos dados climáticos das Variáveis Ambientais para Modelagem de Distribuição de Espécies pelo INPE (2022d), porém não foi utilizada devido à falta de dados captados para t1 e t2.

Os dados de precipitação gerados a partir de Sensoriamento Remoto com melhor resolução espacial encontrados para download livre foram do *Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas* (CHELSA) que, segundo Karger et al. (2017), disponibiliza dados de vários períodos e variáveis meteorológicas, desde a Última Glaciação até o presente, e cenários futuros, tais como utilizados para avaliar alterações climáticas previstas para as próximas décadas e ao longo do século XXI. Os dados são baseados em redução de escala sobre modelo de circulação global e reanálise global, com alta correlação dos dados de precipitação com os apresentados pelo TRMM. Apresenta tanto dados diários quanto mensais e climatológicos, sendo a precipitação diária estimada pela cobertura por nuvens, disponível de 2003 (KARGER et al., 2021) a 2016 (CHELSA, 2023). Os tipos climáticos pela classificação de Köppen-Geiger estão disponíveis para o período de 1981 a 2010. Já os dados mensais do CHELSA são atualizados com maior frequência, estando disponíveis até 31 de agosto de 2023 as médias mensais de precipitação de 1979 a 2019 de janeiro a junho, e de 1979 a 2018 de janeiro a dezembro (CHELSA, op. cit.), não abrangendo o segundo ano de referência deste estudo (2020) até 30 de setembro de 2023.

Apesar da limitação na disponibilidade de dados de precipitação para estudo de microbacia, foram selecionados dados da versão 2.1 do CHELSA (op. cit.) de precipitação mensal média para dois períodos, de 1981 a 2010 como t1 e de 2011 a 2040 como t2 (Quadro 2). Para o segundo período foi selecionado o modelo de previsão IPSL-CM6A-LR (BOUCHER et al., 2020), por contar com o modelo climático mais recente (IPSL, 2023). Quanto aos cenários propostos para as políticas socioeconômicas, esse portal disponibiliza dados para cenários otimista, moderado e pessimista quanto à concentração e gases de efeito estufa na atmosfera, sendo considerado neste estudo o cenário mais preocupante e extremo (SSP585). Esses cenários são tidos como trajetórias socioeconômicas e foram apresentados no sexto relatório de avaliação do IPCC (2021).

Quadro 2 – Arquivos raster de precipitação baixados do Chelsa Climate

	t1 (1981-2010)	t2 (2011-2040)
Precipitação	CHELSA_pr_**_1981-2010_V.2.1	CHELSA_ipsl-cm6a-lr_r1i1p1f1_w5e5_ssp585_pr_**_2011_2040_norm

Legenda: ** = mês do ano, de 01 a 12.

Fonte: CHELSA, 2023.

O ano de 2018 foi considerado um ano de eventos climáticos extremos, como relacionados ao aumento da temperatura do ar em diversos locais do planeta, com impactos na saúde humana e na demanda por eletricidade. Também apresentou maior ocorrência e intensidade de incêndios, que levaram a óbitos, mudanças em padrões de chuvas, levando a deslizamentos de encosta e inundações, aumento na intensidade de tempestades, entre outros efeitos relacionados com o aumento na emissão de gases de efeito estufa (LEVIN; TIRPAK, 2018; OMM, 2019). Em 10 de novembro de 2018 ocorreram deslizamentos de encosta no Morro da Boa Esperança, em Niterói, após fortes chuvas intermitentes que saturaram o solo nos dias anteriores (GUTIÉRREZ et al., 2021), levando a 15 mortes e deixando 67 famílias desabrigadas, sendo após dois anos reforçadas as contenções em encostas suscetíveis a deslizamentos na comunidade (SODRÉ, 2020).

Em 2020, ano de referência para t2, também ocorreram eventos relacionados à alta precipitação. Em janeiro de 2020 a ocorrência de chuvas intensas levou a um acidente entre um ônibus e um caminhão, resultando em ferimentos e morte na Rodovia RJ-106, em Sampaio Correia (VASCONCELOS, 2020), município de Saquarema. Em setembro de 2020, o INPE emitiu um alerta de chuvas intensas e acumulado de chuva para uma área extensa na Região Sudeste do país, incluindo Maricá e Saquarema, que ficou ativo das 9:00h do dia 22 às 9:00h do dia 23 (CPTEC/INPE, 2020), que levou ao desalojamento de cinco famílias e à interdição de duas casas, tendo efeitos noticiados nas áreas centrais da sede municipal e do distrito de Bacaxá (PIRES, 2020). No dia 23 de dezembro 2020 ocorreram deslizamento de encosta e queda de árvore que atingiram a Rodovia RJ-106 na Serra do Mato Grosso, levando a ação do Departamento de Estradas de Rodagem do Rio de Janeiro na limpeza da pista nas áreas atingidas (O FLUMINENSE, 2020).

Cabe ressaltar que este estudo não considera a influência de fenômenos climáticos de macroescala, como El Niño e La Niña, apesar da ocorrência de El Niño fraco (de 2018 a 2019) e moderado (de 2009 a 2010; e 2023); e de La Niña fraco (de 2017 a 2018; 2022 a

2023), moderado (de 2020 a 2021; e de 2021 a 2022) e intenso (de 2010 a 2011), de acordo com Golden Gate Weather Services (2023).

Em novo projeto do QGIS, foram adicionadas como camadas raster as imagens de precipitação mensal de t1 e t2, assim como a camada vetorial os limites da Microbacia do Rio Mato Grosso (EPSG:31983). A camada dos limites da microbacia foi reprojetada para o sistema de coordenadas das imagens de precipitação de t1 e t2 (WGS 84 em graus decimais – EPSG:4326). A escala de visualização do QGIS foi reduzida sobre a microbacia para 1:50.000. A seguir, as imagens de precipitação mensal de t1 e t2 foram extraídas pela extensão da tela do mapa. Após o recorte as imagens foram reprojetadas para o sistema de coordenadas do projeto (EPSG:31983).

Para obter valores de pluviosidade média anual em t1 e t2, as imagens de precipitação mensais recortadas e reprojetadas foram somadas para cada período em separado (t1 e t2) na ferramenta “Calculadora Raster” do QGIS.

4.2.3.4 Topografia

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) disponíveis gratuitamente consultados neste estudo estão apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – MDEs consultados para download livre

Imagem	Resolução espacial (m)	Formato do arquivo	Data	Origem
ALOS PALSAR	12,5	TIF	15 fev. 2011	ALOS PALSAR
NASADEM	30	RAR → HGT	11 fev. 2000	SRTM + ASTER Global Digital Elevation Model Version (GDEM3)
TOPODATA Altitude	30	ZIP → TIF	n. d.	SRTM

Legenda: RAR e ZIP – arquivos compactados; TIF e HGT – formatos de imagens; n. d. – não disponível.

Fonte: ALASKA INSTITUTE, 2022; INPE, 2011; NASA, 2022b, USGS, 2022.

Cada imagem obtida de topografia foi baixada a partir de um portal ou complemento do QGIS. Para obter a imagem ALOS PALSAR foi acessado o portal do Alaska Institute (2022); O NASADEM foi obtido no portal EarthExplorer (USGS, 2022), com cadastro no

portal EarthData (NASA, 2022b); e a camada de altitude do TOPODATA foi baixada no portal do INPE (2011).

Cabe ressaltar que em 8 de fevereiro de 2022 foi disponibilizado o complemento “OpenTopography DEM Downloader”, com versão 2.0 lançada em 27 de fevereiro de 2023 (OPENTOPOGRAPHY, 2023; WIN, 2023) para QGIS a partir da versão 3.16, que permite baixar imagens de MDEs, como o COPERNICUS DEM, o NASADEM Global DEM, o SRTM 30 m e dados de batimetria (SPAMLAB IEE-USP, 2022). Para utilização deste complemento é necessário um cadastro nos devidos portais dos MDEs e geração de chave de integração com o *software*.

Os dados de altitude do COPERNICUS DEM foram desconsiderados neste estudo por representarem um MDS, que inclui edificações, vegetação e infraestrutura, ao invés de um MDE, que representa a Topografia. A utilização de MDEs para estudos de suscetibilidade a movimentos de massa é uma prática conhecida nos estudos acadêmicos, desde sua aplicação na elaboração das cartas de suscetibilidade a movimentos de massa e inundação do SGB (2019) às pesquisas que aplicam esses modelos à análise de áreas suscetíveis a esses processos (ELMOULAT; BRAHIM, 2018; FERNANDES et al., 2001; MANFRÉ, 2015; PIMENTEL; BRICALLI, 2023; PRIETO, 2018). No presente estudo foram consultados MDEs a fim de extrair a declividade do terreno, ao invés do MDS.

Quanto ao escaneamento de superfície por sensores ativos, os dados LiDAR estão disponíveis gratuitamente somente para algumas áreas no Brasil, tais como o município de São Paulo e o Estado de Pernambuco (GROHMANN, 2022), não compreendendo a área deste estudo.

Este estudo gerou e avaliou um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistido (MDEHC) no QGIS a partir das camadas de curvas de nível e de trechos de drenagem em escala 1:25.000 disponibilizada pelo IBGE (2018b). O melhor resultado entre os MDEs baixados e o MDEHC foi utilizado nos procedimentos seguintes.

Na primeira parte da elaboração do MDEHC foi gerado um MDE de acordo com Medeiros (2020). A ferramenta “v.to.rast” do pacote GRASS, que não necessita instalação adicional no QGIS, foi utilizada na conversão da camada de curvas de nível em raster, reprojetando para o sistema de coordenadas do projeto (EPSG:31983). Como fonte para os dados raster foi definido o atributo “COTA”. Na extensão da região GRASS foi definida como mesma extensão da camada de limites da microbacia pelo Consórcio Intermunicipal Lagos São João, enquanto no tamanho da célula foi definido o valor da equidistância da camada de origem (10 m).

Após gerado o arquivo temporário do MDE, esse foi definido como camada de entrada na ferramenta “r.surf.contour”, sendo repetidas a extensão e o tamanho da célula da região GRASS do procedimento anterior, conforme Medeiros (2020).

O MDE foi utilizado para gerar a direção dos fluxos (flow direction) a partir da ferramenta “r.fill.dir” do GRASS, com mesma extensão e mesmo tamanho da célula da região GRASS dos procedimentos anteriores.

Os trechos de drenagem disponibilizados pelo IBGE em escala 1:25.000 (2018a) foram recortados, reprojatados para o sistema de coordenadas do projeto (EPSG:31983), e convertidos para raster pela ferramenta “v.to.rast” do GRASS. Nessa conversão foi definido como fonte dos valores raster a categoria sem especificar o campo, com mesma extensão da camada de limites da microbacia e célula com tamanho 1 para melhor detalhamento. Por fim, foi gerado o MDEHC através da ferramenta “Burn Stream Network into DEM”, do SAGA GIS no QGIS, que exige as camadas raster do MDE, da direção dos fluxos e da drenagem.

A partir do MDEHC foi estimada a declividade em graus pela ferramenta “Declividade”, incluída no pacote GDAL do QGIS (2022).

Para a exibição do MDEHC e dos resultados em mapas foi gerado um relevo sombreado sobre o MDEHC com aplicação da ferramenta “Sombreamento” nativa do QGIS.

4.2.3.5 Imagens de Sensoriamento Remoto multiespectral

As imagens de SR nos espectros óptico disponíveis para download gratuito têm diferentes resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal, assim como período de funcionamento do satélite. Neste estudo, foram selecionados satélites com sensores que captam dados de refletividade disponíveis para download gratuito multiespectral com banda NIR. Para as imagens foram considerados os períodos de 2009 a 2011 como t1 e de 2019 a 2021 como t2.

Quanto a imagens de radar de abertura sintética, as disponíveis gratuitamente com alta resolução espacial não compreendem o período de t1 deste estudo, além da maior complexidade no processamento desses dados. O satélite Sentinel-1 teve primeira versão lançada em abril de 2014, gera dados que estão disponíveis para download gratuito em imagens com até 5 m de resolução espacial (ESA, 2023a). Já o satélite Radarsat tem primeira versão com imagens gratuitas de 1995 a 2014 a 2013 com até 8 m de resolução espacial,

porém a segunda versão lançada em 2007 com previsão de funcionamento até abril de 2024, apresenta imagens de até 3 m de resolução espacial, com acesso exclusivamente comercial (ESA, 2023b).

As imagens dos satélites Landsat estão entre as mais utilizadas em estudos de uso do solo de grandes áreas (HANSEN et al., 2013; HANSEN; LOVELAND, 2012; MAS et al., 2020; SOUZA et al., 2020). São utilizadas pelo Mapbiomas nos mapeamentos do UCT, de transições, de qualidade dos mosaicos, de desmatamento e regeneração, e de outros temas desde 1985 (PROJETO MAPBIOMAS, 2023).

Em 2010 os satélites Landsat 5 sensor ETM, e 7 sensor ETM+ (com erros) estavam em operação levantando dados sobre a superfície da área de estudo; enquanto em 2020 estiveram em atividade as versões Landsat 7 sensor ETM+ (com erros), e 8 sensores OLI e TIRS (NASA, 2022c), sendo todas as versões com imagens disponibilizadas gratuitamente no portal EarthExplorer (USGS, 2022).

Estudos foram elaborados após fusão de imagens multiespectrais e PAN de diferentes satélites/sensores, como realizado por Napoleão (2001) que executou a fusão de composição de bandas do sensor TM do satélite Landsat 5 com a banda PAN de satélite SPOT para avaliar alterações no UCT (NAPOLEÃO, op. cit.). Sestini e Ferri (2007) realizaram a fusão de imagens Landsat 5 TM com imagens da banda PAN dos satélites SPOT, de 5 m de resolução espacial, e Quickbird, de 0,60 m, com melhor resultado para a segunda fusão. Apesar da melhoria identificadas pelos autores, ressaltaram a necessidade de aplicação de filtros e testes para obter resultados de maior qualidade, demandando diversos procedimentos em SIG. Já Pedrassoli (2013) indicou melhorias na definição de áreas de plantio e solo exposto a partir da fusão de imagens multiespectrais Landsat 5 e CBERS2 com a banda PAN do sensor HRC do satélite CBERS 2B (PEDRASSOLI, op. cit.).

As imagens Landsat 7, sensor ETM+, são as cobrem maior período de atividade dos satélites dessa missão e apresenta banda PAN com 15 m de resolução espacial (NASA, op. cit.). Estão disponíveis imagens Landsat 7 sensor ETM+ para download no EarthExplorer (USGS, op. cit.) para a área da Microbacia do Rio Mato Grosso nas datas de 19 de julho de 1999 e 6 de abril de 2022, incluindo o espectro do infravermelho termal, com 60 m de resolução espacial. Apesar dessa disponibilidade, a partir de 31 de maio 2003, o Landsat 7 passou a entregar imagens com faixas sem dados, que correspondem a 22% das imagens, devido a um problema técnico no equipamento eletro-mecânico Scan Line Correction, que podem ser reduzido com aplicação de máscaras para complementação dos dados com ferramentas em SIG (CHEN et al., 2011). São procedimentos nem sempre viáveis para a

aplicações por prefeituras e comitês gestores de bacias hidrográficas. Ainda, a resolução espacial de 15 m das imagens Landsat 7 sensor ETM+ limita sua aplicação para estudos de microbacias, sendo essa opção não utilizada neste estudo.

As imagens da missão SPOT, satélite francês, estão disponíveis gratuitamente com resolução espacial de 2,5 a 20 m para download somente das versões 1 a 5, que cobre o período de 1986 a 2015 (CNES, 2023b). Já as versões mais recentes dos satélites SPOT são comerciais e podem chegar até a resolução espacial de 1,5 m (ESA, 2022a).

Apesar da maior resolução espacial das imagens Sentinel-2, de 10 m, contra 30 m das Landsat 5 e até 15 m das Landsat 7, 8 e 9, suas imagens somente estão disponíveis a partir de 23 de junho de 2015 (ESA, 2022b), não cobrindo o período de t1. O mesmo ocorre com as imagens disponibilizadas pelo projeto Planetscope, que apresentam imagens com 4,77 m de resolução espacial e podem ser baixadas gratuitamente imagens geradas a partir de 2015 (PLANET LABS, 2022a), com download no portal (PLANET LABS, 2023) ou a partir de complemento instalado no QGIS (PLANET LABS, 2022b).

Uma solução voltada para usuários de órgãos conveniados e registrados na plataforma é o Geo Catálogo do Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA, 2023), que disponibiliza gratuitamente o download de imagens ortorretificadas do satélite comercial RapidEye para pesquisadores de instituições cadastradas. Essas imagens apresentam resolução espacial de 5 m, porém estiveram disponíveis somente para o período de 2011 a 2014, sendo encontradas imagens que cobrem toda Microbacia do Rio Mato Grosso do dia 13 de agosto de 2011, não cobrindo o período de t2. Ainda, esse é um projeto voltado para atender ao Programa de Regularização Ambiental, sem previsão de atualização (BRASIL, 2012c).

Em relação às imagens dos satélites CBERS, é possível realizar fusão com banda PAN dos próprios satélites das versões 2B (CARVALHO; PINTO, 2011; CURTARELLI; ARNENSEN, 2010; FREITAS et al., 2009; PEDRASSOLI, 2013), 4 (PISANI et al., 2019) e 4A (MEIRELES, 2021; PEREIRA, 2021). Não é encontrada banda do infravermelho termal nos sensores dos satélites CBERS.

Para estimar o UCT da Microbacia do Rio Mato Grosso nos dois períodos deste estudo (t1 e t2) foram pesquisadas imagens com bandas do espectro visível para a Microbacia do Rio Mato Grosso e para o município de Saquarema. O período considerado para t1 foi de janeiro de 2009 a dezembro de 2011, enquanto para t2 foi de janeiro de 2019 a dezembro de 2021, com menor quantidade de cobertura por nuvens sobre a área de estudo e selecionadas imagens da mesma estação do ano para t1 e t2 (INMET, 2023).

Para o período de t1, foram encontradas imagens gratuitas de livre acesso nos canais RGB e NIR ou somente NIR-R-G-SWIR, sendo essa última banda relativa ao espectro do infravermelho de ondas curtas (SWIR) que podem ser utilizadas por prefeituras e comitês de bacias hidrográficas, com resolução espacial superior a 10 m dos satélites: CBERS2B com banda PAN de 2,7 m (INPE, 2023a); SPOT-5 com banda PAN de 5 m que pode ser processada para gerar uma banda PAN de 2,5 m (CNES, [s. d.]; 2023b), além de RapidEye-3A com 5 m para órgãos públicos cadastrados (MMA, 2023).

Apesar da disponibilidade de download gratuito de imagens CBERS-2B, poucas estão disponíveis para a Microbacia do Rio Mato Grosso no período de t1, sendo encontrada somente imagens com bandas RGB e NIR sem nuvens para a área de estudo de 22 de dezembro de 2009. Além dessas imagens terem sido obtidas no período do verão, quando há maior probabilidade de nuvens, as bandas do sensor CCD têm 20 m de resolução espacial e a banda PAN do sensor HRC tem 2,5 m, sendo que essa compreende somente uma área da microbacia na porção Oeste, não sendo indicado utilizar essas imagens CBERS-2B para t1.

As imagens do satélite SPOT-5 e versões anteriores dos satélites SPOT estão disponíveis para download gratuito para o Brasil, com nível de processamento L1A (correção radiométrica), no âmbito do Programa SPOT World Heritage do Centro Nacional de Estudos Espaciais (CNES) da Agência Espacial Francesa (NOSAVAN; MOREAU; HOSFORD, 2020). Foram consultadas imagens multiespectrais SPOT-5, que não contam com a banda do azul, o que demanda geração de composição falsa-cor para visualização semelhante à de cores reais; assim como imagens PAN com 5 m de resolução espacial.

Para t1, as imagens SPOT-5 de 04 e 13 de setembro de 2010 foram verificadas quanto a visualização sobre a Microbacia do Rio Mato Grosso, seguida do município de Saquarema, a fim de permitir futuras aplicações para outras microbacias do município, ou no entorno. As imagens de 04 de setembro de 2010 compreendem o município de Saquarema e a Microbacia do Rio Mato Grosso por completo, foram baixadas e comparadas quanto a visualização para a área de estudo no QGIS. Já as imagens do dia 13 de setembro do mesmo ano compreendem toda a microbacia, porém não compreendem o município de Saquarema por completo, tendo limites a Oeste no Centro da capital fluminense e a Leste na Lagoa de Jacaré. Assim, foram selecionadas para t1 as imagens multiespectrais (bandas NIR-R-G-SWIR) e da banda pancromática do satélite SPOT-5 do dia 04 de setembro de 2010 para t1.

A disponibilidade de imagens da constelação de satélites RapidEye foi definida como última opção para t1 devido à restrição de acesso para órgãos públicos cadastrados, neste estudo pela Profa. Dra. Vivian Castilho da Costa (LAGEPRO/UERJ, cadastro gerado em

15/09/2015), sendo uma alternativa na ausência de outras imagens para a área e o período de estudo. Os procedimentos para consulta e acesso a imagens RapidEye-3 estão descritos no Manual Público do Geo Catálogo (MMA, 2023), complementada pelo tutorial de acesso às imagens por geosserviço WMS no QGIS, disponível em perguntas frequentes no mesmo portal. Foram encontradas três imagens RapidEye-3A com as bandas RGB, NIR e infravermelho red edge para os limites do município de Saquarema no período de t1. Duas imagens encontradas do dia 13 de agosto de 2011 compreendem toda a Microbacia do Rio Mato Grosso, enquanto uma imagem do dia 24 de janeiro de 2011 compreende a porção complementar a Leste do município de Saquarema, fora da área deste estudo. As imagens RapidEye-3A encontradas são disponibilizadas ortorretificadas com resolução espacial 5 m, enquanto sua captura foi realizada com 6,5 m. A resolução radiométrica das imagens RapidEye consultadas é de 12 bits, que diferencia os pixels da imagem em 4096 níveis digitais. Além de retornar erros no download, que não pôde ser concluído em diversas tentativas no portal do Geo Catálogo, não há previsão da continuidade desses serviços e a baixa temporalidade das imagens disponíveis limita a aplicação da metodologia desse estudo para outros períodos de comparação; sendo uma alternativa descartada nesse estudo pelo objetivo de tornar essa metodologia aplicável a comitês gestores de bacias hidrográficas e prefeituras.

Para o período de t2, foram encontradas imagens com as mesmas características de pesquisa utilizadas para t1 dos satélites CBERS-4 e CBERS-4A, com bandas PAN de 5 m e 2 m de resolução espacial, respectivamente (INPE, 2023a); e da Constelação Planet com composições mensais de dezembro de 2015 em diante e resolução espacial de 4,77 m (PLANET LABS, 2022a; 2023).

Para t2, as imagens CBERS-4A de 22 de junho de 2020 foram selecionadas devido à maior resolução espacial comparada às alternativas CBERS-4 e Constelação Planet, essa última comparada a partir de imagem do mesmo mês e ano. Já as imagens CBERS-4A de 28 de agosto de 2020, apesar de compreenderem todo o município de Saquarema, não abrangem uma área da microbacia na porção Oeste, onde ocorre a limite entre Saquarema e Maricá.

As características das imagens multiespectrais utilizadas para t1 e t2 estão disponíveis no Quadro 4.

Quadro 4 – Imagens multiespectrais utilizadas para t1 e t2

	t1	t2
Satélite	SPOT-5	CBERS-4A
Sensor	HRG-2	WPM
Nível de processamento	L1A	L4
Data	04/09/2010 (t1)	22/06/2020 (t2)
Resolução espacial	PAN (5 m); R, G e NIR (10 m); SWIR (10 m*)	PAN (2 m); RGB e NIR (8 m)
Resolução espectral	0,48 – 0,71 μm (PAN) 0,50 – 0,59 μm (G) 0,61 – 0,68 μm (R) 0,78 – 0,89 μm (NIR) 1,58 – 1,75 μm (SWIR)	0,45 – 0,90 μm (PAN) 0,45 – 0,52 μm (B) 0,52 – 0,59 μm (G) 0,63 – 0,69 μm (R) 0,77 – 0,89 μm (NIR)
Resolução radiométrica	8 bits	10 bits
Resolução temporal	26 dias	31 dias
Período de funcionamento	04/05/2002 a 31/03/2015	20/12/2019 a atual

Legenda: * banda SWIR SPOT-5 gerada em 20 m e reamostrada para 10 m.

Fonte: CNES, [s. d.]; 2023b; INPE, 2023a.

Após conversão espectral (Quadro 5), a imagem multiespectral falsa-cor do satélite SPOT-5 de t1 foi fundida à banda PAN de mesma localização no ArcGIS Pro. Cabe ressaltar que, apesar desse satélite apresentar duas bandas PAN, com deslocamento entre elas para geração de uma banda PAN em supermodo com 2,5 m de resolução espacial, o procedimento de combinação das bandas PAN envolve técnicas avançadas de processamento e restauração de imagens (CNES, [s. d.]) e esteve sob testes pela CNES (ZHANG et al., 2020), sendo comercializada pela CNES, não sendo aplicada neste estudo. Assim, foi gerada uma imagem de 5 m de resolução espacial a partir do satélite SPOT-5 em composição falsa-cor fusionada com uma banda PAN.

O procedimento de conversão espectral da imagem multiespectral do satélite SPOT-5 foi testado no QGIS, apresentando resultados semelhantes ao obtido no ArcGIS Pro, porém a fusão da imagem falsa-cor com a banda PAN retornou erros e não foi concluída tanto na ferramenta “Pansharpening” do pacote de ferramentas GDAL, quanto na ferramenta “i.pansharpen” do GRASS, e na ferramenta “Pansharpening” do pacote OTB, essas executadas no QGIS. Sendo assim, a imagem falsa-cor fusionada com a banda PAN no *software* comercial ArcGIS Pro (versão de teste) foi utilizada para t1.

Quadro 5 – Matriz de conversão de imagem multiespectral sem banda do azul em uma imagem de falsa-cor semelhante a cor verdadeira (RGB)

Raster Functions ? ▾ 🔍 ✕

← **Spectral Conversion Properties**

General Parameters

Raster
Multispectral_SCENE01

Conversion Matrix

	1	2	3	4
1	0,1	0,9	0	0
2	0,3	0	0,7	0
3	0,1	0,1	0,8	0
4	0	0	0	0

Fonte: ESRI, 2014.

A imagem resultante da composição falsa-cor e posterior fusão com a banda PAN foi adicionada ao QGIS e georreferenciada com a ferramenta “Georreferenciador” do QGIS, atribuindo treze pontos distribuídos pela área de Maricá e Saquarema, no sistema de coordenadas original das imagens (EPSG:4326), mesmo sistema definido para o projeto durante esse processo. Foram testados todos os tipos de transformação do QGIS, sendo o melhor resultado selecionado: TPS, com método de reamostragem “Cúbico”. Os pontos de controle foram salvos em arquivo com extensão points, original do QGIS. Após georreferenciamento, o sistema de coordenadas do projeto foi alterado para o principal desse estudo (EPSG:31983).

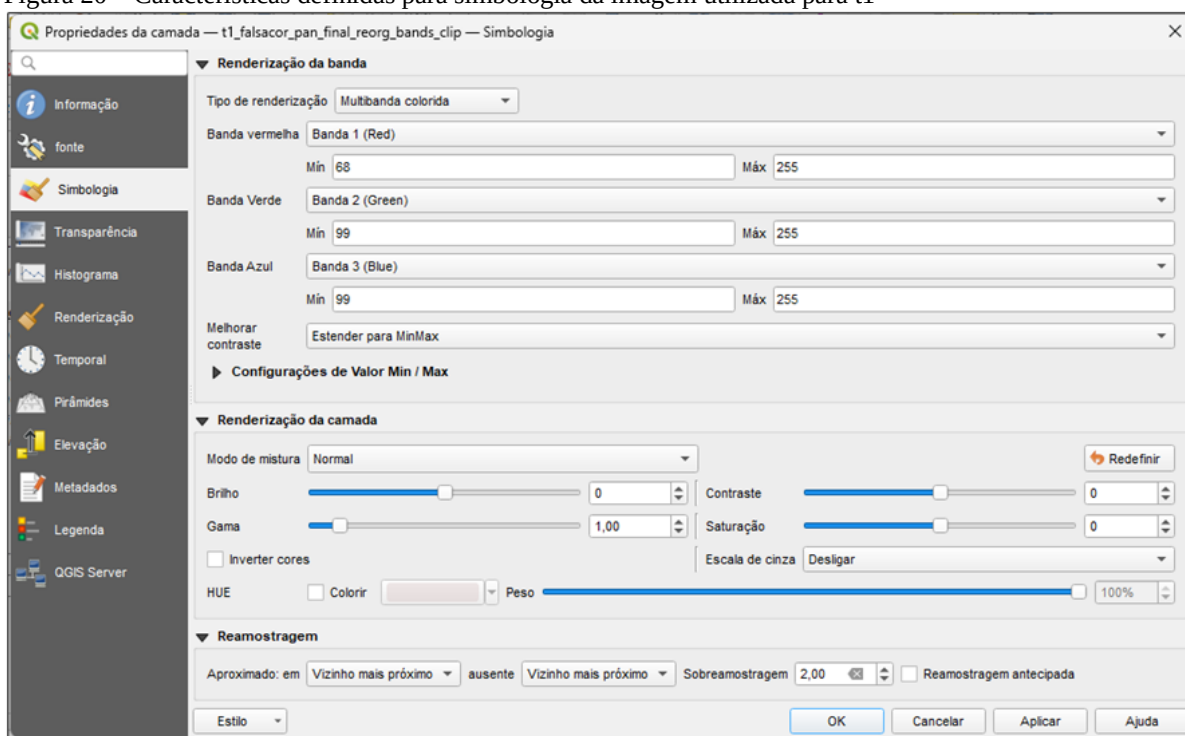
A banda PAN do sensor HRG-2 do satélite SPOT-5 compreende um espectro eletromagnético de 0,48 a 0,71 μm , relacionados às cores azul, verde e do vermelho, sendo fusionada à composição falsa-cor. Porém, a fusão de outras bandas com a PAN apresenta distorções espectrais, apesar de aumentar a resolução espacial da imagem (GUO et al., 2018). Para remover a banda do SWIR, banda 4 (Alpha) dessa composição, foi aplicada a ferramenta “Reorganizar bandas” do GDAL para manter somente as bandas 1, 2 e 3 em um novo raster.

Após remoção da banda SWIR, a composição falsa-cor NIR-R-G para semelhante a cores reais fusionada à banda PAN foi reprojeta para o sistema de coordenadas do projeto (EPSG:31983). Posteriormente, foi recortada com camada de máscara (GDAL) dos limites da

Microbacia do Rio Mato Grosso, atribuindo 0 para o valor “sem dados” e desmarcando a opção “Igualar a extensão da imagem recortada com a extensão da camada de máscara”.

Para melhor visualização da imagem falsa-cor de t1, foram calculados os histogramas das bandas e definidos os valores máximos e mínimos para cada banda, de acordo com os intervalos mais representativos visualizados em propriedades da camada no QGIS. Na mesma janela do QGIS foi acessada a aba de simbologia da camada para testar variações das características de renderização da imagem (brilho, contraste, gama e saturação) e do modo de reamostragem para aproximação e ausência de dados (Vizinho Mais Próximo, Bilinear e Cúbico). Esse estilo foi aplicado e salvo em arquivo com extensão QML (Figura 20).

Figura 20 – Características definidas para simbologia da imagem utilizada para t1



Fonte: O autor, 2023.

Para t2, foi gerado um mosaico no QGIS com as bandas R (banda 3), G (banda 2), B (banda 1) e NIR (banda 4) aplicando a ferramenta “RGBN Composite” do complemento CBERS-4A Downloader. Posteriormente, essa composição RGB+NIR foi fusionado à banda PAN aplicando a ferramenta “Pansharpening” do mesmo complemento, com limites calculados a partir da imagem da banda PAN (banda 0). A imagem resultante foi reprojeta para o sistema de coordenadas do projeto (EPSG:31983) e recortada com limites da Microbacia do Rio Mato Grosso, definindo valor 0 para Atribuir um valor “sem dados” especificado às bandas de saída.

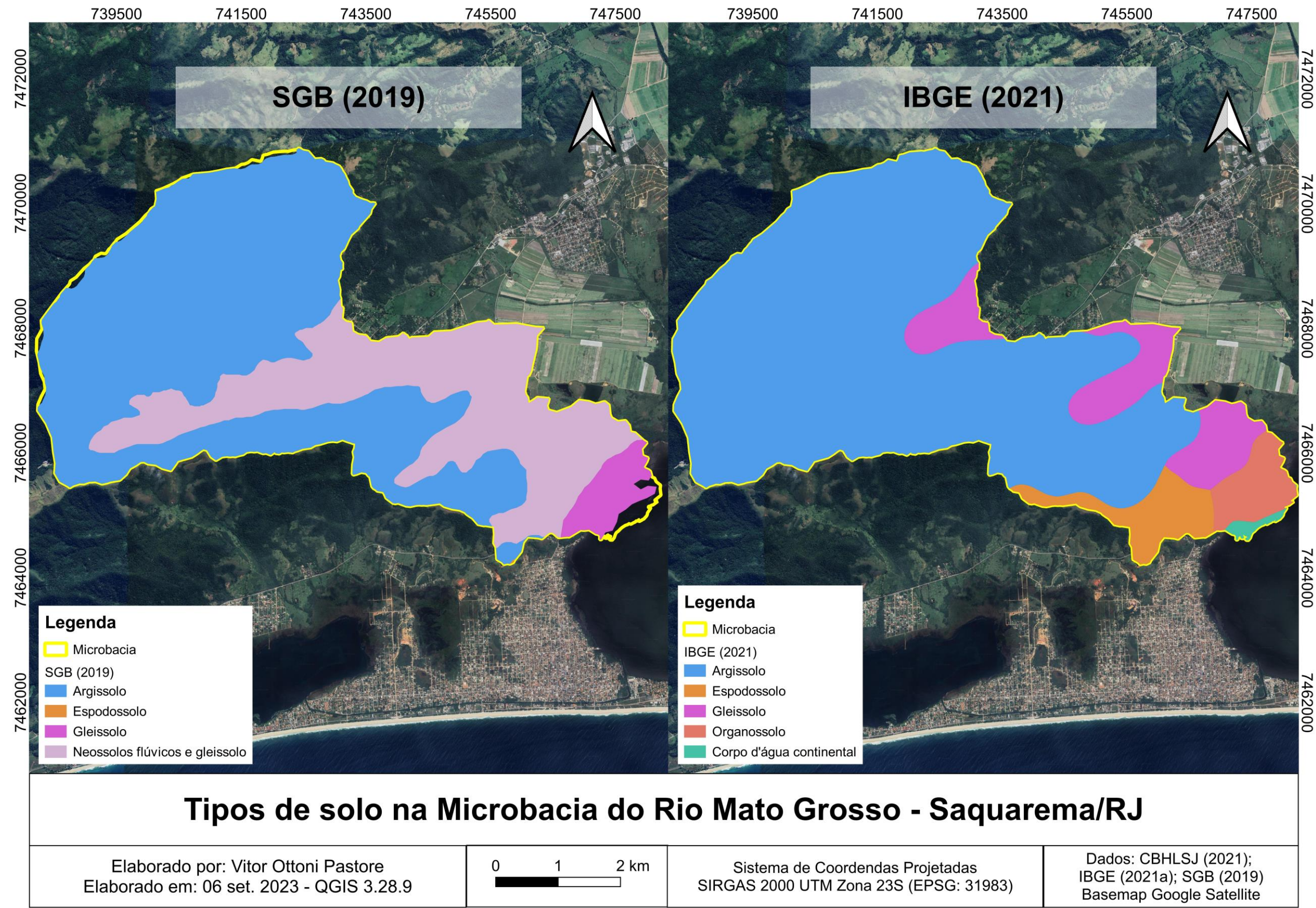
4.2.3.6 Pedologia

São encontradas bases de dados de Pedologia de instituições públicas que apresentam baixa escala, como no Mapa de Solos do Brasil (EMBRAPA, 2020) e no Mapa Digital de Solos do Mundo em inglês da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2007), ambos em escala 1:5.000.000, no Mapa de Solos no Estado do Rio de Janeiro, anterior ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, em escala 1:500.000 (EMBRAPA, 2018), e na delimitação dos tipos de solo na escala 1:250.000, classificados até o 4º nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, do IBGE (2021a).

Devido à baixa escala das camadas de tipos de solo em relação à área de estudo, e a ausência de estudos publicados com esse tema para a área de estudo, foram avaliadas as delimitações disponíveis. O SGB (2019) disponibiliza dados de tipos de solo na escala 1:100.000, sendo a elaboração inicial desses dados pela Embrapa em 2003 na escala 1:250.000, com posterior ajuste para a escala 1:100.000 pelo SGB. O IBGE (op. cit.) disponibiliza dados de pedologia na escala 1:250.000. Ambas as camadas foram reprojetadas para o sistema de coordenadas do projeto (EPSG:31983), recortadas para a microbacia e comparadas as classes.

Enquanto o dado de solos do IBGE (op. cit.) indicou a ocorrência de espodossolo, gleissolo, argissolo e organossolo, além de corpos hídricos; do SGB (op. cit.) indicou espodossolo, gleissolo, argissolo e neossolos flúvicos com gleissolo, com menos divisões (Figura 21).

Figura 21 – Mapa de tipos de solo na Microbacia do Rio Mato Grosso sem considerar área impermeável



Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

A delimitação dos tipos de solo proposta pelo SGB (2019) indicou que a microbacia compreende: 20,8 km² de argissolos, 10,4 km² de neossolos flúvicos com gleissolo, 1,2 km² de gleissolos e menos de 1 km² de espodossolos em área no extremo Sul da microbacia, mas não compreende uma área de 0,2 km² onde há corpo d'água. Já o IBGE (2021a) indicou a presença de argissolos em 26,1 km², gleissolos em 3,6 km², espodossolos em 1,7 km², organossolos em 1,2 km² e 0,2 km² da microbacia compreendendo corpo d'água. Apesar da maior escala nos dados disponibilizados pelo SGB (op. cit.), esses não compreendem 0,2 km² em áreas localizadas nos limites entre Saquarema e os municípios vizinhos de Maricá, Tanguá e Rio Bonito. Devido a maior quantidade de classes na microbacia na proposta do IBGE (op. cit.) e por compreender totalmente a microbacia, essa base foi considerada para determinação do tipo de solo nesse estudo, sendo dissolvida pela classe “legenda”.

Da camada de trechos rodoviários do IBGE (2018b) foram exportados somente os trechos pavimentados no sistema de coordenadas do projeto, com posterior recorte para a Microbacia do Rio Mato Grosso. Cabe ressaltar que a camada de vias do OSM (OSMF, 2022) na microbacia de estudo não apresentou nenhuma via sinalizada como pavimentada na tabela de atributos, assim como agrupou ruas pavimentadas e não pavimentadas na classe de vias residenciais. A partir dos trechos pavimentados do IBGE (2018b) para a Microbacia do Rio Mato Grosso foram gerados polígonos com a ferramenta “Buffer” com 4 m de distância para cada lado, distância média definida após consulta visual em trechos pavimentados na microbacia com ferramenta de medição do QGIS. Novamente foi realizado recorte para obter somente os buffers. O resultado foi validado por visualização dos polígonos em relação às imagens de t1, t2 e ao mapa base do Google Satellite.

Ainda, a camada de polígonos de áreas edificadas da base cartográfica em 1:25.000 do IBGE (2018b) foi reprojetada para o sistema de coordenadas do projeto e recortada para a Microbacia do Rio Mato Grosso. Foi realizada união entre as camadas de polígonos de áreas edificadas e vias pavimentadas da microbacia, com posterior aplicação da ferramenta “Dissolver”, gerando a camada de áreas impermeáveis.

Posteriormente, na camada vetorial de tipos de solo do IBGE (2021a) da microbacia (EPSG:31983) foi editada no QGIS para alterar áreas de solo definido, que ocorrem em áreas edificadas ou vias pavimentadas. Para isso, foram realizados os microbacia e a camada de áreas impermeáveis da microbacia; “União” Entre a camada resultante da diferença simétrica e a camada de áreas impermeáveis dissolvida; Preenchimento na coluna “ordem” com “Solo impermeável” para as áreas impermeáveis adicionadas à camada de tipos de solo.

4.2.3.7 Suscetibilidades a deslizamento de encosta e inundação

As suscetibilidades a deslizamento de encosta e inundação foram consideradas tanto para t1 quanto para t2 a partir dos dados vetoriais da Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação do município de Saquarema (SGB, 2019). Essa carta foi gerada por interpretação de ortofotos para deslizamentos de encostas de acordo com SGB e IPT (2014, p. 15-18); e por classificação e zoneamento de parâmetros morfométricos das sub-bacias hidrográficas contribuintes, seguida de aplicação do modelo HAND (INPE, 2022a) e do cruzamento dessas duas estimativas para inundação (SGB; IPT, op. cit., p. 19).

Foram adicionadas as camadas vetoriais de movimentos de massa e inundação, assim como os arquivos de estilos dos dois temas, baixados em conjunto, no QGIS. Ambas as camadas vetoriais já foram adicionadas no sistema de coordenadas do projeto (EPSG:31983), sendo posteriormente recortadas com a camada vetorial dos limites da Microbacia do Rio Mato Grosso, colados os estilos das camadas de estilo de cada tema, e alterando a codificação das camadas para UTF-8.

A camada de movimentos de massa recortada foi editada para compreender as partes faltantes no limite Oeste da microbacia, por crescimento manual dos polígonos vizinhos através de interpretação visual com imagens de t1 e do Google Satellite, utilizando as ferramentas “Vértice” e “Aderência”, a fim de limitar os polígonos ao interior da microbacia.

As camadas das suscetibilidades à inundação e movimento de massa do SGB (op. cit.) para a Microbacia do Rio Mato Grosso no EPSG:31983 foram unidas pela ferramenta “União”, seguida de aplicação da ferramenta “Corrigir geometrias” com método de reparo “Linework”, ambas ferramentas nativas do QGIS. Na tabela de atributos da camada unida foi preenchida uma coluna dos níveis de suscetibilidades a movimentos de massa e inundação. Posteriormente, foi aplicada a ferramenta “Dissolver” (GDAL) para obter uma feição de cada classe e permitir os cálculos de área e porcentagem na tabela de atributos.

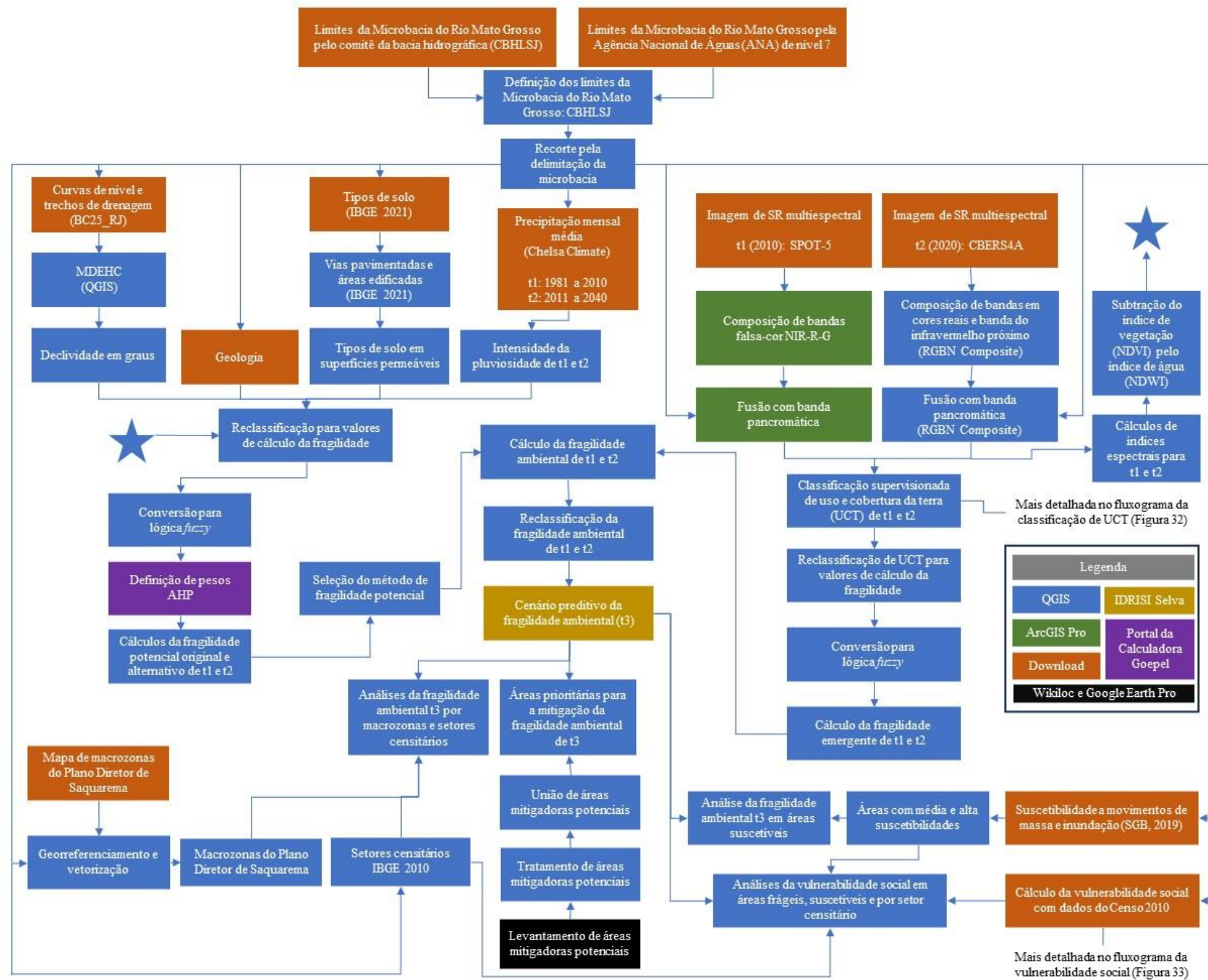
4.3 Análises espaciais

Neste tópico estão apresentados os métodos de cálculo dos índices de vegetação, uso e cobertura da terra, fragilidade ambiental e cenários preditivos, assim como das análises de fragilidade ambiental.

4.3.1 Fluxograma de fragilidade ambiental, cenário e análise por macrozonas e setores censitários

Considerando a metodologia deste estudo, a Figura 22 apresenta o fluxograma da sequência de procedimentos realizados para estimativa da fragilidade ambiental de t1 e t2, do cenário da fragilidade ambiental de t3 e das análises por macrozonas do plano diretor e por setores censitários.

Figura 22 – Fluxograma de cálculo e análise da fragilidade ambiental



Legenda: estrela = continua após subtração NDVI-NDWI para reclassificação para valores de cálculo da fragilidade.
 Fonte: O autor, 2023.

4.3.2 Índices espectrais

Como proposta teste de inclusão de índices espectrais no cálculo da fragilidade ambiental foram calculados dois índices de vegetação e um índice de água, sendo realizado ensaio da integração de um índice de cada tema para inclusão na estimativa da fragilidade potencial, essa parte da estimativa da fragilidade ambiental.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi calculado para avaliar alterações na cobertura vegetal, como áreas vegetadas e não vegetadas; e o SAVI foi aplicado para melhor distinção entre áreas de solo exposto e vegetação rasteira. Demais índices como o Índice de Vegetação Melhorado – EVI (LIU; HUETE, 1995) e o Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível – *Visible Atmospherically Resistant Index* (VARI, do inglês) não foram calculados nesse estudo devido à ausência de banda no espectro do azul na imagem multiespectral de t1, assim como o Índice de RedEdge por Diferença Normalizada não foi calculado pela ausência de banda do espectro infravermelho rededge em t1 e t2.

Também foi calculado o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) criado por Bo-Cai (1995), que permite “delinear corpos d’água abertos e avaliar sua turbidez, mitigando a refletância do solo e da cobertura vegetal terrestre” (EOS, 2022). O NDWI retorna valores positivos para áreas cobertas por água e negativos ou zero para solo e vegetação terrestre. É importante ressaltar que, por ser sensível a áreas construídas, o NDWI pode subestimar as massas de água (EOS, op. cit.).

Para calcular os índices de vegetação, as imagens originais multiespectrais e PAN baixadas para t1 foram fusionadas e georreferenciadas a partir dos mesmos métodos de aplicados para a imagem falsa-cor. A seguir, a imagem multiespectral em cores originais (NIR-R-G-SWIR) com banda pancromática de t1 foi reprojetada para o sistema de coordenadas do projeto (EPSG:31983), e essa foi recortada com os limites da Microbacia do Rio Mato Grosso.

Quanto a conversão para reflectância, indicada para cálculo de índices espectrais, foi realizado teste pela ferramenta “OpticalCalibration” do OTB para imagens de t1, que converte os dados de números digitais para reflectância de topo de atmosfera (CNES, 2023c), porém não foram encontradas soluções automatizadas de conversão para reflectância para as imagens CBERS-4A de t2 no OTB, SCP ou outras funcionalidades do QGIS, demandando aplicações em programação, como apresentada em Python por Geosensor (2022a; 2022b). De acordo com a dificuldade desde procedimento, como hardware e pessoal especializado em prefeituras

e comitês de bacias hidrográficas, não foi realizada conversão para reflectância das imagens de t1 e t2.

O NDVI foi estimado de acordo com a equação (1) de Rouse et al. (1973), que aplicada com as reflectividades, ao invés das reflectâncias, das bandas do NIR e do R resulta em valores decimais entre -1 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal, sendo valor 0 para ausência de cobertura vegetal, e quanto mais próximo de -1 maior é a probabilidade de presença de superfície de água, solos descobertos e/ou rochas.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}) \quad (1)$$

Para o cálculo do NDVI de t1, à camada da banda do infravermelho próximo (NIR) foi atribuída a banda 1 da composição em cores originais, enquanto para a camada da banda do vermelho R foi atribuída a banda 2 dessa composição.

No cálculo do NDVI t2 foi utilizada a imagem de composição de bandas fusionada à pancromática (banda 1: R; banda 2: G; banda 3: B; banda 4: NIR), reprojetada para o EPSG:31983 e recortada com os limites da Microbacia do Rio Mato Grosso. Nesse cálculo, foi atribuída à NIR a banda 4 da imagem e à R a banda 1.

O SAVI, desenvolvido por Huete (1988), complementa o NDVI com aplicação de fator de correção da reflectância do solo (L), conforme equação (2). O valor de L seria 1 para áreas com pouca cobertura vegetal; 0,5 para áreas com cobertura intermediária; e 0,25 para áreas muito densas. Nesse estudo foram testados os valores de 0,25, 0,5 e 0,75 para o fator L, considerando que a Microbacia do Rio Mato Grosso apresenta áreas rurais, urbanas e mistas.

$$\text{SAVI} = ((1+L)(\text{NIR} - \text{R})) / (\text{NIR} + \text{R} + L) \quad (2)$$

Para o cálculo do SAVI de t1 e t2 foram atribuídas as mesmas bandas das imagens utilizadas no cálculo do NDVI.

Já o NDWI (BO-CAI, 1995) pode ser calculado a partir da fórmula (3), que também retorna valores de -1 a 1, que segundo EOS (2022) correspondem aos intervalos:

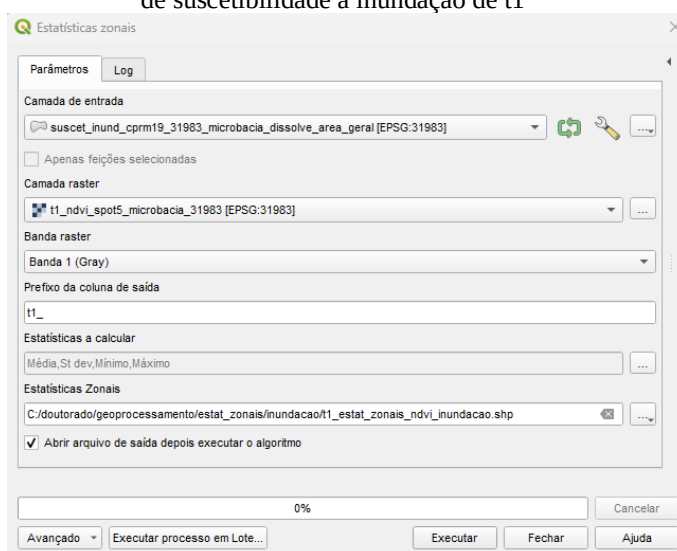
- 0,2 a 1 – Superfície de água,
- 0,0 a 0,2 – Inundação, área úmida,
- -0,3 a 0,0 – Seca moderada, superfícies sem água,
- -1 a -0,3 – Seca, superfícies sem água.

$$\text{NDWI} = (G - \text{NIR}) / (G + \text{NIR}) \quad (3)$$

Para o cálculo do NDWI de t1, à camada de cálculo da banda do verde (G) foi atribuída a banda 3 da composição em cores originais e à camada de cálculo da banda do infravermelho próximo (NIR) foi atribuída a banda 1. No cálculo do NDWI para t2 foi atribuída à G a banda 2 da imagem e à NIR a banda 4.

As fórmulas do NDVI, SAVI e NDWI para t1 e t2 foram aplicadas na Calculadora Raster do QGIS. A partir das imagens dos índices estimados pelas refletividades para a Microbacia do Rio Mato Grosso, foram calculadas estatísticas zonais de valores médio, mínimo e máximo para as classes de suscetibilidades à movimentos gravitacionais de massa e à inundação da microbacia. Para isso, foi utilizada a ferramenta “Estatísticas zonais” de Análise raster do QGIS e calculado para cada índice em t1 e t2 (Figura 23).

Figura 23 – Cálculo de estatísticas zonais de NDVI para classes de suscetibilidade à inundação de t1



Fonte: O autor, 2023.

Para gerar gráficos dos valores médio, máximo, mínimo e desvio padrão, foram mescladas as camadas de t1 com a respectiva camada de t2, para cada um dos três índices e para as duas suscetibilidades avaliadas. Após a mesclagem, cada tabela de atributos foi editada, copiando os valores estatísticos de t2 para a mesma linha dos polígonos que apresentam valores estatísticos de t1, seguido de exclusão das feições de polígonos que só mantiveram valores de t2, e da correção dos textos preenchidos com acentos (inundação e média). Posteriormente, todas as camadas mescladas foram exportadas para uma planilha com extensão XLSX.

A planilha da análise dos índices espectrais por classes de suscetibilidades foi importada para o Google Planilhas, organizadas as seis subplanilhas em somente duas, sendo uma de cada suscetibilidade, incluindo um campo inicial para indicar cada índice e gerando gráficos contendo os campos de identificação do índice, classe de suscetibilidade e os campos estatísticos calculados (média, mínimo, máximo e desvio padrão de t1 e t2).

4.3.3 Uso e cobertura da terra (UCT)

As classificações de uso e cobertura da terra (UCT) publicadas com melhor resolução espacial e encontradas para acesso livre foram do Projeto Mapbiomas (2023), com pixel de 30 m para t1 e de 10 m para t2; do projeto Dynamic World da Google (2023), que apesar de apresentar resultados em imagens com pixel de 10 m para todo o planeta, está disponível somente a partir de 2015, por ter sido desenvolvido com imagens do satélite Sentinel-2; assim como do projeto Esri (2023b), também elaborado com imagens Sentinel-2 de 10 m de resolução espacial e UCT disponível desde 2017.

Os estudos da composição e do uso da superfície terrestre que utilizam o Processamento Digital de Imagens (PDI) de satélites demandam validação no terreno em áreas de amostras das classes (MORAES NOVO, 2010). Nesse aspecto, o conhecimento do autor sobre a área de estudo, somada às ferramentas de Geoprocessamento com imagens de satélite e bases de dados geográficos em formato vetorial, permite reconhecer usos e coberturas da terra para a verificação e edição de amostras de treinamento, que pode ser associado a técnicas de segmentação de imagens e outras voltadas para a identificação de objetos.

A partir da imagem multiespectral falsa-cor fusionada com a banda PAN de t1, foram testados classificadores de UCT disponíveis nos complementos SCP e dzetsaka, assim como no pacote de ferramentas OTB, instalados no QGIS, conforme será detalhado nos subitens a seguir.

4.3.3.1 Classificação supervisionada de t1 no complemento SCP do QGIS

O primeiro teste foi iniciado com a geração de amostras de treinamento no complemento SCP, que foi aberto em menu superior do QGIS, acessada a aba de Band set e executada a imagem de t1 para configuração do classificador.

Posteriormente, foi exibida a janela do SCP Dock Panel pelo menu Exibir do QGIS. Na barra de ferramentas SCP do QGIS foram geradas amostras de treinamento manualmente vetorizadas em cada imagem. Como suporte foram visualizadas imagens históricas do Google Earth Pro mais próximas à data de t1; e imagens das classificações de UCT do Projeto Mapbiomas (2023) com resolução espacial de 30 m para 2010 (Coleção 7) e de 10 m para 2020 (Coleção 8), reprojetaadas para o EPSG:31983.

Foram consideradas as classes definidas de acordo com a Coleção 7 (PROJETO MAPBIOMAS, op. cit.), sendo encontradas 8 classes com ocorrências na Microbacia do Rio Mato Grosso em t1 e 10 classes em t2. Somente as classes presentes nas duas classificações foram consideradas na classificação do UCT, que receberam os valores e as cores da Coleção 7 do Projeto Mapbiomas (op. cit.). As classes silvicultura e outras áreas não vegetadas estiveram presentes somente em t2, sendo desconsideradas na classificação de uso e cobertura da terra. O Quadro 6 apresenta as classes aplicadas na classificação supervisionada, seus valores e códigos de cor (PROJETO MAPBIOMAS, op. cit.), e a quantidade de amostras geradas no SCP.

Quadro 6 – Classes de UCT, valores, códigos de cor e quantidade de amostras

Classe	Valor	Código da cor HTML	Quantidade de amostras
Formação florestal	3	#006400	15
Campo alagado e área pantanosa	11	#45c2a5	10
Pastagem	15	#ffd966	10
Mosaico de agricultura e pastagem	21	#fff3bf	10
Área urbana	24	#aa0000	10
Afloramento rochoso	29	#665a3a	2
Rio, lago e oceano	33	#0000ff	5

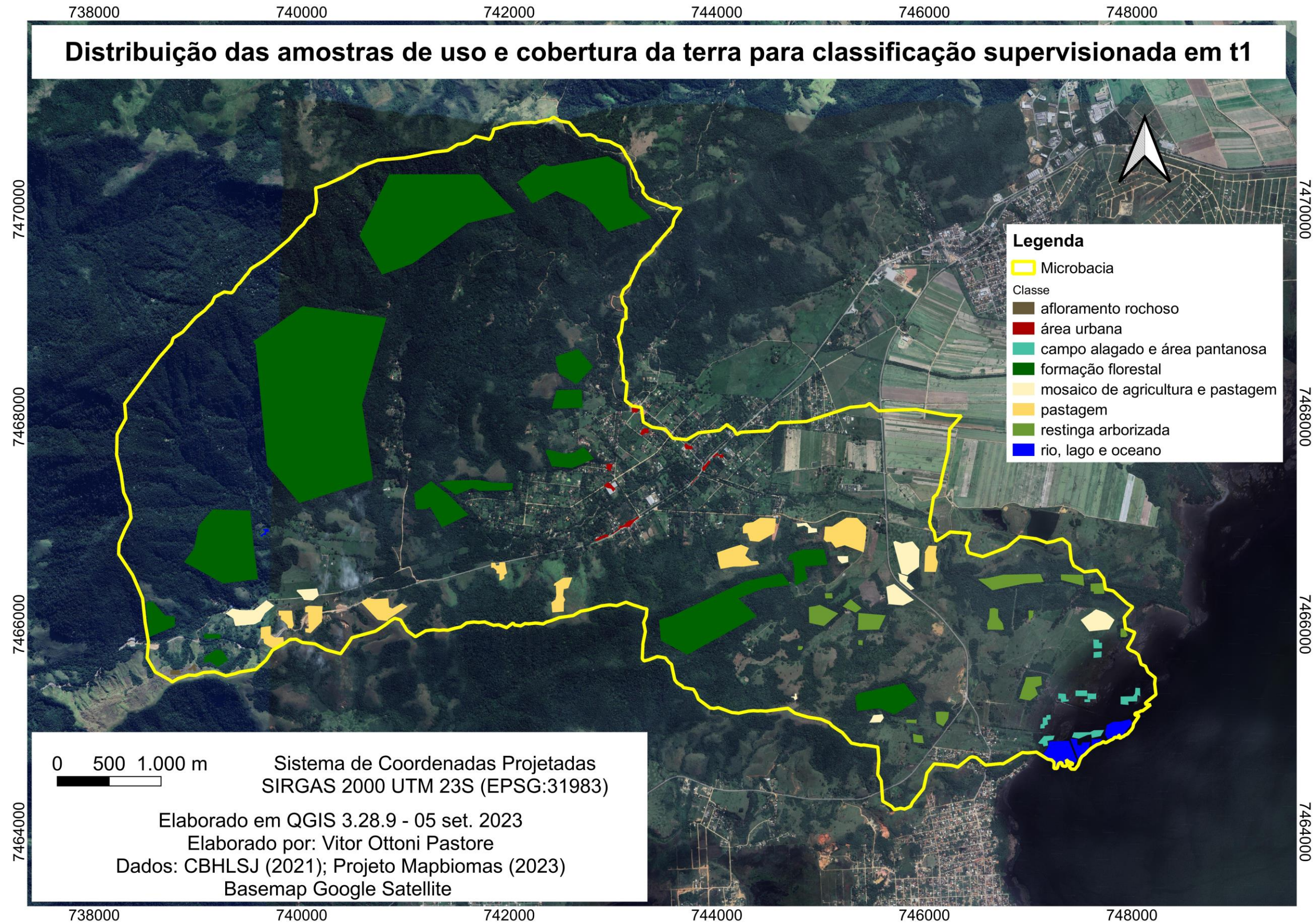
Fonte: Adaptado de PROJETO MAPBIOMAS, 2023.

Foram criadas 15 amostras da classe de formação florestal com polígonos maiores que das demais classes por essa ser a maior classe contígua em t1 e t2. Por sua vez, foram geradas somente 2 amostras de afloramento rochoso devido a indicação de somente duas áreas dessa classe em t2, enquanto para t1 foi indicada somente uma área de afloramento rochoso, pelo

Projeto Mapbiomas (2023). Já da classe de rio, lago e oceano, que representa as superfícies com água, foram geradas 6 amostras, sendo uma localizada na parte Oeste da Microbacia do Rio Mato Grosso, e 5 amostras na parte Sudeste em áreas identificadas como rio, lago e oceano nas classificações do Projeto Mapbiomas (op. cit.) de t1 e t2. Da classe de restinga arborizada foram geradas 15 amostras em áreas com ocorrência dessa classe indicadas pelo Projeto Mapbiomas (op. cit.) para t1 e t2, a fim de diferenciar essa classe da formação florestal, localizadas na parte Sudeste da Microbacia do Rio Mato Grosso.

A camada com extensão SCP de polígonos das amostras geradas no SCP Dock Panel foi exportada como SHP, que incluiu o nome e o código de cada classe. A Figura 24 apresenta a distribuição das amostras geradas no SCP Dock Panel para t1.

Figura 24 – Mapa de amostras de UCT para classificação supervisionada de t1



Fonte: O autor, 2023.

A classificação supervisionada do UCT de t1 foi realizada inicialmente no complemento SCP do QGIS, testando os diversos algoritmos classificadores disponíveis (*Spectral Angle*, *Minimum Distance* – MINDIST – e *Maxlikelihood* – MAXLIKE), sem alterar as demais configurações dos classificadores.

4.3.3.2 Classificação supervisionada de t1 no complemento dzetsaka do QGIS

No complemento dzetsaka do QGIS foi utilizada a camada vetorial em SHP das amostras do SCP Dock Panel quanto ao MC_ID. Foram aplicados os classificadores disponíveis no dzetsaka:

- Modelo de Mistura Gaussiana (GAU);
- Florestas Aleatórias (*Random Forest* – RF);
- Aprendizagem de Máquina (*Support Vector Machines* – SVM);
- *K-Nearest Neighbors* (KNN).

Enquanto o classificador Modelo de Mistura Gaussiana foi aplicado diretamente no complemento dzetsaka, os demais desse plugin demandaram instalação de aplicação no arquivo OSGeo4W Shell instalado com o QGIS, conforme Karasiak (2016).

Quanto às amostras, para o classificador SVM é necessário definir uma camada de amostras em pontos, não polígonos como nos demais classificadores do complemento dzetsaka. Para tal, foram gerados 15 pontos aleatórios no interior de cada polígono de amostras geradas no SCP Dock Panel, aplicando a ferramenta “Pontos aleatórios no interior dos polígonos” do QGIS, sem definir distância mínima dos pontos. A camada de polígonos de amostras de UCT foi dissolvida pelas classes em campo numérico, e posteriormente convertida para imagem com a ferramenta “Converter vetor para raster (rasterizar)” do GDAL, com resolução espacial de 2 m. Para copiar os valores de classes das amostras da imagem para pontos aleatórios em polígonos de amostras foi utilizado o complemento Point Sampling Tool. Nesse complemento foi acessada a aba General para selecionar a camada de pontos aleatórios em polígonos de amostras em Layer containing sampling points e a camada raster gerada a partir de polígonos de amostras das classes em Layer with Fields/bands to get values from, e definindo na aba Fields o campo Name para “Classe”. Posteriormente, foi

criada uma coluna para dados inteiros na tabela de atributos dos pontos aleatórios de amostras com valores, e preenchida copiando os valores da coluna “Classe”, assim como preenchidos os valores vazios para classe por interpretação visual sobre a imagem das amostras de classes.

4.3.3.3 Classificação supervisionada de t1 no pacote de ferramentas OTB do QGIS

No pacote de ferramentas Orpheo ToolBox (OTB) foram realizadas as classificações por treinamento de classificador (LIBSVM) e orientada a objetos (OBIA).

Na classificação supervisionada por treinamento de classificador no OTB foi executada a ferramenta “ComputeImagesStatistics” a partir da imagem a ser classificada, salvando arquivo com dados organizados de forma hierárquica (XML) de estatísticas a partir das classes. Em sequência foi realizado o treinamento de imagens pela ferramenta “TrainImagesClassifier”, selecionando a imagem a ser classificada, a camada SHP das amostras em polígonos geradas na classificação no SCP Dock Panel, e o arquivo XML das estatísticas a partir das classes; assim como selecionar em “Field containing the class integer label for supervision” o campo relativo às classes no vetor de amostras em polígonos em números inteiros (MC_ID). Na ferramenta “TrainImagesClassifier” foi mantido o classificador utilizado para o treinamento default “libsvm”.

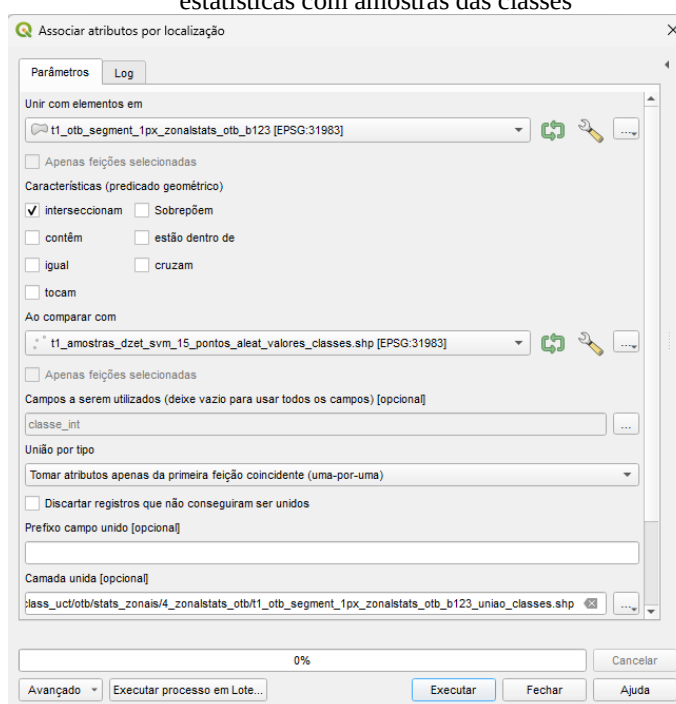
Após treinamento do classificador foi realizada a classificação no OTB pela ferramenta “ImageClassifier”, selecionando a imagem multiespectral a ser classificada em Input image, o modelo gerado no treinamento realizado no passo anterior em Model file e arquivo XML das estatísticas a partir das classes em Statistics file. As demais opções foram mantidas como default e a imagem da classificação por treinamento do classificador foi salva com extensão TIF.

Na classificação orientada a objetos (OBIA) no OTB foi seguida a metodologia executada por Buyungo (2021). Inicialmente, foi executada a ferramenta “Segmentation” (OTB) para segmentação da imagem de t1, mantendo o segmentador “meanshift”, marcando a opção “8-neighbor connectivity” e alterando o valor Minimum object size para 1. O arquivo de saída foi salvo na extensão SHP e editado para remover os segmentos gerados no exterior da microbacia.

Posteriormente, foi executada a ferramenta “ZonalStatistics” (OTB), selecionando a imagem de t1 em Input Image e a camada vetorial dos segmentos em Input vector data, gerando segmentos com estatísticas das bandas em SHP.

À camada de segmentos com estatísticas foram criados índices espaciais aplicando a ferramenta “Criar índices espaciais” (QGIS), que posteriormente foi associada à camada de 15 pontos aleatórios em cada polígono de amostras geradas no SCP Dock Panel aplicando a ferramenta “Associar atributos por localização” (QGIS), conforme Figura 25.

Figura 25 – Associação de camadas de segmentos com estatísticas com amostras das classes



Fonte: O autor, 2023.

A camada de segmentos com dados estatísticos e identificação das classes foi editada, sendo acessada a tabela de atributos para remover os segmentos que não retornaram nenhum valor para o campo “classe_int”.

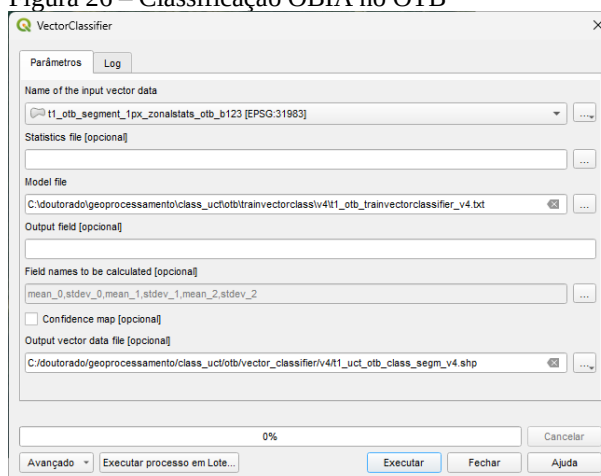
Com os segmentos contendo estatísticas para cada banda e identificação das respectivas classes, procedeu-se ao treinamento do classificador pela ferramenta “TrainVectorClassifier”, sendo alterados somente os parâmetros:

- Input vector data: selecionada somente a camada de segmentos com dados estatísticos e identificação das classes editada no passo anterior;

- Field names for training features [opcional]: selecionados os campos de média e desvio padrão de cada uma das bandas (ex.: mean_0; stdev_0; mean_1; stdev_1; mean_2; stdev_2);
- Field containing the class integer label for supervision [opcional]: selecionada somente classe_int;
- Output model: salvo em arquivo de texto com extensão TXT.

Por fim, a classificação OBIA foi executada na ferramenta “VectorClassifier” (OTB), utilizando a camada de segmentos com estatísticas anterior à atribuição do identificador de classes, que contém todos os segmentos com estatísticas da imagem a ser classificada para que classifique toda a área da microbacia, o modelo salvo gerado na ferramenta “TrainVectorClassifier” em TXT e os campos calculados em Field names to be calculated (Figura 26). Após execução da ferramenta, a camada vetorial de resultado da classificação OBIA no OTB foi adicionada ao projeto no QGIS.

Figura 26 – Classificação OBIA no OTB



Fonte: O autor, 2023.

A camada vetorial de resultado da classificação OBIA no OTB foi corrigida geometricamente aplicando a ferramenta “Corrigir geometrias” (QGIS), com método de reparo Linework, para posteriormente a camada corrigida ser dissolvida pela classe com a ferramenta “Dissolver” (GDAL), selecionando o campo relativo às classes indicadas pelo classificador (*predicted*). Após calculado o UCT por OBIA no OTB foi aplicado o estilo das classes e alterando o valor em simbologia dessa camada para o campo das classes (*predicted*).

Na tabela de atributos da camada de classificação da UCT dissolvida foi calculada a área em km² e posteriormente a porcentagem de cada classe na respectiva classificação. Para

extrair a porcentagem foi aplicada a expressão levando em consideração como área total a soma das áreas classificadas: $(\text{"area_km2"} / 32.6) \times 100$.

4.3.3.4 Avaliação de acurácia das classificações supervisionadas de UCT de t1

A tabela de atributos de cada camada vetorial de classificação da UCT dissolvida, contendo valores de área e porcentagem, foi exportada como planilha (ferramenta “Exportar para planilha” do QGIS); posteriormente importada para o Google Planilhas para geração de gráficos para análise comparativa das representatividades.

Foi criada uma camada SHP do tipo polígonos, sendo essa editada para adicionar 5 polígonos de amostras de avaliação de cada classe em locais diferentes dos utilizados na classificação, exceto pelas classes de afloramento rochoso que foram repetidas as 2 amostras da classificação na avaliação da acurácia; e da classe rio, lago e oceano que foram repetidas as 5 amostras. Na geração dos polígonos de referência da acurácia foram consideradas as imagens utilizadas na classificação de UCT de t1 e t2, assim como as imagens históricas de t1 (novembro de 2009) e t2 (agosto de 2020) do Google Earth Pro. Foram mantidas somente amostras que correspondessem às respectivas classes nas quatro imagens.

Para avaliar as classificações e definir a classificação mais adequada para t1, foi executada a ferramenta de pós-classificação do “Accuracy” (SCP), na qual são definidas a camada raster da classificação, uma camada vetorial ou raster como referência para a avaliação, e o campo relativo à identificação das classes na camada de referência. Foi marcada a opção “No value as NoData” com valor 0, para que a acurácia não considere as áreas não classificadas na imagem, externas à área de estudo. Essa ferramenta indicou confusões entre o que foi classificado e as amostras de avaliação, o nível de acerto geral e o índice Kappa.

Cabe ressaltar a precisão de classificações de imagens pode ser avaliada por outros métodos, como aplicando a ferramenta “r.kappa” (GRASS), que demanda a classificação e a referência para avaliação ambas em camada raster, ou os complementos AcATaMa (LLANO, 2023) e EnMAP-Box 3 (JANZ et al., 2023). A escolha da ferramenta de cálculo da acurácia da classificação de UCT levou em consideração a experiência do autor deste estudo com essa estimativa de acurácia no complemento SCP, assim como devido a continuidade do complemento a partir de atualizações, desde 2018 para versão 2 do QGIS (CONGEDO, 2021) e pela larga utilização deste complemento em estudos ambientais aplicados a bacias

hidrográficas (LIMA et al., 2020; PEREIRA; GUIMARÃES, 2018; PINHEIRO; MEIRELES; ROSSI, 2023; ROCHA NETO, 2021; SILVA et al., 2017; SIMÕES, 2017).

Os valores calculados para o índice Kappa variam de 0,00 a 1,00 sendo considerada a qualidade da classificação de acordo com os intervalos apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Qualidade da classificação pelo índice Kappa

Valor de Kappa	Qualidade da classificação
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de LANDIS; KOCH, 1977.

4.3.3.5 Métodos de classificação de uso e cobertura da terra desconsiderados

O método de classificação de UCT por reclassificação de NDVI foi desconsiderado neste estudo devido ao cálculo do índice ter sido realizado com as refletividades, ao invés das reflectâncias. A diferença entre índice e o índice de água NDWI foi proposta como parte do cálculo alternativo da fragilidade potencial de t1 e t2.

Os métodos de classificação não-supervisionada foram descartados após testes com os algoritmos K-means e ISODATA da ferramenta “Clustering” do SCP, com valores de 8, 9 e 10 de classes e 10, 20 e 30 iterações. Os resultados apresentaram mais confusão que os demais entre a maioria das classes, assim como a formação florestal apresentou menor área que em todas as classificações supervisionadas. Cabe ressaltar que a classificação não-supervisionada no OTB e em outros complementos ou ferramentas do QGIS não foram testadas neste estudo. Ainda, outros métodos de classificação supervisionada estão disponíveis no QGIS, como a classificação supervisionada com aplicação do algoritmo RF no SCP. Essa alternativa demanda instalação do *software* de PDI gratuito SNAP ESA que, assim como o QGIS, permite a instalação de caixas de ferramentas e *software* para processamentos específicos, como no processamento avançado de dados das versões Sentinel e dados de radar (ESA, 2023c).

A partir dos métodos de classificação supervisionada de UCT testados e avaliados quanto a acurácia da classificação, os classificadores que apresentaram acurácia abaixo de

muito boa (índice Kappa abaixo de 0,6) foram desconsiderados, enquanto os demais foram comparados visualmente com a imagem classificada de t1 e a imagem histórica do Google Earth Pro de t1.

Foram testados e posteriormente descartados os métodos de classificação supervisionada de UCT de t1: algoritmos Spectral Angle, Minimum Distance e Maxlikelihood do complemento SCP; Modelo de Mistura Gaussiana, Florestas Aleatórias (RF), Aprendizagem de Máquina (SVM) e K-Nearest Neighbors (KNN) do complemento dzetsaka; e classificação orientada a objetos (OBIA) do pacote de ferramentas OTB.

Assim, foi mantido o resultado de UCT gerado a partir da classificação por treinamento do classificador, do OTB.

4.3.3.6 Edição da melhor classificação de UCT de t1

A camada vetorial da classificação supervisionada de UCT por treinamento do classificador (OTB) foi editada para alterar valores de polígonos classificados inadequadamente, por interpretação visual da imagem falsa-cor com PAN de t1, da imagem histórica do Google Earth Pro e dos polígonos do Projeto Mapbiomas de t1.

Após edição, a camada vetorial da classificação supervisionada de UCT por treinamento do classificador (OTB) foi dissolvida (ferramenta “Dissolve” do QGIS) pelas classes. A camada dissolvida foi convertida para raster com a ferramenta “Converter vetor para raster (rasterizar)” do GDAL, definindo como “Campo a usar para o valor burn-in [opcional]” o campo de identificação das classes nessa classificação (predicted). Em “Unidades de tamanho de saída” foi definido como Unidades georreferenciadas com valores de 5 para as resoluções horizontal/largura e vertical/altura, de acordo com o pixel da imagem classificada (5 m para t1).

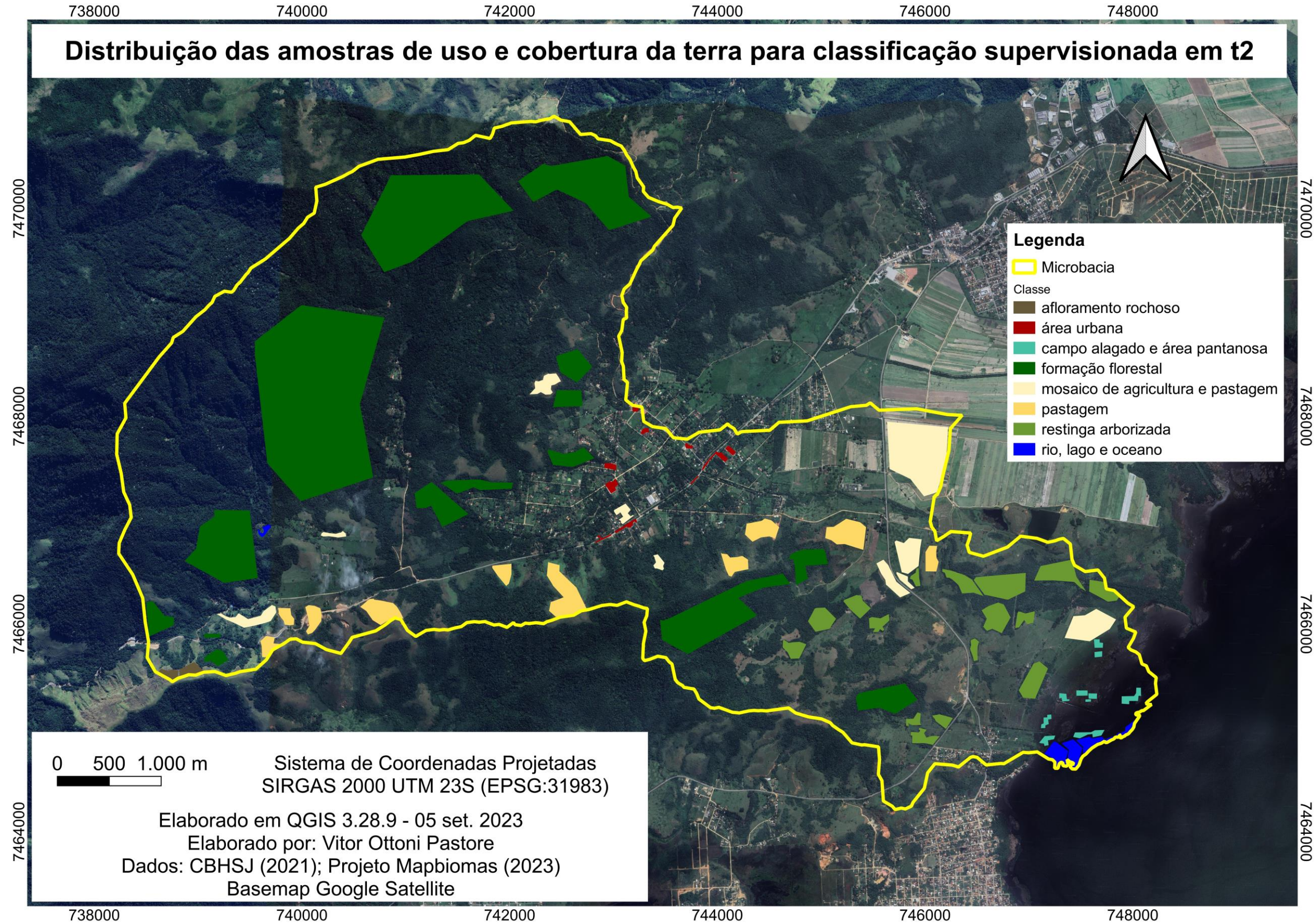
Para a imagem da classificação de UCT corrigida de t1 foi calculado o índice Kappa com a mesma camada vetorial de avaliação da acurácia da classificação anterior à edição.

4.3.3.7 Classificação supervisionada de UCT de t2

Na estimativa de UCT de t2 foram realizados os métodos aplicados para t1, com alguns aspectos diferenciados apresentados a seguir.

Na classificação de UCT de t2 pelo SCP foi necessário gerar uma nova camada de amostras na extensão SCP Dock Panel (Figura 27), seguindo o mesmo método utilizado para t1, consultando áreas das amostras utilizadas para t1 no SCP Dock Panel, a classificação do Projeto Mapbiomas (2023) de t2, a imagem histórica do Google Earth Pro de agosto de 2020 e verificando em maior escala de visualização do QGIS a imagem a ser classificada de t2.

Figura 27 – Mapa de amostras de UCT para classificação supervisionada de t2



Fonte: O autor, 2023.

Na classificação OBIA pelo OTB foram adicionados os atributos de média e desvio padrão relativos à banda NIR para o treinamento do classificador, a fim de obter mais precisão na classificação supervisionada de UCT. Isso foi possível pois a imagem multiespectral fusionada com a banda PAN de t2 conta com as bandas RGB e NIR, enquanto para t1 foi utilizada a imagem falsa-cor de três bandas fusionadas com a banda PAN. No procedimento de classificação (ferramenta “VectorClassifier” do OTB) também foram adicionados os campos “mean_3” e “stdev_3” para incluir as estatísticas da banda NIR no treinamento do classificador de t2.

Cabe reforçar que na avaliação da acurácia das classificações de UCT de t2 foi utilizada a mesma camada vetorial de avaliação da acurácia de t1. Isso foi possível por essa camada ter sido gerada considerando tanto imagens de t1 quanto de t2, mantendo somente polígonos correspondentes às respectivas classes em duas imagens de cada período.

Na edição da melhor camada de UCT classificada para t2 (Modelo de Mistura Gaussiana do complemento dzetsaka) foram realizados os mesmos procedimentos de edição dos polígonos classificados erroneamente de t1.

Na conversão da camada vetorial para raster da melhor classificação de UCT editada pós-classificação de t2 foram definidas as resoluções de saída como Unidades georreferenciadas com valor de 5 m, a fim de compatibilizar com a imagem de t1 e com o cálculo da fragilidade ambiental.

4.3.4 Transição de uso e cobertura da terra de t1 para t2

A partir das imagens das classificações supervisionadas de UCT de t1 e t2 com pixel de 5 m, foi calculada a transição de classes na ferramenta “Land cover change” (SCP), sendo avaliadas as representatividades das principais mudanças para a Microbacia do Rio Mato Grosso.

4.4 Fragilidade ambiental

A partir da diversidade de abordagens no cálculo da fragilidade ambiental, sobretudo dos temas considerados e valores atribuídos à cada classe, neste estudo foram aplicadas as estimativas de fragilidade ambiental de t1 e t2 com lógica *fuzzy*. Os algoritmos de aplicação da lógica *fuzzy* presentes no QGIS 3.28.9 são de associação de poder, associação gaussiana, pequena associação, quase membro e associação linear.

Para estimar a fragilidade potencial de t1 e t2 foram utilizados dados dos temas definidos de acordo com estudos que os relacionaram à fragilidade ambiental:

- Geologia;
- Tipo de solo;
- Precipitação (intensidade pluviométrica);
- Declividade;
- NDVI-NDWI (índice proposto neste estudo).

A camada de Geologia (SGB, 2019) de Saquarema foi recortada com os limites da Microbacia do Rio Mato Grosso e editada para preencher as áreas ausentes na parte Noroeste, expandindo os polígonos das classes de Litologia mais próximos para os limites da microbacia. Para tal, foi habilitada edição para essa camada, seguida de utilização da “Ferramenta Vértice” da barra de ferramentas do QGIS, com a ferramenta avançada de “Aderência” (QGIS) habilitada para a opção de vértice. Posteriormente, foi criado um campo para definição dos valores para cálculo da fragilidade considerando os intervalos de vulnerabilidade de Crepani et al. (2001), que foram posteriormente padronizados para os valores de fragilidade de Ross (1994), como definidos para a Microbacia do Rio Mato Grosso no Quadro 8.

Quadro 8 – Conversão de intervalos de classes de vulnerabilidade para valores de cálculo de fragilidade ambiental

Intervalo das classes (CREPANI et al., 2001)	Nível de fragilidade	Valor para cálculo de fragilidade
1,0 a 1,4	Muito baixo	1
1,4 a 1,8	Baixo	2
1,8 a 2,2	Médio	3
2,2 a 2,6	Alto	4
2,6 a 3,0	Muito alto	5

Fonte: Adaptado de CREPANI et al., 2001; ROSS, 1994; SPRÖL; ROSS, 2004

As classes “areia” e “areia, argila” presentes na Microbacia do Rio Mato Grosso correspondem à classificação de sedimentos inconsolidados de Crepani et al. (2001) e às respectivas unidades estratigráficas: depósitos aluvionares (Q2a); depósitos de pântanos e mangues (Q2pm); e depósitos litorâneos (Q2li). A essas foi considerado o maior valor de intervalo de classes propostos por Crepani et al. (op. cit.).

A classe gnaiss, xisto, rocha calcissilicática, kinzigito, indicada como anfibolito e quartzito apresenta o valor de 1,8 segundo Crepani et al. (op. cit.) que, por estar localizada onde ocorreram feições erosivas na Carta de Suscetibilidade de Saquarema, foi considerado o valor para cálculo da fragilidade da classe médio de nível de fragilidade, recebendo o valor 3.

Já as classes granito, gnaiss e metagranodiorito, metagranito receberam o valor 1 para cálculo da fragilidade por compreenderem o primeiro intervalo de nível de fragilidade de Ross (1994), de até 1,4 (Quadro 9).

Quadro 9 – Classes de Geologia da Microbacia do Rio Mato Grosso e valores para cálculo da fragilidade (1 a 3)

Litologia	Intervalo das classes (CREPANI et al., 2001)	Valor para cálculo de fragilidade
Areia	2,4 a 2,7	5
Areia, argila	2,4 a 2,8	5
Gnaiss	1,3	1
Gnaiss, xisto, rocha calcissilicática, kinzigito (anfibolito, quartzito)	1,8	3
Granito	1,1	1
Metagranodiorito, Metagranito	1,1 a 1,2	1

Fonte: Adaptado de CAMPOS, 2018; CREPANI et al., 2001; ROSS, 1994; SPRÖL, 2007.

Os tipos de solos foram reclassificados de 1 a 5, sendo a fragilidade muito fraca com valor 1 até a muito forte com valor 5, seguindo as propostas de Crepani et al. (2001) e Ross (1994), complementadas por Franco et al. (2012), Melo et al. (2015) e Nörnberg e Rehbein (2020).

As classes de solos identificadas na Microbacia do Rio Mato Grosso com respectivos valores de fragilidade estão apresentadas no Quadro 10. Cabe ressaltar que as áreas com superfície de água e as áreas impermeáveis (vias asfaltadas e edificações) receberam valor 1 para fragilidade potencial na camada de tipos de solo, pois sua ausência gera camadas com pixels sem dados na conversão posterior para lógica *fuzzy*.

Quadro 10 – Classes de solos da Microbacia do Rio Mato Grosso e valores para cálculo da fragilidade

Tipo de solo	Intervalo das classes (CREPANI et al., 2001)	Valor para cálculo de fragilidade
Argissolo	2,0	3
Espodossolo	2,0	3
Gleissolo	3,0	5
Organossolo	3,0	5

Fonte: Adaptado de CREPANI et al., 2001; FRANCO et al., 2012; MELO et al., 2015; NÖRNBERG e REHBEIN, 2020; ROSS, 1994.

Para cálculo de camada de intensidade de precipitação foram considerados seis meses chuvosos para a Região Sudeste do Brasil, de outubro a março, que correspondem a mais de 80% do total anual de chuvas (ALVES; MARENGO; CASTRO, 2002; PAIVA, 1997). Os valores de chuvas médias anuais de t1 e t2 levantados no portal do CHELSA (2023) foram divididos pela quantidade de meses chuvosos (6) para extrair a intensidade das chuvas e definir os valores para cálculo de fragilidade de acordo com Crepani et al. (op. cit.), Ross (1994) e Spröl e Ross (2004), apresentados no Quadro 11. A imagem resultante foi exportada com pixels de 5 m para compatibilizar com os demais dados no cálculo da fragilidade ambiental.

Quadro 11 – Classes de intensidade pluviométrica da Microbacia do Rio Mato Grosso e valores para cálculo da fragilidade

Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Intervalo das classes (CREPANI et al., 2001)	Valor para cálculo de fragilidade
200 a 225	1,7	2
225 a 250	1,8	3
250 a 275	1,9	3
275 a 300	2,0	3
300 a 325	2,1	3

Fonte: Adaptado de CHELSA, 2023; CREPANI et al., 2001; ROSS, 1994; SPRÖL; ROSS, 2004.

A imagem de declividade estimada em porcentagem a partir do MDEHC da microbacia foi reclassificada de acordo com critérios modificados a partir de Ross (1991; 1994) pela ferramenta “Reclassificar por tabela” do QGIS. Foi considerado que as áreas com baixa declividade localizadas sobre os polígonos de alta suscetibilidade a inundação (SGB, 2019) apresentam maior valor para cálculo da fragilidade (Quadro 12).

Quadro 12 – Classes de declividade da Microbacia do Rio Mato Grosso e valores para cálculo da fragilidade

Declividade	Valor para cálculo de fragilidade
< 2% (morros)	1
2 – 30%	2
> 30%	3
< 2% (planícies fluviais)	4

Fonte: Adaptado de ROSS, 1991; 1994; SILVA et al., 2006.

O último tema considerado na elaboração da fragilidade potencial foi a proposição de uma subtração entre os índices NDVI e NDWI, que pode retornar valores de -2 a +2, onde no maior valor indicaria alta concentração de atividade fotossintética, ou presença de vegetais saudáveis, e baixa presença de água em superfície, enquanto o menor valor indicaria ausência de vegetação e presença de superfície de água. Apesar de Zhou et al. (2015) terem proposto a subtração entre o NDVI e outro índice de água, demanda a banda do infravermelho médio, ausente na imagem de t2 deste estudo. Assim, foi proposta uma subtração entre os índices NDVI e NDWI, correlacionando os resultados de acordo com a presença ou densidade de vegetação (NDVI) e de água (NDWI).

A proposta de valores para cálculo de fragilidade da subtração NDVI-NDWI levou em consideração o Quadro 13 para as afirmativas:

- Quanto o menor valor final (entre -2,0 e -1,5) indica ausência de vegetação ($\text{NDVI} \leq -0,5$) e maior presença de água ($\text{NDWI} \geq 0,5$) → baixa fragilidade, levando em consideração que o maior NDWI indica superfície de água;
- Quanto mais similares os valores dos índices mais próximo de 0 o resultado da subtração dos índices, onde espera-se por equilíbrio entre as presenças de vegetação e água em superfície → alta fragilidade, considerando que na ausência de vegetação e água, espera-se por ocorrência de solo exposto, enquanto altos valores de NDVI e NDWI nessa classe podem indicar presença de vegetação e água em superfície, tal como vegetação aquática, vegetação pós-chuva e corpo d'água com presença de vegetação, nesse caso indicada alta fragilidade de corpos hídricos;
- Quanto maior o valor final (1,5 a 2,0), indica alta densidade de vegetação ($\text{NDVI} \geq 0,5$) e ausência de água ($\text{NDWI} \leq -0,5$) → baixa fragilidade. Cabe ressaltar que a presença de algumas espécies pode inibir o desenvolvimento de outras ao redor, sendo considerado que a alta densidade de vegetação compreende uma diversidade vegetal que pode atenuar processos erosivos e reduzir a fragilidade ambiental.

Quadro 13 – Relação NDVI-NDWI

NDVI-NDWI		NDWI				
		-1,0	-0,5	0	0,5	1,0
NDVI	1,0	2,0	1,5	1,0	0,5	0
	0,5	1,5	1,0	0,5	0	-0,5
	0	1,0	0,5	0	-0,5	-1,0
	-0,5	0,5	0	-0,5	-1,0	-1,5
	-1,0	0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0

Fonte: O autor, 2023.

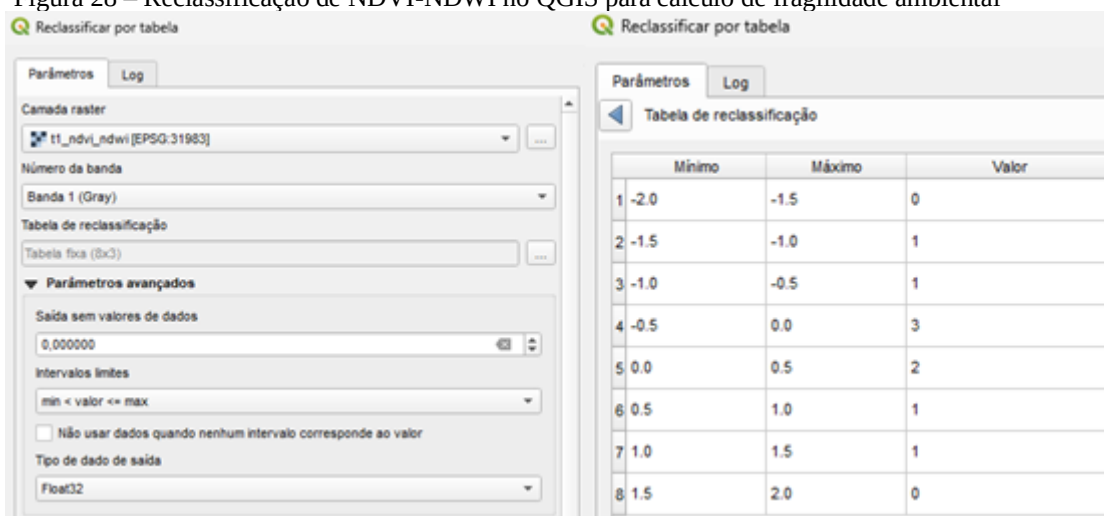
A partir dos preceitos desses índices foram propostos valores para cálculo da fragilidade apresentados no Quadro 14. É importante reforçar que nessa ferramenta do QGIS é necessário separar casas decimais por ponto ao invés de vírgula, assim como foi definido que o resultado não considere os valores 0 e considere como limites o valor maior ao mínimo e menor ou igual ao máximo de cada intervalo. Cabe ressaltar que não foi considerado o valor de NDVI-NDWI mínimo possível (-2,0) pela ausência desse nos testes realizados, sendo o menor valor encontrado de -0,77 para t2 (Figura 28).

Quadro 14 – Intervalos de NDVI-NDWI da Microbacia do Rio Mato Grosso e valores para cálculo da fragilidade

NDVI-NDWI	Presença/ausência de vegetação e água	Valor para cálculo de fragilidade
$-2,0 < \text{valor} \leq -1,5$	vegetação ausente; água presente	0
$-1,5 < \text{valor} \leq -1,0$	vegetação ausente; água presente ou ausente	1
$-1,0 < \text{valor} \leq -0,5$	vegetação ausente ou baixa densidade; água ausente ou presente	1
$-0,5 < \text{valor} \leq 0,0$	vegetação e água presentes ou ambos ausentes (índices equilibrados)	3
$0,0 < \text{valor} \leq 0,5$	vegetação e água ausentes ou média/alta vegetação e baixa presença de água	2
$0,5 < \text{valor} \leq 1,0$	vegetação ausente até presente em alta densidade e ausência de água	1
$1,0 < \text{valor} \leq 1,5$	vegetação presente; água ausente	1
$1,5 < \text{valor} \leq 2,0$	vegetação presente em alta densidade; água ausente	0

Fonte: O autor, 2023.

Figura 28 – Reclassificação de NDVI-NDWI no QGIS para cálculo de fragilidade ambiental



Fonte: O autor, 2023.

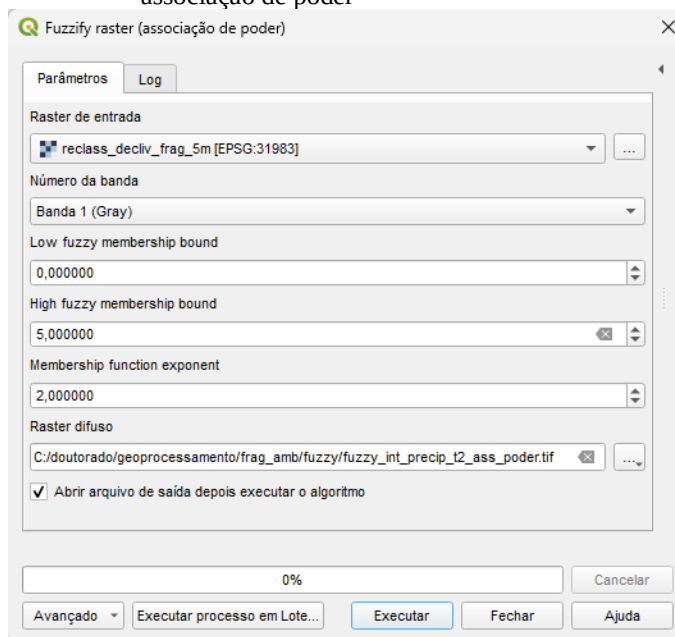
Após atribuição dos valores de fragilidade potencial para cada tema, as camadas foram exportadas com pixel de 5 m.

Tanto no cálculo da fragilidade potencial quanto da fragilidade emergente pode-se realizar a soma dos valores atribuídos para cada classe, neste estudo chamado “valor para cálculo da fragilidade”, quanto esses valores podem ser transformados para a lógica *fuzzy* e o cálculo é realizado por média ponderada. Cabe ressaltar que essa modelagem pode ser representada por diferentes funções de associação dependendo de características do problema analisado (BURROUGH; MCMILLAN; DEURSEN, 1992).

A escolha da função de associação para conversão à lógica *fuzzy* não é arbitrária, mas é subjetiva e reflete o contexto no qual o problema está inserido e como esse é tratado (KANDEL, 1986). Após testes com as opções de associação *fuzzy*, foi avaliada a ocorrência de valores mais altos e mais baixos na camada convertida e na respectiva camada reclassificada do tema, e foi selecionado o melhor método de associação *fuzzy*, sendo definida a função de “associação de poder” na conversão das camadas para essa lógica.

Assim, cada camada raster reclassificada foi transformada dos valores originais (valores para cálculo da fragilidade) para a lógica *fuzzy*, de 0 a 1 (LIRA; FRANCISCO, FEIDEN, 2022). Essa conversão foi realizada executando a ferramenta “Raster fuzzify (associação de poder)” do QGIS, em que se define a camada raster que será convertida, os valores mínimo e máximo, e o local e nome do arquivo de saída (Figura 29).

Figura 29 – Conversão de camada reclassificada de declividade em níveis de fragilidade para lógica *fuzzy* por associação de poder



Fonte: O autor, 2023.

Os pesos de cada tema foram definidos em comparação classe a classe pelo método AHP, executado a Calculadora de Prioridade AHP disponível no portal Business Performance Management (GOEPEL, 2018), que solicita a indicação dos critérios e valores de propriedade de 1 (igual) a 9 (máxima propriedade) entre cada dupla de fatores elencados. Essa calculadora indica a Razão de Consistência – *Consistency Ratio* (CR, do inglês) logo após o cálculo. Caso o CR calculado seja menor ou igual a 10% a matriz de julgamento definida pelo usuário é considerada consistente (SAATY, 1977; 1990; 2008). Indica também alterações entre os valores de prioridades atribuídos, que foram avaliadas caso a caso e os pesos pela conversão dos valores percentuais de “Prioridade” para números decimais. Para reduzir a subjetividade na atribuição dos valores na Calculadora de Propriedade AHP (GOEPEL, op. cit.), os valores de prioridades foram inicialmente atribuídos a partir das referências consultadas. Posteriormente, foram analisadas as indicações da calculadora online para alteração dos valores de prioridades a fim de aumentar o CR, sendo realizadas alterações de maneira que não alterassem quais critérios seriam prioritários de acordo com as referências consideradas.

Cabe ressaltar que é possível instalar o complemento Easy AHP no QGIS 2.18.16 (BILGIN, 2015), que também aplica o AHP para definição de prioridades, com interface simplificada, mas não indica alterações a realizar para aumento do coeficiente CR.

Posteriormente, na Calculadora Raster do QGIS foram calculadas a fragilidades potenciais pela média ponderada das camadas de cada tema, processo realizado tanto para

para t1 quanto para t2, que resultou em camadas raster das fragilidades potenciais dos dois períodos. Para tal, foi executada a ferramenta “Calculadora Raster” (QGIS) aplicando as equações 3 (cálculo original) e 4 (cálculo adicionado de parâmetro proposto neste estudo, cálculo alternativo) para t1 e alterando as camadas de intensidade de pluviosidade nos dois cálculos e da diferença entre NDVI e NDWI em lógica *fuzzy*, função “associação de poder” no cálculo alternativo para t2.

$$("fuzzy_geologia_ass_poder@1" \times 0.049) + ("fuzzy_solos_ass_poder@1" \times 0.373) + ("fuzzy_int_precip_t1_ass_poder@1" \times 0.373) + ("fuzzy_declividade_ass_poder@1" \times 0.205) \quad (4)$$

$$("fuzzy_geologia_ass_poder@1" \times 0.033) + ("fuzzy_solos_ass_poder@1" \times 0.318) + ("fuzzy_int_precip_t1_ass_poder@1" \times 0.304) + ("fuzzy_declividade_ass_poder@1" \times 0.203) + ("fuzzy_ndvi_ndwi_t1_ass_poder@1" \times 0.142) \quad (5)$$

Para o cálculo da fragilidade emergente, as classificações de UCT em t1 e t2 receberam valores para cálculo da fragilidade por classe apresentados no Quadro 15. Cabe reforçar que foi atribuído o valor 0 para as classes afloramento rochoso e rio, lago e oceano; enquanto não ocorreram áreas classificadas como agricultura, que receberia o valor 2, e tanto as classes de mosaico de agricultura e pastagem quanto de pastagem receberam o valor 3, pela potencial presença de pastagens nessas áreas. A classe área urbana, que na Microbacia do Rio Mato Grosso corresponde a áreas com edificações e presença de solos expostos (áreas descobertas), vias e espaços entre edificações, recebeu o maior valor para cálculo da fragilidade (5).

Quadro 15 – Classes de UCT e valores para cálculo da fragilidade emergente

Uso e cobertura da terra	Nível de fragilidade	Valor para cálculo de fragilidade
Formação florestal e restinga arborizada	Muito baixa	1
Mosaico de agricultura e pastagem e pastagem	Baixa	3
Pastagem	Média	3
Campo alagado	Alta	4
Área urbana	Muito alta	5

Fonte: Adaptado de CREPANI et al., 2001; ROSS, 1994; SILVA et al., 2006.

Considerando a expansão da ocupação a partir de Maricá, recentemente incluído na RMRJ, para áreas próximas, como a limítrofe microbacia de estudo, assim como o UCT ser a

camada mais diferenciada entre t1 e t2, esse foi o tema de maior peso definido no cálculo da fragilidade emergente.

No cálculo da fragilidade ambiental, as camadas de fragilidade potencial e fragilidade emergente foram somadas e a soma foi dividida por 2, na “Calculadora Raster” (QGIS). Assim, a fragilidade potencial e a fragilidade emergente receberam o mesmo peso. O procedimento de cálculo da fragilidade ambiental de t1 foi realizado primeiramente com a fragilidade potencial estimada pelo cálculo original e posteriormente com a fragilidade potencial estimada pelo cálculo alternativo (que inclui os índices espectrais), tal como para t2.

Calculada a fragilidade ambiental de t1 e t2 em valores de 0 a 1, ambas foram reclassificadas para níveis de fragilidade, definidos em 5 intervalos iguais (Figura 30). Para isso, foi executada a ferramenta “Reclassificar por tabela”, com mesmos intervalos definidos para t1 e t2. Posteriormente, as classes 1 a 5 de fragilidade ambiental de t1 e t2 foram definidas como muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, como aplicado por Valle, Francelino e Pinheiro (2016).

Figura 30 – Reclassificação da fragilidade ambiental

Reclassificar por tabela

Parâmetros Log

Tabela de reclassificação

	Mínimo	Máximo	Valor
1	0.0	0.2	1
2	0.2	0.4	2
3	0.4	0.6	3
4	0.6	0.8	4
5	0.8	1.0	5

Fonte: O autor, 2023.

As imagens de fragilidade ambiental reclassificadas de t1 (original e alternativo) e t2 (original e alternativo) foram convertidas para camadas vetoriais, posteriormente dissolvidas pelas classes e calculadas as áreas e porcentagens para a Microbacia do Rio Mato Grosso. Os melhores resultados encontrados no cálculo da fragilidade ambiental de t1 e t2 foram selecionados para análise e composição das cenas na geração de cenários preditivos.

4.4.1 Método de estimativa da fragilidade potencial desconsiderado

O cálculo alternativo da fragilidade potencial de t1 e t2 incluiu uma proposta de aplicação da diferença entre o índice de vegetação NDVI e o índice de água NDWI no cálculo original, sendo que esses índices foram estimados nesse estudo pelas refletividades.

Para selecionar o melhor cálculo da fragilidade potencial – original ou alternativo – foi considerada a representatividade das classes de alta e muito alta fragilidade ambiental, que foi gerada a partir da fragilidade potencial por cálculo original (fragilidade potencial original) e por cálculo alternativo (fragilidade potencial alternativa).

A fragilidade potencial por cálculo alternativo considerou os índices de água e vegetação calculados com imagens das refletividades ao invés das reflectâncias, além de desconsiderar as possíveis contribuições de tipos de vegetação específicos no aumento da fragilidade potencial. Assim, essa alternativa foi desconsiderada, enquanto a fragilidade potencial por cálculo original foi utilizada nos procedimentos a seguir, como a geração de cenário da fragilidade ambiental, comparações e proposição de áreas prioritárias para mitigação.

4.4.2 Cenário preditivo de fragilidade ambiental

Considerando que as bases disponibilizam dados com diferentes escalas de detalhe ou resolução espacial no caso das imagens de SR, foi definido um tamanho de pixel para permitir a integração das fragilidades na geração dos cenários e das áreas mitigadoras potenciais. Assim, a resolução espacial de 5 m foi definida de acordo com a menor resolução entre as imagens multiespectrais utilizadas na classificação de UCT, de modo que as camadas raster de fragilidades foram exportadas como cópias com esse tamanho de pixel.

A partir das fragilidades calculadas para t1 e t2 foi estimando um cenário quantitativo (predição) para um período futuro t3 (2030) com aplicação de Cadeias de Markov e autômatos celulares no módulo LCM no IDRISI Selva. Essa ferramenta permite gerar análises de ganho, perda e persistência das classes analisadas, mapas de transição e tabela de trocas entre as classes e cenários, sendo indicada para projetos de sustentabilidade (BESER DE DEUS, 2013; EASTMAN, 2012; SULSOFT, 2020).

Apesar da disponibilidade de funções nesse módulo com inclusão de variáveis adicionais, tais como proximidade de vias e drenagens, esse estudo utilizou somente as imagens de fragilidade ambiental de t1 e t2 para estimar t3.

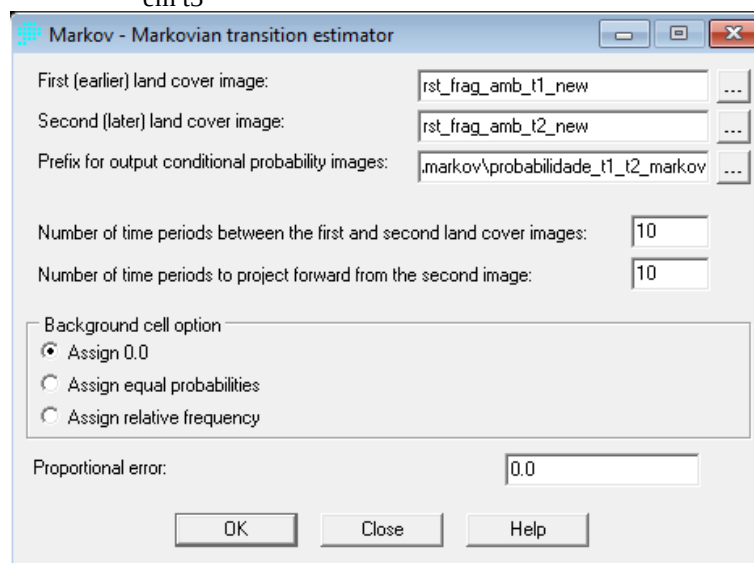
O ano de 2030 foi definido de acordo com as metas dos ODS pós-2015 (ONU, 2022). Assim, a projeção tendencial da fragilidade ambiental para t3 foi gerada a partir das mudanças ocorridas entre t1 e t2 para destacar onde espera-se por maior ocorrência de desastres ambientais caso essas alterações continuem ocorrendo, sem ação mitigadora significativa.

Anterior à adição das camadas no IDRISI Selva, as camadas das fragilidades ambientais de t1 e t2 e do MDEHC foram convertidas de TIF para a extensão nativa do IDRISI Selva (RST), com tipo de dado Int16. Para tal foi executada a ferramenta “Converter (converter o formato)” do GDAL. Cabe ressaltar que esse procedimento pode ser realizado por importação dos dados no IDRISI Selva.

Adicionadas as camadas RST no IDRISI Selva foi seguido o procedimento indicado por Folharini e Oliveira (2020) e o tutorial de Geo-Spatial Research (2022), alterando as camadas de UCT dos autores pelas camadas de fragilidade ambiental deste estudo.

A estimativa de transição de classes de fragilidade ambiental em t3 foi realizada a partir da ferramenta “Markov – Markovian transition estimator” do módulo GIS Analysis, Change/Time Series do IDRISI Selva, selecionando as fragilidades de t1 e t2 como camadas de entrada, atribuindo o valor 10 tanto para o período entre as imagens quanto para o período de projeção após t2, e o valor de 0.15 em erro proporcional, como indicado por Hussain Sabree Ali, Amany e Jalil (2020) apresentado na Figura 31.

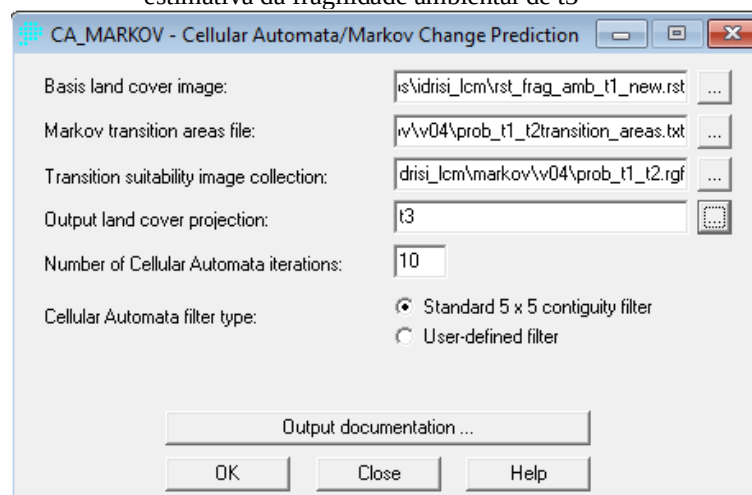
Figura 31 – Aplicação de Cadeias de Markov na transição de classes em t3



Fonte: O autor, 2023.

Por fim, a predição de mudanças para t3 foi estimada a partir da ferramenta “CA_Markov” do mesmo módulo do passo anterior (Figura 32).

Figura 32 – Aplicação de autômatos celulares e Cadeias de Markov na estimativa da fragilidade ambiental de t3



Fonte: O autor, 2023.

Após gerada a imagem da fragilidade ambiental estimada para t3 no IDRISI, a mesma foi adicionada em um novo projeto do QGIS, posteriormente convertida para extensão TIF no EPSG:31983 pela ferramenta “Converter (converter o formato)” do GDAL. As classes receberam as mesmas cores das imagens de fragilidade ambiental de t1 e t2.

4.4.3 Análise da fragilidade ambiental em t1, t2 e t3

A fragilidade ambiental estimada para t1, t2 e t3 foi avaliada de acordo com a distribuição em relação às zonas propostas pelo Plano Diretor Municipal, documento vigente desde 2021 (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2022b), e aos setores censitários de 2020 (IBGE, 2022c), limitados à Microbacia do Rio Mato Grosso. Para tal, foi executada a ferramenta “Estatísticas zonais” do QGIS, sendo extraídos os valores médio, máximo e maioria a partir das imagens de fragilidade ambiental de t1, t2 e t3 reclassificadas para cada zona do plano diretor ou setor censitário.

A camada vetorial dos polígonos de média a muito alta fragilidade em t3 com área a partir de 1000 m² foi definida como áreas frágeis. Aos polígonos de áreas frágeis foram adicionados os valores de suscetibilidades a deslizamento de encosta e inundação (SGB,

2019). Para isso, foi realizada união entre as camadas vetoriais de suscetibilidades a deslizamento de encosta e inundação, aplicação da ferramenta “Unir atributos pela localização (sumário)” do QGIS, a fim de retornar o valor de classe de suscetibilidade para cada feição. Foi realizada uma análise por sobreposições entre fragilidade ambiental de t3 e suscetibilidades a movimentos de massa e inundação, com destaque para as áreas classificadas média a muito alta para ambas.

No cálculo da fragilidade ambiental foi realizada a média simples entre a fragilidade potencial e a fragilidade emergente. Assim, os critérios da fragilidade potencial somados e multiplicados pelo peso AHP influenciaram em até 50% os valores finais da fragilidade ambiental. Já a fragilidade emergente foi estimada a partir de uma camada para cada período: UCT, que representa até 50% os valores da fragilidade ambiental.

Considerando que os dados dos critérios da fragilidade potencial foram convertidos para a lógica *fuzzy* (de 0 a 1), função “associação de poder”, e cada critério foi multiplicado pelo peso AHP, os pesos AHP da fragilidade potencial foram divididos por 2 para indicar a máxima contribuição de cada critério da fragilidade potencial no posterior cálculo da fragilidade ambiental. Já a fragilidade emergente foi estimada a partir de uma camada para cada período: UCT. As oito classes de UCT receberam o mesmo peso no cálculo da fragilidade emergente, a qual correspondeu a até 50% do valor da fragilidade ambiental estimada para t1 ou t2.

Para identificar quais fatores foram mais influentes no cálculo da fragilidade ambiental em t1 em relação aos respectivos valores, foi aplicado um modelo de regressão linear simples pelo cruzamento da camada da fragilidade ambiental com cada tema considerado neste cálculo, um a um. Como parte dos resultados deste cruzamento, foi considerado o coeficiente de determinação (r^2), que permite avaliar quanto o modelo é capaz de explicar os dados coletados, é expresso em valores de 0 a 1, indicando uma resposta mais positiva para os valores mais próximos de 1 (GERALDI; SILVA, 1981; PEREIRA; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, 2019; SANTOS, 2007; SANTOS; MENDES, 2020). O r^2 foi calculado no complemento SCP do QGIS, e pode ser estimado em outros SIGs, como o comercial IDRISI (SULSOFT, 2020) e o livre GeoDa (LI, 2023).

Também calculados em modelos de regressão linear, o coeficiente r indica o grau de associação entre duas variáveis, e a correlação de Pearson indica o nível de associação linear entre variáveis com dados na escala de intervalo, podendo variar de -1, quando o aumento de uma variável resulta na diminuição da outra, a +1, quando o valor de uma variável resulta no aumento da outra (GERALDI; SILVA, op. cit.; SANTOS; MENDES, op. cit.). O coeficiente r

e a correlação de Pearson não foram aplicadas neste estudo, apesar do primeiro poder ser calculado no complemento SCP do QGIS, o coeficiente r^2 apresenta maior aplicação para a avaliação da influência de variáveis em estudos ambientais.

Para este cruzamento foi utilizada a ferramenta “Cross classification” de pós-processamento do complemento SCP do QGIS, na qual foi selecionada em “Select the classification” a camada da fragilidade reclassificada em níveis de 1 a 5; selecionada a camada do tema reclassificado para valores para cálculo de fragilidade em “Select the reference vector or raster”; e marcando a opção “Calculate linear regression”.

Na janela de execução da ferramenta do SCP no QGIS foram copiados os valores de r^2 e colados em uma planilha para cada cruzamento, a fim de indicar as variáveis mais influentes no cálculo da fragilidade ambiental.

Os resultados da influência relativa dos critérios no cálculo da fragilidade ambiental de t1 foram comparados com a contribuição máxima esperada de cada critério no cálculo da fragilidade ambiental.

Apesar da fragilidade ambiental não contemplar variáveis socioeconômicas, a fragilidade ambiental e a vulnerabilidade social são partes integrantes da suscetibilidade aos riscos (SANTOS; ROCHA; ANDRADE, 2015), de modo que as relações entre a fragilidade ambiental e a vulnerabilidade social permite identificar territórios mais vulneráveis às ameaças. Essa foi a última análise deste estudo, na qual os dados do Censo Demográfico do IBGE (2010b) foram sobrepostos ao cenário de fragilidade ambiental estimado para t3, a fim de destacar onde espera-se por mais problemas enfrentados pela população na decorrência de eventos climáticos extremos.

Considerando a expansão urbana indicada em estudos sobre o município de Saquarema e a Microbacia do Rio Mato Grosso (FERNANDES, 2021; FIGUEIRA, 2009; FRIAS, 2011; ROSAS et al., 2003), especialmente pela proximidade do município de Maricá, limítrofe à Oeste e integrante da Mesorregião Metropolitana do Rio de Janeiro (MMRJ), a microbacia deste estudo poderá apresentar maior população geral e concentrada em áreas urbanizadas até 2030.

De acordo com G1 (2023), os primeiros resultados do Censo Demográfico do IBGE de 2022, em fase de divulgação no final de outubro de 2023, indicaram que a população do município de Saquarema passou de 74.293 em 2010 para 89.559 pessoas em 2022, um crescimento populacional de 20,55%, notadamente superior ao observado para o Estado do Rio de Janeiro, que teve um aumento de somente 0,4% na população durante este período.

Assim, a densidade demográfica de Saquarema atingiu 254,34 pessoas por km² em 2022, com média de 2,62 moradores por domicílio.

O Atlas da Vulnerabilidade Social do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2023) é uma plataforma de consulta ao índice de vulnerabilidade social disponível para estimativas a nível do país, macrorregiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas, municípios e unidades de desenvolvimento humano, que correspondem a recortes territoriais localizados dentro das áreas metropolitanas, tais como parte de um bairro, um bairro completo ou, em alguns casos, até um município pequeno. Esse atlas não compreende Saquarema e consequentemente a Microbacia do Rio Mato Grosso.

Outros estudos também propuseram índices de vulnerabilidade social ou socioeconômica utilizando dados do Censo Demográfico do IBGE. Santos (2015) relacionou a fragilidade ambiental a um índice de vulnerabilidade social proposto pela Secretaria de Assistência Social do Município de Fortaleza, que incluiu indicadores de saneamento, educação, renda e situação social, gerados a partir de dados do Censo Demográfico do IBGE de 2000.

O índice de vulnerabilidade socioambiental proposto por Malta, Costa e Magrini (2017b) para o município do Rio de Janeiro considerou 10 indicadores socioeconômicos sobre dados do censo demográfico para determinação do componente socioeconômico, que foram integrados a cinco indicadores do componente ambiental, de saúde e de segurança, sendo todos processados no programa comercial SAS Analytics Software, enquanto o mapeamento, as análises espaciais e o método AHP foram aplicados no QGIS.

Já Fernandes e Costa (2017) analisaram a vulnerabilidade socioambiental no município de Angra dos Reis, no Estado do Rio de Janeiro. A vulnerabilidade social foi estimada por Fernandes e Costa (op. cit.) considerando dados de abastecimento de água por rede geral (0,252), esgotamento sanitário por rede geral (0,161), coleta de resíduos (0,161) e renda nominal mensal (0,423) do Censo Demográfico do IBGE de 2010 com pesos atribuídos a partir do método AHP.

Como alternativa ao índice de vulnerabilidade social do IPEA (2023) e à diversidade de contribuições de autores na definição de índices de vulnerabilidade social, socioeconômica e socioambiental, foram considerados fatores de infraestrutura, renda e taxa de analfabetismo para o cálculo da vulnerabilidade social, tendo como referências os estudos de Carvalho (2015), Nascimento (2020) e Reis (2014) para determinar as variáveis de infraestrutura e renda e os estudos de Almeida (2010) e Dias (2013) para a variável sobre escolaridade (Quadro 16).

Quadro 16 – Variáveis utilizadas no cálculo da vulnerabilidade social

Tema	Variável	Código IBGE	Tabela IBGE
Infraestrutura	Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da rede geral	V012	Domicilio01_RJ.xls
	Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial	V017	
	Domicílios particulares permanentes com lixo coletado	V035	
	Domicílios particulares permanentes com energia elétrica	V043	
Renda	Valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes (com e sem rendimento)	V005	Basico_RJ.xls
Escolaridade	Pessoas responsáveis alfabetizadas	V093	Responsavel02_RJ.xls

Fonte: Adaptado de CARVALHO, 2015; REIS, 2014.

Para baixar os dados estatísticos do Censo Demográfico do IBGE de 2010 foi testado o complemento “Censo IBGE” (CAGNA, 2021) no QGIS, que permitiria consultas por setor censitário de 2000 e 2010, porém o aplicativo apresentou erros e não foi possível utilizá-lo em outubro e novembro de 2023.

Foram baixadas as planilhas com dados de estatísticas socioeconômicas agregados por setores censitários do Estado do Rio de Janeiro no portal do IBGE (2010b). Posteriormente, foram adicionadas as planilhas Basico_RJ, Domicilio01_RJ e Responsavel02_RJ no QGIS, unidas à camada de setores censitários da Microbacia do Rio Mato Grosso de 2010 pelo código de cada setor, e a camada resultante foi exportada como SHP no EPSG:31983.

Cabe ressaltar que o setor censitário 330550515039, localizado no bairro de Basiléia, próximo da Lagoa de Urussanga/Mombaça na Microbacia do Rio Mato Grosso, não teve valores levantados no Censo Demográfico de 2010. Já as áreas definidas como parte dos setores 330270015000055 e 330575205000045 foram indicadas como pertencentes aos municípios de Maricá e Tanguá no Censo de 2010, respectivamente.

Foi publicada uma atualização dos limites de setores censitários em 2020, que não foi considerada nesse processo devido à ausência de dados estatísticos por setor censitário após 2010 até a última data de referência de consulta (30 de outubro de 2023). Até outubro de 2023 foram atualizados dados do Censo Demográfico de 2022 somente sobre contagens prévias da população de cada município, datada de 25 de dezembro de 2022, das populações de

comunidades tradicionais (quilombolas e indígenas), que não ocorrem na Microbacia do Rio Mato Grosso, e da população por idade e sexo para municípios ou maiores recortes (Estados, regiões geográficas, país).

Na tabela de atributos da camada SHP dos setores censitários com dados estatísticos socioeconômicos foram criadas colunas e calculados os níveis de vulnerabilidade social para cada um dos critérios, detalhados a seguir.

Para cada variável censitária de infraestrutura – serviços de água (V012/Domicilio01_RJ), esgoto (V017/Domicilio01_RJ), coleta de lixo (V035/Domicilio01_RJ) e rede elétrica (V043/Domicilio01_RJ) – o total de domicílios permanentes atendidos foi dividido pelo total de domicílios particulares permanentes (V001/Basico_RJ), sendo o resultado multiplicado por 100 para resultar nas porcentagens de atendimento. Posteriormente, as porcentagens foram reclassificadas para níveis de vulnerabilidade social de acordo com Carvalho (2015), como indicado no Quadro 17.

Quadro 17 – Nível e grau de vulnerabilidade social para porcentagens das variáveis de infraestrutura por domicílios de cada setor censitário

Porcentagem	Nível de vulnerabilidade	Grau de vulnerabilidade
0-25%	5	Muito alta
25-50%	4	Alta
50-75%	3	Média
75-100%	2	Baixa

Fonte: Adaptado de CARVALHO, 2015.

O valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes (com e sem rendimento) foi dividido por 510, valor relativo ao salário-mínimo vigente em 2010 (DIEESE, 2023), sendo atribuídos os níveis de vulnerabilidade de cada setor censitário na tabela de atributos com base em Carvalho (2015), como apresentado no Quadro 18.

Quadro 18 – Nível e grau de vulnerabilidade social para faixas de renda nominal média

Faixa de renda	Nível de vulnerabilidade	Grau de vulnerabilidade
$\leq \frac{1}{2}$ salário-mínimo	5	Muito alta
$\frac{1}{2} < \text{salário-mínimo} \leq 2$	4	Alta
$2 < \text{salário-mínimo} \leq 4$	3	Média
$4 < \text{salário-mínimo} \leq 6$	2	Baixa
salário-mínimo > 6	1	Muito baixa

Fonte: Adaptado de CARVALHO, 2015.

Quanto à escolaridade, o total de pessoas responsáveis alfabetizadas por setor censitário (V093/Responsavel02_RJ.xls) foi dividido pela quantidade de pessoas responsáveis (V001/Responsavel02_RJ.xls), e o resultado foi multiplicado por 100 para calcular a porcentagem de responsáveis alfabetizados. Esse valor foi reclassificado em 5 classes de intervalos iguais, considerando os valores mínimo e máximo encontrados. Para a classe de maior porcentagem de pessoas responsáveis alfabetizadas foi atribuído o nível de vulnerabilidade 1, enquanto a classe de menor porcentagem recebeu o valor 5 para nível de vulnerabilidade.

Para definição das prioridades no cálculo dos pesos de cada variável foi considerada a proposição de Fernandes e Costa (2017), tendo como principal fator a renda nominal mensal, seguida do abastecimento de água por rede geral, e em terceiro nível de importância a coleta de resíduos e o esgotamento sanitário por rede geral. A esses fatores foram adicionadas as variáveis de energia elétrica e pessoas alfabetizadas, que foram consideradas tão importantes quanto a renda nominal mensal, por considerar que a falta de energia elétrica limita o acesso à informação sobre condições meteorológicas, ameaças de desastres ambientais e quais procedimentos tomar durante eventos climáticos extremos. A taxa de alfabetismo foi considerada como critério de grande importância, por estar relacionado ao nível de exposição a ameaças, e às incertezas de como agir durante eventos climáticos extremos.

As seis variáveis da vulnerabilidade social – quatro de infraestrutura, uma de renda e uma de escolaridade – receberam pesos definidos após testes na Calculadora de Prioridade AHP de Goepel (2018). No QGIS, esses pesos foram multiplicados aos valores reclassificados para cada setor censitário. Os valores resultantes para cada critério foram somados, gerando os valores de vulnerabilidade social para cada setor censitário da Microbacia do Rio Mato Grosso.

Na discussão foi considerada a tendência de aumento de pessoas que utilizam equipamentos e serviços públicos. Os infográficos noticiados pelo portal de notícias G1 (2023) para Saquarema foram considerados para propor condições socioeconômicas esperadas, que podem influenciar na vulnerabilidade a deslizamentos e encosta e inundações na Microbacia do Rio Mato Grosso.

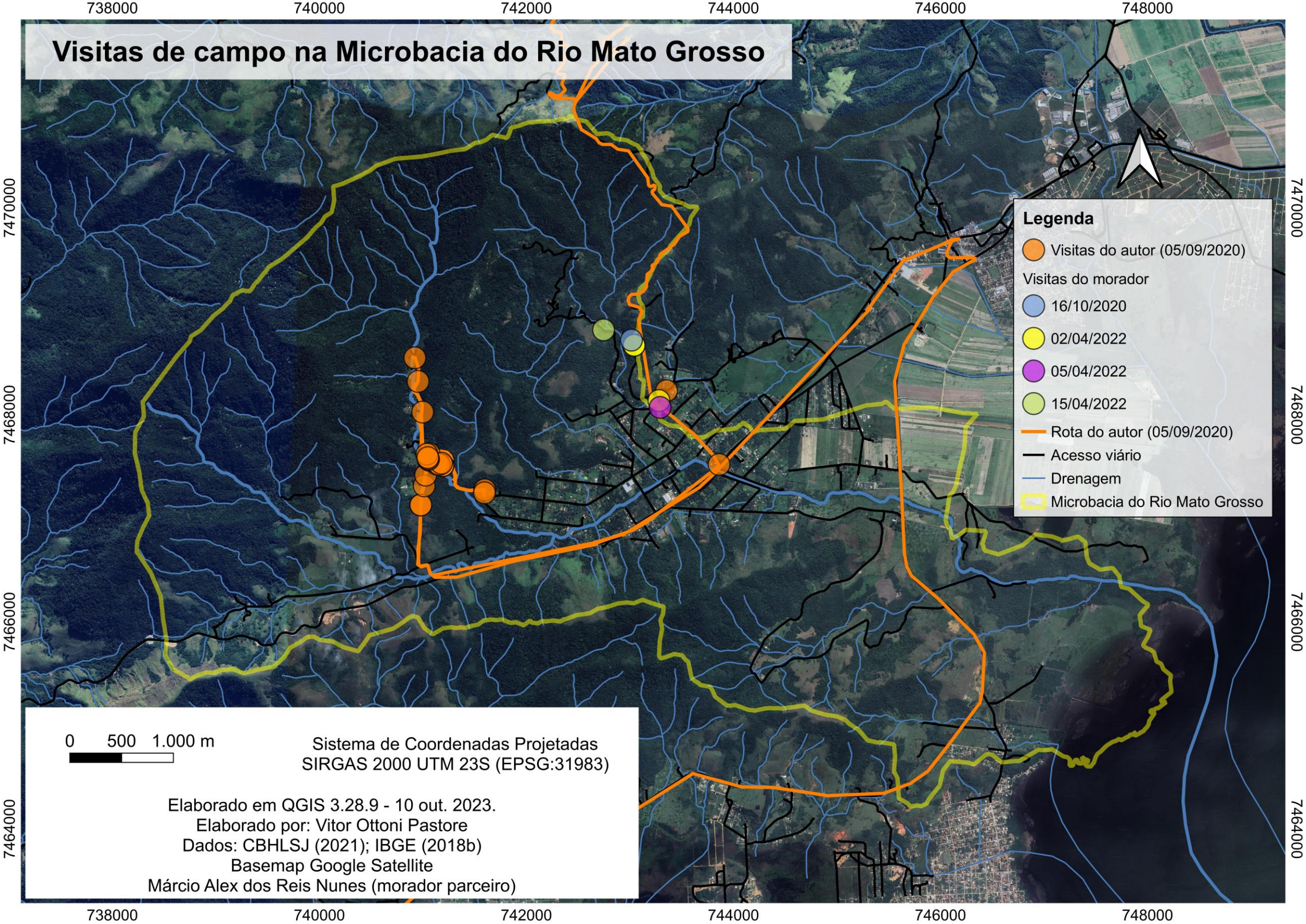
A distribuição da vulnerabilidade social foi analisada quanto aos respectivos setores censitários de 2010, áreas frágeis de t3 (média a muito alta fragilidade ambiental) e áreas suscetíveis (média ou alta suscetibilidade a deslizamentos de encosta e inundação). Para isso, foi executada a ferramenta “Unir atributos por localização (sumário)” do QGIS, selecionando a camada de áreas suscetíveis em “Unir aos recursos em”, marcando interseccionam em

“Onde as feições”, selecionando a camada de setores censitários com dados de vulnerabilidade social em “Ao comparar com”, e marcando somente o campo que apresenta os valores médios de vulnerabilidade social em “Campos a sumarizar” e somente os valores máximos e mínimos (opções max e Mín) em “Sumários a calcular”. As últimas duas configurações foram necessárias para unir somente o maior e o menor valor de vulnerabilidade social a cada polígono de áreas suscetíveis, pois uma área frágil pode ter partes em um setor censitário de maior vulnerabilidade social que outro setor censitário vizinho. Posteriormente, o procedimento realizado para áreas suscetíveis foi replicado para áreas frágeis e foram realizados cruzamentos entre áreas frágeis e vulneráveis, áreas suscetíveis e vulneráveis, e entre os resultados desses cruzamentos, gerando uma camada de áreas frágeis (fragilidade ambiental estimada para t3), suscetíveis (suscetibilidade a deslizamentos de encosta e inundação) e vulneráveis (vulnerabilidade social estimada com dados do Censo Demográfico do IBGE de 2010).

4.4.4 Relatos de campo

A partir de visitas de reconhecimento realizadas pelo autor na Microbacia do Rio Mato Grosso no dia 5 de setembro de 2020 e no entorno dia 23 de setembro de 2020; e pelo morador parceiro e geógrafo Márcio Alex (NUNES, 2022) em 16 de outubro de 2020 e 2, 5 e 15 de abril de 2022 (Figura 33), foram capturadas fotografias e avaliadas as respectivas classificações de fragilidade ambiental no cenário t3 e de suscetibilidades a deslizamentos de encosta e inundação.

Figura 33 – Mapa de visitas de campo na Microbacia do Rio Mato Grosso e entorno



4.5 Mitigação

A fim de indicar áreas de ação e planejamento para redução fragilidade ambiental, foram sobrepostas as áreas frágeis às áreas mitigadoras potenciais, tendo como fim a indicação de áreas prioritárias de mitigação, instrumentos de Planejamento Territorial e Ambiental e práticas ecológicas mitigadoras.

4.5.1 Áreas mitigadoras potenciais

Neste estudo foram propostas como áreas mitigadoras potenciais as áreas protegidas, áreas desmatadas, as comunidades tradicionais, os assentamentos rurais, as margens de trilhas ecológicas e de rodovias, assim como a localização de empreendimentos e atrativos turísticos potencialmente parceiras, como hospedagens e pontos turísticos.

A proximidade de áreas protegidas foi considerada como potencial para o desenvolvimento de práticas educacionais e de desenvolvimento sustentável, seja pelo turismo ecológico ou, quando possível, a extração responsável de recursos naturais.

Na Microbacia do Rio Mato Grosso são encontradas quatro UCs, sendo uma do tipo uso sustentável que abrange 76,5% da microbacia. Apesar disso, há sobreposição dessa UC com outras mais restritivas do tipo proteção integral, limitando potenciais projetos de desenvolvimento sustentável e redução da fragilidade ambiental. Foram consideradas as áreas protegidas levantadas caracterização da Microbacia do Rio Mato Grosso (p. 108) para compor a camada de áreas mitigadoras potenciais.

Sobre áreas desmatadas foram considerados os polígonos de incremento anual na supressão da vegetação nativa de Mata Atlântica de 2010 a 2020 do projeto PRODIS do Terrabrasilis (INPE, 2023b). A camada vetorial baixada foi adicionada no QGIS, definido o sistema de coordenadas original EPSG:4326, recortada para a microbacia e reprojetada para o EPSG:31983 e editada para manter somente polígonos indicando ocorrência de supressão da vegetação nativa de 2010 a 2020, evitando assim incluir áreas desmatadas até 2010 que foram recuperadas até 2020 e áreas desmatadas após 2010 que não tenham sido validadas em levantamentos posteriores.

Para as comunidades tradicionais foram verificadas as comunidades quilombolas certificadas e as indígenas, assim como os assentamentos rurais, levantados na caracterização da Microbacia do Rio Mato Grosso (p. 103), porém nenhum desses grupos foi localizado na Microbacia do Rio Mato Grosso.

No Google Earth Pro foram criados marcados sobre pontos de hospedagem, atrativo turístico, horto, estação de tratamento de água ou esgoto, escolas e centros de instrução de voos e antiga fábrica de reciclagem.

No portal Wikiloc (2023) foram baixadas as camadas KMZ dos trajetos de trekking com trechos localizados na Microbacia do Rio Mato Grosso. Essas camadas foram editadas no QGIS para remover trechos duplicados e com erros, a partir dos mapas base Google Satellite (QMS). Os trechos baixados estão apresentados no Quadro 19.

É importante reforçar que na Microbacia do Rio Mato Grosso são encontrados dois dos oito trechos da TranSaquarema, uma travessia que tem início na Cachoeira do Roncador, no interior da microbacia, e segue para Nordeste da microbacia até a localidade de Tinguí, a mais de 6 km dos limites da microbacia. Em 29 de julho de 2021 foi iniciada a demarcação das trilhas que fazem parte da Rede Brasileira de Trilhas de Longo Curso nessa área (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2021b), porém os vetores desse trajeto somente foram encontrados no portal Wikiloc (2023), de qual foram baixados o primeiro e o segundo trecho da TranSaquarema, chamados Roncador-Buracão e Tinguí-Roncador indicados no Quadro 19, sendo que o primeiro trecho (Roncador-Buracão) recebeu sinalização em 21 de julho de 2022 (O DIA, 2022b), assim como as demais trilhas buscadas no portal.

A trilha para a “Arca”, uma mansão abandonada no extremo Nordeste da microbacia tem vista do entorno pelo topo da estrutura e trecho para a Cachoeira Sete Quedas, indicada para banho. Já a Cachoeira da Matinha tem acesso por estrada que leva à Estrada do Buracão a partir da RJ-106, apresenta um poço pequeno e restos de cerimônias religiosas.

A menos de 8 m do extremo Noroeste da Microbacia do Rio Mato Grosso está localizado o ponto mais alto próximo da microbacia, o Pico da Lagoinha com 890 m de altitude, que foi extraído o ponto a partir da BC25_RJ no EPSG:31983.

As vias asfaltadas ou não, localizadas na Microbacia do Rio Mato Grosso foram extraídas da BC25_RJ, pelas camadas trecho rodoviário e vias de acesso. Foram gerados buffers de 8 m, como largura média dos cursos d’água consultada no QGIS, e 30 m a partir das linhas de vias de acesso, largura considerada na delimitação de APP de margens de cursos d’água de até 10 m de largura (BRASIL, 2012b), seguido de diferença simétrica e definição da área gerada com 22 m de largura como área mitigadora potencial.

Quadro 19 – Trilhas consultadas no Wikiloc como áreas mitigadoras potenciais

Nome da trilha	Autor	Data de envio	Link
Sampaio Correia x Tomascar x Sampaio Correia	WesFer	12/01/2016	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/sampaio-correia-x-tomascar-x-sampaio-correia-11930671
TRAVESSIA MARICÁ / SAQUAREMA / RIO BONITO – RIO DE JANEIRO	Edgar Franco e Márcia Freitas	03/07/2016	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/travessia-marica-saquarema-rio-bonito-rio-de-janeiro-13875675
Cachoeira do boqueirão – saquarema	RUIPQD	20/11/2017	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/cachoeira-do-boqueirao-saquarema-21100055
Cachoeira roncador cobra	leandroas	10/03/2019	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/cachoeira-roncador-cobra-34002159
Exploração Buracão	Cássio Garcez	30/05/2019	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/exploracao-buracao-37026104
Saquarema – Cachoeira do Roncador	ra_mendes	09/07/2019	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/saquarema-cachoeira-do-roncador-38501441
Rampa Voo Livre Parapente Sampaio Correia Trilha Exploratória	Alberto Matrilhas	27/08/2020	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/rampa-voo-livre-parapente-sampaio-correia-trilha-exploratoria-55610666
Sampaio Correia – Rio Seco	Alberto Matrilhas	27/08/2020	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/sampaio-correia-rio-seco-55608333
Jequitibá – Sampaio Correia	Willian Aguiar	28/03/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/jequitiba-sampaio-correia-69011822
TRANSAQUAREMA – 2º TRECHO TINGUI RNCADOR	Bruno Seabra Ramos	18/04/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/corrida/transaquarema-2o-trecho-tingui-roncador-70978923
Roncador/Rampa Sul/Rampa Norte/Véu da Noiva	Jr. Mattos	24/04/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/roncador-rampa-sul-rampa-norte-veu-da-noiva-71411781
TRANSAQUAREMA – 1º TRECHO RNCADOR BURACÃO	Bruno Seabra Ramos	08/05/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/transaquarema-1o-trecho-roncador-buracao-72496916
Trilha das rampas	Marlucia Pinto	06/06/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/trilha-das-rampas-75142294
Trilha da Serra	Pedro Lima azeredo	28/06/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/trilha-da-serra-76946084
Roncador x Espreado	Janderson Muniz 1	24/07/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/roncador-x-espraido-79042303
Circuito serra do buracao x serra do roncador	Marlucia Pinto	25/07/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/circuito-serra-do-buracao-x-serra-do-roncador-79155231
Cachoeira do Segredo – Sampaio Correa	fabioacs68	30/08/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/cachoeira-do-segredo-sampaio-correa-82533132
Sampaio Correia	Pedro Lima azeredo	26/09/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/sampaio-correia-84830003
Sampaio Correia	Pedro Lima azeredo	07/11/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/sampaio-correia-88375579
Circuito cachoeira véu da noiva e cachoeira do poço Saquarema	marcio trilheiros do bosque	16/11/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/circuito-cachoeira-veu-da-noiva-e-cachoeira-do-poco-saquarema-890242751
Cachoeira do poço saquarema	marcio trilheiros do bosque	21/11/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/cachoeira-do-poco-saquarema-89399371
Cachoeira do Véu – Saquarema	marcio trilheiros do bosque	21/11/2021	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/cachoeira-do-veu-saquarema-89399360
Nova cachu	Guia Jéssica de Freitas	20/11/2022	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/nova-cachu-119640484
Sampaio Correia	leandros125	02/03/2023	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/sampaio-correia-127249454
Serra do Mato Grosso / Rampa de Parapente – Saquarema	marcio trilheiros do bosque	02/03/2023	https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/serra-do-mato-grosso-rampa-de-parapente-saquarema-127247131

Fonte: Organizado pelo autor, 2023

Na BC25_RJ (IBGE, 2018b), no Google Earth Pro e no Google Maps foram criados marcadores de ponto sobre a localização de instituições voltadas para práticas ecológicas, como horto, parque, escola, centro tecnológico, igreja e atrativos turísticos de natureza

(cachoeiras e mirantes). Ainda, foram incluídas como áreas mitigadoras potenciais as áreas agrícolas identificadas como vegetação cultivada na BC25_RJ pelo IBGE (2018b).

Para alguns dos temas de áreas mitigadoras potenciais foram consideradas áreas adicionais às feições de origem, a fim de indicar áreas com potencial participação dos responsáveis por cada item considerado, no sentido da redução da fragilidade ambiental. Para tal, foram atribuídos valores de buffers a partir das feições dos temas considerados como áreas mitigadoras potenciais, levando em consideração instrumentos legais, como a distância de áreas de preservação permanente a partir da largura do curso d'água (BRASIL, 2012b).

Para as áreas de desmatamento foram mantidos os polígonos consultados, a fim de não superestimar as respectivas distribuições e áreas totais. Para o Pico da Lagoinha, localizado a menos de 8 m da microbacia, foi considerado um buffer em raio a partir da respectiva feição de ponto, de modo que os acessos ao pico e as APP de nascentes e cursos d'água próximas, localizados na microbacia, possam ser considerados em práticas ecológicas mitigadoras relacionadas a esse atrativo.

Quanto às trilhas, a partir das feições de linhas editadas para evitar trechos repetidos, foram gerados buffers de 30 m para cada lado, levando como referência a distância indicada para proteção de cursos d'água com até 10 m de largura (BRASIL, 2012b), dessa maneira foi considerada a área de trânsito nas trilhas e suas margens como áreas mitigadoras potenciais.

A partir dos pontos de interesse (pontos de hospedagem, atrativo turístico, horto, estação de tratamento de água ou esgoto, escolas e centros de instrução de voos e antiga fábrica de reciclagem) foram gerados buffers de 500 m, que levou em consideração a diversidade de valores atribuídos à áreas de influência direta de empreendimentos nos processos de licenciamento ambiental no Brasil, que devem considerar em todos os casos a bacia hidrográfica na qual se localiza, como indicado no inciso III do artigo 5º da Resolução nº 01/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1986). Ainda, foi considerada a largura de faixas de APP para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros (BRASIL, 2012b), a fim de integrar esses atrativos turísticos, empreendimentos, equipamentos de saneamento e instituições de ensino e pesquisa em parcerias voltadas para o desenvolvimento e a execução de práticas ecológicas mitigadoras da fragilidade ambiental na Microbacia do Rio Mato Grosso.

Para as áreas de vegetação cultivada foi mantida a mesma lógica das áreas desmatadas, mantendo os limites dos respectivos polígonos consultados em uma camada.

O Quadro 20 apresenta os temas considerados na elaboração da camada vetorial de áreas mitigadoras potenciais, o tipo de dado original (ponto, linha ou polígono) e o valor de buffer a partir de cada feição.

Quadro 20 – Temas considerados como áreas mitigadoras potenciais

Tema	Tipo de dado vetorial	Buffer (m)
Áreas protegidas	Polígono	-
Desmatamento	Polígono	-
Pico da Lagoinha	Ponto	500 m
Trilhas	Linha	30 m
Vias de acesso	Linha	8 a 30 m de distância das linhas
Pontos de interesse	Ponto	500 m
Vegetação cultivada	Polígono	-

Fonte: O autor, 2023.

Todos os polígonos (buffers ou polígonos originais da camada) gerados nesse tópico foram mesclados (ferramenta “Mesclar camadas vetoriais” do QGIS) em uma camada vetorial de áreas mitigadoras potenciais, permitindo sobreposições, e definindo o sistema de coordenadas EPSG:31983. A camada de todas as áreas mitigadoras potencial foi editada para preencher a coluna “NOM_TEMA” com os respectivos temas.

4.5.2 Áreas prioritárias para mitigação da fragilidade ambiental

No QGIS, foi realizada a interseção entre as áreas de média a muito alta fragilidade ambiental em t3 com área a partir de 1000 m², denominadas áreas frágeis, com a camada vetorial de áreas mitigadoras potenciais, permitindo indicar as áreas prioritárias para mitigação da fragilidade ambiental.

4.6 Instrumentos de Planejamento Territorial e Ambiental e de práticas ecológicas mitigadoras

As zonas do Plano Diretor Municipal foram consideradas para indicar as áreas urbanas e de outras classes a serem consideradas na proposição e soluções mitigadoras.

A localização de unidades de ensino, ciência, tecnologia foram consideradas como áreas de interesse de atividades de Educação Ambiental para a prevenção de desastres e redução da fragilidade ambiental.

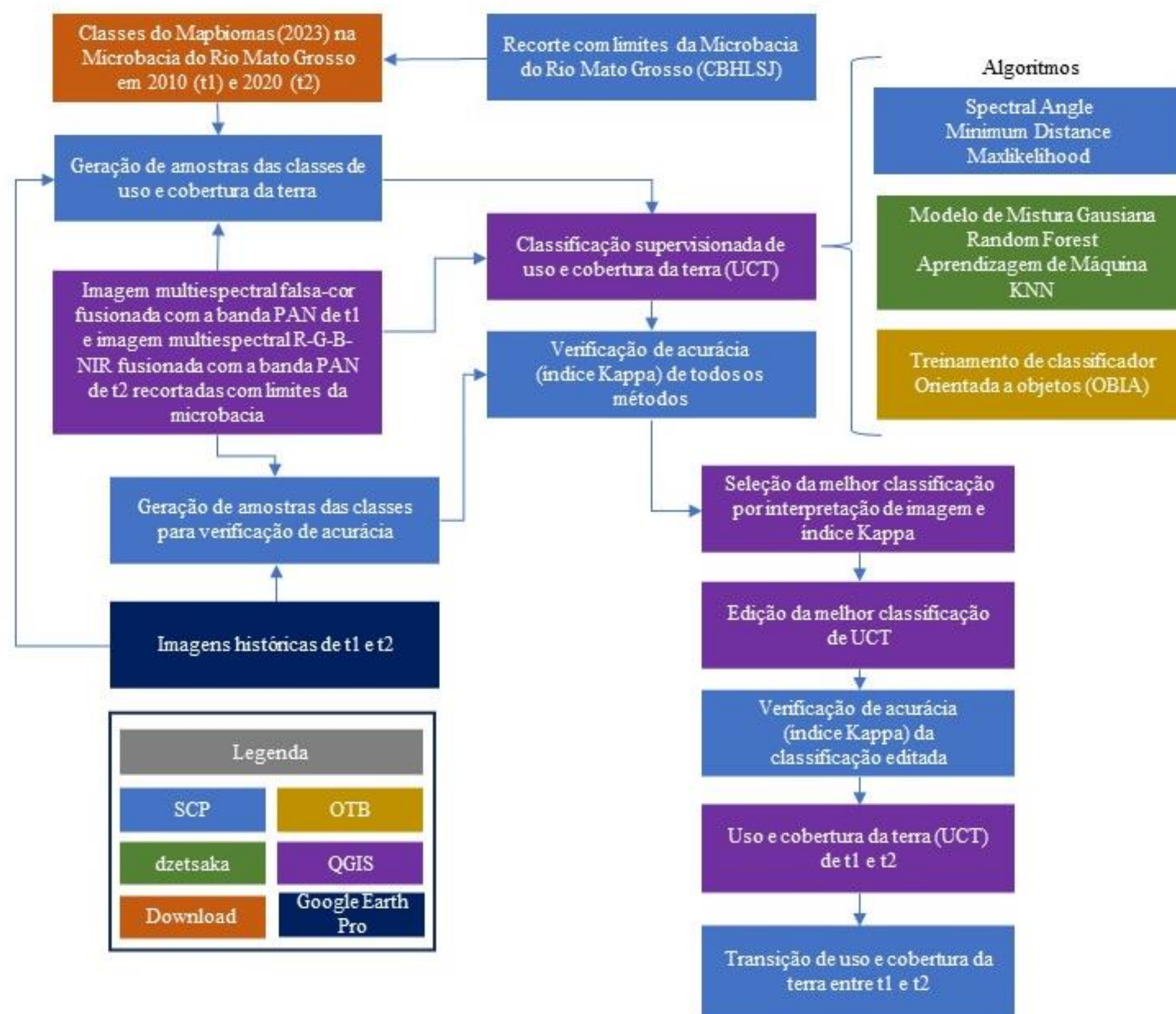
As áreas frágeis que ocorrem em áreas de vegetação cultivada foram indicadas como prioritárias para mitigação no sentido de oportunidades de projetos de agroecologia. Quando ocorreram nos buffers de APPs de rios e de trilhas e rodovias foi proposta a recomposição vegetal, seja em área pública ou particular.

Quanto a práticas mitigadoras da fragilidade ambiental foram consultados estudos acadêmicos de propostas de mitigação da fragilidade ambiental e das suscetibilidades avaliadas, indicando instituições ou grupos que podem ser integrados da escala local à internacional, tais como soluções indicadas no portal do Pacto pela Restauração da Mata Atlântica (PACTO, 2023) e das unidades regionais desse movimento nacional. Também foram levantadas soluções potenciais de recuperação ambiental, Soluções baseadas na natureza (SbN) propostas no portal do Observatório de Inovação para Cidades Sustentáveis (OICS, 2023) e pelo Grupo de Interação à Pesquisa em Soluções baseadas na Natureza (GIP-SBN, 2023).

4.7 Fluxogramas de fragilidade emergente e vulnerabilidade social

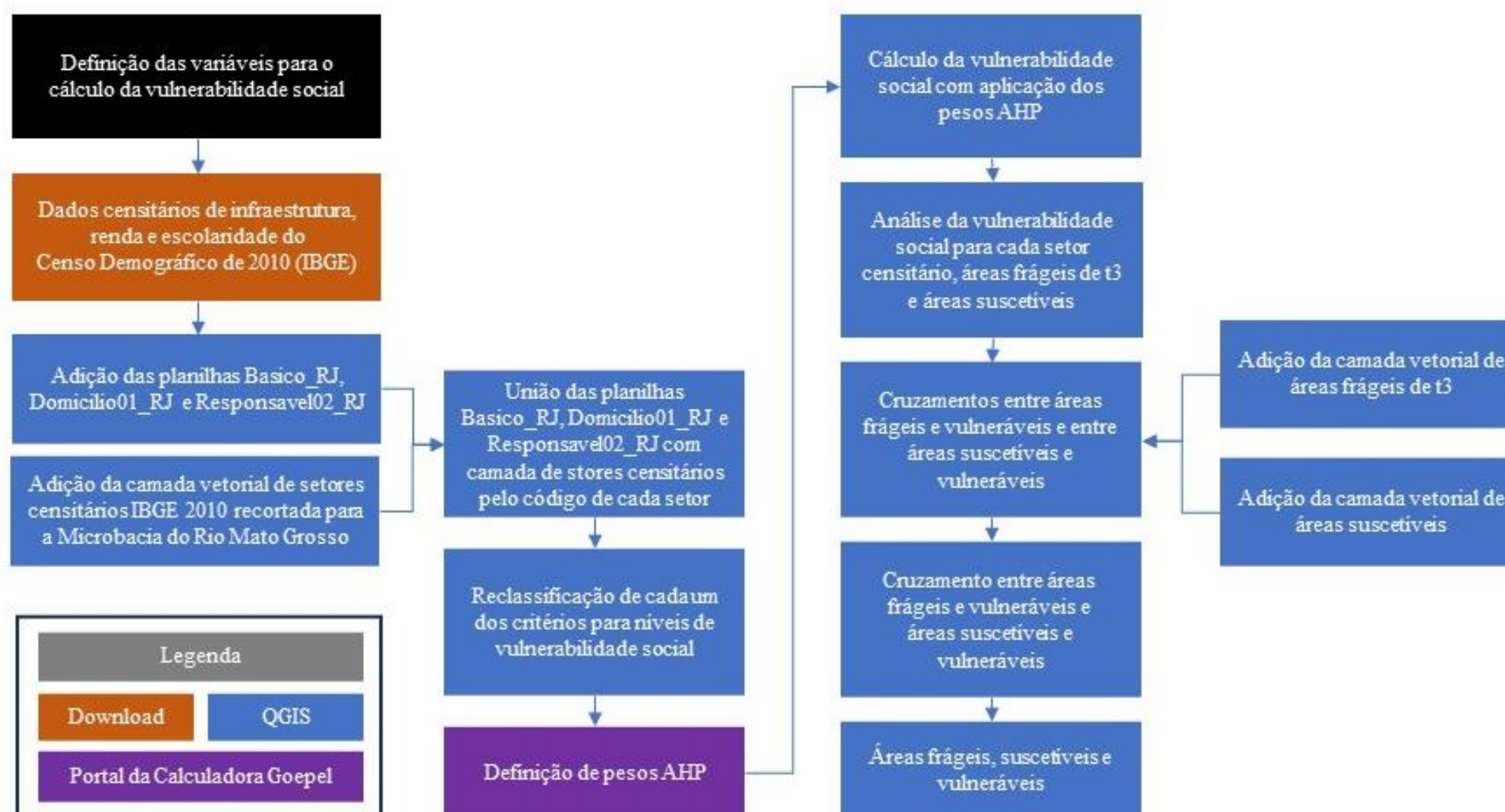
A Figura 34 detalha a sequência de processos realizados na classificação supervisionada de UCT, tema único da fragilidade emergente. Já a Figura 35 representa os procedimentos realizados para o cálculo da vulnerabilidade social.

Figura 34 – Fluxograma da classificação de uso e cobertura da terra



Fonte: O autor, 2023.

Figura 35 – Fluxograma da vulnerabilidade social



Fonte: O autor, 2023.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são apresentados os resultados dos tratamentos de dados deste estudo, dos cálculos e análises de índices espectrais, uso e cobertura da terra, fragilidade ambiental, cenários preditivos, construção de polígonos de áreas mitigadoras potenciais e de análises espaciais para definição de áreas prioritárias de mitigação e das soluções propostas.

5.1 Tratamento dos dados vetoriais e raster

Nesse tópico são abordados os resultados e discussões acerca do tratamento de dados vetoriais e raster utilizados no estudo.

5.1.1 Setores censitários e macrozonas do Plano Diretor

A malha de setores censitários de Ssquarema em 2010 (IBGE, 2022c) indicou um total de 14 setores para a Microbacia do Rio Mato Grosso, sendo uma área de 156,6 m² como pertencente ao distrito de Manoel Ribeiro de Maricá, definido como área rural e localizado no extremo oeste da microbacia; uma área de 10,8 m² localizada em Tanguá, definida como área rural e localizada na porção norte da microbacia; e o restante em Sampaio Correia, com 6 setores de área rural e 5 em área urbana, sendo 3 localizados no bairro Serra do mato Grosso, 2 em Jaconé e 1 em Basiléa, sem indicação dos bairros dos setores restantes.

Na atualização da base de dados de setores censitários, o IBGE (op. cit.) indicou que a microbacia deste estudo compreende áreas de 15 setores, todos localizados no distrito de Sampaio Correia, sendo 6 em área rural, 8 em áreas urbanas de baixa densidade de edificações e um setor da massa d'água da Lagoa de Urussanga/Mombaça, parte do complexo lagunar de Ssquarema. Não foram indicados os bairros na base de dados de setores censitários do IBGE (op. cit.).

Das macrozonas do Plano Diretor de Ssquarema, somente quatro ocorrem na Microbacia do Rio Mato Grosso. A Macrozona Ambiental de Sampaio Correia (MASC)

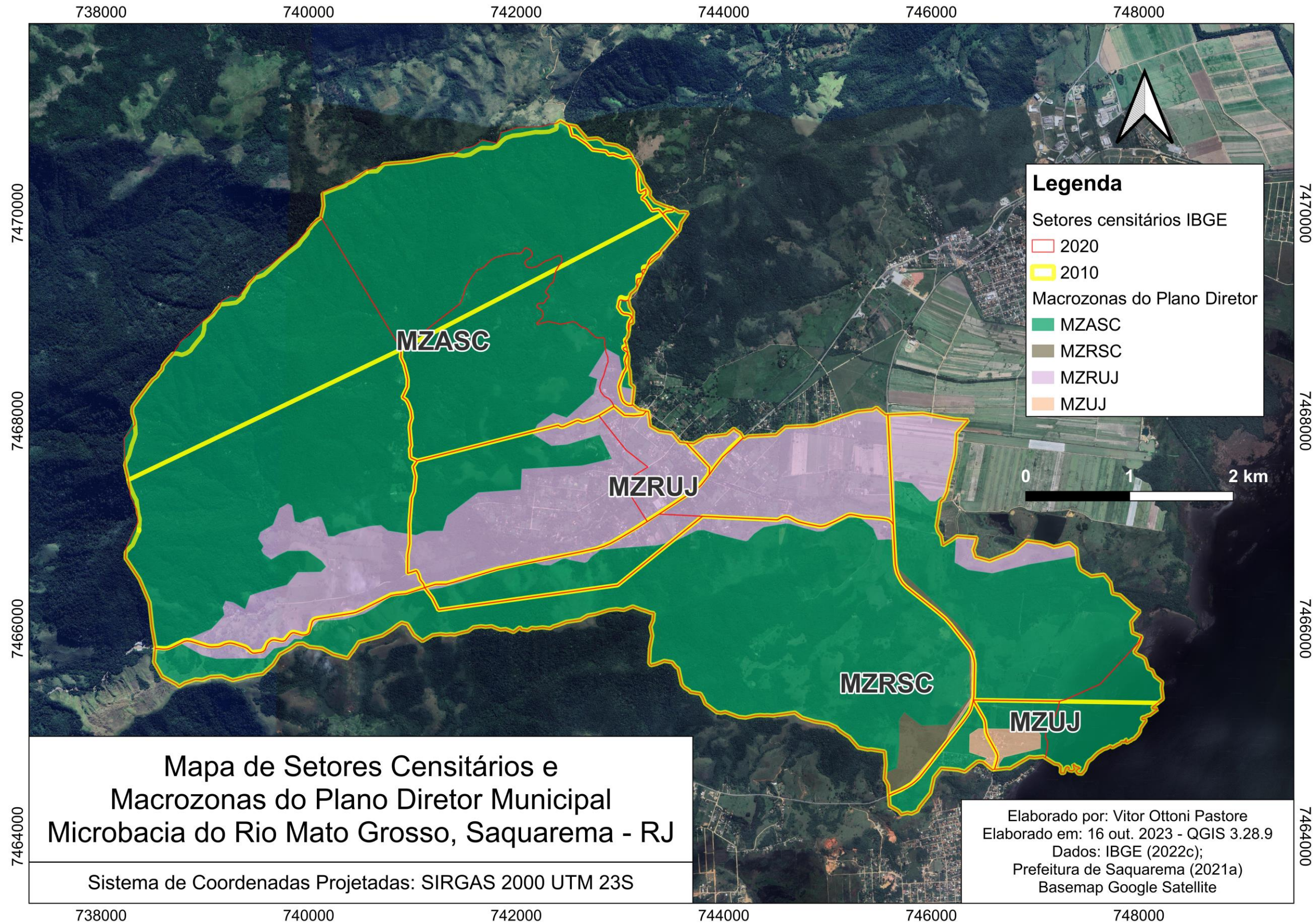
compreende 23,3 km² na microbacia; A Macrozona Rururbana de Jaconé (MRRJ) 6,9 km², já as Macrozonas Rural de Sampaio Correia (MRSC) e Urbana de Jaconé (MUJ) compreendem 0,3 e 0,2 km², respectivamente.

A Macrozona Ambiental é a categoria do Plano Diretor de Saquarema mais relevante na Microbacia do Rio Mato Grosso, onde deve haver: incentivo a ocupação ordenada do solo, considerando prioritariamente os planos de manejo e o zoneamento das UCs presentes, compatibilizando seus usos de forma sustentável; estabelecer a integração com órgãos de diferentes esferas para o controle ambiental; promover o turismo e o ecoturismo de maneira sustentável; impedir o assentamento em áreas pré-definidas como restritas à ocupação humana; e adaptar as vias que conectam à outras macrozonas no sentido da conservação e da recuperação da biodiversidade (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2021a).

A Macrozona Rururbana compreende áreas intermediárias entre locais com características urbanas e locais com designação rural. Entre os objetivos dessa macrozona estão o estímulo às atividades rurais leva em conta a diversificação da produção, a integração com o turismo, o uso de novas tecnologias e tecnologias alternativas, assim como o incentivo à agricultura urbana familiar como forma complementar de renda das famílias locais. Já as macrozonas rurais e urbanas representam 1,5% da área total da Microbacia do Rio Mato Grosso, tendo seus objetivos diversificados no Plano Diretor de Saquarema (PREFEITURA DE SAQUAREMA, op. cit.).

As macrozonas e os setores censitários na microbacia de estudo estão apresentadas na Figura 36.

Figura 36 – Mapa de setores censitários e macrozonas do Plano Diretor na Microbacia do Rio Mato Grosso em 2010 e 2020



Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

Cabe ressaltar que o abairramento proposto pelo Plano Diretor de Saquarema indica que a Microbacia do Rio Mato Grosso apresenta áreas divididas em somente três bairros. Além do bairro Serra do Mato Grosso, na microbacia há somente outros dois, denominados Jaconé, nos dois setores censitários menores localizados no extremo Sudeste da microbacia, e Basiléa no setor censitário a Norte do bairro Jaconé (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2021a), estando estes três setores limítrofes à Laguna de Saquarema.

5.1.2 Intensidade de pluviosidade

A diferença de classes de intensidade da precipitação ocorreu somente em um pixel de 1 km² na parte Sudeste da Microbacia do Rio Mato Grosso, próxima da lagoa, onde em t2 apresentou uma classe inferior (2) à encontrada para t1 (3).

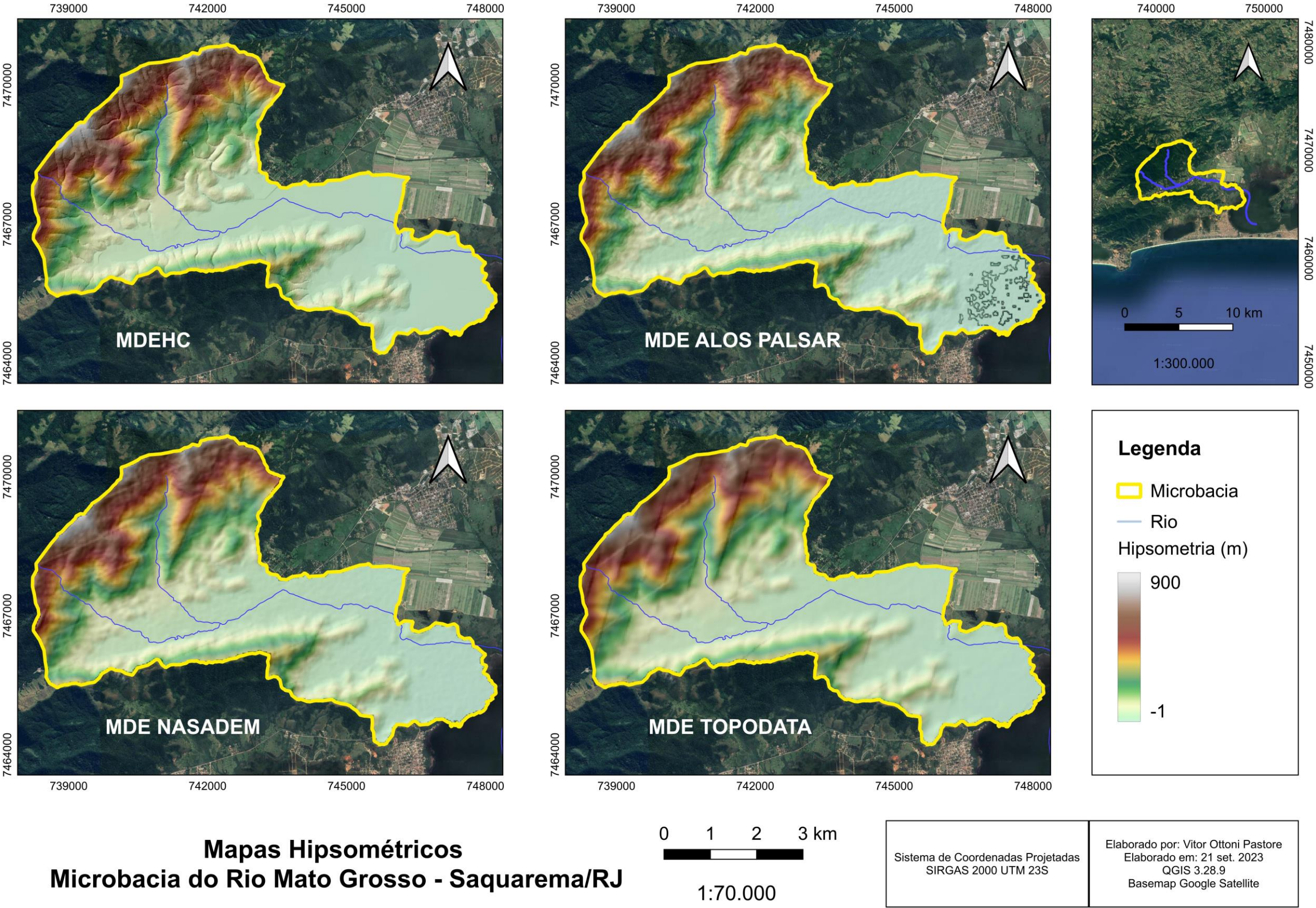
A baixa resolução espacial dos dados de precipitação limitou a aplicação da intensidade de pluviosidade na Microbacia do Rio Mato Grosso. A ausência de sistema de monitoramento meteorológico e climatológico na microbacia pode ser superada com investimentos e projetos.

Os índices de intensidade de precipitação, como o RX1day que indica precipitação em 24h, o RP95p relacionado a chuvas fortes e o R99p de chuvas intensas, são outros dados que podem ser aplicados em metodologias e análises de eventos extremos de deslizamentos de encosta e inundação, assim como na fragilidade ambiental. A fonte desses dados é o portal ClimDex (2023), que demanda conhecimentos de programação, cartas sinóticas e tratamento de dados específicos. Devido à baixa resolução espacial desses dados, de aproximadamente 31 km, não foram utilizados neste estudo, sendo somente os dados de intensidade da pluviosidade considerados quanto ao tema de precipitação na fragilidade potencial.

5.1.3 Topografia

Os MDEs ALOS PALSAR, NASADEM e TOPODATA, assim como o MDEHC elaborado a partir da base cartográfica contínua do IBGE (2018b), com mesmos intervalos de classes para cada cor podem ser observados na Figura 37.

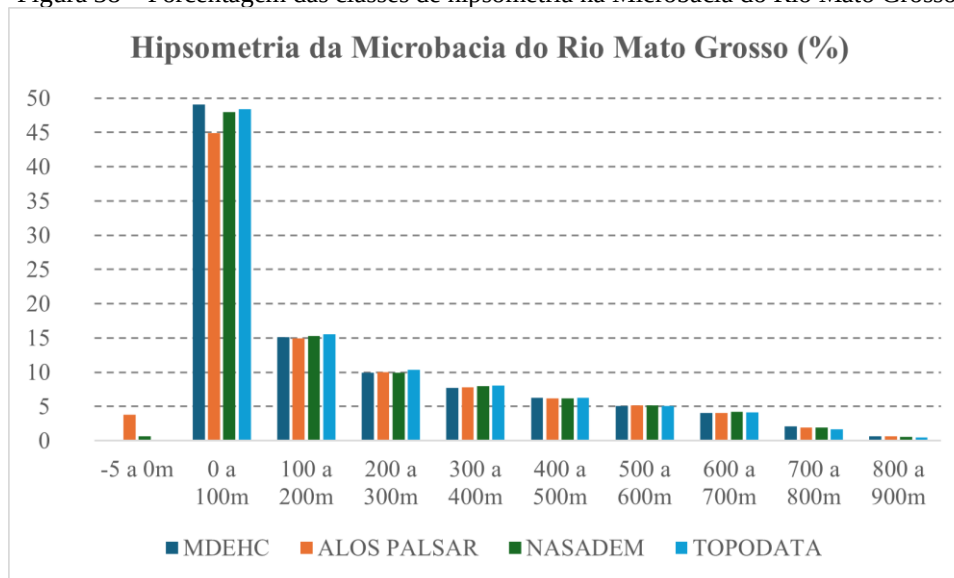
Figura 37 – Mapas Hipsométricos do MDEHC e dos MDEs da Microbacia do Rio Mato Grosso



Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

A Figura 38 apresenta as porcentagens das classes de hipsometria a partir dos quatro MDEs utilizados neste estudo, considerando como valor mínimo de -5 encontrado no MDE ALOS PALSAR, máximo de 873 no MDE NASADEM e realizando a quebra de classes de -10 a 0 para primeira classe e de 100 em 100 m para as demais classes, sendo a última definida com valores de 800 a 900 m para incluir as áreas mais elevadas representadas nos MDEs.

Figura 38 – Porcentagem das classes de hipsometria na Microbacia do Rio Mato Grosso



Fonte: O autor, 2023.

Considerando os intervalos de hipsometria, somente os MDEs ALOS PALSAR e NASADEM apresentaram valores negativos, enquanto os demais intervalos apresentaram porcentagens semelhantes entre os modelos de elevação (Figura 38). Já a Figura 37 demonstrou a distinção de altitude no relevo da Microbacia do Rio Mato Grosso com mais detalhes no MDEHC do que nos MDEs disponíveis para download, principalmente em relação ao MDE do Topodata e ao MDE do ALOS PALSAR, sendo que esse último apresentou áreas com vazios de valores a Sudeste, próximas da Laguna de Saquarema.

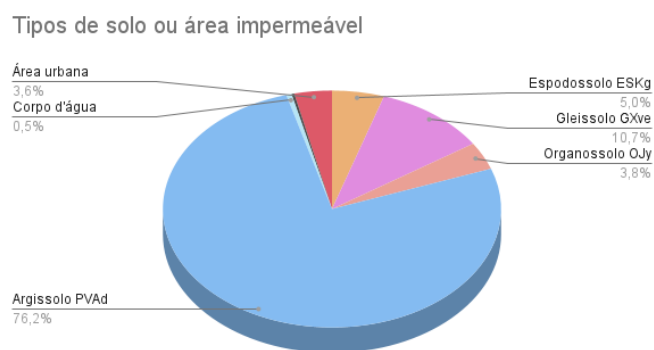
Assim, foi utilizado o MDEHC como camada representativa da Topografia da Microbacia do Rio Mato Grosso.

A partir do MDEHC foram estimados dados morfométricos como a declividade em graus e porcentagem pela ferramenta “Declividade” (GDAL).

5.1.4 Tipo de solo ou área impermeável

O tratamento dos dados de Pedologia do IBGE (2021a), editados para substituição de tipo de solo por área impermeável em áreas urbanas (IBGE, 2018b) e vias pavimentadas, consideradas como áreas impermeáveis, levou à distribuição dessas classes de acordo com a Figura 39.

Figura 39 – Porcentagem das classes de tipo de solo ou cobertura impermeável na Microbacia do Rio Mato Grosso

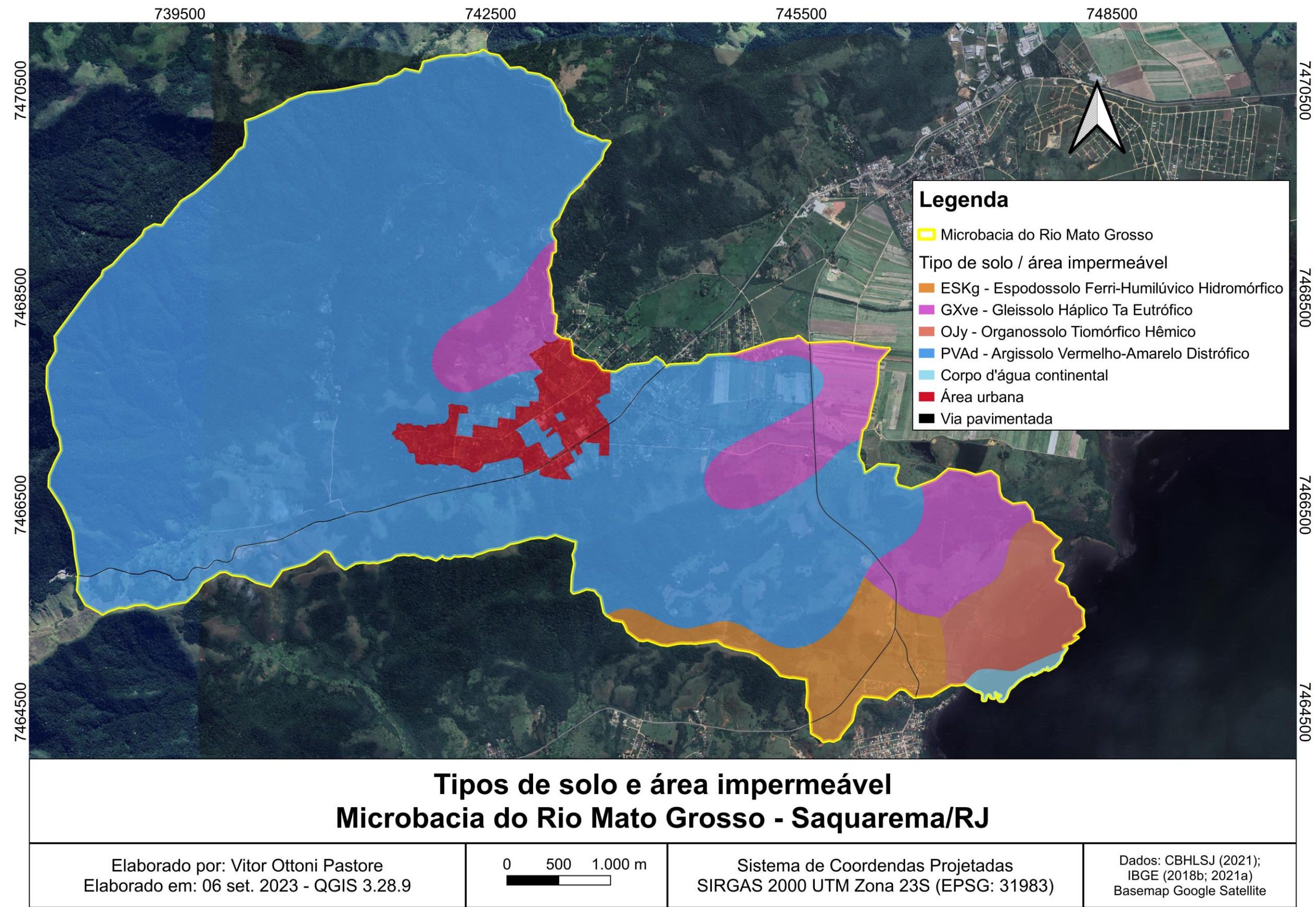


Fonte: O autor, 2023.

Na Figura 40 é possível visualizar a distribuição dos tipos de solo ou área impermeável.

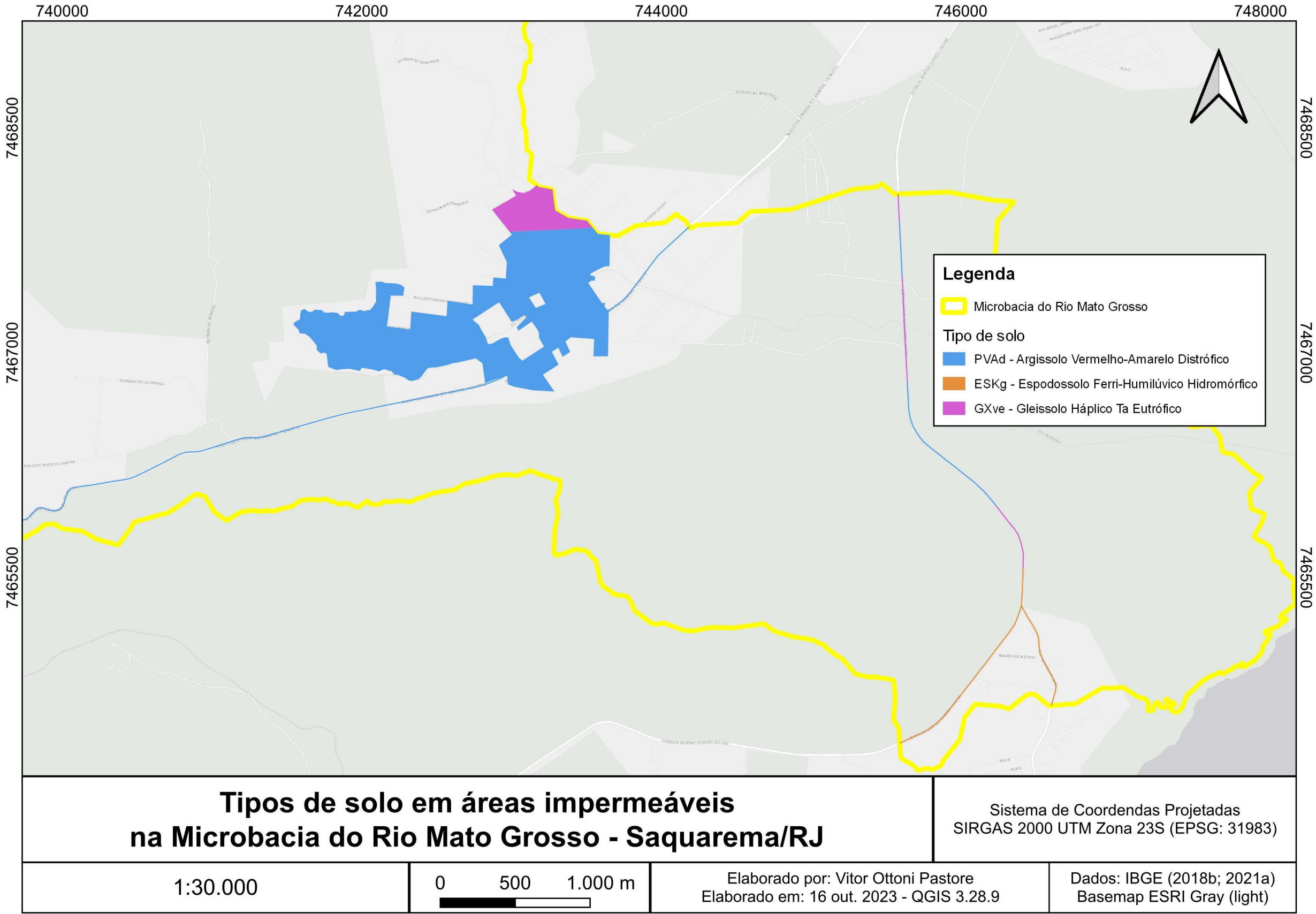
Os tipos de solo originais das áreas consideradas como impermeáveis nesse estudo foram de argissolo (89,0% das áreas impermeáveis), principalmente na área urbana ocupada por edificações e em trechos de vias pavimentadas; espodossolo (1,6%), em curtos trechos de via pavimentada na parte Sudeste da microbacia; e gleissolo (9,5%), em menores áreas impermeáveis e trechos de vias pavimentadas, como pode ser observado na Figura 41.

Figura 40 – Mapa de tipos de solo e área impermeável na Microbacia do Rio Mato Grosso



Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

Figura 41 – Tipos de solo originais em áreas impermeáveis na Microbacia do Rio Mato Grosso



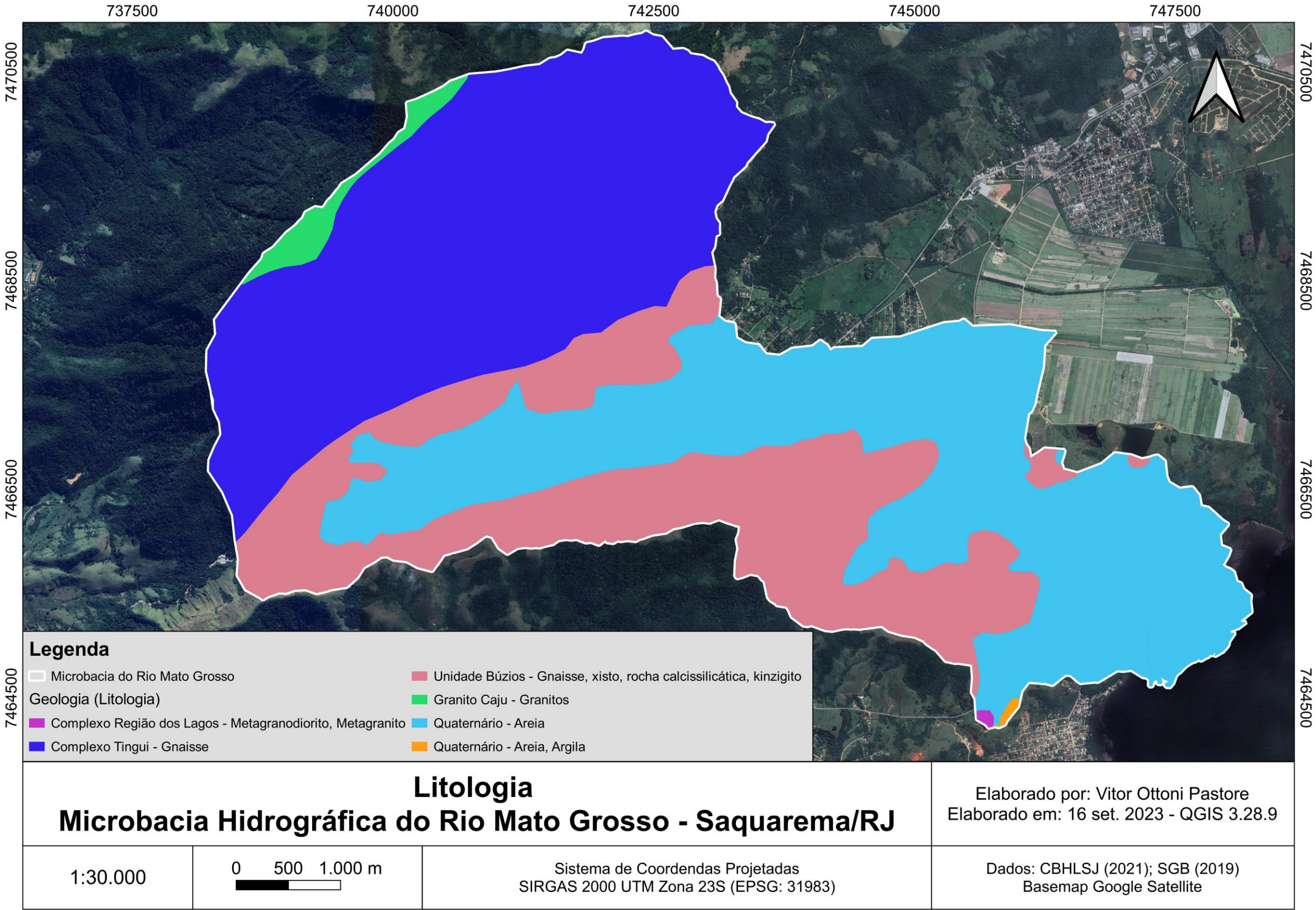
Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

5.1.5 Geologia e Geomorfologia

Além das causas morfológicas, físicas e humanas da ocorrência de movimentos de massa, a Geologia pode levar a esses processos quando há presença de materiais cisalhados, fissurados/fraturados, fracos, intemperizados e/ou sensíveis; e quando forma encostas com orientação desfavorável de descontinuidades estruturais, como falhas, contatos e inconformidades, e áreas com contrastes de impermeabilidade e/ou de rigidez, como material denso, rígido sobre materiais plásticos (CRUDEN; VARNES, 1996; MARTINS, 2013).

A Litologia da Microbacia do Rio Mato Grosso de acordo com o SGB (2019) apresentou maior detalhamento comparado à proposição do IBGE (2021a), como apresentado na Figura 7 (p. 95). O SGB (op. cit.) indicou que o gnaiss do Complexo Tingui corresponde a 37,2% da Microbacia do Rio Mato Grosso, seguido de depósitos aluvionares e depósitos de pântanos e mangues – areia – do Quaternário em 35,8% e de gnaiss, xisto, rocha calcissilicática e kinzigito da Unidade Búzios em 25,7%. Já os demais tipos são granitos do Granito Caju (1,1%) no limite Noroeste da microbacia com os municípios de Maricá e Tanguá; depósitos litorâneos – areia e argila – do Quaternário (0,1%) e metagranodiorito, metagranito do Complexo Região dos Lagos (0,1%), sendo esses dois últimos menos representativos e localizados no extremo Sul da microbacia, limite com o bairro Jaconé (Figura 42).

Figura 42 – Geologia (Litologia) na Microbacia do Rio Mato Grosso



Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

Segundo Figueira (2009), a Microbacia do Rio Mato Grosso apresenta uma região montanhosa constituída por um substrato geológico de idade Pré-Cambriana, com vales muito encaixados e vertentes íngremes, onde o autor identificou grandes voçorocas e evidências de movimentos de massa próximo às estradas.

O outro compartimento geológico na microbacia segundo Figueira (op. cit.) apresenta uma imensa baixada formada por sedimentos fluviais e fluviomarinhos de idade quaternária, sendo que

“sob a camada de sedimentos fluviais arenosos, encontra-se uma camada de sedimentos finos, com textura argilosa, constituída por um material depositado sob condições paludais, em ambiente redutor, correlacionável a um período em que o nível marinho esteve mais elevado” (FIGUEIRA, op. cit., p. 148).

Segundo Capistrano et al. (2017) e Freitas (2018), a litologia do Complexo Tingui, é composta por paragneisse (sillimanita-biotita gnaiss) datado de 1600 a 1800 milhões de anos, e pertencente a Sucessão Palmital. Tanto esse tipo quanto os demais encontrados na Microbacia do Rio Mato Grosso foram caracterizados por Batista (2012), estando o Complexo Tingui localizado nas áreas de encostas mais declivosas da Microbacia do Rio Mato Grosso.

Rosas et al. (2003) mapearam e descreveram as principais unidades do relevo da Microbacia do Rio Mato Grosso, sendo a planície fluvial formada por sedimentos Quaternários, com Topografia plana, onde processos erosivos de erosão laminar foram identificados, assim como em margens de canais em alguns trechos. Segundo os autores (ROSAS et al., op. cit.), as colinas de topo convexo têm substrato datado do Pré-cambriano e são formadas por morrotes com formas irregulares e topos convexos, onde identificaram erosão laminar com presença pouco expressiva de erosão em sulcos. Já as encostas com média declividade apresentam substrato Pré-cambriano com grande número de concavidades com ou sem a presença de canais, onde predominam os processos de erosão laminar e em sulcos.

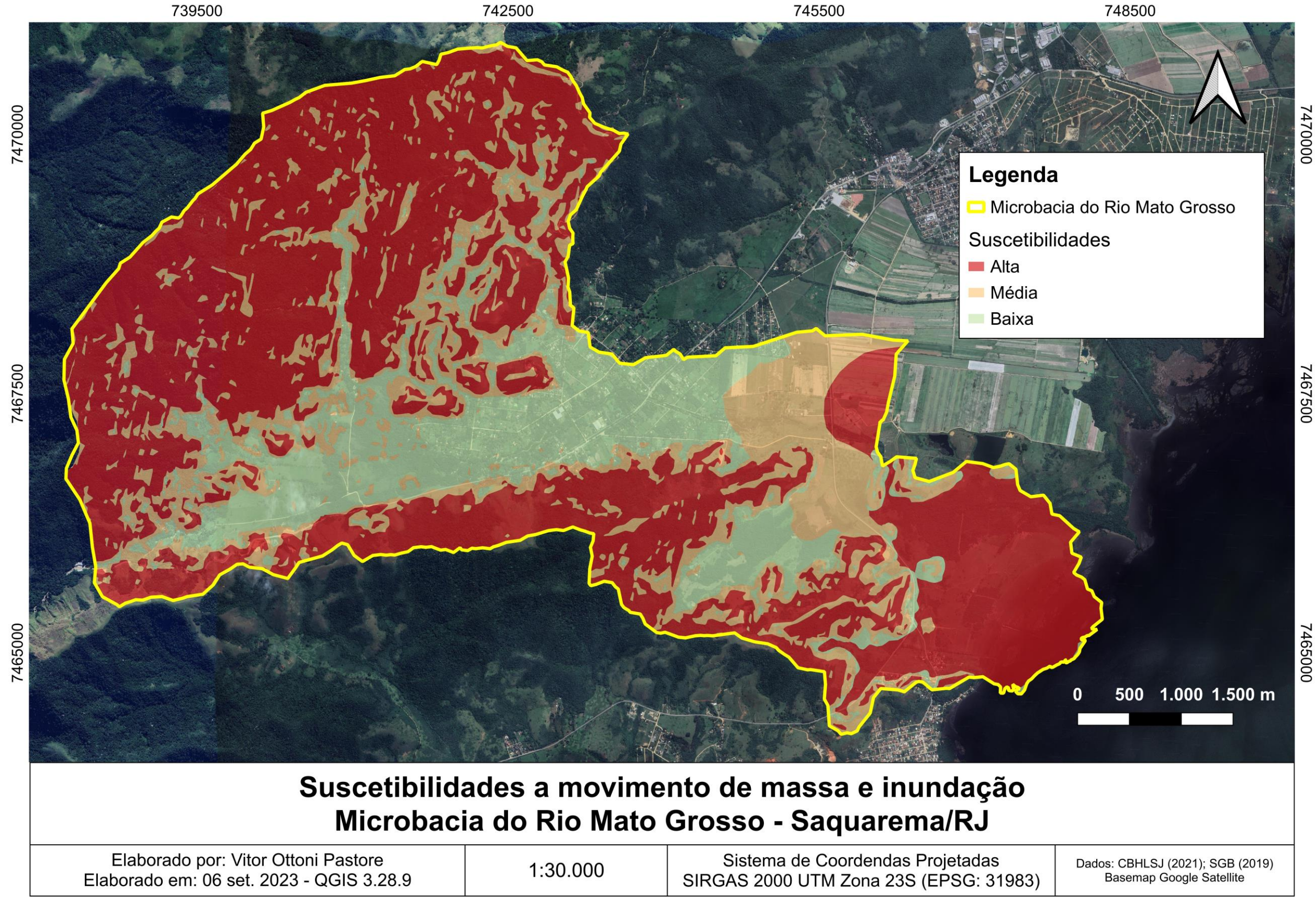
5.1.6 Suscetibilidades a movimentos de massa e inundação

Integrada as suscetibilidades a movimentos de massa e inundação em uma camada vetorial dissolvida, foi possível calcular as áreas de cada classe e suas representatividades na microbacia. A classe de alta suscetibilidade, considerando movimentos de massa e inundação, foi a mais representativa, compreendendo 48,9% da microbacia, principalmente nas áreas a Norte da Rodovia RJ-106 quanto a movimentos de massa, assim como a Leste da Rodovia RJ-118 quanto à inundação.

A classe de média suscetibilidades representou 19,7% da microbacia, localizada em grande parte entre as áreas de alta e baixa suscetibilidades, assim como nos leitos dos cursos d'água e nas margens de vias de acesso pelas diferentes áreas da microbacia.

A classe de baixa suscetibilidades representou 31,4% da Microbacia do Rio Mato Grosso, sendo principalmente localizada nas áreas mais próximas das rodovias RJ-106 e RJ-118, assim como das demais vias de acesso e das áreas com maior concentração de edificações e distantes da Laguna de Saquarema (Figura 43).

Figura 43 – Mapa de suscetibilidades a movimentos de massa e inundação integradas da Microbacia da Serra do Mato Grosso



Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

5.2 Análises espaciais

Nesse tópico são abordados os resultados das análises espaciais realizadas.

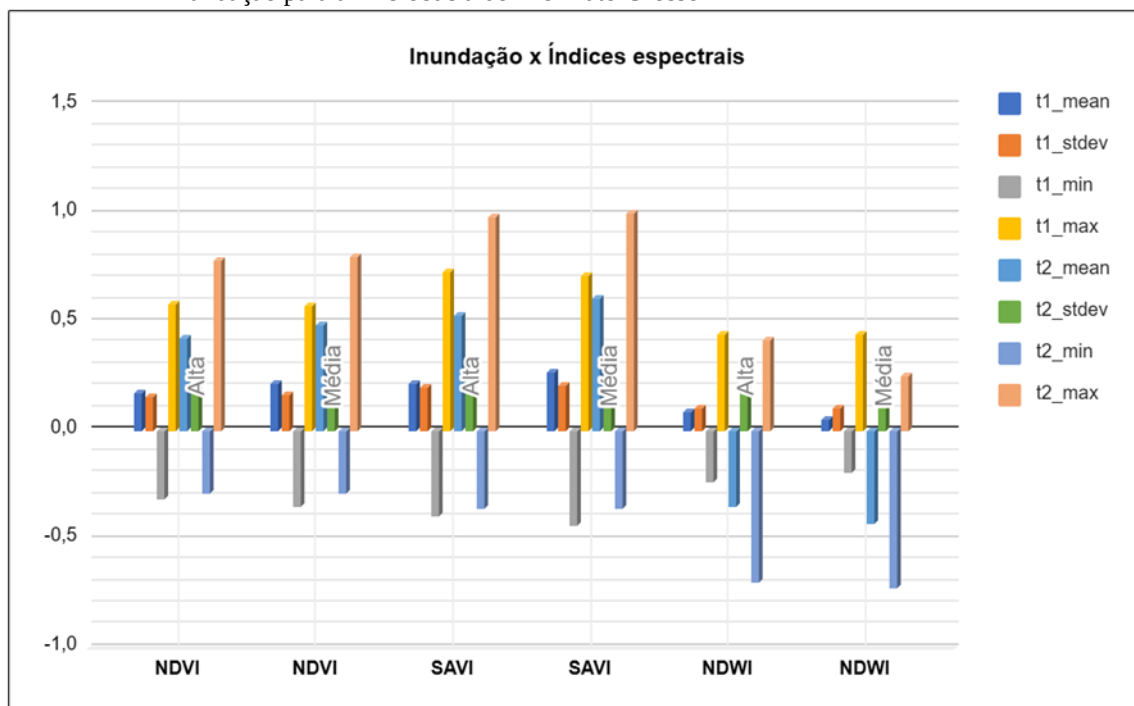
5.2.1 Índices espectrais

No cálculo do SAVI para t1 e t2 atribuindo valor 0,5 e 0,75 para o fator L foram encontrados valores máximos superiores a 1,0, que não são indicados para esse índice. Já o fator L recebendo o valor de 0,25 retornou resultado de no máximo valor 1 para o SAVI em t1 e t2.

5.2.1.1 Análise estatística de índices espectrais pelas classes de suscetibilidades

Os valores estatísticos dos índices NDVI e NDWI estimados a partir das refletividades, ao invés das reflectâncias, estão organizados Nas Figuras 44 e 45. O índice de água NDWI indicou maiores valores em t1 comparado à t2, que pôde ser observado desde a imagem multiespectral de t1 e t2, na qual superfície de água em t1 esteve em uma área não coberta por água em t2. Essa diferença pode estar relacionada a condições de precipitação diferenciada entre os dias anteriores às imagens de SR, assim como em relação à maré e características das imagens utilizadas, como a resolução espacial e a resolução espectral, porém essa questão não foi analisada com detalhes neste estudo.

Figura 44 – Valores estatísticos de cada índice espectral por classes de média e alta suscetibilidade à inundação para a Microbacia do Rio Mato Grosso

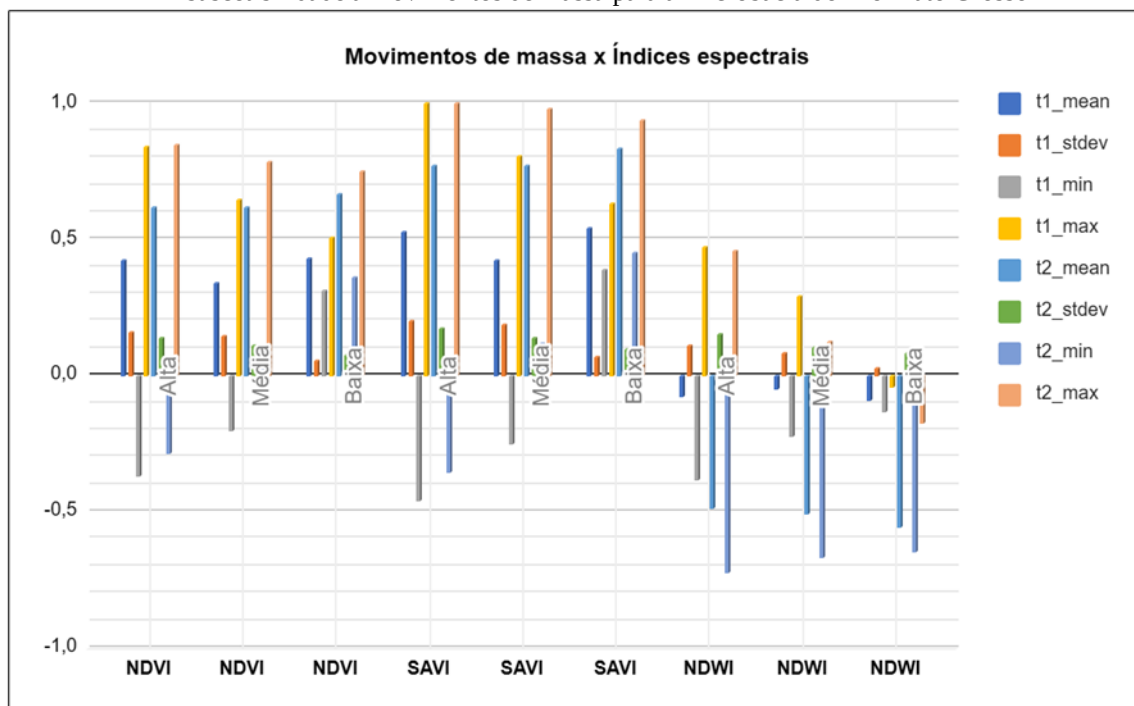


Legenda: mean = média; stdev = desvio padrão; min = mínimo; max = máximo.

Fonte: O autor, 2023.

Os índices de vegetação apresentaram maiores valores em t2 comparado à t1 principalmente para as áreas suscetíveis à inundação, enquanto a diferença foi menor para as áreas suscetíveis a movimentos de massa (Figura 45), onde há maior cobertura vegetal. Isso pode estar relacionado a maior cobertura de água próxima à Laguna de Saquarema e t1 comparado a t2, sendo que em t2 a área pode ter ocorrido aumento da cobertura vegetal, mesmo que próxima do solo, nas áreas antes cobertas por água em t1. Há necessidade de outros estudos para avaliar essas diferenças.

Figura 45 – Valores estatísticos de cada índice espectral por classes de baixa, média e alta suscetibilidade à movimentos de massa para a Microbacia do Rio Mato Grosso



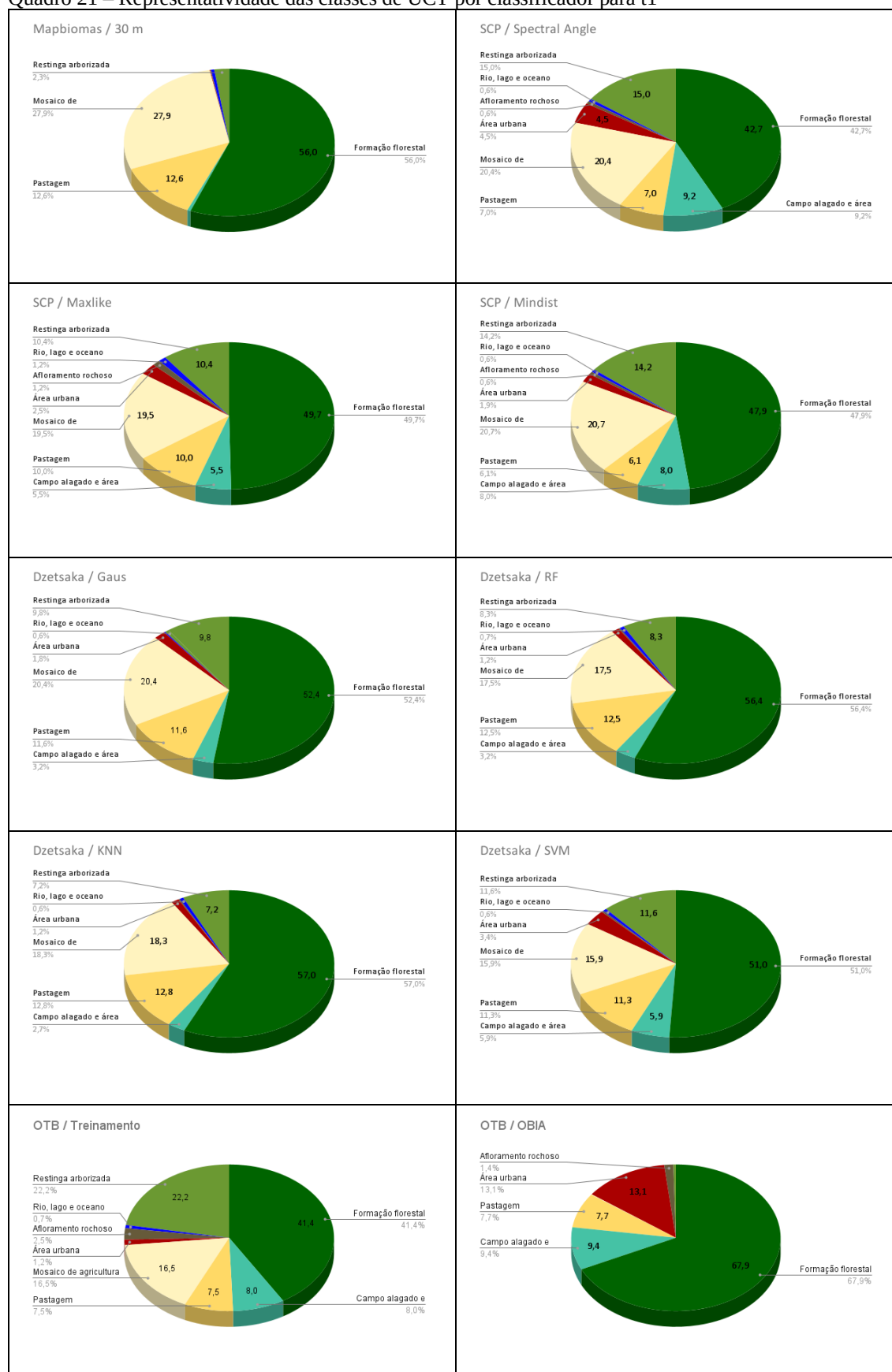
Legenda: mean = média; stdev = desvio padrão; min = mínimo; max = máximo.

Fonte: O autor, 2023.

5.2.2 Uso e cobertura da terra

Os diferentes classificadores de UCT apresentaram grande variação nos resultados da estimativa, como representadas as porcentagens de cada classe por classificador no Quadro 21.

Quadro 21 – Representatividade das classes de UCT por classificador para t1



Fonte: O autor, 2023.

Em todas as classificações realizadas com polígonos de amostras inicialmente gerados no SCP Dock Panel, a classe mais representativa foi de formação florestal, que compreendeu de 41,4% (OTB Treinamento) a 67,9% (OTB OBIA), enquanto o Projeto Mapbiomas indicou que 56,0% da Microbacia do Rio Mato Grosso esteve coberta por formação florestal em 2010, porcentagem mais aproximada das classificações no complemento dzetsaka com algoritmos RF (56,4%) e KNN (57,0%).

A classe campo alagado e área pantanosa, indicada pelo Projeto Mapbiomas (2023) somente em 0,5% da microbacia, teve maiores valores em todas as classificações realizadas, variando de 2,7% (dzetsaka KNN) a 9,4% (OTB OBIA).

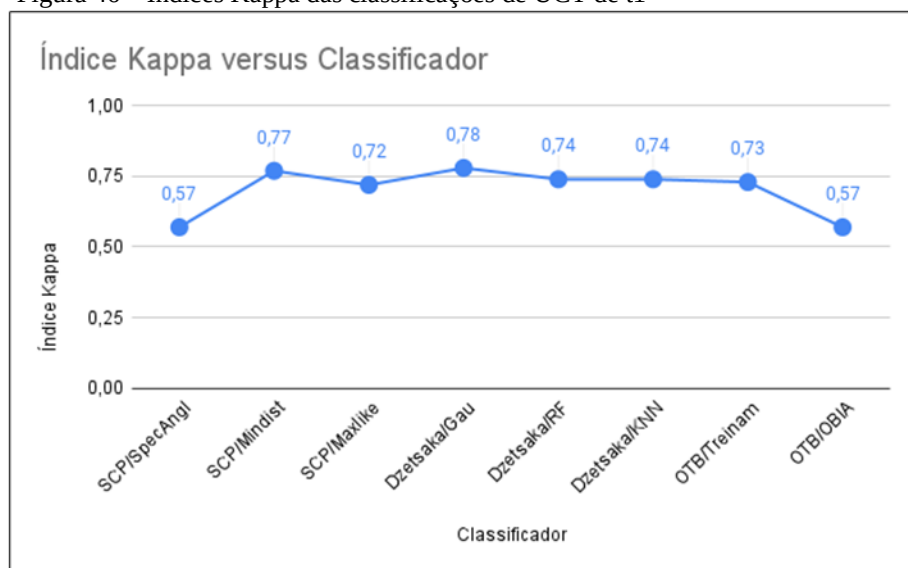
A classe de pastagem, que para o Projeto Mapbiomas (2023) representa 12,6% da microbacia, as classificações realizadas indicaram uma representatividade de 6,1% (SCP Mínima Distância) a 12,8% (dzetsaka KNN).

Todas as classificações indicaram porcentagem menor da classe mosaico de agricultura e pastagem (de 0,1% na OTB OBIA a 20,7% do SCP Mínima Distância) comparada com a classificação do Projeto Mapbiomas (op. cit.), a qual indicou uma representatividade de 27,9% dessa classe.

A classe de área urbana teve maior porcentagem de cobertura nas classificações realizadas (1,2% por três classificadores até 13,1% pelo OTB OBIA) do que na proposta pelo Projeto Mapbiomas (op. cit.), de 0,1%. A resolução espacial de 30 m das imagens Landsat utilizadas e da classificação publicada pode ter influência nessa diferença, pois as áreas mais ocupadas por edificações apresentam espaços e as edificações apresentam pequena área de cobertura para serem identificadas por pixels de 30 m, enquanto a composição falsa-cor fusionada à PAN utilizada nas classificações considerou a imagem com pixels de 5 m. Além disso, outras características podem influenciar diferenças entre a classificação do Mapbiomas e as realizadas nesse projeto, como a resolução espectral das bandas Landsat, a utilização de séries temporais pelo Mapbiomas, os algoritmos de classificação e os valores da imagem falsa-cor.

O índice Kappa de cada classificação de UCT gerado na ferramenta “Accuracy” (SCP) para t1 pode ser visualizado na Figura 46, que indicou a melhor acurácia na classificação realizada no OTB com método de Treinamento do classificador. As matrizes de erros de t1 por área estão apresentadas nos Apêndices de A até D.

Figura 46 – Índices Kappa das classificações de UCT de t1



Legenda: SpecAngle = *Spectral Angle*; MinDist = *Mínima distância*; MaxLike = *MaximumLikelihood*; Gau = *Modelo de Mistura Gaussiana*; RF = *Random Forest*; SVM = *Support Vector Machines*; KNN = *K-Nearest Neighbors*; Treina = *Treinamento de classificador*.

Fonte: O autor, 2023.

Os classificadores com índice Kappa abaixo de muito bom (0,6) foram desconsiderados, enquanto os demais foram comparados visualmente com a imagem classificada de t1 e a imagem histórica do Google Earth Pro de t1. Apesar do maior Kappa obtido na classificação da UCT de t1 pelo complemento dzetsaka com algoritmo de Modelo de Mistura Gaussiana, a classificação com menos erros visíveis foi a realizada por Treinamento do classificador (OTB).

Na edição da camada vetorial da classificação de UCT de t1 realizada pelo método de Treinamento do classificador (Kappa 0,73; APÊNDICE C) foram alterados os valores de classe das áreas classificadas como afloramento rochoso para pastagem, devido a confusão entre essas classes ser identificada visualmente e na matriz de confusão gerada no cálculo da acurácia, exceto pela área classificada como afloramento rochoso pelo Projeto Mapbiomas (2023) no extremo Oeste da microbacia.

Quanto a restinga arborizada, classe em testes pelo Mapbiomas, a maior confusão na classificação supervisionada ocorreu em relação à classe de formação florestal. Para reduzir este erro foram seguidos alguns procedimentos, inicialmente os polígonos classificados pelo Mapbiomas como restinga arborizada em 2010 foram selecionados por expressão na tabela de atributos da camada. Posteriormente, foi realizada a seleção por localização (interseção) dos polígonos classificados neste estudo com os polígonos de restinga arbórea propostos pelo Mapbiomas selecionados, e essa seleção foi invertida. A seguir, foi acessada a ferramenta da

tabela de atributos “Selecionar feições usando uma expressão” indicando em Expressão somente os polígonos com valor de classe 49 (restinga arborizada) “classe = 49” e clicando ao lado de Selecionar feições para “Filtrar seleção atual”. Com os polígonos classificados como restinga arbórea não indicados nesta classe pelo Mapbiomas selecionados, foram alterados os valores de classe para 3 (formação florestal) pela ferramenta “Calculadora de Campo” da tabela de atributos da camada classificada.

A classe de rio, lado e oceano também apresentou polígonos onde não há ocorrência de superfície de água, sendo mantidos somente os polígonos dessa classe onde a ocorrência pôde ser validada por interpretação visual na imagem classificada e em imagem histórica do Google Earth Pro, enquanto os demais polígonos foram alterados os valores de classe para 3 (formação florestal), após verificação que esta foi a classe confundida principalmente nas áreas com sombras da vegetação na imagem.

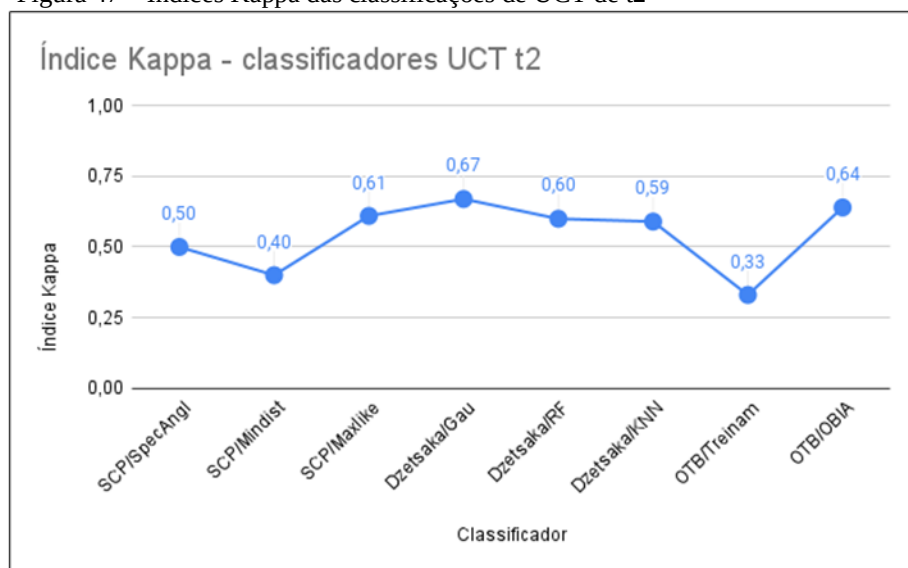
Para a classe de campo alagado ou área inundada foram selecionados por polígono de seleção (barra de ferramentas do QGIS) somente os polígonos localizados à Oeste da Estrada Sampaio Correia – Jaconé, que corta a parte Sudeste da microbacia. Para esses polígonos selecionados foram alterados os valores de classe para 21 (mosaico de agricultura e pastagem), devido a ocorrência dessa classe nessas áreas na classificação do Mapbiomas.

Para a classe de área urbana somente foram alterados os valores de classe dos polígonos classificados como 24 a Nordeste da Estrada Sampaio Correia – Jaconé para 15 (pastagem), como indicado pelo Mapbiomas e verificado nas imagens de t1 e histórica no Google Earth Pro. Não foram realizadas outras edições na melhor classificação supervisionada de t1.

Após edições na camada vetorial classificada de UCT para t1, essa foi dissolvida pelas classes, seguido de conversão da camada dissolvida para raster aplicando a ferramenta “Converter vetor para raster (rasterizar)” com unidades georreferenciadas de 5 m, gerando uma imagem da classificação de UCT de t1 corrigida. Essa classificação editada foi avaliada calculando o índice Kappa a partir da ferramenta “Accuracy” do SCP. Enquanto a classificação anterior à correção dos polígonos classificados erroneamente apresentou um valor de 0,73 para este índice de acurácia, a imagem após edição obteve o índice Kappa de 0,85. Assim, a classificação de UCT de t1 passou de qualidade da classificação muito boa para ótima.

Nas classificações de UCT de t2 com a imagem de 2 m de resolução espacial os índices Kappa estão apresentados na Figura 47.

Figura 47 – Índices Kappa das classificações de UCT de t2



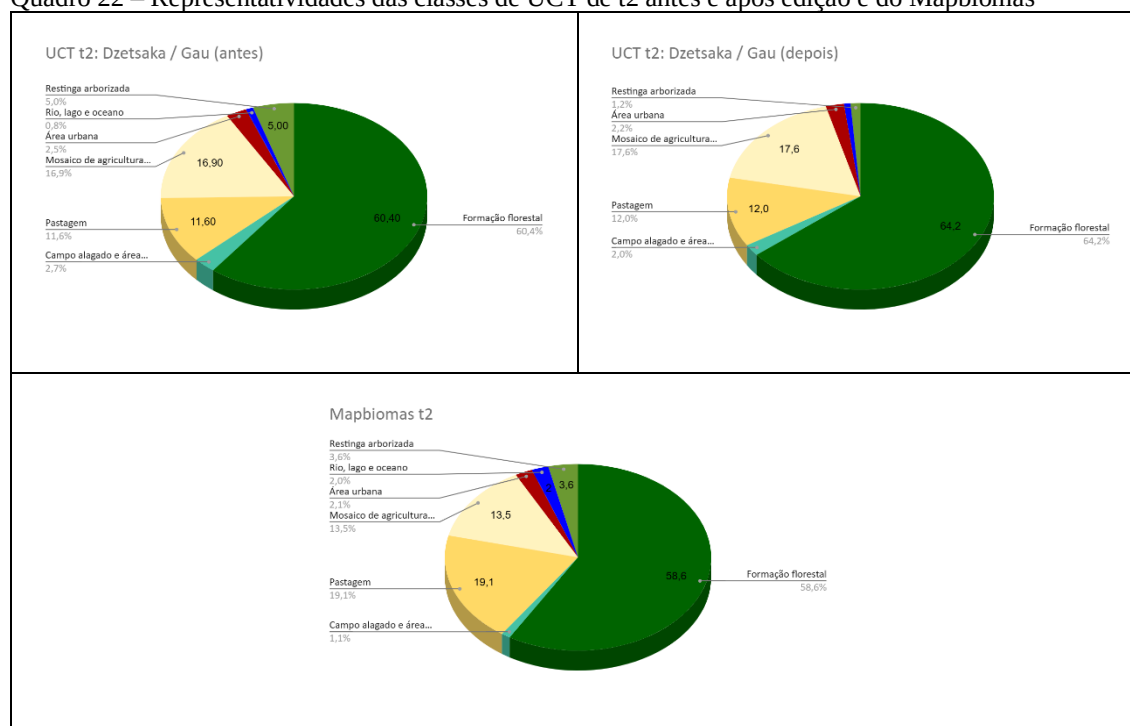
Legenda: SpecAngle = *Spectral Angle*; MinDist = Mínima distância; MaxLike = *MaximumLikelihood*; Gau = Modelo de Mistura Gaussiana; RF = *Random Forest*; SVM = Support Vector Machines; KNN = *K-Nearest Neighbors*; Treinam = Treinamento de classificador.

Fonte: O autor, 2023.

O índice Kappa da melhor classificação de UCT de t2 teve valor de 0,67, que considera uma classificação muito boa, sendo o valor de 0,68 após as edições. As representatividades das classes em t2 antes e após edição da camada vetorial da melhor classificação (Modelo de Mistura Gaussiana do dzetsaka) está apresentada no Quadro 22.

As matrizes de erros de t2 por área estão apresentadas nos Apêndices de E até H.

Quadro 22 – Representatividades das classes de UCT de t2 antes e após edição e do Mapbiomas



Fonte: O autor, 2023.

Em t2, a classe formação florestal continuou a ser a mais representativa, correspondendo a 62,4% da Microbacia do Rio Mato Grosso na classificação supervisionada, enquanto o Projeto Mapbiomas (2023) indicou que essa classe está em 58,6% da microbacia. A segunda classe mais representativa na classificação supervisionada de t2 foi a de mosaico de agricultura e pastagem (17,6%) seguida de pastagem (12,0%), enquanto o Projeto Mapbiomas indicou as representatividades de 13,5% e 19,1%, respectivamente.

As demais classes apresentaram menores diferenças entre a classificação supervisionada e a proposta pelo Projeto Mapbiomas (op. cit.) para t2, com destaque para a semelhança na representatividade da classe de área urbana, de 2,2% e 2,0% na classificação supervisionada e no Mapbiomas, respectivamente.

Cabe ressaltar que outros parâmetros das ferramentas de classificação pelo SCP, dzetsaka ou OTB podem ser testados, reduzindo a edição da camada pós-classificação.

No sentido do aprimoramento dessa metodologia por comitês gestores de bacias hidrográficas, prefeituras e demais instituições e pesquisadores interessados, a vetorização das amostras ou das áreas totais de cada uma das classes de UCT em campo ou a partir de imagens de altíssima resolução, como drones para áreas mais planas, supera qualquer estimativa realizada por PDI de SR. A Coleção Beta com 10 m de resolução espacial do Projeto Mapbiomas (op. cit.) a partir de 2016 poderá oferecer mais detalhes para a criação de

amostras de t1 e t2. Ainda, para aplicações ou sistemas mais simplificados, os dados do Projeto Mapbiomas (2023) a partir de 2016 poderão substituir a classificação supervisionada de UCT na ausência de imagens de alta resolução com qualidade para a microbacia, ou de pessoal e equipamentos disponíveis pela prefeitura ou comitê gestor da bacia hidrográfica. Nesse sentido, apesar desses dados indiretos terem menor resolução espacial em relação à imagem de t2 classificada nesse estudo (10 m e 2 m, respectivamente), a classificação do Projeto Mapbiomas (op. cit.) segue procedimentos complexos em programação no *software* Google Earth Engine, bandas adicionais às utilizadas nesse estudo e séries temporais de imagens.

As aplicações em Google Earth Engine, modelagem e programação em Python no QGIS, assim como a elaboração de complementos no QGIS, para os diversos passos dessa metodologia, poderão torná-la mais eficiente para comitês de bacias hidrográficas e prefeituras. Essas soluções poderão ser desenvolvidas para processar dados espaciais ou não, que não necessariamente sejam baixados, mas incluídos em projetos a partir de camadas adicionadas por geoserviços ou outras conexões com bancos de dados. A elaboração de cenários também poderá ser integrada em SIG como um complemento do QGIS ou programação com linguagens aplicadas nas diversas ferramentas.

A não aplicação de outros métodos de classificação supervisionada de UCT ou não supervisionada de UCT neste estudo não inviabiliza a utilização pela Prefeitura, pelo CBHLSJ ou por entidades voltadas à gestão de desastres na microbacia. Um método comum de estimativa de UCT é a reclassificação do NDVI, levando em consideração intervalos previamente estabelecidos, nem sempre condizentes com a realidade local, ou calculados a partir de valores estatísticos sobre amostras de cada classe de UCT. Como abordado na metodologia, esse passo foi desconsiderado neste estudo pelo cálculo do NDVI ter sido aplicado a partir das refletividades, ao invés das reflectâncias.

5.2.3 Transição de uso e cobertura da terra de t1 para t2

Considerando as classificações supervisionadas de t1 e t2, o cálculo de transição entre as classes indicou maior representatividade das manutenções das classes, sendo que em 52,4% da Microbacia do Rio Mato Grosso as áreas classificadas em t1 como formação florestal mantiveram essa classe em t2. Quanto às continuidades das classes de pastagem, mosaico de agricultura e pastagem, essas ocorreram em 4,3% e 10,3% da microbacia, respectivamente. As demais classes foram mantidas de t1 para t2 em grande parte de suas ocorrências, exceto pela classe de restinga arbórea de t1, que em 4,5% da microbacia foi classificada como formação florestal em t2.

Como possíveis áreas de recomposição da cobertura florestal, as transições de pastagem e mosaico de agricultura e pastagem para formação florestal ocorreram em 1,3% e 4,9%, respectivamente. Já as possíveis áreas de desmatamento foram indicadas pelas transições de formação florestal e restinga arbórea para outras classes, sendo encontrados valores a partir de 1,0% para as transições de:

- Formação florestal para mosaico de agricultura e pastagem em 2,8%;
- Formação florestal para pastagem em 1,3%;
- Restinga arbórea para mosaico de agricultura e pastagem em 1,0%.

As transições de classes para área urbana ocorreram em 2,0% da Microbacia do Rio Mato Grosso, principalmente a partir de áreas anteriormente classificadas como mosaico de agricultura e pastagem (0,9%) e pastagem (0,7%).

Já as classes de formação florestal e restinga arbórea apresentaram transições variadas, sendo de floresta para restinga em 0,1% e o inverso em 4,5% da Microbacia do Rio Mato Grosso (Tabela 2).

Tabela 2 – Matriz de transição de classes de UCT de t1 para t2 (m²)

Matriz de mudanças no uso e cobertura da terra (m²)									
Classe	Floresta	Campo alagado e área pantanosa	Pastagem	Mosaico de agricultura e pastagem	Área urbana	Afloramento rochoso	Rio, lago e oceano	Restinga arborizada	Total
Floresta	17160036	10398	415983	912083	108539	1349	6099	34271	18648762
Campo alagado e área pantanosa	48495	437081	78467	290970	11423	0	88916	15773	971128
Pastagem	418008	37696	1411559	1162883	221252	3449	40195	10648	3305694
Mosaico de agricultura e pastagem	1621438	100689	1521448	3361489	298420	1574	5049	156309	7066419
Área urbana	26747	0	86891	146010	82691	0	0	3524	345865
Afloramento rochoso	249	0	10898	649	199	2524	0	0	14523
Rio, lago e oceano	3274	8949	24	524	24	0	141910	0	154709
Restinga arborizada	1475752	34071	123712	341140	22197	0	224	263398	2260499
Total	20754002	628887	3648985	6215754	744750	8899	282396	483926	32767602

Fonte: O autor, 2023.

5.2.4 Análise de uso e cobertura da terra (UCT) e presença de vegetação em APPs

Entre as APPs que não ocorrem sobre polígonos de vegetação florestal da BC25_RJ, as margens de rios foram as mais representativas, sendo que 1,8 km² desse tipo de APP apresentou outro uso segundo o IBGE (2018b). As APPs de nascentes e as APPs de margem de lago e lagoa não apresentaram vegetação em 1,1 km² e 0,7 km², respectivamente, enquanto as APPs de topo de morro e de declividade sem vegetação ocorreram em 0,03 km² e 0,02 km², respectivamente. Essas áreas indicam degradação de matas ciliares, onde a vegetação nativa foi substituída por outros usos e coberturas.

Quanto aos usos, o Projeto Mapbiomas (2023) indicou que em 2010 e 2020 os polígonos das APPs da Microbacia do Rio Mato Grosso apresentaram usos diversos para cada tipo de APP, apresentados no Quadro 23.

Quadro 23 – Uso e cobertura da terra em APPs na Microbacia do Rio Mato Grosso, Saquarema

2010			2020		
Tipo de APP	UCT	Área (m²)	Tipo de APP	UCT	Área (m²)
Declividade	3	166762,2	Declividade	3	161074,3
Declividade	15	7280,3	Declividade	9	4448,6
Declividade	21	1131,5	Declividade	15	7821,8
Declividade	29	7367,5	Declividade	21	2872,5
Lago e lagoa	11	10147	Declividade	29	6887,6
Lago e lagoa	21	10081,1	Lago e lagoa	11	4813,3
Lago e lagoa	33	42927,7	Lago e lagoa	21	747,2
Lago e lagoa	49	370,7	Lago e lagoa	33	58935,2
Nascente	3	501520,2	Nascente	3	524237,3
Nascente	15	74980,9	Nascente	9	12169,8
Nascente	21	49256,1	Nascente	15	66676,7
Nascente	29	1833,4	Nascente	29	261
Topo de morro	3	2376982,6	Nascente	21	33032,6
Topo de morro	15	25390,3	Topo de morro	3	2353337,6
Topo de morro	21	22140,4	Topo de morro	9	41317
Margem de rio	3	3939450,4	Topo de morro	15	31708,8
Margem de rio	11	2340,2	Topo de morro	21	13485,4
Margem de rio	15	376093,3	Margem de rio	3	4113106,3
Margem de rio	21	1292033	Margem de rio	9	102977,8
Margem de rio	24	226,1	Margem de rio	11	3167,6
Margem de rio	29	561,3	Margem de rio	15	521462,8
Margem de rio	33	1009,5	Margem de rio	21	727594,6
Margem de rio	49	177569,9	Margem de rio	24	46707,8
			Margem de rio	29	2868,3
			Margem de rio	33	3659,5
			Margem de rio	49	274871,7

Legenda: 3 = formação florestal; 9 = silvicultura (somente 2020); 11 = campo alagado e área pantanosa; 15 = pastagem; 21 = mosaico de agricultura e pastagem; 24 = área urbana; 29 = afloramento rochoso; 33 = rio, lago e oceano; 49 = restinga arborizada.

Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

Foi possível observar que as APPs apresentaram áreas classificadas pelo Mapbiomas como formação florestal e restinga arborizada, assim como outros tipos de UCT, com destaques em 2010 e 2020 para pastagem e mosaico de agricultura e pastagem em APPs de nascentes, topos de morro e margens de rios. A classificação do Mapbiomas de 2020 adicionou a classe de silvicultura, que esteve presente nos tipos de APP exceto de lago e lagoa.

5.2.5 Análise da fragilidade ambiental de t1 e t2

A definição de pesos da estimativa da fragilidade potencial por análise multicritério com aplicação do método AHP realizada na calculadora de prioridades de Goepel (2018) está representada nas Figuras 48, 49 e 50.

Figura 48 – Atribuição de valores de prioridades para temas em AHP

Com relação a **AHP priorities**, qual critério é mais importante, e quanto mais em uma escala de 1 a 9?

A - wrt AHP priorities - or B?		Igual	Quanto mais?
1	☐ Declividade ☒ Solos	☐ 1	☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
2	☒ Declividade ☐ Geologia	☐ 1	☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
3	☐ Declividade ☒ Intensidade de pluviosidade	☐ 1	☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
4	☒ Solos ☐ Geologia	☐ 1	☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☒ 7 ☐ 8 ☐ 9
5	☒ Solos ☐ Intensidade de pluviosidade	☒ 1	☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
6	☐ Geologia ☒ Intensidade de pluviosidade	☐ 1	☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☒ 7 ☐ 8 ☐ 9

CR = 0.6% OK

☐ dec. comma

Escala AHP : 1-Mesma importância, 3- Importância Moderada, 5- Alta importância, 7- Muito alta importância, 9- Extrema importância (2,4,6,8 valores entre este intervalo).

Fonte: Adaptada de GOEPEL, 2018.

Figura 49 – Prioridades das camadas para cálculo original da fragilidade potencial pela calculadora de Goepel (2018)

Prioridades Resultantes

Prioridades

Estes são os resultados ponderados pelos critérios escolhidos na sua comparação entre pares:

Cat		Prioridade	Rank	(+)	(-)
1	Declividade	20.5%	3	2.7%	2.7%
2	Solos	37.3%	1	2.7%	2.7%
3	Geologia	4.9%	4	0.6%	0.6%
4	Intensidade de pluviosidade	37.3%	1	2.7%	2.7%

Matriz de Decisão

Os resultados ponderados são baseados no principal autovetor da matriz de decisão:

	1	2	3	4
1	1	0.50	5.00	0.50
2	2.00	1	7.00	1.00
3	0.20	0.14	1	0.14
4	2.00	1.00	7.00	1

Número de comparações = 6

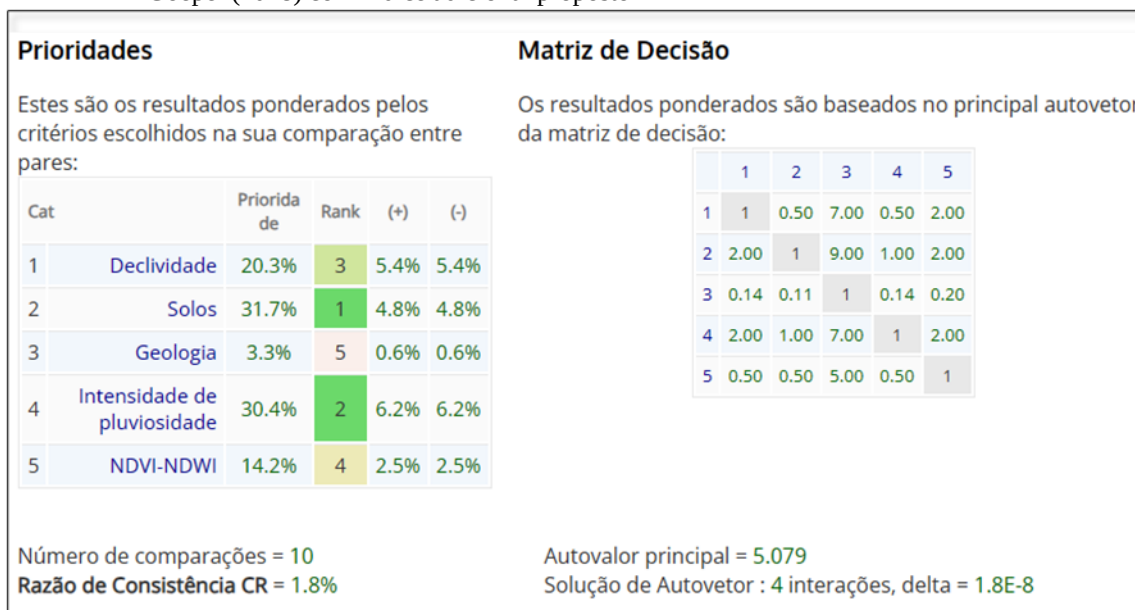
Razão de Consistência CR = 0.6%

Autovalor principal = 4.016

Solução de Autovetor : 4 interações, delta = 3.8E-11

Fonte: Adaptada de GOEPEL, 2018.

Figura 50 – Prioridades das camadas para cálculo alternativo da fragilidade potencial pela calculadora de Goepel (2018) com índice adicional proposto



Fonte: Adaptada de GOEPEL, 2018.

Os pesos resultantes da calculadora de prioridades de critérios do cálculo original e do cálculo alternativo da fragilidade potencial estão dispostos no Quadro 24.

Quadro 24 – Temas e pesos no cálculo da fragilidade potencial

Tema	Peso AHP (1)	Peso AHP (2)	Período
Geologia	0,049	0,033	Igual para t1 e t2
Tipo de solo	0,373	0,318	Igual para t1 e t2
Intensidade pluviométrica	0,373	0,304	Diferente para t1 e t2
Declividade	0,205	0,203	Igual para t1 e t2
NDVI – NDWI*	-	0,142	Diferente para t1 e t2

Legenda: (1) = cálculo original; (2) = cálculo alternativo adicionando diferença de índices proposta no estudo; * = parâmetro proposto por este estudo; – = parâmetro não considerado no cálculo.

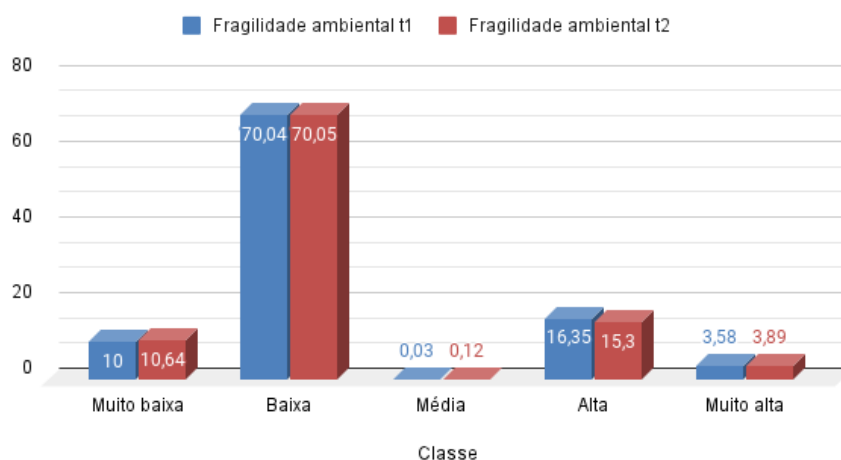
Fonte: O autor, 2023.

A fragilidade potencial foi calculada a partir das camadas dos temas reclassificadas para “valores para cálculo da fragilidade” e convertidas para a lógica *fuzzy*, depois realizada a média ponderada considerando o respectivo peso AHP. Já a fragilidade emergente, por compreender somente uma variável – uso e cobertura da terra – foi reclassificada em “valores para cálculo da fragilidade” e o resultado convertido para a lógica *fuzzy*, função “associação de poder”.

As representatividades das classes de fragilidade ambiental estimadas por álgebra de mapas (pesos e notas) por SIG em t1 e t2 apresentaram diferenças nos dois cálculos (Figuras 51 e 52).

Figura 51 – Representatividade das classes de fragilidade ambiental de t1 e t2 no cálculo original

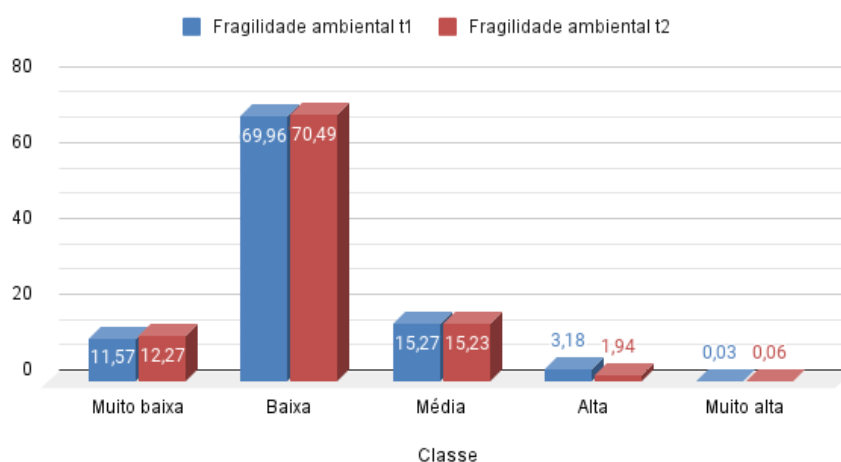
Fragilidade ambiental t1 e t2 (%) - cálculo original



Fonte: O autor, 2023.

Figura 52 – Representatividade das classes de fragilidade ambiental de t1 e t2 no cálculo alternativo

Fragilidade ambiental t1 e t2 (%) - cálculo alternativo



Fonte: O autor, 2023.

Cabe ressaltar que, considerando a maior representatividade das classes de alta e muito alta fragilidade ambiental a partir do cálculo original da fragilidade potencial, as camadas de fragilidade ambiental de t1 e t2 geradas a partir da fragilidade potencial por cálculo original foram utilizadas nos procedimentos a seguir, como a geração de cenário da fragilidade ambiental, comparações e proposição de áreas prioritárias para mitigação.

Espera-se que o critério de Geologia (peso no cálculo da fragilidade potencial 0,049) possa representar até 2,5% do valor final da fragilidade ambiental, o tipo de solo e a intensidade da pluviosidade (0,373) até 18,6% e a declividade (0,205) até 10,3%. Quanto ao

critério da fragilidade emergente, espera-se que cada classe de UCT possa contribuir em até 6,25% na estimativa da fragilidade ambiental para t1 ou t2. Assim, a fragilidade ambiental estimada para t1 ou t2 provavelmente tenha como principais fatores, na ordem decrescente: UCT (até 50%), tipo de solo e intensidade da pluviosidade (até 18,6% de representatividade cada), declividade (até 10,3%) e Geologia (até 2,5%).

Na identificação da influência relativa dos fatores considerados no cálculo da fragilidade ambiental em t1 e t2 sobre a área total da Microbacia do Rio Mato Grosso, foi levantada a Tabela 3 com os respectivos r^2 dos cruzamentos realizados no complemento SCP do QGIS entre a fragilidade ambiental reclassificada e cada fator reclassificado para “valor para cálculo da fragilidade”.

Tabela 3 – Coeficiente de determinação dos fatores de cálculo da fragilidade ambiental de t1 e t2

Coeficiente	Período	Declividade	Geologia	Intensidade pluviosidade	Solos	UCT (fragilidade emergente)
r^2	t1	0,060	0,035	0,095	0,225	0,501
	t2	0,051	0,025	0,048	0,174	0,526

Fonte: O autor, 2023.

Foi possível constatar que o UCT, considerado como tema único da fragilidade emergente, foi o fator que mais influenciou no cálculo da fragilidade ambiental tanto de t1 quanto de t2. Para ambos os períodos, o segundo fator mais influente foi o de tipos de solo, seguido da intensidade da pluviosidade para t1, enquanto para t2 a segunda variável mais influente foi a declividade. Já a variável de Geologia foi a menos influente no cálculo da fragilidade ambiental de t1 e t2, como indicado na análise de representatividade máxima de cada fator. A distribuição das classes de fragilidade potencial e emergente de t1 e t2 permite visualizar a diferença de fragilidade emergente entre t1 e t2 (Figura 53).

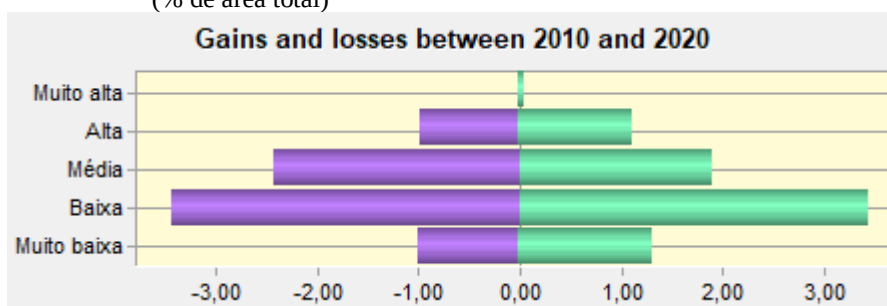
Nota-se a importância da camada de tipos de solo no cálculo da fragilidade ambiental, sendo considerado o fator de maior peso no cálculo da fragilidade potencial e o segundo maior fator quanto à influência relativa no cálculo da fragilidade ambiental tanto de t1 quanto de t2 (Tabela 3).

Nesse sentido, reforça-se a importância da estimativa mais detalhada dos fatores considerados no cálculo da fragilidade ambiental, principalmente do uso e cobertura da terra (fragilidade emergente) e dos tipos de solo (fragilidade potencial) – utilizada base em escala de 1:400.000 –, a fim de subsidiar estudos, planos e ações no sentido da redução da fragilidade ambiental em microbacias hidrográficas.

5.3 Cenário preditivo de fragilidade ambiental

A partir dos procedimentos realizados no IDRISI Selva de análises de mudanças e geração de cenário preditivo para 2020 (t3) foram gerados gráficos de ganhos e perdas de classes entre t1 e t2 (Figura 54), variação líquida de classes entre t1 e t2 (Figura 55), principais classes de t1 e t2 potencialmente alteradas para a classe muito alta em t3 (Figura 56) e probabilidade de transição de classes de fragilidade ambiental para t3 (Figura 57).

Figura 54 – Ganhos e perdas de classes de fragilidade ambiental entre t1 e t2 (% de área total)

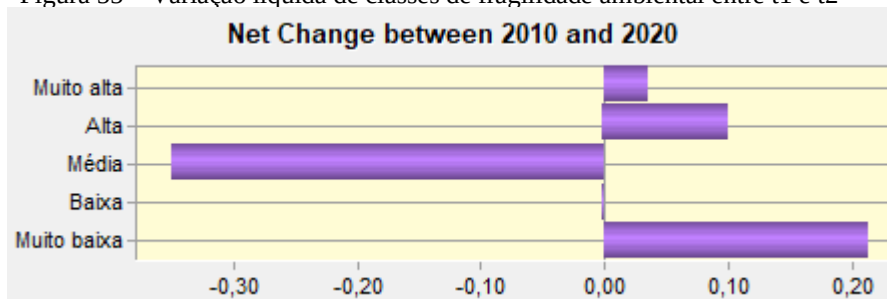


Legenda: verde = ganho; lilás = perda.

Fonte: O autor, 2023.

A classe de fragilidade ambiental muito alta apresentou a menor variação entre t1 e t2, enquanto a classe de baixa fragilidade ambiental apresentou tanto ganho de áreas de t1 para t2 quanto perda, em porcentagens da área total semelhantes. Nessa comparação, a classe de muito baixa fragilidade ambiental foi a que apresentou maior diferença de ganhos e perdas, sendo mais representativa em t2 em comparação com t1.

Figura 55 – Variação líquida de classes de fragilidade ambiental entre t1 e t2

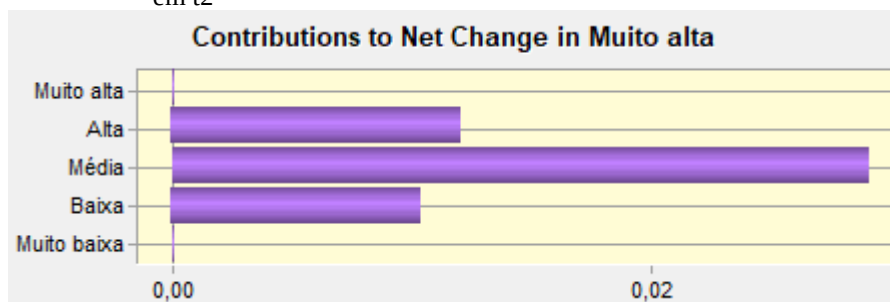


Fonte: O autor, 2023.

De acordo com a variação líquida das classes de fragilidade ambiental entre t1 e t2 foi possível verificar que houve maior aumento da classe de muito baixa fragilidade

comparado aos acréscimos de áreas de fragilidade alta e muito alta. Já a classe de média fragilidade ambiental teve maior mudança entre as classes, sendo mais representativa em t1 comparado à t2.

Figura 56 – Classes de fragilidade ambiental de t1 que migraram para muito alta em t2

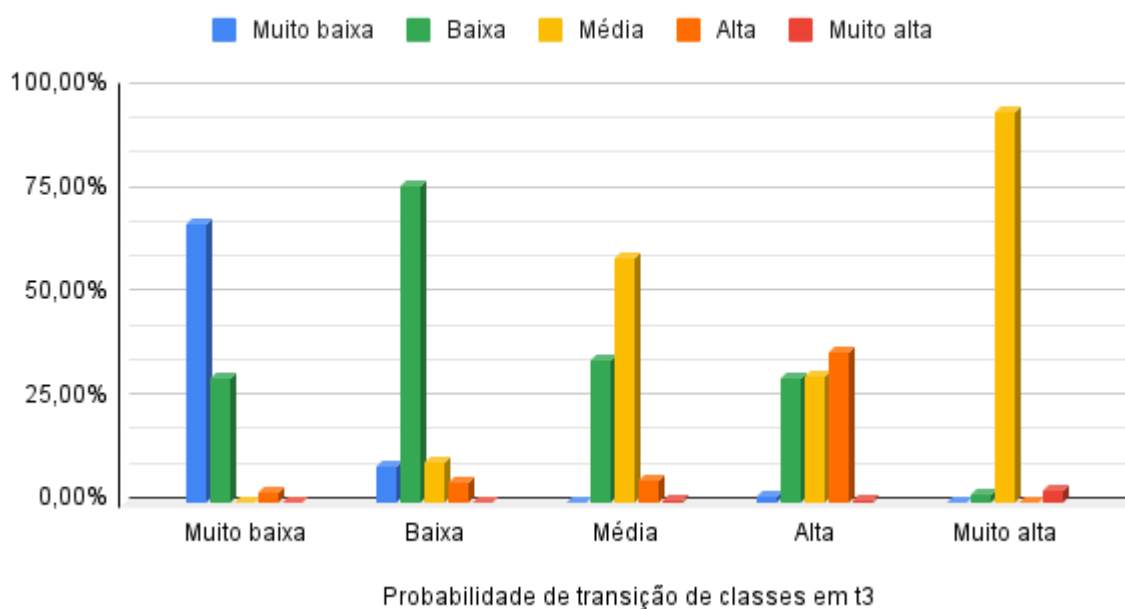


Fonte: O autor, 2023.

A classe de muito alta fragilidade ambiental em t2 teve aumento a partir das classes alta, média e baixa de t1.

Figura 57 – Probabilidade de transição de classes de fragilidade ambiental em t3

Probabilidade de transição de classes em t3 (Markov)



Fonte: O autor, 2023.

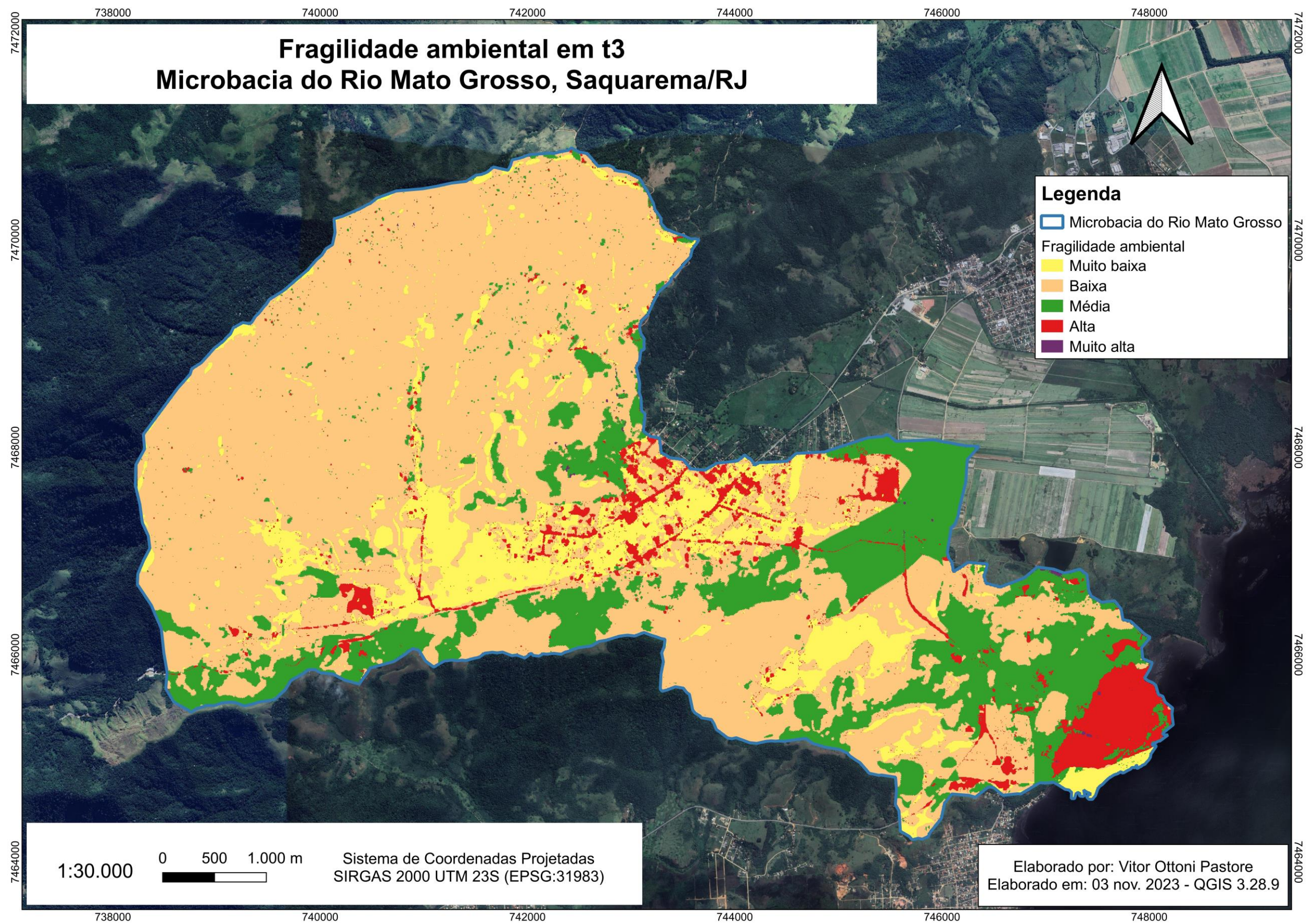
Já a probabilidade de mudanças de classes do intervalo 2010-2020 para o cenário preditivo de 2030 (t3) indicou que a classe de muito baixa fragilidade ambiental deve permanecer em 67,18% ou alterar para baixa em 29,97% da sua ocorrência. A classe de baixa

fragilidade ambiental deverá permanecer em 76,41%, enquanto poderá ser alterada para classe muito baixa em 8,86%, média em 9,67% e alta em 4,99%.

Quanto às classes de maior fragilidade ambiental, a alta foi a que apresentou a mais variada probabilidade de mudanças para as demais classes, de 30,08% para baixa, 30,62% para média e 36,64% de permanência como alta fragilidade em t3. Já a classe de muito alta fragilidade ambiental, há uma probabilidade de 94,5% de se tornar média fragilidade, enquanto apresentou 3,18% de probabilidade de mudar para baixa e o restante (2,32%) de probabilidade de permanência como muito alta, essa exclusiva para pequenas áreas suscetíveis a inundação próximas da Lagoa de Urussanga/Mombaça.

A partir do módulo CA_Markov do IDRISI Selva foi gerada a imagem da fragilidade ambiental de t3, que indica as localizações potenciais das classes em 2030 (Figura 58).

Figura 58 – Mapa de fragilidade ambiental estimada para t3



Fonte: O autor, 2023.

5.4 Análise da fragilidade ambiental em t1, t2 e t3 por zonas do Plano Diretor do Município de Saquarema

As estatísticas zonais da fragilidade ambiental de t1, t2 e t3 por zonas do Plano Diretor Municipal de Saquarema indicaram que todas as macrozonas apresentam a classe de baixa fragilidade ambiental (valor 2) como a mais representativa. Com menor representatividade, foram encontradas áreas com muito alta fragilidade ambiental em todas as macrozonas nas estimativas de t1 e t2 e no cenário de t3 (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores estatísticos de fragilidade ambiental de t1, t2 e t3 por macrozona do Plano Diretor na Microbacia do Rio Mato Grosso

Zona PDS / Fragilidade ambiental	t1			t2			t3		
	média	máx	maioria	média	máx	maioria	média	máx	maioria
MZRSC	2,1	5	2	2,0	5	2	2,4	5	2
MZRUI	2,0	5	2	2,0	5	2	2,1	5	2
MZASC	2,1	5	2	2,1	5	2	2,2	5	2
MZUI	2,2	5	2	2,3	5	2	2,6	5	2

Fonte: O autor, 2023.

A MUJ apresentou maiores valores médios de fragilidade ambiental tanto em t1 quanto t2 e t3, apesar da pouca diferença entre os valores médios estimados para as outras zonas do Plano Diretor. Já a macrozona que obteve menores valores em t1, t2 e t3 foi a MRRJ, sendo que em t2 apresentou valor médio igual ao encontrado para a MRSC. O valor médio de fragilidade ambiental mais alto ocorreu para a MUJ em t3, de 2,6, enquanto a MRSC apresentou 2,4, para o cenário de t3.

A partir dessa análise foi considerada a MUJ como a zona do Plano Diretor de Saquarema com maior fragilidade ambiental, que poderá ser aumentada a partir da expansão de loteamentos, outras ocupações e atividades que aumentam a fragilidade ambiental nessa área. Segundo Capetti et al. (2021), “no bairro Jaconé, em Saquarema, no estado do Rio, casas são construídas em meio ao brejo. Não há saneamento e apenas 50% dos lares têm fornecimento de água da Cedae”.

As estatísticas de fragilidade ambiental para os setores censitários indicaram que o setor mais próximo da lagoa apresentou maiores valores médio, máximo e majoritário que os demais tanto em t1 quanto em t2 e t3. Foi possível indicar que 11 dos 15 setores censitários

localizados na microbacia apresentaram áreas com muito alta fragilidade ambiental em t1, t2 ou t3 (Tabela 5).

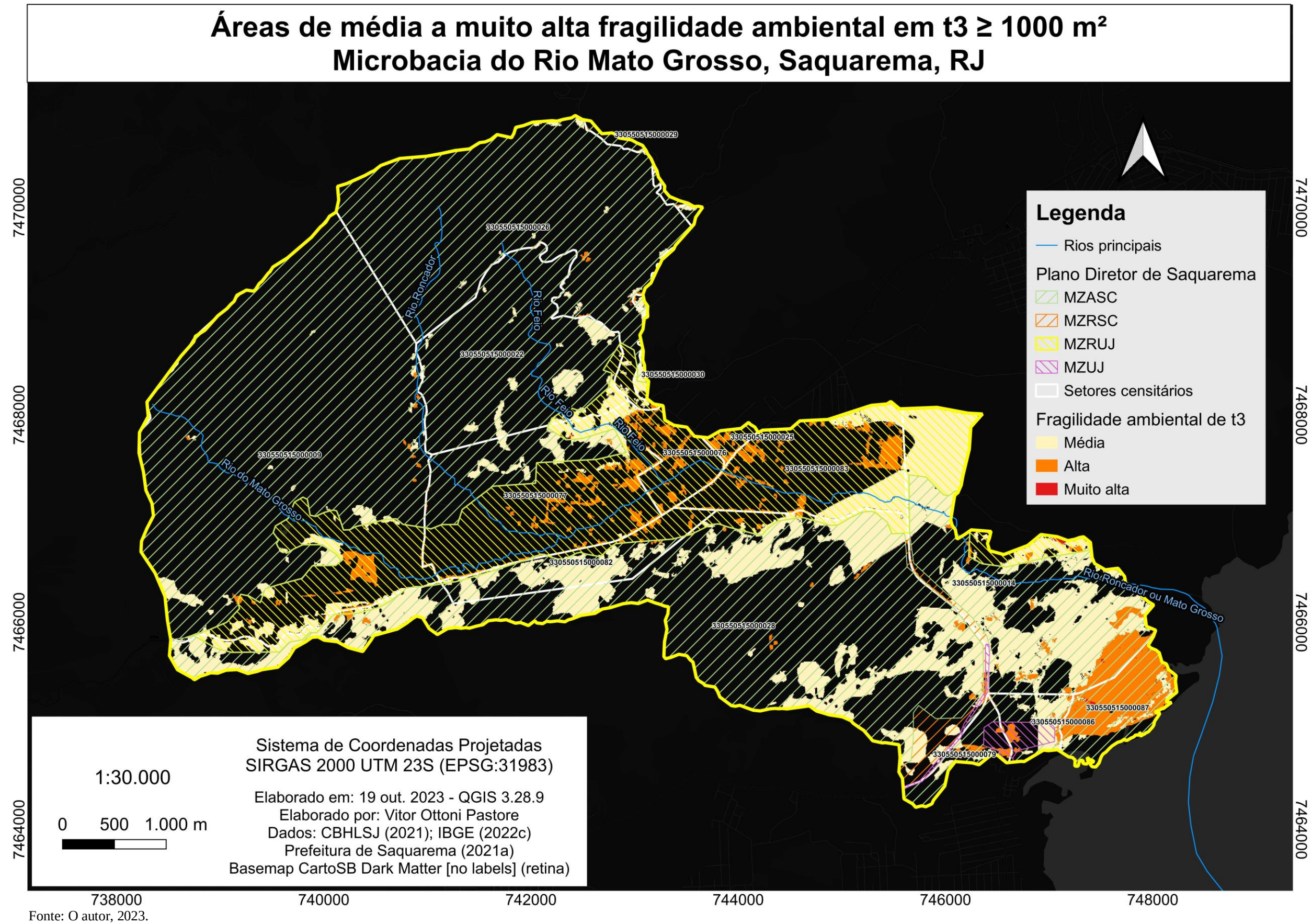
Tabela 5 – Valores estatísticos de fragilidade ambiental de t1, t2 e t3 por setor censitário da Microbacia do Rio Mato Grosso

Setor censitário / Estatísticas fragilidade ambiental	t1			t2		
	t1 média	t1 máximo	t1 maioria	t2 média	t2 máximo	t2 maioria
330550515000030	2,6	4	3	2,4	5	2
330550515000029	2,1	4	2	1,9	4	2
330550515000028	2,2	5	2	2,2	5	2
330550515000026	2,0	4	2	2,0	5	2
330550515000022	2,0	5	2	2,0	5	2
330550515000009	1,9	4	2	1,9	4	2
330550515000014	2,7	5	3	2,6	5	3
330550515000025	2,1	4	2	2,0	4	2
330550515000076	1,9	4	2	1,8	4	2
330550515000077	1,7	5	2	1,7	5	1
330550515000079	2,0	4	2	2,0	4	2
330550515000082	2,3	4	2	2,3	4	2
330550515000083	2,1	5	2	2,2	5	2
330550515000086	2,2	4	2	2,4	4	2
330550515000087	3,2	4	4	2,5	4	3

Fonte: O autor, 2023.

A distribuição das áreas frágeis (média a muito alta fragilidade), das macrozonas do Plano Diretor de Saquarema e dos setores censitários de 2020 pela Microbacia do Rio Mato Grosso está apresentada na Figura 59.

Figura 59 – Mapa de áreas frágeis na Microbacia do Rio Mato Grosso



O total de áreas consideradas como média, alta e muito alta fragilidades estimadas para t3 na Microbacia do Rio Mato Grosso foi de 7,8 km² distribuídos por 4860 polígonos. Quanto a polígonos de média a muito alta fragilidade ambiental para t3 com área a partir de 1000 m² foram somados 7,3 km², distribuídos por 291 feições, sendo esses polígonos selecionados e exportados como nova camada vetorial definida como áreas frágeis.

No cálculo de vulnerabilidade social para cada setor censitário da Microbacia do Rio Mato Grosso, o critério de pessoas alfabetizadas foi reclassificado em 5 classes de intervalos iguais na simbologia da camada no QGIS, considerando os valores mínimo e máximo encontrados, de 50,0% e 95,8%, respectivamente (Quadro 25).

Quadro 25 – Intervalos do critério de pessoas alfabetizadas para cálculo da vulnerabilidade social

Pessoas alfabetizadas (%)	Nível de vulnerabilidade	Grau de vulnerabilidade
50,0 a 59,2	5	Muito alta
59,2 a 68,3	4	Alta
68,3 a 77,5	3	Média
77,5 a 86,6	2	Baixa
86,6 a 95,8	1	Muito baixa

Fonte: O autor, 2023.

A aplicação do AHP para determinar o peso de cada critério da vulnerabilidade social está apresentado nas Figuras 60 e 61. Cabe ressaltar que foram considerados critérios de alta prioridade a renda, o acesso à energia elétrica e a taxa de alfabetismo; enquanto o acesso à água por rede ficou em segunda prioridade; e os serviços de coleta de lixo e de rede de esgoto foram considerados critérios de menor prioridade neste cálculo.

Figura 60 – Atribuição de valores de prioridades para temas de vulnerabilidade social em AHP

A - wrt AHP priorities - or B?		Igual	Quanto mais?
1 ☒ Abastecimento de água por rede ☐ Sistema de esgoto	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9		
2 ☒ Abastecimento de água por rede ☐ Coleta de lixo	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9		
3 ☐ Abastecimento de água por rede ☒ Energia elétrica	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9		
4 ☐ Abastecimento de água por rede ☒ Renda	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9		
5 ☐ Abastecimento de água por rede ☒ Alfabetismo	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9		
6 ☒ Sistema de esgoto ☐ Coleta de lixo	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9		
7 ☐ Sistema de esgoto ☒ Energia elétrica	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☒ 9		
8 ☐ Sistema de esgoto ☒ Renda	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☒ 9		
9 ☐ Sistema de esgoto ☒ Alfabetismo	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☒ 9		
10 ☐ Coleta de lixo ☒ Energia elétrica	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☒ 9		
11 ☐ Coleta de lixo ☒ Renda	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☒ 9		
12 ☐ Coleta de lixo ☒ Alfabetismo	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☒ 9		
13 ☒ Energia elétrica ☐ Renda	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9		
14 ☒ Energia elétrica ☐ Alfabetismo	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9		
15 ☐ Renda ☒ Alfabetismo	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9		
CR = 2.9% OK			
Calcular	Download (.csv) ☐ dec. comma		

Fonte: Adaptada de GOEPEL, 2018.

Figura 61 – Prioridades das camadas para cálculo da vulnerabilidade social pela calculadora de Goepel (2018)

Prioridades

Estes são os resultados ponderados pelos critérios escolhidos na sua comparação entre pares:

Cat	Prioridade	Rank	(+)	(-)
1 Abastecimento de água por rede	8.5%	4	3.7%	3.7%
2 Sistema de esgoto	2.7%	5	0.6%	0.6%
3 Coleta de lixo	2.7%	5	0.6%	0.6%
4 Energia elétrica	28.7%	1	6.6%	6.6%
5 Renda	28.7%	1	6.6%	6.6%
6 Alfabetismo	28.7%	1	6.6%	6.6%

Matriz de Decisão

Os resultados ponderados são baseados no principal autovetor da matriz de decisão:

	1	2	3	4	5	6
1	1	5.00	5.00	0.20	0.20	0.20
2	0.20	1	1.00	0.11	0.11	0.11
3	0.20	1.00	1	0.11	0.11	0.11
4	5.00	9.00	9.00	1	1.00	1.00
5	5.00	9.00	9.00	1.00	1	1.00
6	5.00	9.00	9.00	1.00	1.00	1

Número de comparações = 15
Razão de Consistência CR = 2.9%

Autovalor principal = 6.179
Solução de Autovetor : 5 iterações, delta = 1.2E-8

Fonte: Adaptada de GOEPEL, 2018.

Os pesos resultantes da calculadora de prioridades de critérios do cálculo original e do cálculo alternativo da fragilidade potencial estão dispostos no Quadro 26.

Quadro 26 – Temas e pesos no cálculo da vulnerabilidade social

Tema	Peso AHP
Rede de água	0,085
Rede de esgoto	0,027
Coleta de lixo	0,027
Energia elétrica	0,287
Renda	0,287
Alfabetismo	0,287

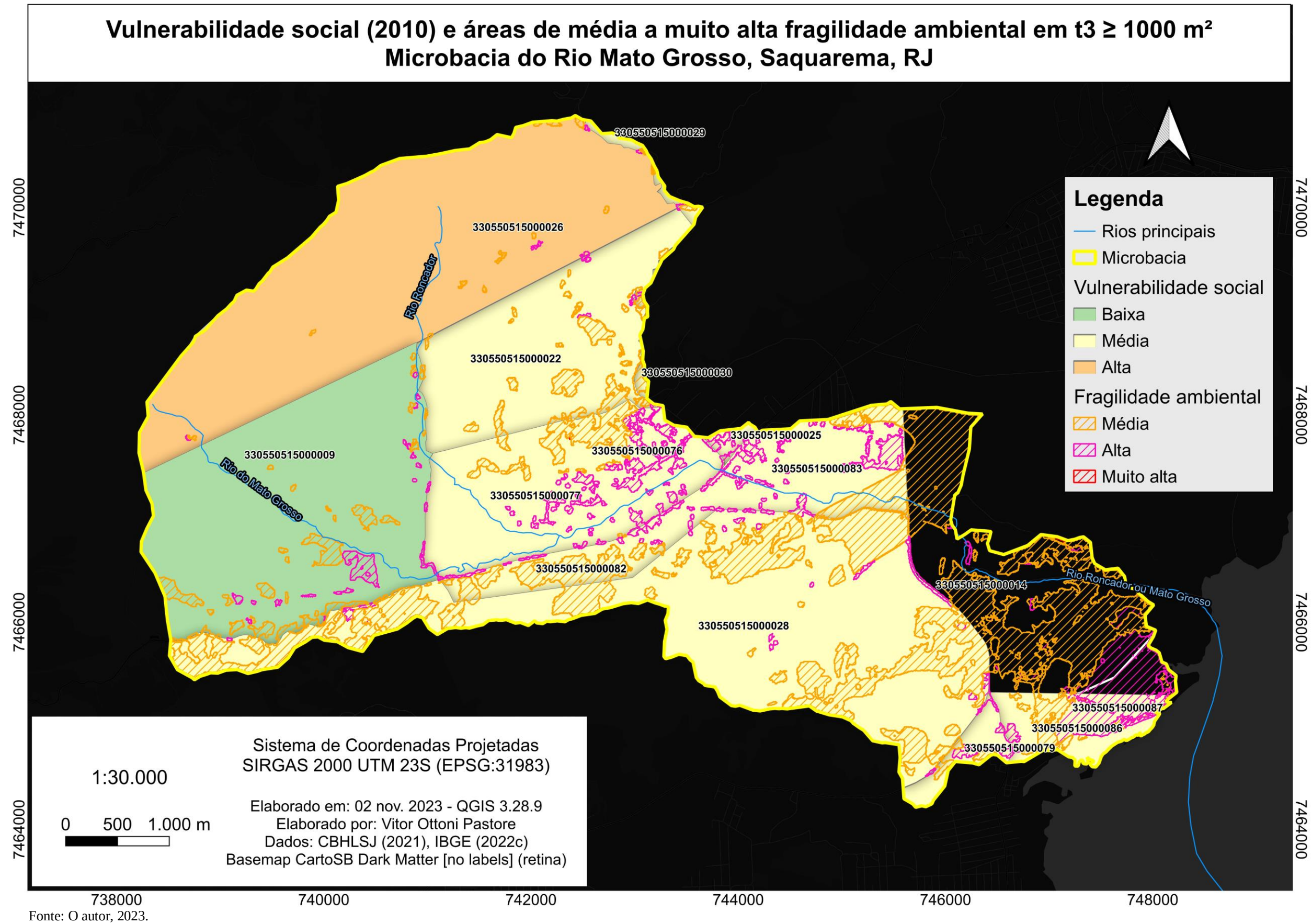
Fonte: O autor, 2023.

A partir do cálculo de prioridades AHP (GOEPEL, 2018) foram definidos os pesos para cada critério da vulnerabilidade social, que foram utilizados para multiplicar aos valores pela ferramenta de Calculadora de Campo da tabela de atributos do QGIS, de acordo com a equação 3:

$$\begin{aligned}
 & (\text{"rec_agua"} \times 0.085) + (\text{"rec_sanea"} \times 0.027) + (\text{"rec_lixo"} \times 0.027) + (\text{"rec_elet"} \times \\
 & 0.287) + (\text{"rec_sal_min"} \times 0.287) + (\text{"rec_alfabet"} \times 0.287)
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

A distribuição dos valores de vulnerabilidade social pelos setores censitários – recorte de 2010 – localizados na Microbacia do Rio Mato Grosso está apresentada na Figura 62.

Figura 62 – Mapa de vulnerabilidade social e fragilidade ambiental de t3 por setores censitários na Microbacia do Rio Mato Grosso, Saquarema



Na Microbacia do Rio Mato Grosso as áreas mais vulneráveis quanto aos critérios socioeconômicos estão localizadas principalmente nos setores censitários a Norte e Leste dos rios Roncador e Feio, assim como a Sul e Sudeste da Rodovia RJ-106 e no setor censitário mais a Norte da microbacia (330550515000022), onde a alta vulnerabilidade social está sobreposta a alta fragilidade ambiental estimada para t3 11.825 m² e a média em 32.325 m². Esse setor censitário apresenta algumas particularidades que devem ser consideradas nos planos de RRD, pois além de compreender as nascentes dos três principais cursos d'água da microbacia, tem maior cobertura vegetal e a maior vulnerabilidade social da microbacia, essa com o destaque de apresentar alto nível de vulnerabilidade social relacionada à análise de alfabetismo, tendo apresentado somente 50,0% de pessoas alfabetizadas.

Outros setores censitários que apresentaram maior vulnerabilidade social influenciada pela baixa taxa de alfabetismo foram o 330550515000026, localizado entre o Rio Roncador e os limites da microbacia, compreendendo maior parte do Rio Feio (71,9% de pessoas alfabetizadas); assim como o 330550515000028, localizado a Sul e Sudeste da Rodovia RJ-106 (61,2% de pessoas alfabetizadas), e o 330550515000030, localizado no extremo Nordeste da microbacia, na qual compreende 88590,2 m², sendo considerado parte da microbacia de estudo e parte da microbacia vizinha a Leste.

Os setores mais a Norte da microbacia (330550515000022), a Sul e Sudeste da Rodovia RJ-106 (330550515000028) e localizado no extremo Nordeste da microbacia (330550515000030) apresentaram média salarial dos responsáveis pelos domicílios menor que 1 salário-mínimo vigente em 2010, reforçando necessidade de atenção redobrada da prefeitura e do comitê da bacia hidrográfica para a promoção de soluções mitigadoras da fragilidade ambiental associada à redução da vulnerabilidade social.

Para o setor censitário que compreende área próxima da foz dos rios Roncador e Mato Grosso e trechos após encontro desses rios (330550515000014), não foi possível avaliar a vulnerabilidade social, devido à ausência de dados para este setor na base de dados do Censo Demográfico de 2010. Apesar disso, foi possível constatar que este é um setor pouco ocupado, tanto pela presença de áreas alagáveis quanto por áreas produtivas.

Considerando que o município de Saquarema teve uma taxa de crescimento populacional de 54,87% entre 2010 e 2022 (G1, 2023), as vulnerabilidades sociais estimadas por setor censitário podem ter aumentado em decorrência do aumento populacional considerável, assim como podem ocorrer áreas menores em alguns setores censitários com maiores níveis de vulnerabilidade social. A atualização dos dados censitários será essencial para avaliar tendências e cenários de vulnerabilidade social.

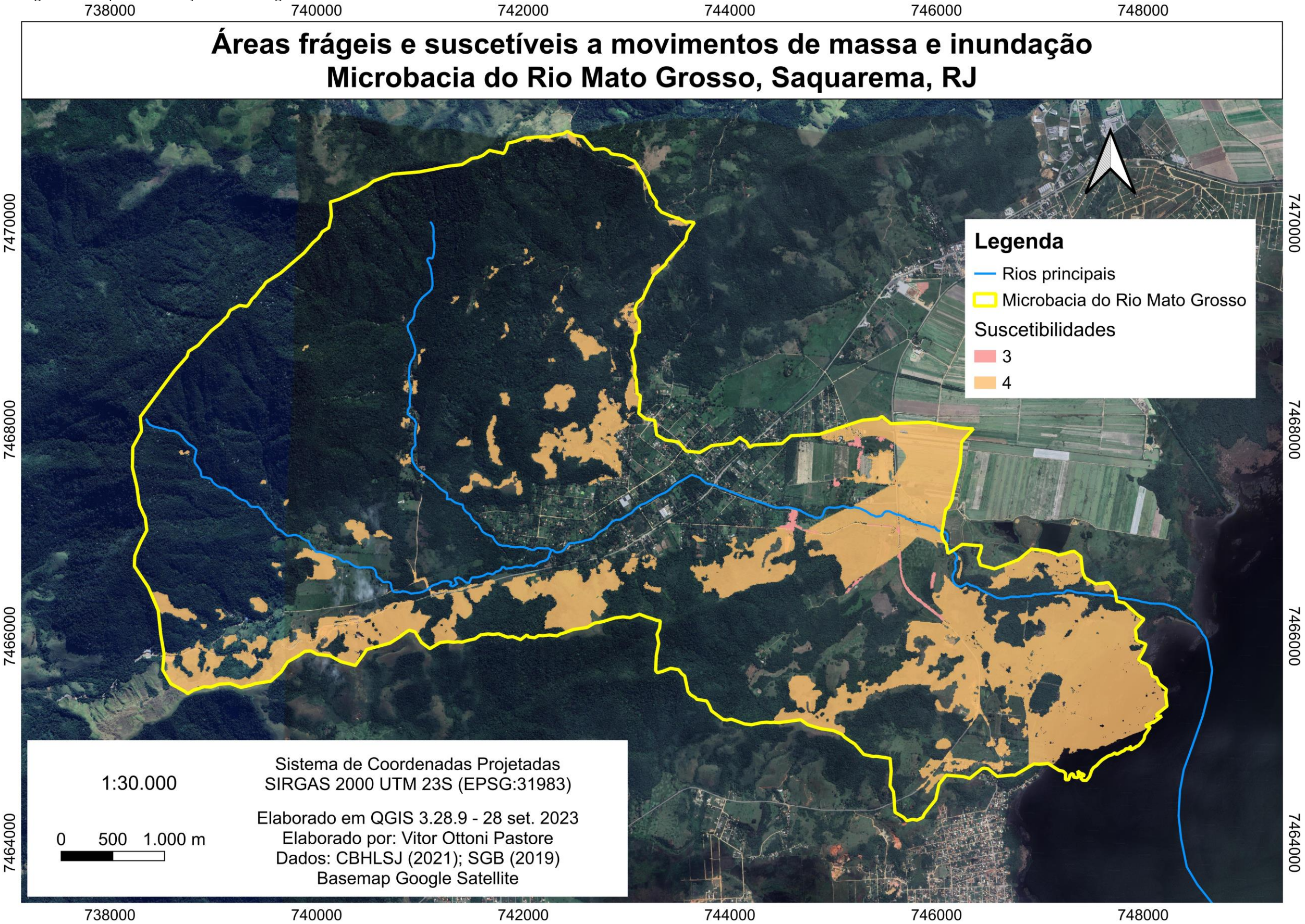
Na relação entre a suscetibilidade a movimentos de massa e a vulnerabilidade social, foi possível indicar que as áreas de média e alta suscetibilidade a deslizamento de encosta ocorreram em áreas com vulnerabilidade social média – valor 3 – a alta – valor 4. Uma exceção foi o menor setor censitário urbano localizado na microbacia e parte do bairro Serra do Mato Grosso (330550515000025), com área total de 91.278,1 m², que não apresentou suscetibilidades a deslizamento de encosta ou inundação, enquanto apresentou uma vulnerabilidade social média.

Em relação a suscetibilidade à inundação, todas as áreas suscetíveis (média ou alta suscetibilidade) apresentaram valores mínimos e máximos de média vulnerabilidade social (valor 3), estando localizados próximos da rodovia RJ-118, da foz do encontro dos rios Roncador e Mato Grosso e da Laguna de Saquarema.

Já as áreas frágeis (média a muito alta fragilidade estimada para t3) ocorreram em áreas com baixa, média e alta vulnerabilidade social. As áreas de média fragilidade ambiental de t3 ocorreram sobre áreas de alta vulnerabilidade mínima e máxima em 5.380.400 m², já as áreas de média fragilidade ambiental de t3 estiveram sobrepostas à áreas de média a alta vulnerabilidade social em 1.442.450 m², enquanto em 3.524 m² ocorreram áreas de muito alta fragilidade ambiental sobrepostas a áreas de média vulnerabilidade social mínima e máxima.

Dos 291 polígonos de áreas frágeis, 149 ocorreram em áreas indicadas com média (6,5 km²) ou alta (0,1 km²) suscetibilidade a movimentos de massa ou inundação pelo SGB (2019) como apresentado na Figura 63. Essas áreas estiveram localizadas principalmente nas encostas próximas das rodovias RJ-106 e RJ-118; e dos cursos d'água, especialmente dos rios Roncador, Mato Grosso e Feio, principais contribuintes da Laguna de Saquarema na Microbacia do Rio Mato Grosso, localizados a Norte da Rodovia RJ-106. Também foram identificadas áreas frágeis sobrepostas a áreas suscetíveis próximas da Laguna de Saquarema, assim como nas encostas próximas da área mais ocupada por edificações, considerada como área impermeável na camada de tipos de solo, localizada no entorno do ponto central da microbacia.

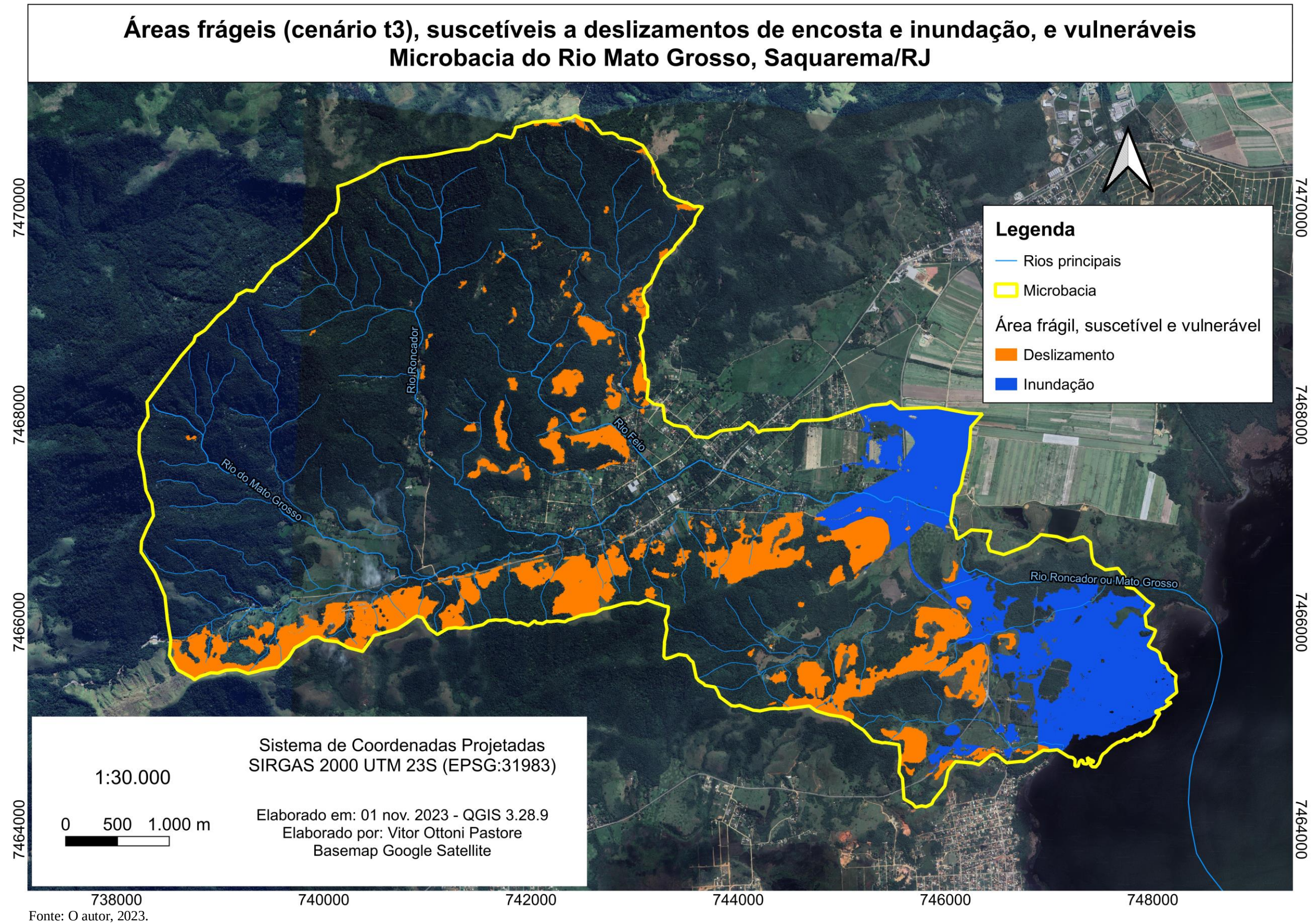
Figura 63 – Mapa de distribuição de áreas frágeis e suscetíveis da Microbacia do Rio Mato Grosso



Fonte: O autor, 2023.

As áreas frágeis (média a muito alta fragilidade ambiental de t3) indicadas em áreas vulneráveis (média a muito alta vulnerabilidade social – Censo IBGE 2010) estiveram sobrepostas a áreas suscetíveis (média ou alta suscetibilidade) em 6,1 km² (18,7% da microbacia), sendo 3,1 km² suscetíveis à deslizamentos de encosta e 3,0 km² suscetíveis a inundação (Figura 64). Esse mapeamento serviu como base para próximas estimativas considerando a atualização do Censo Demográfico do IBGE, a fim de subsidiar planos e programas voltados para o desenvolvimento socioeconômico associado à conservação ambiental e à recuperação ambiental em áreas frágeis, suscetíveis e vulneráveis. Nesse contexto, as proximidades do Rio Feio, da margem Sul da Rodovia RJ-106 e da Laguna de Saquarema foram as principais áreas consideradas como frágeis, suscetíveis e vulneráveis na Microbacia do Rio Mato Grosso.

Figura 64 – Mapa de sobreposição de áreas frágeis, suscetíveis e vulneráveis



5.5 Relatos de campo

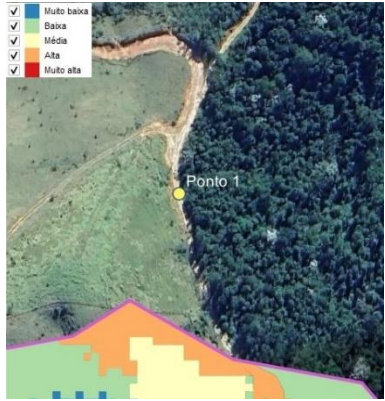
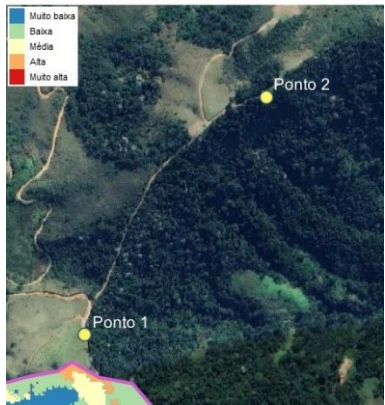
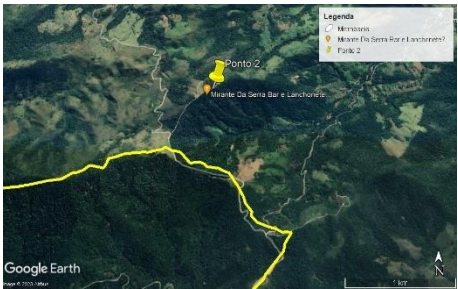
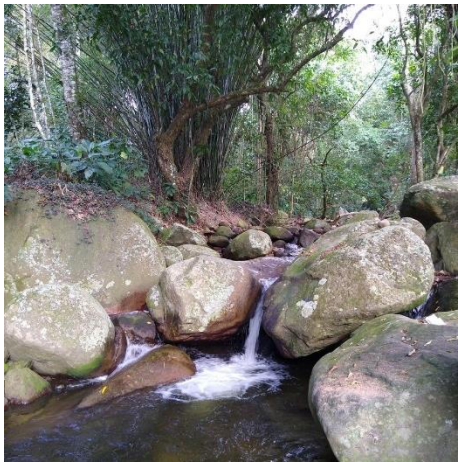
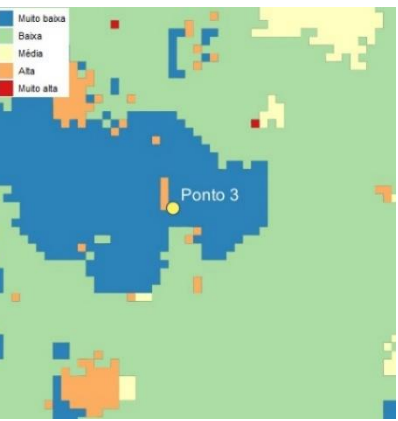
Segundo Nunes (2022), a Microbacia do Rio Mato Grosso está sofrendo uma dinâmica social acelerada, com alta especulação imobiliária e grilagem de terras nas áreas mais altas da Serra do Mato Grosso. A falta de gestão da APA Municipal, que não apresenta sede ou plano de manejo, e a falta de fiscalização sobre as APPs têm facilitado as construções irregulares próximas a cursos d'água, que ocorrem sem controle de supressão de vegetação. Alguns cursos d'água apresentaram assoreamento principalmente após chuvas que escoaram materiais depositados sobre as estradas, essas sem manutenção adequada. Nunes (op. cit.) reforçou que o bairro Mato Grosso está crescendo muito rápido, seja em áreas invadidas mais alagadiças, seja em áreas de sítios mais bem estruturados.

Após as chuvas dos dias 1 e 2 de abril de 2022 ocorreram inundações no bairro Mato Grosso e na foz do Rio Mato Grosso, assim como diversos deslizamentos de encostas, criando clareiras em áreas vegetadas. Moradores mais antigos do bairro Mato Grosso relataram que os córregos que apresentavam períodos de seca estiveram mais cheios nos últimos anos (NUNES, 2022).

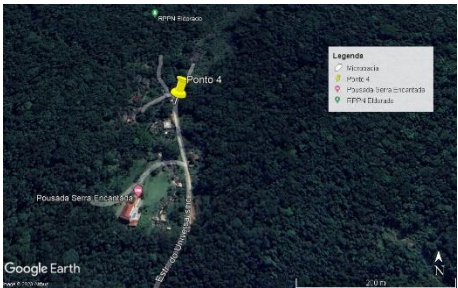
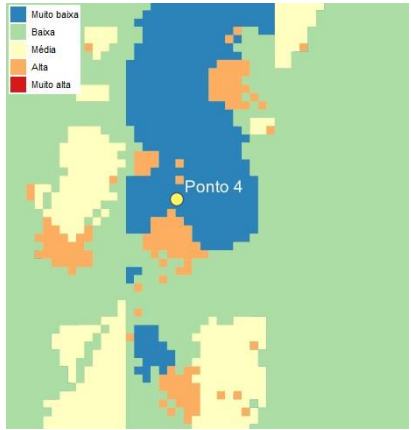
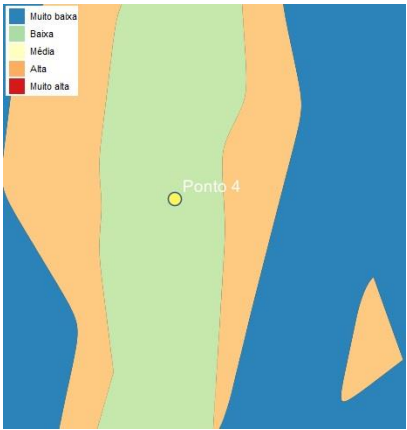
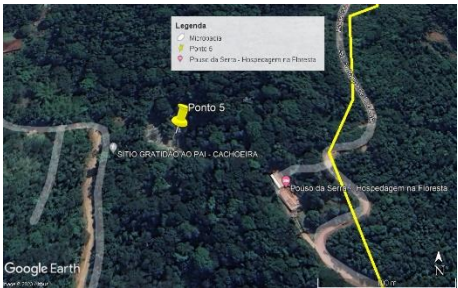
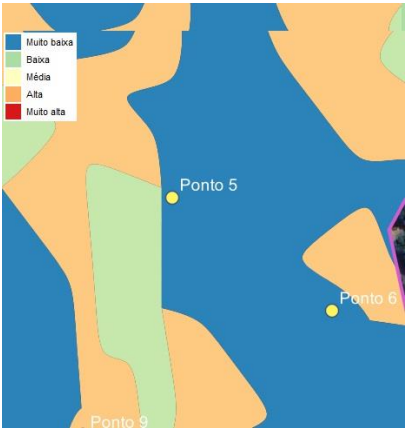
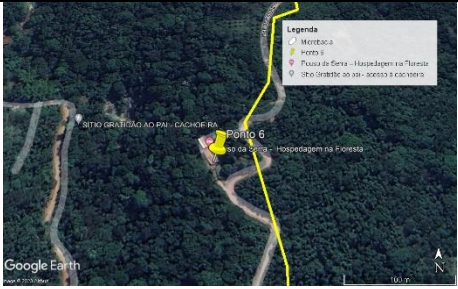
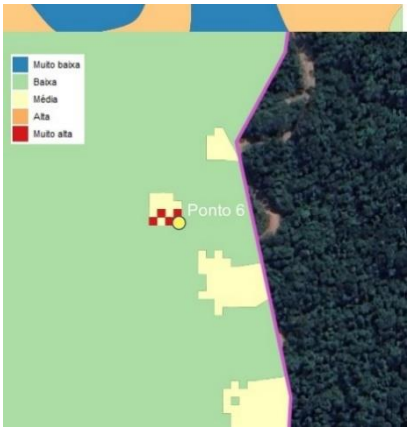
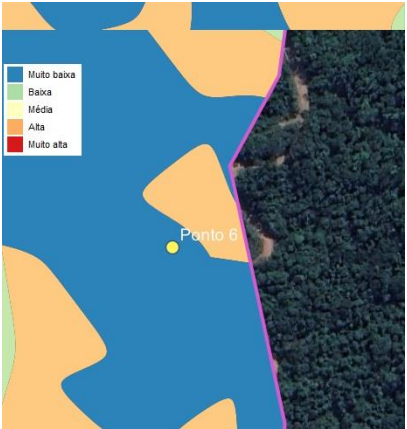
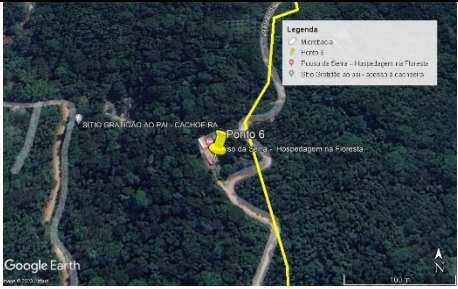
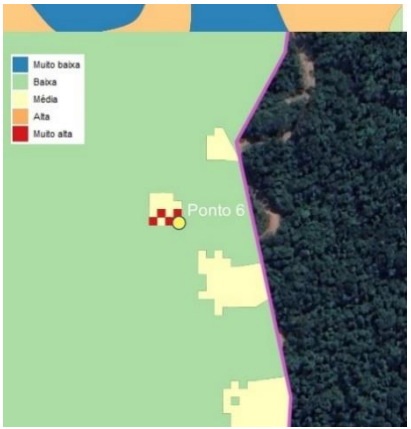
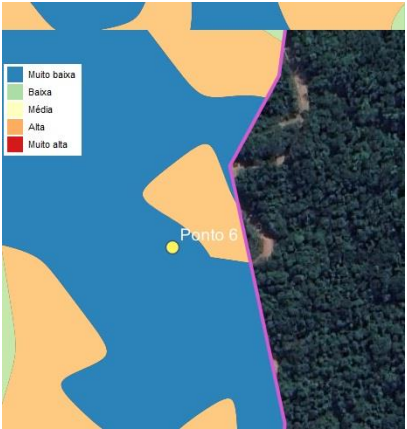
Em fevereiro de 2023, Nunes (2023) relatou que após um evento de chuva intensa na Microbacia do Rio Mato Grosso, ocorreu alteração na paisagem da Cachoeira Vêu da Noiva, aberturas na mata devido a deslizamentos de encosta, e um alagamento no bairro Mato Grosso que foi considerado como histórico segundo os mais antigos.

Foram visitados locais de interesse e obtidas fotografias pelo autor e pelo morador parceiro, que estão descritas as localidades e apresentadas as respectivas classificações de fragilidade ambiental em t3 e suscetibilidades a deslizamentos de encosta e inundação, extraídas na escala de visualização 1:2.000 do QGIS, exceto para o ponto mais distante da microbacia (ponto 2), para o qual foi adotada a escala de 1:8.000 nas imagens de fragilidade ambiental e suscetibilidades (Quadro 27).

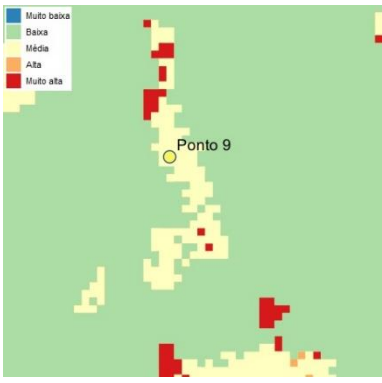
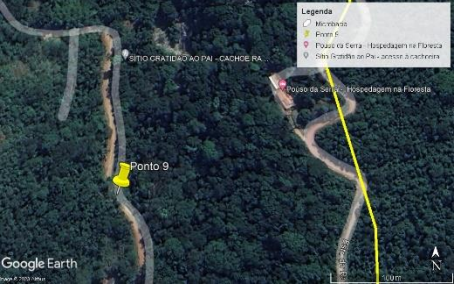
Quadro 27 – Fotografias de visitas de campo na Microbacia do Rio Mato Grosso e entorno (continua)

Ponto	Data e localização		Fotografia	Autoria	Fragilidade ambiental	Suscetibilidades
1	Data	05/09/2020		O autor		
	Coordenadas (EPSG:4674)	-22°51'6,01189" -42°38'13,81560"				
	Endereço	 Estrada da Rampa de Voo Livre, S/N, próxima a bifurcação que leva para as rampas de voo livre ou para o município de Tanguá				
	Descrição	A 100 m da microbacia	Feição erosiva na margem de via, sentido Norte		Localizado fora da microbacia, próximo de áreas de alta, média e baixa fragilidade ambiental e de área sem vegetação arbórea	Localizado fora da microbacia, próximo de áreas de baixa e média suscetibilidade a movimentos de massa
2	Data	05/09/2020		O autor		
	Coordenadas (EPSG:4674)	-22°50'46,51080" -42°37'58,21319"				
	Endereço	 Acesso da Rampa de Voo Livre de Sampaio Correia – Nordeste				
	Descrição	A 850 m da microbacia	Vista com placa de altitude (697 m)		Localizado fora da microbacia, acessado por estrada que passa por áreas frágeis	Localizado fora da microbacia, acessado por estrada que passa por áreas de baixa e média suscetibilidade a movimentos de massa
3	Data	05/09/2020		O autor		
	Coordenadas (EPSG:4674)	-22°52'58,29600" -42°38'57,41159"				
	Endereço	 Estrada que dá acesso à Cachoeira Vêu da Noiva, S/N, a 700 m para Nordeste do Sítio Gratidão ao Pai, onde está localizada a cachoeira				
	Descrição	Localizado na microbacia	Pequena queda d'água		Área de muito baixa fragilidade ambiental, próxima de áreas de muito baixa a alta fragilidades	Área de alta suscetibilidade a movimentos de massa

Quadro 27 – Fotografias de visitas de campo na Microbacia do Rio Mato Grosso e entorno (continuação)

4	Data	05/09/2020			O autor		
	Coordenadas (EPSG:4674)	-22°52'25,03" -42°39'6,32"				Área de muito baixa e alta fragilidade ambiental, próxima de áreas de baixa e média fragilidade ambiental	Área de baixa suscetibilidade a movimentos de massa, próxima de áreas de alta e muito baixa suscetibilidades a movimentos de massa
5	Endereço	Estrada do Universalismo, S/N, a 100 m da entrada da Pousada Serra Encantada e 500 m do Campus de Pesquisa IIPC Saquarema			Márcio Alex (morador parceiro)		
	Coordenadas (EPSG:4674)	-22°52'16,20" -42°37'56,49"				Área de baixa fragilidade ambiental	Área de muito baixa suscetibilidade a movimentos de massa, próxima de áreas de baixa e alta suscetibilidades a movimentos de massa
6	Endereço	Cachoeira Véu da Noiva, Sítio Gratidão ao Pai (propriedade particular)			Márcio Alex (morador parceiro)		
	Coordenadas (EPSG:4674)	-22°52'18,37910" -42°37'53,02910"				Área de média e muito alta fragilidade ambiental, próxima de áreas de baixa fragilidade ambiental e limite da microbacia	Área de muito baixa suscetibilidade a movimentos de massa, próxima de áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa e limite da microbacia
6	Data	Vista superior: dezembro de 2021 Vista inferior: 02/04/22 Montagem: abril de 2022			Márcio Alex (morador parceiro)		
	Coordenadas (EPSG:4674)	-22°52'18,37910" -42°37'53,02910"				Área de média e muito alta fragilidade ambiental, próxima de áreas de baixa fragilidade ambiental e limite da microbacia	Área de muito baixa suscetibilidade a movimentos de massa, próxima de áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa e limite da microbacia

Quadro 27 – Fotografias de visitas de campo na Microbacia do Rio Mato Grosso e entorno (conclusão)

7	Data	02/04/2022		Márcio Alex (morador parceiro)		
	Coordenadas (EPSG:4674)	-22°52'19,97939" -42°37'52,11228"				
	Endereço	 Estrada da Rampa de Voo Livre, S/N, ponto próximo do encontro com a Estrada do Roncador				
	Descrição	A 106 m da microbacia	Desmoronamento de encosta em estrada		Localizado fora da microbacia, próximo de áreas muito baixa a alta fragilidade ambiental	Localizado fora da microbacia, próximo de áreas de baixa, média e alta suscetibilidades a movimentos de massa
8	Data	02/04/2022		Márcio Alex (morador parceiro)		
	Coordenadas (EPSG:4674)	-22°52'37,20755" -42°37'43,41612"				
	Endereço	 Estrada do Roncador, S/N, bairro Serra de Mato Grosso, 20 m da Pousada Serra do Roncador				
	Descrição	A 35 m da microbacia	Vista para muro derrubado pela cheia de córrego em área desmatada		Localizado fora da microbacia, próximo de áreas alta fragilidade ambiental	Localizado fora da microbacia, próximo de áreas de baixa suscetibilidade a movimentos de massa e sem dados sobre inundação
9	Data	15/04/2022		Márcio Alex (morador parceiro)		
	Coordenadas (EPSG:4674)	-22°52'15,30227" -42°38'2,55083"				
	Endereço	 Estrada que dá acesso à Cachoeira Veu da Noiva, a 130 m sul do acesso para a cachoeira (Sítio Gratidão ao Pai)				
	Descrição	Localizado na microbacia	Desmoronamento de encosta em estrada		Área de média fragilidade ambiental, próxima de áreas de baixa e alta fragilidade ambiental	Área de média suscetibilidade a movimentos de massa, próxima de áreas de alta e baixa suscetibilidades a movimentos de massa

Fonte: Organizado pelo autor, 2023.

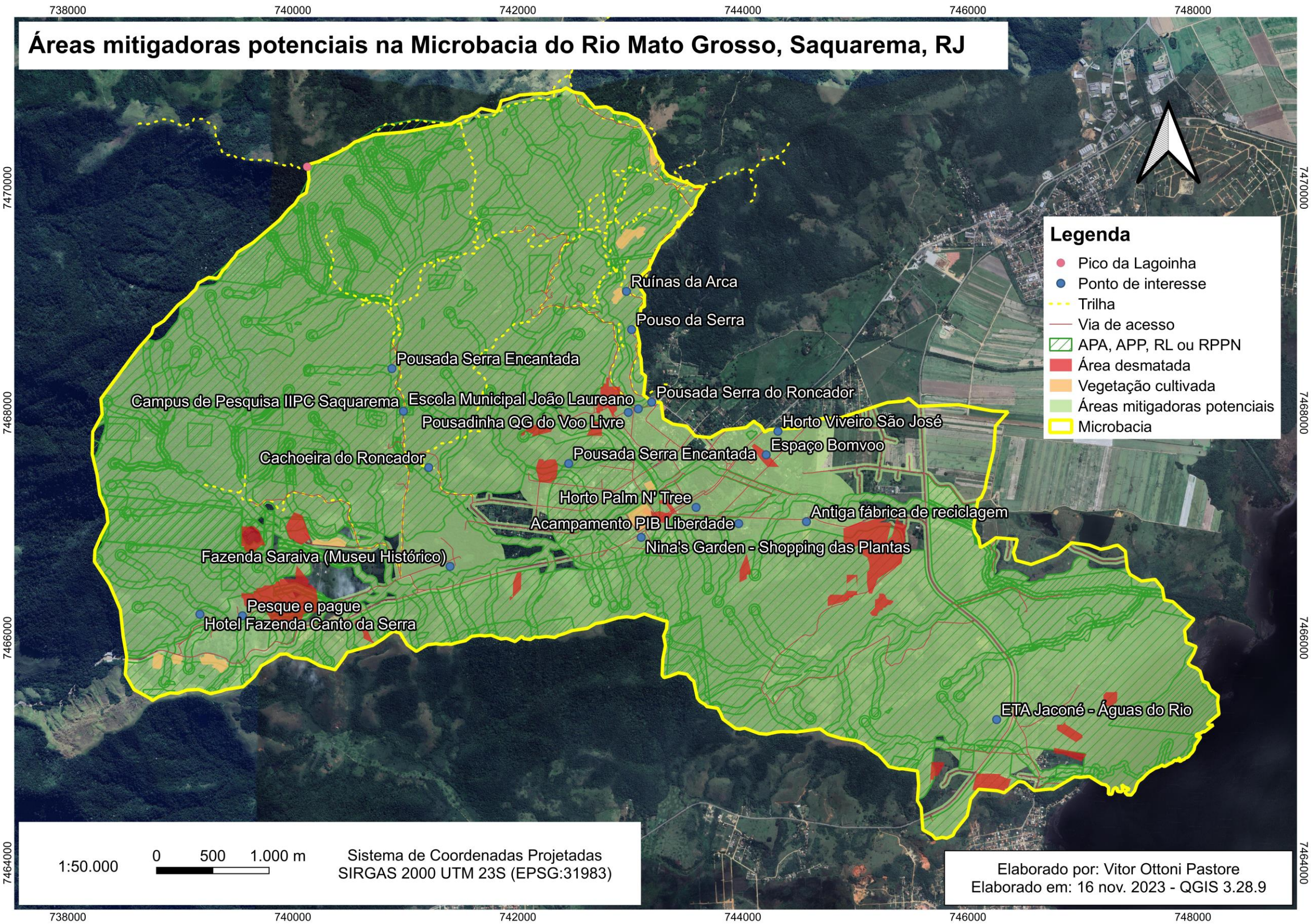
5.6 Áreas mitigadoras potenciais

As distâncias dos buffers definidos para as áreas mitigadoras potenciais referem-se à escolha pelo autor, podendo ser adaptado em discussões com especialistas, prefeitura e no comitê da bacia hidrográfica.

Para alguns dos temas de áreas mitigadoras potenciais foram consideradas áreas adicionais às feições de origem, a fim de indicar áreas com potencial participação dos responsáveis por cada item considerado no sentido da redução da fragilidade ambiental. Para tal, foram atribuídos valores de buffers a partir das feições dos temas considerados como áreas mitigadoras potenciais por escolha do autor, com base em documentos como o Código Florestal e resolução do CONAMA sobre licenciamentos ambientais.

As áreas mitigadoras potenciais em conjunto somaram um total de 30,6 km², que representa 93,3% da Microbacia do Rio Mato Grosso, distribuídas em 645 polígonos com sobreposições (Figura 65). Essa expressiva representatividade de áreas mitigadoras potenciais demonstra que os gestores da bacia hidrográfica e da Prefeitura de Saquarema podem recorrer a responsáveis por esses temas a fim de desenvolver planos de redução de desastres ambientais na microbacia.

Figura 65 – Mapa de áreas mitigadoras potenciais na Microbacia do Rio Mato Grosso



Fonte: O autor, 2023.

5.7 Áreas prioritárias para mitigação

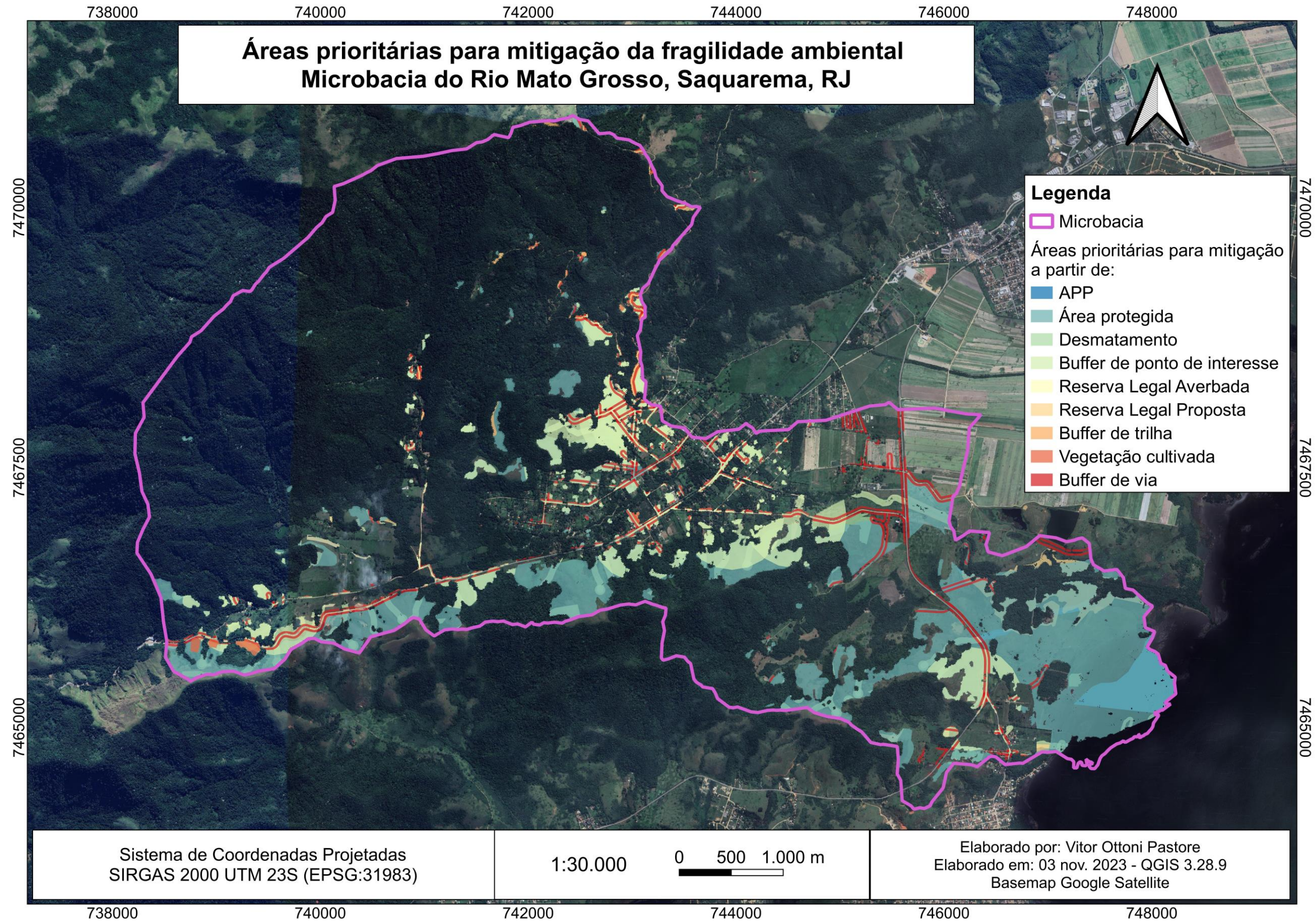
A interseção entre as camadas vetoriais de áreas frágeis (291 polígonos) e dos polígonos gerados a partir de feições de áreas mitigadoras potenciais (645 polígonos) gerou a camada de áreas prioritárias para mitigação da fragilidade ambiental na Microbacia do Rio Mato Grosso (Figura 66).

Cabe ressaltar que a Figura 66 indica polígonos resultantes da interseção entre polígonos de áreas frágeis e a camada de polígonos de áreas mitigadoras potenciais, essa elaborada por mescla de polígonos de áreas protegidas, áreas desmatadas e áreas agrícolas com polígonos dos buffers gerados a partir de pontos do Pico da Lagoinha, pontos de interesse e linhas de trilhas e vias. Assim, representa somente polígonos e não as feições de alguns dados originais que foram baixados em formato vetorial do tipo ponto ou linha.

Entre as áreas de fragilidade ambiental média a muito alta estimadas para t3, 6,3 km² estão sobrepostos a áreas mitigadoras potenciais, sendo esses polígonos indicados como áreas prioritárias para mitigação da fragilidade ambiental na Microbacia do Rio Mato Grosso.

Cabe ressaltar que a sobreposição de temas diferentes de áreas mitigadoras potenciais cada polígono de áreas frágeis não foi representada na Figura 66, podendo ocorrer mais de uma área mitigadora potencial em uma área indicada com alta ou muito alta fragilidade ambiental em t3. Assim, o total de áreas mitigadoras potenciais sobrepostas a áreas frágeis na microbacia foi de 9,25 km².

Figura 66 – Mapa de áreas prioritárias para mitigação da fragilidade ambiental na Microbacia do Rio Mato Grosso



Fonte: O autor, 2023.

A área em m² de cada tema de áreas mitigadoras potenciais que ocorrem em áreas de média a muito alta fragilidade ambiental está apresentada na Tabela 6.

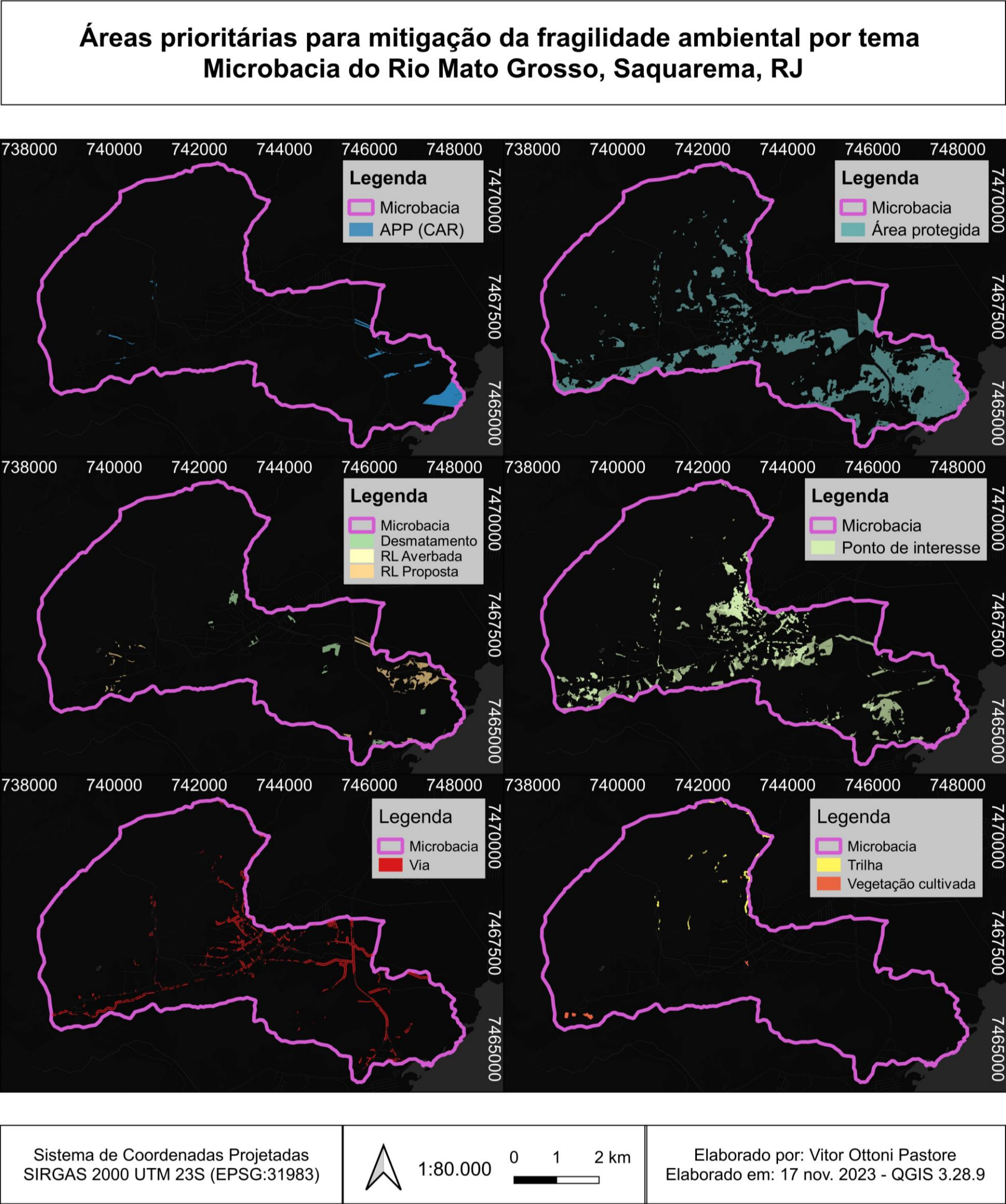
Tabela 6 – Áreas mitigadoras potenciais sobrepostas as áreas frágeis

Tema	Área (m²)
Trilha	86711,5
Ponto de interesse	2417153,7
Desmatamento	179530
Via	720599,6
Reserva Legal Averbada	840
Vegetação cultivada	42944,5
Reserva Legal Proposta	333487,3
APP (CAR)	424619,8
Área protegida	5046871,8
Soma (m ²)	9252758,2
Soma (km ²)	9,25

Fonte: O autor, 2023.

A distribuição espacial de cada tema de áreas mitigadoras potenciais sobreposto a áreas frágeis da Microbacia do Rio Mato Grosso está apresentada na Figura 67. Pôde-se observar que as UCs, indicadas no mapa como áreas protegidas, são as áreas mitigadoras potenciais que mais ocorreram áreas frágeis, por compreenderem 79,7% da área total da microbacia, sendo destacada a importância de proposição de soluções mitigadoras para essas áreas. Diversos polígonos gerados a partir de pontos de interesse estão sobrepostos a áreas frágeis, demonstrando o potencial de desenvolvimento de soluções em parcerias com as pessoas e entidades responsáveis. A seguir, as margens de vias de acesso também foram indicadas como áreas frágeis, condição essa reforçada nas notícias de interrupção de trânsito pós ocorrência de eventos de deslizamentos de encosta a partir de t2.

Figura 67 – Mapa de áreas prioritárias para mitigação da fragilidade ambiental por tema na Microbacia do Rio Mato Grosso



5.8 Soluções mitigadoras

5.8.1 Instrumentos de Planejamento Territorial e Ambiental e de práticas ecológicas mitigadoras

Os mais recentes eventos de alta concentração de precipitação no período do verão de 2021 a 2022 e de 2022 a 2023 na Microbacia do Rio Mato Grosso e no entorno levaram a danos em vias, propriedades e outras estruturas, assim como perdas de vidas humanas. Apesar dessa recorrência, ainda não foram implementados sistemas de alarme na microbacia de estudo, o que deve ser realizado em conjunto com a elaboração de um Programa Municipal de RRD que englobe essa microbacia.

A partir da delimitação das áreas suscetíveis, frágeis, potencialmente mitigadoras e prioritárias para mitigação podem ser definidas áreas de monitoramento meteorológico. Os exemplos de outros municípios do Estado, assim como soluções desenvolvidas em outras bacias hidrográficas, podem ser analisados por equipes especializadas da Prefeitura e pelo comitê gestor da bacia hidrográfica, a fim de implementar um sistema de monitoramento e alerta de condições meteorológicas e da suscetibilidade a desastres. A partir disso, desencadear em um processo planejado de respostas e indicação de novas áreas prioritárias para mitigação. A Defesa Civil tanto estadual quanto municipal deve estar integrada neste planejamento, a fim de desencadear ações desde à prevenção até a resposta às ocorrências e indicações de recuperação ambiental. Assim, ressalta-se a importância da instituição de uma Defesa Civil no âmbito municipal independente de outras secretarias, tornando a gestão do risco mais eficiente, com elaboração de um Plano de Contingência que considere a Microbacia do Rio Mato Grosso e as demais localizadas no município. O Plano de Contingência de Saquarema poderá ser elaborado considerando essa e outras metodologias na determinação de áreas prioritárias de monitoramento de desastres em decorrência de condições meteorológicas adversas com índices de extremos climáticos.

Em Nova Iguaçu, município localizado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, a Defesa Civil compreende uma secretaria municipal, tendo atuação tanto após as ocorrências de eventos extremos quanto na prevenção. Além do Plano de Contingência, a Defesa Civil de Nova Iguaçu desenvolveu um Sistema de Alerta Comunitário ativo 24 h, que inclui interessados em receber avisos, informes e alertas por mensagens de celular, aplicativos de

mensagens, além de canais de televisão por assinatura, levando em consideração os diferentes níveis de alertas, que demandam ações específicas. Também desenvolvido pela Defesa Civil de Nova Iguaçu estão ativos projetos de prevenção com Educação Ambiental no âmbito escolar e das comunidades, com promoção de oficinas e cursos de prevenção, primeiros socorros e percepção do risco, e treinamentos para ações e rotas de fuga em simulação de desastres. O mapeamento de risco de deslizamentos de encosta é realizado pela Defesa Civil do município em parceria com o Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro, buscando integrar setor operacional ao conhecimento acadêmico (PREFEITURA DE NOVA IGUAÇU, 2023).

Em Maricá, município circunvizinho à Microbacia do Rio Mato Grosso, há um Plano de Contingência para desastres causados por eventos extremos de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas e processos geológicos ou hidrológicos no município, com previsão de revisão periódica e sistemática (PREFEITURA DE MARICÁ, 2022). Também é divulgado pela Secretaria de Proteção e Defesa Civil de Maricá um Boletim Meteorológico do município (PREFEITURA DE MARICÁ, 2023) e são emitidos avisos para diferentes níveis de acordo com chuvas horária, diária e previstas para os próximos dias. Ainda, o planejamento das ações relacionadas a desastres em Maricá inclui a participação dos atores municipais no comitê gestor da Bacia Hidrográfica da Laguna de Saquarema, Jaconé e Jacarépia (PREFEITURA DE MARICÁ, 2022).

Cabe ressaltar que o Estado do Rio de Janeiro conta com um Plano de Contingências para Respostas aos Desastres Ocasionados pelas Chuvas Intensas, com nível Tático-Operacional, incluindo Plano de Emergência, que pode subsidiar o planejamento de desastres na Microbacia do Rio Mato Grosso (DEFESA CIVIL RJ, 2022).

A Prefeitura de Saquarema, representada pela Secretaria Municipal de Segurança e Ordem Pública em parceria com as secretarias de Comunicação, Agricultura e Esporte, Lazer e Turismo, Guarda Turística e Ambiental e Guarda Civil, esteve em Sampaio Correia na primeira edição do projeto “Defesa Civil no Seu Bairro”, em novembro de 2021. Nesse evento, a população foi orientada sobre os serviços disponíveis, foram consultados moradores sobre as demandas, e foram identificadas áreas de risco (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2021b). Essa proximidade da gestão de risco com a população é necessária, sendo indicada neste estudo a interlocução dos agentes desse projeto da prefeitura com o comitê gestor da bacia hidrográfica.

Empresas realizam serviços de PDI para diversos fins tanto com imagens de SR passivo (óptico) quanto ativo (ex.: radar). Um exemplo de imagem de radar com altíssima

resolução disponível para compra, que pode ser negociada por prefeituras e projetos do comitê gestor da bacia hidrográfica, é da constelação de satélites ICEYE, com 50 cm de resolução espacial, revisita diária ou sub-diária, e imagens nos períodos diurno e noturno. Além de venda de imagens para futuro processamento, a ICEYE (2023) disponibiliza, com custo avaliado caso a caso e para períodos desejados, produtos de PDI, como detecção de mudanças, monitoramento quase em tempo real para áreas específicas, e séries de dados para análise espaço-temporal de estimativa de cenários. Ainda, empresas brasileiras realizam serviços de PDI de imagens de radar, como a partir de imagens ICEYE (op. cit.), entregando produtos especializados de acordo com a demanda, tal como de deslizamentos de terra, inundações e monitoramentos diversos.

Como apresentado pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE, 2022), a implementação de uma sala de monitoramento e nowcasting de envio de avisos e alertas de fenômenos para o Estado do Rio de Janeiro, assim como sistema de monitoramento e alerta de tempo severo da Climatempo com tecnologia de inteligência artificial, que reúne satélites, radares e demais equipamentos de monitoramento de tempestades e raios para previsões, são acessíveis para prefeituras com cessão de estação meteorológica de baixo custo. Importante integração de ações estaduais e municipais como um sistema de gestão de riscos. Para tal, deve ser realizada a estruturação de equipes e equipamentos de recepção de avisos de sistemas de monitoramento e previsão no município, considerando dados na escala local, municipal, estadual e federal para emissão de alertas.

O monitoramento do tempo e do clima realizado pelo INPE para recortes municipais permite visualizar cartas sinóticas, que representam o campo de pressão atmosférica à superfície, imagens de radar, previsões meteorológicas e climáticas e arquivos com extensão voltada para o compartilhamento em páginas da internet. Já no aplicativo de smartphone “SOS Chuva” estão disponíveis dados de chuva em tempo real, previsão de chuvas em 20 minutos, temperatura no topo da nuvem por imagens de satélite e monitoramento de raios (INPE, 2022c). Ainda, portais de monitoramento global podem ser consultados para avaliar séries temporais em menor escala de detalhe, tal como o Global Climate Monitor, com dados mensais, anuais, normais e de tendências, estimados para o período de 1901 à atualidade, porém com limitação quanto a escala para microbacias, pois são elaborados com dados do CRU TS (2022), de 5 km de resolução espacial. Uma ferramenta de monitoramento meteorológico que também apresenta informações em baixa escala espacial, mas pode ser utilizada por comitês de bacias hidrográficas é o portal ou aplicativo Windy (WINDYTY,

2023), com modelos de previsão gerados a partir de dados de radares meteorológicos e satélites em tempo real e previsão de 10 dias.

Como alternativa local de baixo custo para o monitoramento de condições meteorológicas, Dixon et al. (2018), da Universidade de Loughborough, no Reino Unido, desenvolveram um sistema de fácil instalação, alimentado por painéis solares, que permite monitorar espacial e temporalmente emissões acústicas. Segundo Hanna (2020c), essa técnica alternativa é indicada para detectar movimentos de massa e comunicar alertas para os usuários, além de ser gerida pela comunidade e economicamente viável.

A exibição desses dados em portais da prefeitura e do comitê gestor da microbacia hidrográfica podem auxiliar no acompanhamento das condições meteorológicas para emitir alertas e acionar instituições responsáveis no atendimento às pessoas potencialmente afetadas. Esses dados meteorológicos também podem subsidiar outras atribuições do comitê gestor e órgãos fiscalizadores, como a cobrança pelo uso da água, que poderá considerar potencialidades e limitações atuais e futuras da disponibilidade desse recurso, a partir da integração deste estudo com outros métodos e dados, como de Engenharia, Meteorologia e Climatologia.

As soluções indicadas para redução das suscetibilidades a deslizamentos de encosta e inundações, assim como da fragilidade ambiental, podem estar alinhadas com objetivos nacionais e internacionais. As metas de ODS para 2030 e os caminhos indicados para alcançar a perspectiva de desenvolvimento sustentável indicada para as empresas no âmbito do documento Visão Brasil 2050 (CEBDS, 2021) são caminhos para captação de recursos, apoios e conhecimento neste sentido. Assim, parcerias público-privadas firmadas pela prefeitura e empresas que prestam serviços ecológicos e educacionais, assim como aquelas participantes do comitê gestor da bacia ou microbacia hidrográfica, poderão ser afirmadas com metas relacionadas à documentos nacionais e internacionais.

Os custos relacionados a implementação de sistemas de monitoramento, alerta, disponibilização dos dados e demais soluções mitigadoras podem ser incluídas em projetos passíveis de recorrer a recursos de fundos e programas ambientais. Entre os fundos de recuperação ambiental, o Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO, 2023) tem como missão aportar recursos estratégicos para a conservação da biodiversidade e está disponível desde 1996.

Os programas de pagamentos por serviços ambientais podem ser voltados para gestão sustentável dos recursos hídricos. O Comitê de Bacias Hidrográficas Lagos São João (CBHLSJ) criou o Fundo de Boas Práticas Socioambientais em Microbacias (FUNBOAS) em

2007 estimular o desenvolvimento socioeconômico com equilíbrio ecológico, sobretudo nas áreas de produção agropecuária, tendo já aplicado recursos na Microbacia do Rio Mato Grosso (CBHLSJ, 2007; 2022). O FUNBOAS aplicado à recursos hídricos estimulou que agricultores de uma microbacia beneficiada na Bacia Hidrográfica Lagos São João adotassem práticas de manejo mais sustentáveis, colaborando para a prestação dos serviços ecossistêmicos, e demandando monitoramento para permitir o desenvolvimento socioeconômico de comunidades associado à conservação ambiental (FULGENCIO, 2012). Levando em consideração o Estado do Rio de Janeiro, os projetos apoiados pelo FUNBOAS foram analisados e traçadas potencialidades e limitações, todavia foi reconhecido que “os projetos preconizam o convívio mais harmônico das práticas rurais e o meio ambiente promovendo a resiliência das regiões” (SILVA, 2018).

Exclusivo para pagamento por serviços ambientais em APPs e Reservas Legais, a nova Lei Federal 14.653 (BRASIL, 2023) permite que esses programas recebam recursos públicos, aumentando a possibilidade de investimento para a recuperação ambiental dessas áreas, conforme o artigo 2º que altera o artigo 9º da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais BRASIL (2021), indicando

“com preferência para aquelas localizadas no entorno de nascentes, localizadas em bacias hidrográficas consideradas críticas para o abastecimento público de água, assim definidas pelo órgão competente, ou em áreas prioritárias para conservação da diversidade biológica em processo de desertificação ou de avançada fragmentação” (BRASIL, 2023).

O projeto “Viveiro da Vida”, desenvolvido pela Prefeitura de Saquarema (2022c) desde 2021, estimula o cultivo agroecológico no município, no qual o cultivo é associado com plantas nativas do ecossistema em estrato arbóreo ou frutíferas, sendo de importância para a mitigação da fragilidade e suscetibilidades em áreas com produção agropecuária. Solução indicada para as áreas frágeis em vegetação cultivada e em áreas de mosaico de agricultura e pastagem.

Eventos como o “12º Seminário Diálogos Para a Prática do Desenvolvimento Sustentável / Sustentabilidade e Alimentação: Caminhos para Combater a Fome” do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (PPGPDS, 2023) podem subsidiar projetos que envolvam o desenvolvimento econômico local pela agricultura integrado à conservação ambiental.

A Embrapa disponibiliza listas voltadas para a adequação ao Código Florestal sobre estratégias e técnicas de recuperação ambiental, boas práticas agrícolas, soluções tecnológicas indicadas, espécies vegetais para recuperação disponível para a Mata Atlântica, e de mudas e

sementes disponível para o Estado do Rio de Janeiro (EMBRAPA, 2023). Além de permitir a consulta livre a essas listas, a Embrapa pode ser cada vez mais parceira em ações diretas na microbacia ou capacitações para a prefeitura ou membros do comitê gestor da bacia hidrográfica no sentido da recuperação ambiental.

Em áreas protegidas, a delimitação de áreas de amortecimento aparece como solução voltada para o Planejamento Ambiental, de modo que pode restringir atividades mais impactantes. A conservação dessas áreas já retorna recursos financeiros para o município, como pelo Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços Ecológico, que esteve em quinto lugar no ranking geral do Estado em 2022 (PREFEITURA DE SAQUAREMA, 2022d). Ainda, o Mercado de Carbono em implementação no Brasil deve ser avaliado pela prefeitura e gestão das áreas protegidas, pois também podem retornar fundos necessários para estimular o desenvolvimento sustentável na microbacia e no município como um todo.

As avaliações de viabilidade de implementação de UCs mais restritivas podem auxiliar na redução da fragilidade ambiental em áreas vegetadas sem instrumentos de conservação ou preservação ambiental. Ainda, o monitoramento da conservação das UCs existentes é indicado para o Planejamento Ambiental na microbacia.

Desastres decorrentes de inundações e movimentos de massa gravitacionais não são naturais, mas resultantes de políticas públicas ineficientes em conservação de áreas naturais. A Educação em todas as etapas de ensino aparece como oportunidade de transformação de uma sociedade que está em construção, para a formação de cidadãos participativos, ativos, engajados, com respeito às interrelações homem-natureza. Em áreas protegidas com possibilidade de atividades de Educação Ambiental, unidades escolares, centros de instrução e locais de eventos diversos localizados na microbacia, as atividades de Educação Ambiental podem ser voltadas para redução da fragilidade ambiental e das suscetibilidades a deslizamentos de encosta e inundação, com viés de desenvolvimento sustentável. Essas práticas também podem incluir as trilhas e suas áreas próximas, assim como margens vias asfaltadas.

Sobre as trilhas, a sinalização e estruturas para o deslocamento de pessoas podem ser voltadas tanto para a Educação Ambiental quanto às leis, indicações de trajetos mais adequados e comportamentos voltados para a conservação ambiental e segurança dos visitantes e turistas. Nos trechos que incluem estradas, a atenção para a segurança em relação a deslocamento de veículos deve ser destacada, tal como da presença de animais silvestres, alertando motoristas quanto ao perigo de atropelamentos da fauna. Para todos os usuários desses trajetos, caminhantes ou por veículos, a questão dos resíduos sólidos deve ser reforçada

em sinalizações e, quando viável, estruturas de captação e sistema de destinação permanente dos resíduos coletados.

Materiais como o “Temas Geológicos para Educação Ambiental” disponibilizado pelo SGB (2023c) sobre processos naturais modificadores do terreno, problemas ambientais decorrentes da falta ou excesso de água, ação da água em diversos sistemas, movimentos de massa, enchentes e inundações para os diferentes níveis escolares, podem ser considerados nas ações e nos projetos de Educação Ambiental formal ou informal, como em atividades lúdicas escolares.

Projetos de lei estão sendo discutidos no sentido do aumento da participação de estudantes no reflorestamento de vegetação nativa de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. São previstas atividades como plantio de mudas e o monitoramento da conservação ambiental. Um exemplo disso é a nova Lei 10.106/23, sancionada em 20 de setembro de 2023 que instituiu o programa “Plante Vida e Renove o Futuro”, voltado para estimular a participação de estudantes no reflorestamento de vegetação nativa no Estado do Rio de Janeiro, o qual poderá ser instituído nas escolas públicas e privadas fluminenses (ALERJ, 2023).

A população afetada pelos efeitos de eventos climáticos deve ser integrada em discussão de diagnóstico e delimitação de áreas de risco, assim como na proposição de soluções. Um meio é o mapeamento participativo – pela contribuição da comunidade – e colaborativo – com participação de instituições de pesquisa –, indicado pelo CEMADEN (2022), que em estudos voltados para a vulnerabilidade, a participação da população no mapeamento das áreas mais vulneráveis e prioritárias para mitigação, assim como na proposição de soluções pode gerar resultados mais detalhados e efetivos. Um exemplo da participação popular foi apresentado no Workshop de Mapeamento Colaborativo e Cartografia Social do Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável (IVIDES, 2022), com apresentações que foram desde o uso de dados livres do projeto OpenStreetMap, aplicações no planejamento urbano, representação de problemáticas socioterritoriais, importância do mapeamento com participação da população em geral e das crianças, entre outros. Nesse Workshop foi apresentado como as Geotecnologias podem estar associadas à colaboração e à Educação Ambiental na proposição de soluções aos problemas socioambientais enfrentados pelas comunidades.

Voltado para a conscientização sobre desastres naturais e suas interferências na população afetada, como o prejuízo econômico, as bacias-escola (KOBİYAMA et al., 2020) podem ser trabalhadas como conceitos na elaboração e projetos e ações educativas na

microbacia de estudo para promover a mitigação e a adaptação aos eventos climáticos extremos e a ocorrência de deslizamentos de encosta e inundação.

Na condição de exposição a riscos ambientais, o turismo foi tema discutido na “Live: Riscos Ambientais e Turismo Sustentável” do Grupo de Estudos Ambientais (GEA) do Instituto de Geografia da UERJ, mediada pela Prof.^a Dr.^a Vivian Castilho da Costa, do Instituto de Geografia da UERJ. Nessa live, foi destacado que o turismo é afetado tanto por alterações ambientais quanto causa efeitos na conservação e degradação ambiental. Nesse sentido, o turismo sustentável foi indicado como prática mais equilibrada entre a visitação ou turismo e a manutenção da biodiversidade e da geodiversidade (GÓES et al., 2022).

Quanto ao monitoramento do desmatamento, diversos são os projetos disponíveis para acompanhamento por Prefeituras e comitês de bacias hidrográficas. No Estado do Rio de Janeiro, o projeto “Olho no Verde” do INEA (2023) promove o monitoramento sistemático dos remanescentes florestais por imagem de satélite, detectando automaticamente alertas de desmatamento no estado e enviando essas informações às equipes de fiscalização do INEA de forma estratégica e inteligente. Já a plataforma Terrabrasilis do INPE (2023b) apresenta mapas e dados sobre supressão de vegetação nativa por bioma, incluindo a Mata Atlântica. Ainda, o Projeto Mapbiomas (2023) com as novas atualizações a partir de imagens de SR do satélite Sentinel-2 na resolução espacial de 10 m, disponíveis para utilização desde 2015, é uma das opções para a avaliação de gestores sobre a cobertura vegetal na Microbacia do Rio Mato Grosso ou outras áreas de interesse.

Ainda, a estruturação de um SIG pode servir para o tratamento e integração dos dados de suscetibilidades e fragilidade ambiental, assim como para as estimativas dos fenômenos causadores de desastres ambientais, indicação de áreas mitigadoras potenciais e prioritárias para ações de mitigação. Para a elaboração de um SIG voltado para essas análises no âmbito de bacias hidrográficas, Magalhães (2018) indica considerar diversas características de dados, programas computacionais, equipamentos, pessoas e procedimentos.

5.8.2 Soluções baseadas na natureza indicadas para áreas prioritárias de mitigação

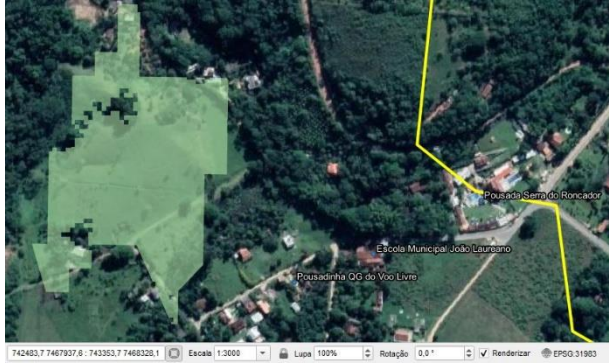
A partir de um exemplo de cada tema considerado como área prioritária de mitigação da fragilidade ambiental foi construído o Quadro 28, apresentando exemplo de imagem Google adicionada pelo complemento QMS no QGIS e indicação de solução ecológica mitigadora.

Entre as soluções ecológicas mitigadoras, uma SbN mais recente na literatura é a rede multifuncional verde-azul, que conecta áreas naturais e espaços projetados para manter funções do ecossistema natural, como de limpeza do ar e da água, provendo benefícios para as pessoas e demais seres vivos (BENEDICT; MACMAHON, 2006; GIP-SBN, 2023).

Quadro 28 – Exemplos de áreas prioritárias de mitigação da fragilidade ambiental na Microbacia do Rio Mato Grosso (continua)

Tema	Imagem	Solução ecológica mitigadora
Área protegida (APA das Serras do Mato Grosso – Tinguí – Castelhañas)		- Controle de erosão - Reflorestamento com espécies nativas - Turismo ecológico - Educação Ambiental
APP de margem de curso d'água		- Reflorestamento com espécies nativas

Quadro 28 – Exemplos de áreas prioritárias de mitigação da fragilidade ambiental na Microbacia do Rio Mato Grosso (continuação)

Tema	Imagem	Solução ecológica mitigadora
Desmatamento		- Reflorestamento com espécies nativas - Atividades de Educação Ambiental
Pontos de interesse (pousadas e escola)		- Telhados verdes para as edificações - Rede multifuncional verde-azul - Estruturas construídas para captação e armazenamento da precipitação - Atividades de Educação Ambiental - Turismo ecológico
Reserva Legal		- Reflorestamento com espécies nativas

Quadro 28 – Exemplos de áreas prioritárias de mitigação da fragilidade ambiental na Microbacia do Rio Mato Grosso (conclusão)

Tema	Imagem	Solução ecológica mitigadora
Trilha	 742761,8 7468875,0 : 743341,8 7469135,3 Escala 1:2000 Lupa 100% Rotação 0,0 °	- Recuperação de vegetação nas margens - Corredores e pontes verdes - Monitoramento e manejo da trilha com controle de erosão
Vegetação cultivada	 739089,3 7465674,7 : 739524,3 7465870,0 Escala 1:1500 Lupa 100% Rotação 0,0 °	- Cultivo agroecológico
Via	 745528 7465550 : 746978 7466201 Escala 1:5000 Lupa 100% Rotação 0,0 °	- Recuperação de vegetação nas margens - Corredores e pontes verdes - Calçadas verdes - Adequação de áreas de estacionamento e refugio - Monitoramento e controle de erosão de encostas (contenção) nas margens

Fonte: O autor, 2023.

As Soluções baseadas na Natureza (SbN) são tecnologias ou intervenções de Engenharia que buscam dar suporte aos processos naturais nos meios urbanos. São voltadas para mitigar alterações climáticas, auxiliar no gerenciamento de águas urbanas, criar ou recuperar habitats para espécies, produzir alimentos na cidade, cobrir edificações com tetos vegetados com vegetação espontânea, além de diversas alternativas apresentadas no Boletim de SbN (GIP-SBN, 2023).

A recuperação da vegetação em áreas próximas de vias asfaltadas ou não, e de trilhas, pode mitigar os efeitos de chuvas em áreas suscetíveis a deslizamentos de encosta ou inundação. A presença da vegetação aumenta a taxa de infiltração no solo e a recarga do lençol freático, reduzindo o escoamento superficial e consequentemente processos erosivos e danos a pessoas, bens materiais e à biodiversidade.

Para as áreas de média a muito alta fragilidade ambiental e a inundação próximas de vias pavimentadas, ou de interesse de pavimentação pela Prefeitura, além do estímulo a calçadas verdes visando aumentar a infiltração no solo, podem contar com soluções como a implementação de pavimentos permeáveis, como indicado por Carvalho (2015).

As macrozonas suburbanas localizadas na Microbacia do Rio Mato Grosso foram as áreas mais suscetíveis a inundação segundo o SGB (2019). Para essas áreas são indicadas soluções de infraestrutura verde, tais como reflorestamento, descompactação dos solos e armazenamento de vazão, adequações de áreas de estacionamento, instalações de telhados verdes e alternativas similares, ações de arborização, construções de corredores verdes, praças com cobertura vegetal e valas de infiltração (FERREIRA, 2022; RODRIGUES DOS SANTOS JUNIOR; BONTEMPI; FANTIN, 2022).

Nas áreas prioritárias para mitigação localizadas em áreas urbanizadas, assim como nas macrozonas urbanas do Plano Diretor, a infraestrutura verde consiste em uma rede multifuncional verde-azul (vegetação – sistemas hídrico/drenagem) que incorpora o retrofit (renovação) e adaptação da infraestrutura existente, proporcionando serviços ecossistêmicos essenciais para a sustentabilidade urbana de longo prazo. Segundo Herzog e Rosa (2010), essas soluções demandam planejamento, projeção e monitoramento para auxiliar na redução de enchentes e deslizamentos de encostas, além de incrementar o transporte “limpo”, capturar carbono, melhorar a qualidade das águas e a saúde da população com consequentes benefícios econômicos.

O Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde (SOLERA, 2020) pode auxiliar no planejamento e busca por soluções de infraestrutura verde de escala regional à local, permitindo ser avaliado para aplicação nos diferentes níveis de bacias hidrográficas.

Cabe ressaltar que deve ser consultada a base legal da implementação de infraestrutura verde, como indicado por Viana et al. (2018) para redução de riscos de inundação no Estado do Rio de Janeiro.

Acerca de soluções de Engenharia para redução da fragilidade ambiental e das suscetibilidades a deslizamentos de encosta e inundação, foram encontradas diversas alternativas, tais como: contenção de taludes; obras verdes de infraestrutura; controle de erosão; recuperação de passivos ambientais; revegetação (hidrossemeadura, enlevamento e plantio de mudas); drenagem, pequenas barragens, entre outras em áreas não urbanizadas. Estruturas construídas para captação e armazenamento da precipitação também podem ser construídas em parques e praças, como jardins de chuva, que são sistemas de biorretenção localizados entre áreas impermeáveis. Essas estruturas têm baixo investimento e manutenção simplificada, apesar de auxiliar atenuando o volume escoado após chuvas e proporcionar benefícios ambientais, econômicos e paisagísticos (MELO et al., 2014).

Nas áreas de maior fragilidade ambiental e suscetibilidades com edificações ou em expansão de ocupações, como na Macrozona Urbana de Jaconé, os telhados verdes para novas construções e existentes em áreas prioritárias de mitigação podem reduzir a recarga hídrica e esses efeitos. Nesse sentido, a captação da água da chuva por canaletas nas bordas de telhados ou nos muros podem armazenar esse recurso para uso indireto.

Já nas áreas prioritárias para mitigação localizadas em margens de rodovias, estradas e outros acessos viários, a recomposição da vegetação nas margens com espécies nativas, assim como a avaliação de viabilidade de implementação de corredores ecológicos (WOTIKOSKI et al., 2020) ou pontes ecológicas, conhecidas como pontes verdes (FERRARI, 2022), com exemplo em rodovia federal em Silva Jardim (KNUST; MARINHO, 2021), município localizado na Mesorregião das Baixadas Litorâneas. Ambas as soluções permitem o trajeto da fauna local entre fragmentos de vegetação de uma margem para outro das vias de acesso, sendo os corredores por espaço inferior à via de acesso e a ponte superior. Essas soluções podem ser associadas a implementação de cercas vivas ou telas de proteção para a fauna, como especificadas pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná (DER/PR, 2018), de maneira projetadas para também auxiliar na gestão da suscetibilidade a inundação e no aumento da cobertura vegetal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste estudo foi atingido com a indicação de áreas prioritárias para mitigação da fragilidade ambiental projetada para 2030, sobretudo na avaliação integrada às suscetibilidades a movimentos de massa e inundação do SGB. As áreas com média a muito alta fragilidade ambiental estimada no cenário t3 são indicativas para monitoramento e promoção de práticas ecológicas mitigadoras na Microbacia do Rio Mato Grosso, a fim de reduzir os danos nas ocorrências de eventos climáticos extremos. As indicações de Planejamento Ambiental, instrumentos legais e práticas ecológicas mitigadoras podem somar ao conhecimento dos gestores públicos e entidades parceiras para o desenvolvimento de soluções no sentido do desenvolvimento sustentável.

Quanto aos objetivos específicos, foi possível estimar as fragilidades ambientais com dados indiretos de acesso livre para 2010 e 2020 e projetado para t3. Foi necessário utilizar ferramentas comerciais no tratamento da imagem de Sensoriamento Remoto de t1, na geração de produtos para análise das transições de fragilidade ambiental entre t1 e t2 e na geração do cenário de fragilidade ambiental de t3.

O cálculo da fragilidade ambiental considerou fatores de Geologia, tipo de solo, intensidade pluviométrica, declividade e UCT. Para cada um dos temas foram realizados procedimentos de tratamento de dados, a fim de permitir sua integração. Cabe reforçar que a disponibilidade de dados com maior resolução espacial e temporal poderá aprimorar este estudo. Quanto aos tipos de solo, essa definição pode ser aprimorada por especialistas e a partir de publicações para a Microbacia do Rio Mato Grosso e entorno.

A ausência de ferramenta no QGIS de conversão dos dados numéricos das imagens multiespectrais utilizadas neste estudo para t1 e t2 limitou a aplicação dos índices de vegetação e água, assim como na proposta de utilização de um índice combinado no cálculo das fragilidades ambientais. Com a disponibilidade de imagens previamente tratadas em alta resolução espacial será possível testar a utilização desses índices em metodologias de avaliação de fragilidade ambiental e suscetibilidades a movimentos de massa e inundação. Ainda, novos estudos podem aprimorar o cálculo integrado entre os índices de água e vegetação, aplicado na fragilidade potencial alternativa, assim como a sobreposição das suscetibilidades a deslizamentos de encosta e inundação.

Práticas ecológicas mitigadoras foram propostas para os temas considerados como áreas mitigadoras potenciais classificadas como áreas frágeis. Ainda, foram propostas ações

integradas, como corredores ecológicos e estruturas de proteção da fauna no sentido de recuperação da biodiversidade, principalmente no entorno de vias.

A hipótese norteadora, na qual as áreas com alta fragilidade ambiental e altas suscetibilidades a deslizamento de encosta e inundação no período inicial (t1) apresentaram maiores valores de fragilidade no período seguinte (t2) foi contestada, pois nem todas as áreas de média até muito alta fragilidade ambiental em t1 foram classificadas como classes de maior fragilidade ambiental em t2. As análises realizadas a partir dos produtos gerados no *software* comercial IDRISI Selva permitiram avaliar transições de fragilidade ambiental. Cabe ressaltar que, apesar de ter sido desenvolvido para análises de transição e projeção de UCT, o módulo LCM do IDRISI Selva permitiu avaliar transições e gerar cenário preditivo da fragilidade ambiental.

Este estudo corroborou com a hipótese secundária, de que foram identificadas áreas de alta e altíssima fragilidade projetada para o futuro (t3) sobrepostas a áreas mitigadoras potenciais, que podem ser indicadas como áreas prioritárias para mitigação. Foi possível realizar a união por localização de polígonos de áreas frágeis com polígonos áreas mitigadoras potenciais, método que pode ser aplicado para elaborar produtos de convencimento para implementação de políticas públicas, instrumentos legais e projetos que promovam a mitigação da fragilidade ambiental associados ao desenvolvimento socioeconômico e à recuperação ambiental na Microbacia do Rio Mato Grosso.

As suscetibilidades a deslizamento de encosta e inundação e a fragilidade ambiental apresentaram-se de maneira diversificada na Microbacia do Rio Mato Grosso. Isso ressalta a importância da promoção de reuniões e ações sobre menores áreas no âmbito do CBHLSJ, a fim de identificar questões locais e promover soluções mitigadoras das suscetibilidades, da fragilidade e de outras condições que podem levar a perdas e danos ambientais e socioeconômicos. Essas avaliações mais detalhadas para cada microbacia poderão fazer parte da próxima atualização do Plano da Bacia Hidrográfica da Região dos Lagos e do rio São João, assim como do Plano Diretor Municipal de Saquarema. Ainda, carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação do município de Saquarema foi elaborada pelo SGB até 2009, não considerando feições erosivas que puderam ser identificadas após este período e outras alterações que tenham aumentado os níveis dessas suscetibilidades na Microbacia do Rio Mato Grosso.

A ausência de atualização do Censo Demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) antes previsto para 2020, devido à pandemia de SARS-CoV-2 no Brasil, limitou os potenciais deste estudo, que ao integrar projeções de fragilidade ambiental e

vulnerabilidade social poderia resultar em um estudo de risco ambiental. Porém, foi possível avaliar a distribuição da vulnerabilidade social com dados do Censo Demográfico de 2010 em relação à fragilidade ambiental prevista para 2030. A partir da próxima versão de dados socioeconômicos do Censo Demográfico será possível estimar cenários que considerem não somente fatores físicos, mas também socioeconômicos.

Os dados de diferentes fontes apresentam diferentes escalas espaciais em sua geração, o que demanda a equalização para uma escala que represente todas as camadas vetoriais e raster utilizadas, a fim de gerar produtos adequados de acordo com os temas abordados no estudo. Nesse estudo foi definida a resolução espacial de 5 m para o cálculo da fragilidade ambiental, porém nem todas as camadas foram consultadas nessa escala de detalhe. Assim, acredita-se que essa metodologia possa ser aplicada com dados em maior escala espacial para obter resultados mais detalhados e subsidiar projetos de soluções ecológicas.

Sobre a escala temporal, a utilização de séries temporais de dados vetoriais e de imagens de Sensoriamento Remoto poderá, cada vez mais, subsidiar estudos de cenários ambientais mais precisos. Isso poderá estar conectado aos períodos base de atualização dos instrumentos de planejamento como o Plano Diretor Municipal e o Plano da Bacia Hidrográfica, disponibilizando dados e informações para ao Planejamento Territorial e Ambiental.

O reconhecimento de cada área em campo, com auxílio da população e entidades locais, permitirá maior precisão na classificação do UCT e de outros temas abordados nesse estudo. Levando em consideração a área total de 32,6 km² da Microbacia do Rio Mato Grosso CBHLSJ (2021), o levantamento desses dados em campo torna-se custoso e prolongado, porém mais viável quando comparado a estudos com áreas maiores, como bacias hidrográficas de menor nível hierárquico, municípios, Estados etc. A participação da população pode enriquecer o mapeamento de áreas frágeis, suscetíveis, vulneráveis e de risco, tal como em projetos de mapeamentos comunitário e participativo.

Tanto a integração dos dados atualizados como os métodos de estimativas das suscetibilidades, da fragilidade ambiental e da indicação de áreas potencialmente mitigadoras e prioritárias para mitigação podem ser integrados em procedimentos de programação em Geoprocessamento, sendo possível adicionar outros temas e a automática atualização dos resultados a partir de dados atualizados, como a intensidade da pluviosidade, os tipos de solo e a inclusão da temperatura superficial.

Os dados de precipitação utilizados neste estudo foram limitados à disponibilidade até 23 de junho de 2023. Ainda, as simulações de cenários para períodos seguintes que levam em

conta previsões de mudanças climáticas globais, tais como do CHELSA, poderão subsidiar projetos de mitigação da fragilidade de médio a longo prazo, desde que atualizadas com maior escala espacial para aplicação em microbacias. Tanto da precipitação quanto dos demais fatores, as camadas futuramente atualizadas poderão ser utilizadas para novos cálculos da fragilidade ambiental da microbacia, avaliando e atualizando a geração de cenários preditivos para considerar no Planejamento Ambiental e Territorial a médio e longo prazo.

A utilização de imagens de Sensoriamento Remoto passivo por satélites de acesso gratuito também apresentou limitações. Desde a disponibilidade de imagens nos períodos considerados neste estudo, a cobertura por nuvens, a resolução espacial nativa das imagens multiespectrais e da banda pancromática, a resolução radiométrica e a ausência de banda no espectro do azul para casos como das imagens SPOT-5 (utilizadas para t1), a complexidade da correção do posicionamento das imagens de t1, até a continuidade da disponibilidade desses dados. Essa última característica remete aos projetos de disponibilização de imagens gratuitas, como das imagens SPOT-5 e Planet, que fazem parte de projetos de cooperação internacional, e das imagens RapidEye-3, que estiveram restritas para órgãos credenciados com imagens do período de 2011 até 2015. Em relação a t2, novas versões do satélite Sentinel-2 estão em fase de estudo para lançamento e funcionamento em conjunto com as demais, aumentando a resolução temporal, enquanto a próxima versão prevista para a missão Landsat, chamada Landsat Next, terá mesma resolução espacial das imagens Sentinel-2, permitindo um trabalho integrado em PDI de SR, porém com menor resolução espacial que as imagens utilizadas neste estudo.

Em relação à satélites com imagens de alta e altíssima resolução pode-se obter por cessão ou por aquisição com preços diferenciados pela Administração Pública mediante consultas. Essas imagens poderão potencializar as análises de prevenção de danos por eventos climáticos extremos e promoção de soluções mitigadoras. Ainda, nas áreas de maior fragilidade ambiental e exposição de pessoas e bens a deslizamento de encosta ou inundação, o monitoramento e voos por drones principalmente em áreas mais planas, aparecem como métodos de maior detalhamento na obtenção de imagens necessárias para o estudo da fragilidade ambiental e de proposição de soluções mitigadoras.

Ainda, o uso de imagens do *software* Google Earth Pro, apesar de disponíveis para t1 e t2, são indicadas somente para visualização em tela, com potencial de interpretação visual para diferentes instantes de t1 e t2, tal como no suporte à geração de amostras de UCT, porém não são aplicáveis para o PDI voltado para os diversos temas.

A aquisição de produtos de PDI de radar, como a partir de imagens ICEYE (50 cm de resolução espacial), é uma solução para o monitoramento de desastres ambientais que pode ser levantada por prefeituras e comitês de bacias hidrográficas. As características desses produtos permitem avaliar condições pré e pós-eventos extremos, assim como definir com maior precisão e em relação a séries temporais, as áreas mais suscetíveis a movimentos de massa e inundação, assim como as áreas mais frágeis e as prioritárias para mitigação, no período avaliado ou estimado para condições futuras. Essa poderá ser uma solução de monitoramento da aplicação das práticas mitigadoras potenciais. Ainda, essa tecnologia poderá ser simplificada em décadas posteriores, tal como por aplicações automatizadas em complementos do QGIS, assim como em outras integrações entre esse SIG e o programa de PDI SNAP.

Apesar da proposta de parâmetro adicional de fragilidade potencial não ser utilizada na geração do cenário e outras comparações, a utilização de índices espectrais calculados a partir de reflectâncias, ou disponibilizados previamente calculados com séries históricas de imagens de alta resolução, poderá aprimorar a estimativa de fragilidade ambiental e de cenários futuros, assim como ser aplicada na análise de suscetibilidades, fragilidades e no monitoramento de práticas mitigadoras.

Os cenários estimados para 2030 poderão ser reavaliados para períodos posteriores, tanto pela atualização dos dados, métodos e instrumentos de Planejamento Territorial e Ambiental considerados neste estudo, quanto na adição de temas biológicos, físicos, meteorológicos, climáticos e socioeconômicos. Nesse sentido, a atualização da base de dados socioeconômicos do IBGE pelo Censo Demográfico e da base cartográfica será de suma importância para o aprimoramento deste estudo de fragilidade ambiental a fim de se obter avaliações de vulnerabilidade social e risco aos fenômenos avaliados, seus cenários e a indicação de áreas e práticas mitigadoras pelos diferentes níveis de bacias hidrográficas. Esses procedimentos poderão estar integrados em soluções para SIG como em complementos do QGIS, permitindo acesso livre por comitês de bacias hidrográficas, prefeituras e instituições voltadas para a gestão de riscos ambientais.

Análises e cenários com períodos mais recentes de t1 poderão contar com imagens de maior resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal, obtendo informações mais detalhadas para o planejamento dessa e outras microbacias. Nesse aspecto estão incluídas as imagens multiespectrais da constelação e satélites Planet e das versões de satélites Sentinel-2, além da aquisição de imagens comerciais tanto multiespectrais, quanto hiperespectrais ou de levantamento mais detalhado da Topografia.

As atualizações de mapeamento de UCT dos projetos Mapbiomas, Dynamic World e Esri Land Cover, assim como do IBGE e do INEA, poderão formar as camadas de UCT de t1 e t2, sem a necessidade de realizar a classificação de imagens. Ainda, a vetorização de amostras ou das áreas totais de cada classe em campo, por especialistas com equipamentos de maior precisão posicional, podem superar a qualidade dos demais métodos.

As informações geradas a partir da aplicação desta metodologia e métodos adicionais poderão ser disponibilizadas em portais da prefeitura e do comitê da bacia hidrográfica por imagens, bancos de dados, WebGIS e Dashboards, servindo como material para a gestão da fragilidade ambiental da microbacia e para a promoção da Educação Ambiental sobre desastres ambientais.

Esta pesquisa poderá ser considerada em documentos de planejamento da área da Microbacia do Rio Mato Grosso, como na revisão e complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Lagos São João, adicionando as avaliações de suscetibilidades e fragilidade ambiental, assim como base para futuros estudos de vulnerabilidade e risco que considerem a atualização do censo demográfico e outros cenários preditivos, indicando áreas e práticas mitigadoras potenciais por sub-bacia ou microbacia que compõem o município de Saquarema e de outros municípios limítrofes.

Este estudo buscou integrar informações de suscetibilidades a deslizamentos de encosta e inundações com a fragilidade ambiental, levando em consideração fatores físicos e naturais, com introdução à abordagem de vulnerabilidade social. Nessa integração foram apresentadas como áreas frágeis aquelas que tiveram fragilidade ambiental projetada para t3 como média, alta ou muito alta, assim como as suscetibilidades à movimentos de massa e inundação, pois em t3 as áreas de médias fragilidade ou suscetibilidades podem chegar a ser de alta ou muito alta, o que seria menos provável para as áreas de baixa ou muito baixa. Nesse sentido, podem ser elaborados estudos considerando somente como áreas frágeis ou suscetíveis as de alta e muito alta, o que não foi realizado neste estudo.

Acreditamos que possa ser aprimorado incluindo fatores socioeconômicos, culturais, políticos, entre outros temas sociais para o cálculo do risco ambiental, assim como espera-se que sirva como base metodológica para a integração de outras suscetibilidades da microbacia com a fragilidade ambiental, utilizando dados mais atualizados e em maior escala espacial.

Espera-se que o plano da bacia hidrográfica que compreende a microbacia de estudo considere uma atualização dos limites da microbacia compatível com os limites atualizados do município, que inclua a avaliação de suscetibilidades a deslizamentos de encosta e inundação, assim como da fragilidade ambiental e da vulnerabilidade social, e seus cenários

preditivos. Assim, estudos de vulnerabilidade ou risco poderão ser abordados em planos de bacias hidrográficas considerando, por exemplo, a atualização do Censo Demográfico do IBGE, imagens de SR com maiores resoluções, levantamentos em campo, ferramentas de Geoprocessamento mais atuais como aplicações com Inteligência Artificial, permitindo indicar áreas prioritárias de mitigação e práticas mitigadoras potenciais viabilizadas a partir de programas, projetos ou fundos de recursos por bacia, sub-bacia ou microbacia hidrográfica.

Essa metodologia apresentou ainda o diferencial de indicar áreas mitigadoras de efeitos de eventos climáticos extremos, dada as suscetibilidades a deslizamentos de encosta e inundação e a fragilidade ambiental, essa projetada para 2030. Até esse período de t3, as potenciais soluções mitigadoras poderão ser desenvolvidas sobretudo em áreas prioritárias para mitigação, assim como integrar os Planos de Redução à Riscos de Desastres Ambientais do CEMADEN e planos municipais que sejam desenvolvidos sobre esses temas. Ressalta-se a importância do mapeamento contínuo de suscetibilidade à movimentos de massa e inundações do SGB, seja elaborado por esta instituição, por órgãos estaduais ou pela prefeitura, a fim de gerar informações mais precisas para a redução de ocorrências e danos sob eventos climáticos extremos, esses esperados para aumentar em frequência e magnitude de danos nas próximas décadas. Quanto à inundação, estudos e bases de dados de variação de maré, de vazão dos cursos d'água e de precipitação podem refinar a suscetibilidade à inundação para a microbacia.

A técnica deste estudo de adaptação das metodologias de estimativa da fragilidade ambiental de Ross e de Valeriano aplicada a bacias hidrográficas, incluindo a suscetibilidade a movimentos de massa e inundações traz um diferencial que pode subsidiar novos estudos e o Planejamento Territorial em bacias hidrográficas, com os parâmetros considerados nessa pesquisa ou adicionando novos temas de acordo com a bacia ou microbacia hidrográfica de estudo. Por fim, as Soluções Baseadas na Natureza estão entre as propostas mais discutidas quanto à adaptação às mudanças climáticas globais e aumento de eventos climáticos extremos, porém não são as únicas soluções previstas nos estudos acadêmicos, como nessa metodologia. Nesse sentido, a integração das suscetibilidades com a fragilidade ambiental, adicionada de cenários preditivos, poderá subsidiar políticas públicas e angariar investimentos para a implementação de soluções de mitigação das suscetibilidades e da fragilidade ambiental, a fim de promover uma melhor qualidade de vida e a conservação da biodiversidade e da geodiversidade nas próximas décadas na Microbacia do Rio Mato Grosso e em outras microbacias hidrográficas do país.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, Z. et al. Spatiotemporal change analysis and future scenario of LULC using the CA-ANN approach: A case study of the Greater Bay Area, China. *Land* 2021, v. 10, n. 6, p. 1-26, 2021. <https://doi.org/10.3390/land10060584>.
- ABDALLA, L. S.; OLIVEIRA, L. C.; VOLOTÃO, C. F. S. Modelagem dinâmica da vegetação baseada em autômatos celulares: um estudo de caso da regeneração da Mata Atlântica no distrito de Aldeia Velha – RJ. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 67, n. 3, p. 669-690, 2015. <https://doi.org/10.14393/rbcv67n3-44656>.
- ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. *Webinar: Chuvas, Deslizamentos e Tragédias – Como fazer o gerenciamento das áreas de riscos e evitar ou reduzir desastres nas cidades*. 2022. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=k3IM9Geb--o>>. Acesso em: 10 mai. 2022.
- ABRÃO, C. M. R.; BACANI, V. M. Diagnóstico da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio, MS: subsídio ao zoneamento ambiental. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 38, n. 3, p. 619-645, 2018. <https://doi.org/10.5216/bgg.v38i3.56362>.
- ALASKA INSTITUTE. *ASF Data Search Vertex*. Disponível em: <<https://search.asf.alaska.edu>>. Acesso em: 10 mai. 2022.
- ALERJ – Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro. *Lei Complementar nº 133, de 15 de dezembro de 2009*. 2009. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/contlei.nsf/a99e317a9cfec383032568620071f5d2/441841587d7bba44832576a1005ebdb4>>. Acesso em: 05 jul. 2021.
- _____. *Agora é lei: alunos poderão participar de programa de reflorestamento da vegetação nativa*. 2023. Disponível em: <<https://www.alerj.rj.gov.br/Visualizar/Noticia/59067>>. Acesso em: 22 set. 2023.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Estugarda, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. Disponível em: <http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.
- ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CASTRO, C. A. C. Início das chuvas na região Sudeste do Brasil: análise climatológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: SBMET, 2002.
- ALMEIDA, L. Q. *Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos: bacia hidrográfica do rio Maranguapinho, região metropolitana de Fortaleza, Ceará*. 2010. 278 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/104309>>. Acesso em: 07 ago. 2022.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 3. ed., 2015, p. 39-52.

AMAN, S. N. A.; LATIF, Z. A.; PRADHAN, B. Spatial probabilistic approach on landslide susceptibility assessment from high resolution sensors derived parameters. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF THE DIGITAL EARTH, 8. *Anais eletrônicos...* IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, v. 18, 2014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012057>.

ANA – Agência Nacional de Águas. *Catálogo de Metadados: Isoietas*. 2005. <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c7c9289c-0bea-463d-a941-e252078bcd9d>>. Acesso em: 04 mar. 2022.

_____. *Codificação de bacias hidrográficas pelo método de Otto Pfafstetter: Aplicação na ANA*. 2012. 50 p. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7bb15389-1016-4d5b-9480-5f1acdadd0f5/attachments/Manual_Codificacao_de_Bacias_de_Otto_Pfafstetter.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

_____. *Portal HidroWeb*. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>>. Acesso em: 28 jul. 2022a.

_____. *Sistema HIDRO – Telemetria*. <<http://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx>>. Acesso em: 28 jul. 2022b.

ANDRADE, M. M. N.; BRABO, L. S. Técnicas com multi-sensores para mapeamento de inundação: um estudo de caso na cidade de Tarauacá (Acre, bacia Amazônica, Brasil). *Revista Geonorte*, v. 13, n. 42, p. 90-111, 2022. <https://doi.org/10.21170/geonorte.2022.V.13.N.42.90.111>.

ANEAS DE CASTRO, S. D. Riesgos y peligros: una visión desde la Geografía. *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, Barcelona, n. 60, p. 1-15, 2000. Disponível em: <<http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>>. Acesso em: 22 dez. 2021.

ANTONELLI, T. et al. (Orgs.). *Cartas municipais de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações (versão 1)*. CPRM, v. 1, 2020. (Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial).

ANTUNES, F. S.; FERNANDES, M. C. Análise geoecológica das enchentes nas bacias hidrográficas urbanas da área gênese de Petrópolis-RJ. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Orgs.). *Geografia Física e as mudanças globais*. Fortaleza: Editora UFC, 1. ed., 2019. p. 1-12. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/337570675_ANALISE_GEOECOLOGICA_DAS_ENCHENTES_NAS_BACIAS_HIDROGRAFICAS_URBANAS_DA_AREA_GENESE_D_E_PETROPOLIS-RJ>. Acesso em: 10 abr. 2022.

ANTUNES, L. C. *Mapa de Solos*. 2021. Disponível em: <<https://www.mapasnasaladeaula.org/mapas-do-projeto/brasil/mapa-de-solos>>. Acesso em: 16 dez. 2022.

ARAUJO, D. S. D. The Cabo Frio Region. In: DAVIS, S. D. et al. (Eds.). *Centers of plant diversity: a guide and strategy for their conservation: The Americas*. Oxford: WWF; IUCN, v. 3, 1997. p. 373-375.

ARAÚJO, J. P. C.; BARELLA, C. F.; FERNANDES, N. F. Modelagem da susceptibilidade de escorregamentos utilizando o método de pesos de evidência em uma região montanhosa de clima tropical. *Revista Geociências (UNESP)*, v. 40, n. 1, p. 137-155, 2021. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i1.14992>.

ARGENTO, M. S. F.; CRUZ, C. B. M. Mapeamento geomorfológico. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 264 p.

ARMOND, N. B. *Entre eventos e episódios: As excepcionalidades das chuvas e os alagamentos no espaço urbano do Rio de Janeiro*. 2014. 239 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/items/0a360fc3-4c40-4b5b-8093-c79d3b961f27>>. Acesso em: 22 abr. 2022.

ASADA, H.; MINAGAWA, T. Impact of vegetation differences on shallow landslides: a case study in Aso, Japan. *Water*, v. 15, n. 18, 2023. <https://doi.org/10.3390/w15183193>.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1., Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABMS/ABGE/PUCRJ, v. 2, 1992, p. 721-733.

_____. *Carta de risco de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba, SP*. 2001. 196 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

AVELAR, S. et al. Targeting sustainability issues at geosites: a study in Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil. *Geoheritage*, v. 10, p. 1-9, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12371-016-0212-1>.

AVELAR, S.; TOKARCZYK, P. Analysis of land use and land cover change in a coastal area of Rio de Janeiro using high-resolution remotely sensed data. *Journal of Applied Remote Sensing*, v. 8, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.083631>.

BACANI, V. M. et al. Sensoriamento remoto e SIG aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica. *Mercator*, v. 14, n. 2, p. 119-135, 2015. <https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0008>.

BARBOSA, A. F. 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, 2015. https://doi.org/10.11137/2015_1_170_179.

- BAHR, G. C.; CARVALHO, S. M. Identificação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do arroio Uvaranal, como subsídio ao projeto de expansão urbana de Telêmaco Borba – PR. *RA´EGA*, v. 26, p. 157-181, 2012. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/download/30155/19465>>. Acesso em: 28 dez. 2021.
- BARATA, M. M. L. (Coord.) *Mapa da vulnerabilidade da população dos municípios do Estado do Rio de Janeiro frente às mudanças climáticas*. Fiocruz, 2014. 146 p. Disponível em: <https://www.fiocruz.br/ioc/media/20150722_Relatorio_Final_RJ.pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.
- BARROS, P. H. C. A.; VALADÃO. Aquisição e produção do conhecimento em geomorfologia: a investigação geomorfológica e seus conceitos fundantes. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, v. 22, n. 2, p. 416-436, 2018. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2018.123896>.
- BATISTA, D. B. *Geologia da Serra do Tingui e arredores, Saquarema, RJ*. 2012. 55 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/18172>>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- BECK, U. *Democracia y sus enemigos: textos escogidos*. Barcelona: Ediciones Paidós, 2000. 192 p.
- BELATO, L. S.; SERRÃO, S. L. C.; DIAS, R. P. Diagnóstico da fragilidade ambiental na Bacia do Submédio Tocantins: UHE Tucuruí. *Natural Resources*, v. 9, n. 1, p. 28-37, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/335597031_Diagnostico_da_fragilidade_ambiental_na_Bacia_do_Submedio_Tocantins_UHE_Tucuru>. Acesso em: 20 dez. 2021.
- BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. *Green Infrastructure: linking landscapes and communities*. Washington: Island Press, 2006. 320 p.
- BENINI, S. M. *Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana: estudo de caso da cidade de Tupã/SP*. 2015. 218 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/items/5bf3fd3b-6080-4ae8-b657-7bac22c48f1f>>. Acesso em: 22 dez. 2021.
- BESER DE DEUS, L. A. *Espaço e tempo como subsídios à construção de cenários de uso e cobertura da terra para o planejamento ambiental na Amazônia: o caso da Bacia do Rio Acre*. 2013. 384 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<https://www.ppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/teses-e-dissertacoes/2013/413-espaco-e-tempo-como-subsidios-a-construcao-de-cenarios-de-uso-e-cobertura-da-terra-para-o-planejamento-ambiental-na-amazonia-o-caso-da-bacia-do-rio-acre>>. Acesso em: 20 jun. 2020.
- BEVEN, K.; KIRKBY, M. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Journal, Taylor & Francis*, v. 24, n. 1, p. 43-69, 1979. <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>.

BEZERRA, J. R. *Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia de solos na bacia do rio Bacanga, São Luís, Maranhão*. 2011. 250 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36647.34724>.

BIDEGAIN, P.; PEREIRA, L. F. M. *Plano da Bacia Hidrográfica da Região dos Lagos e do Rio São João*. Rio de Janeiro: Consórcio Intermunicipal para Gestão das Bacias Hidrográficas da Região dos Lagos, Rio São João e Zona Costeira, 2005. 153 p. Disponível em: <<https://www.cbhlagossaojoao.org.br/wp-content/uploads/2021/03/Plano-Bacia-LSJ.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2020.

BIGARELLA, J. J. (Org.) *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Florianópolis: Editora da UFSC, v. 3, 2003. p. 877-1436.

BILGIN, M. S. *Easy AHP 1.0*. 2015. Disponível em: <<https://plugins.qgis.org/plugins/EasyAHP>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

BISPO, P. C. et al. Análise da suscetibilidade aos movimentos de massa em São Sebastião (SP) com o uso de métodos de inferência espacial. *Revista Geociências (UNESP)*, v. 30, n. 3, p. 467-478, 2011. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/5563>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

BITAR, O. Y. et al. *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações – 1:25.000*: nota técnica explicativa. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT); Brasília: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2014. 50 p.

BO-CAI, G. Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Imaging Spectrometry*. In: SYMPOSIUM ON OE/AEROSPACE SENSING AND DUAL USE PHOTONICS, 1995, Orlando. *Anais...* Orlando, v. 2480, 1995. <https://doi.org/10.1117/12.210877>.

BOFF, R. A.; CABRAL, S. M. Vulnerabilidade socioeconômica: desigualdade social, exclusão e pobreza no Brasil. *Boletim de Conjuntura (BOCA)*, Boa Vista, v. 13, n. 38, p. 71-88, 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7648187>.

BOHRER, C. B. A. et al. Mapeamento da vegetação e do uso do solo no Centro de Diversidade Vegetal de Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil. *Rodriguésia*, v. 60, n. 1, p. 1-23, 2009. <https://doi.org/10.1590/2175-7860200960101>.

BONHAM-CARTER, G. F. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Ontario: Pergamon, 1. ed., 1994. 398 p.

BOUCHER et al. Presentation and Evaluation of the IPSL-CM6A-LR Climate Model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, v. 12, n. 7, 2020. <https://doi.org/10.1029/2019MS002010>.

BORSATO, R. (Coord.). *Ecorregiões do Brasil*. Série Cadernos Técnicos, v. 3, 2015. 398 p.

BRASIL – Presidência da República do Brasil. *Normas Técnicas da Cartografia Nacional*. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Disponível em: <https://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/legislacao/legisla_decreto_89817_d.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2022.

_____. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 01 fev. 2022.

_____. *Política Nacional de Recursos Hídricos*. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Brasília, 1. ed., 1997. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 20 ago. 2021.

_____. *Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza*. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm>. Acesso em: 22 fev. 2022.

_____. *Estatuto da Cidade*. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm>. Acesso em: 01 fev. 2022.

_____. *Política Nacional de Proteção e Defesa Civil*. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm>. Acesso em: 10 dez. 2021.

_____. *Novo Código Florestal*. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012b. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 10 set. 2022.

_____. *Programa de Regularização Ambiental*. Decreto nº 7.830 de 17 de outubro de 2012c. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/decreto/d7830.htm>. Acesso em: 22 jun. 2022.

_____. *Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais*. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2021/Lei/L14119.htm>. Acesso em: 29 ago. 2023.

_____. *Lei nº 14.653, de 23 de agosto de 2023*. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2023-2026/2023/Lei/L14653.htm>. Acesso em: 29 ago. 2023.

BRUM, M. L. et al. Relação de inundações e a caracterização morfológica da microbacia hidrográfica do Lajeado do Moinho na cidade de São Sepé-RS. *Anuário do Instituto de Geociências*, UFRJ, n. 3, v. 43, p. 436-443, 2020. https://doi.org/10.11137/2020_3_436_443.

BURROUGH, P. A.; MCMILLAN, R. A.; DEURSEN, W. Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observation and topography. *Journal of Soil Science*, v. 43, p. 193-210, 1992. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1992.tb00129.x>.

BURTON, I.; KATES, R. W.; WHITE, G. F. *The environment as hazard*. New York: The Guilford Press, 2. ed., 1993. 290 p.

BUYUNGO, J. *Object-based Image classification in QGIS || OBIA !! || A complete Tutorial*. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=fX2UpOwoYLk>>. Acesso em: 05 set. 2023.

C3S – Copernicus Climate Change Service. *ERA5 monthly averaged data on single levels from 1940 to present*. 2019. <https://doi.org/10.24381/cds.f17050d7>.

CABRAL, J. B. P. et al. Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento. *GeoFocus*, n. 11, p. 51-69, 2011. Disponível em: <<https://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/212>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

CADIER, E. et al. Avaliação dos estudos referentes aos recursos hídricos das pequenas bacias do Nordeste Brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 7., Salvador. *Anais...* Salvador: ABRH, v. 2, 1987, p. 225-239.

CAGNA, C. E. *QGIS Python Plugins Repository: Censo IBGE*. 2021. Disponível em: <https://plugins.qgis.org/plugins/dados_censo>. Acesso em: 11 nov. 2022.

CALDERANO FILHO, B. et al. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de regiões tropicais montanhosas com suporte de SIG. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 35, n. 3, p. 268-288 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/183722/1/2018-036.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2023.

CÂMARA, G. et al. Inferência geográfica e suporte à decisão. Técnicas de Inferência Geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd>>. Acesso em: 22 set. 2022.

CAMPOS, A. C. *Sobe para 232 número de mortos na tragédia de Petrópolis*. Agência Brasil, 2022. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-03/sobe-para-232-numero-de-mortos-na-tragedia-de-petropolis>>. Acesso em: 12 jul. 2022.

CAMPOS, J. A. *Fragilidade ambiental e capacidade de uso da terra da bacia hidrográfica do rio Caratinga, MG*. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

CAMPOS, J. A. et al. Environmental fragility and land use capacity as instruments of environmental planning, Caratinga River basin, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, v. 80, n. 264, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09553-2>.

CAMPOS, S. et al. (Orgs.). *Geoprocessamento aplicado no planejamento de bacias hidrográficas* [recurso eletrônico]. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. 127 p.

CAPISTRANO, G. G. et al. Evidence of Neoproterozoic active continental margin-Geochemistry and isotope of high-grade paragneiss from the Ribeira Oregon, SE Brazil.

Journal of South American Earth Sciences, v. 77, p. 170-184, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.05.006>.

CAPETTI, P. et al. '*Cidades do petróleo*' enfrentam o desafio da expansão desordenada. *O Globo Economia*, 2021. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/cidades-do-petroleo-enfrentam-desafio-da-expansao-desordenada-24676497>>. Acesso em: 20 set. 2023.

CARDONA, O. D. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. In: BANKOFF, G.; FRERKS, G.; HILHORST, D. (Eds.). *Mapping Vulnerability, Disasters, Development and People*. Londres: Earthscan, 2004. p. 37-51. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/254267457_The_Need_for_Rethinking_the_Concepts_of_Vulnerability_and_Risk_from_a_Holistic_Perspective_A_Necessary_Review_and_Criticism_for_Effective_Risk_Management1>. Acesso em: 20 abr. 2021.

CARVALHO, C. F. G. *Estudo de pavimentos permeáveis em zonas urbanas: Avaliação da sua eficiência na redução do escoamento superficial*. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.6/4926>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Orgs.). *Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios*. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p. Disponível em: <<http://planodiretor.mprs.mp.br/arquivos/mapeamento.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

CARVALHO, E. M.; PINTO, S. A. F. Fusão de imagem CBERS-2B (CCD e HRC) para atualização de dados de cartas topográficas e de imagens de menor resolução espacial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, 2011. p. 7434-7441. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.11.13.23/doc/thisInformationItemHomePage.html>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

CARVALHO, J. *Deslizamentos de terra interditam serra que liga Maricá à Saquarema*. Lei Seca Maricá, 2022a. Disponível em: <<https://leisecamarica.com.br/noticia/41588/deslizamentos-de-terra-interditam-serra-que-liga-marica-e-saquarema>>. Acesso em: 25 fev. 2022.

_____. *Homem fica ferido após deslizamento de terra na serra Maricá x Saquarema*. Lei Seca Maricá, 2022b. Disponível em: <<https://leisecamarica.com.br/noticia/41590/homem-fica-ferido-apos-deslizamento-de-terra-na-serra-marica-x-saquarema>>. Acesso em: 25 fev. 2022.

CARVALHO, O. M. O. *Análise da vulnerabilidade socioambiental do município de Mangaratiba por técnica de geoprocessamento*. 2015. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. Environmental risks and geography: conceptualizations, approaches and scales. *Anuário do Instituto de Geociências*, UFRJ, v. 28, n. 2, p. 11-30, 2005. https://doi.org/10.11137/2005_2_11-30.

CASTRO, A. L. C. *Glossário de Defesa Civil estudos de riscos e medicina de desastres*. Brasília: Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, 5. ed., 2019. 191 p. Disponível em:

<<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/glossario.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2022.

CAVALCANTE, J. C. et al. Fragilidade ambiental potencial e emergente da Bacia do Rio Mocajuba – PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 3, p. 1417-1433, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1417-1433>.

CBHLSJ – Comitê da Bacia Hidrográfica Lagos São João. *Fundo de Boas Práticas Socioambientais em Microbacias e seu regulamento*. Resolução nº 013/2007. Disponível em: <<https://cbhlagossaojoao.org.br/resolucoes/aprova-a-criacao-do-fundo-de-boas-praticas-socio-ambientais-em-microbacias-e-seu-regulamento>>. Acesso em: 03 ago. 2023.

_____. *Sistema de informação – SIGA Lagos São João*. Disponível em: <<http://cbhlagossaojoao.org.br/sistema-de-informacao-sig-lagos-sao-joao>>. Acesso em: 18 jun. 2021.

_____. *Fundo de Boas Práticas Socioambientais em Microbacias: Resumo*. 2022. <https://cbhlagossaojoao.org.br/wp-content/uploads/2022/12/FUNBOAS_Resumo.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2023.

CEBDS – Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável. *Visão 2050*. 2021. Disponível em: <https://cebds.org/wp-content/uploads/2021/03/Visao-2050_CEBDS.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2022.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. *Histórico da criação do CEMADEN*. [s. d.]. Disponível em: <<http://www2.cemaden.gov.br/historico-da-criacao-do-cemaden>>. Acesso em: 07 jul. 2023.

_____. *Plano Diretor 2019-2022*. 2019. 164 p. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2019/06/Plano_Diretor_CEMADEN_2019-2022.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2022.

_____. *Sistema de Cadastro de Deslizamentos e Inundações*. 2020a. Disponível em: <<https://geoportal.cprm.gov.br/portal/apps/sites/#/scdi2>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

_____. *O Alerta*. 2020b. Disponível em: <<http://www2.cemaden.gov.br/o-alerta>>. Acesso em: 07 jul. 2023.

_____. *Série de debates Cemaden: Mapeamento de Risco*. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=gbQoCjBwQpQ>>. Acesso em: 01 mar. 2023.

_____. *Midiateca: Manual colaborativo de mapeamento participativo*. 2022. Disponível em: <<https://educacao.cemaden.gov.br/midiateca/manual-colaborativo-de-mapeamento-participativo>>. Acesso em: 13 abr. 2023.

CEMADEN-RJ – Secretaria de Estado de Defesa Civil. Governo do Estado do Rio de Janeiro. *Plano de Contingência Tático-Operacional*. 2021. Disponível em: <http://www.defesacivil.rj.gov.br/images/2021/12/PLANO_ESTADUAL_DE_PROTECAO_E_DEFESA_CIVIL_Atualizacao_2021_12_28_1640792939.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2022.

_____. *Mapa Interativo*. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rj.gov.br/index.php/previsao-do-tempo-cemaden/mapa-interativo>>. Acesso em: 30 out. 2023.

CEPED/UFSC – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais de 1991 a 2012*. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2012, 2. ed., Volume Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

CHAVES, M. A. *Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes para a Bacia Amazônica*. 2002. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.

CHELSEA. *Downloads*. Disponível em: <<https://chelsea-climate.org/downloads>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

CHEN, J. et al. A simple and effective method for filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images. *Remote Sensing of Environment*, v. 115, n. 4, p. 1053-1064, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.010>.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blucher, 2. ed., 1980. 188 p.

_____. *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236 p.

CHRS – Center for Hydrometeorology and Remote Sensing. *Data Portal*. Disponível em: <<https://chrsdata.eng.uci.edu>>. Acesso em: 31 out. 2022.

CILSJ – Consórcio Intermunicipal Lagos São João. *Termo de Referência: Contratação de serviço de pessoa jurídica para a revisão e complementação do Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Lagos São João*. 2022. (ANEXO I). Disponível em: <https://cbhlagossaojoao.org.br/wp-content/uploads/2022/12/3Anexo-I_Termo_de_Referencia.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2023.

CLIMDEX. *Access data*. Disponível em: <<https://www.climdex.org/access>>. Acesso em: 11 out. 2023.

CLARK, W. A. V. Markov chain analysis in Geography: an application to the movement of rental housing areas. *Annals of The Association of American Geographers*, v. 55, n. 2, p. 351-359, 1965. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1965.tb00523.x>.

CLARK LABS. *Land Change Modeler for ArcGIS Support*. <<https://clarklabs.org/support/lcm-for-arcgis>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

CLIMATE-DATA. *Dados climáticos para cidades mundiais*. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

CLIMATEMPO. *Clima e Previsão do Tempo*. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

CNES – Centro Nacional de Estudos Espaciais. Agência Espacial Francesa. *SPOT 5 Supermode*. [s. d.]. Disponível em: <<http://spot5.cnes.fr/gb/systeme/3110.htm>>. Acesso em: 02 mai. 2023.

_____. *Orfeo ToolBox*. Disponível em: <<https://www.orfeo-toolbox.org>>. Acesso em: 27 jun. 2023a.

_____. *SPOT 1 to 5 satellites*. Disponível em: <<https://regards.cnes.fr/user/swh/modules/62>>. Acesso em: 02 mai. 2023b.

_____. *OpticalCalibration*. Disponível em: <https://www.orfeo-toolbox.org/CookBook/Applications/app_OpticalCalibration.html>. Acesso em: 20 jul. 2023c.

CNM – Confederação Nacional de Municípios. *Desastres obrigam mais de 4,2 milhões de pessoas que foram negligenciadas pelas políticas públicas a buscarem alternativas de moradia nos últimos dez anos*. 2023a. (Estudo Técnico). Disponível em: <https://cnm.org.br/storage/noticias/2023/Links/27072023_Estudo_Habita%C3%A7%C3%A3o_Desastre_revisado_area_publica%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2023.

_____. *Desastres em 47% dos Municípios forçaram mais de 4,2 milhões a deixarem suas casas nos últimos 10 anos*. 2023b. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/desastres-em-47-dos-municipios-forcaram-mais-de-4-2-milhoes-a-deixarem-suas-casas-nos-ultimos-10-anos>>. Acesso em: 08 ago. 2023.

CONGEDO, L. *Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS*. Journal of Open Source Software, v. 6, n. 64, 2021. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>.

CONGRESSO NACIONAL. *Autoriza a prorrogação de contratos por tempo determinado no âmbito da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE*. Medida Provisória nº 1.125, de 2022. 2022. Disponível em: <<https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9174148>>.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP J. C. Drainage basins and sediment transfer. In: COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. (Orgs.). *Geomorphology in environmental management: A new introduction*. New York: Clarendon Press, 2. ed., 1990. 409 p.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986*. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF>>. Acesso em: 16 nov. 2021.

CONFALONIERI, U. E. C. Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. *Revista Terra Livre*, v. 1, n. 20, p. 193-2004, 2003. Disponível em: <<https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/185>>. Acesso em: 22 jan. 2023.

CONRAD, O. et al. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*, v. 8, n. 7, p. 1991-2007, 2015. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>.

COPERNICUS. *Copernicus Digital Elevation Model*. Disponível em: <<https://spacedata.copernicus.eu/en/web/guest/collections/copernicus-digital-elevation-model>>. Acesso em: 10 out. 2022.

COPPETEC – Fundação COPPETEC. *Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro: R9 – Metas e Estratégias de implementação dos Cenários Propostos*. Versão Final. Rio de Janeiro: INEA, 2014. 215 p. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdyy/~edisp/inea0062140.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2021.

CORRÊA, D. *IBGE divulga resultado do censo no final de junho*. 2023. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-05/ibge-divulga-resultado-do-censo-no-final-de-junho>>. Acesso em: 04 mai. 2023.

COSTA, A. J. S. T. *Os caminhos da exclusão hidrológica no Rio de Janeiro (RJ)*. 2010. 202 f. Tese (Doutorado em Ambiente e Sociedade) - Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/772532>>. Acesso em: 22 abr. 2021.

COSTA, E. C. P.; SEABRA, V. S. Escala e tempo na análise da paisagem. *Revista Tamoios*, São Gonçalo, ano 15, n. 1, p. 46-56, 2019. <https://doi.org/10.12957/tamoios.2019.42275>.

COSTA, E. S.; LEITE, E. F. Fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Nioaque-MS. *GEOFRONTER*, v. 8, p. 1-22, 2022. Disponível em: <<https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/7238>>. Acesso em: 22 jan. 2023.

COSTA, P. et al. *Recuperação de áreas degradadas e restauração ecológica de ecossistemas: definições e conceitos*. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2005. (Embrapa Roraima. Documentos, 7). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/691121/recuperacao-de-areas-degradadas-e-restauracao-ecologica-de-ecossistemas-definicoes-e-conceitos>>. Acesso em: 22 dez. 2021.

COUTINHO, R. Q. (Coord.). *Parâmetros para a cartografia geotécnica e diretrizes para medidas de intervenção de áreas sujeitas a desastres naturais*. Recife: Ministério das Cidades; Universidade Federal de Pernambuco; Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies – GEGEP; DECivil, 2013. 376 p. Documento Técnico.

CPTEC/INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Aviso meteorológico 4178: Área de ocorrência do aviso meteorológico*. 2020. <<https://tempo.cptec.inpe.br/avisos/area/4178>>. Acesso em: 25 out. 2022.

CRAMÉR, H. *Mathematical Methods of Statistics*. Princeton: Princeton University Press. 1946.

CRED – Centre for Research on the Epidemiology of disasters; UNISDR – The United Nations Office for Disaster Risk Reduction. *The human cost of weather related disasters: 1995-2015*. Bélgica: 2016. 27 p. Disponível em: <http://www.unisdr.org/2015/docs/climatechange/COP21_WeatherDisastersReport_2015_FINAL.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2022.

CREPANI, E. et al. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos, SP: INPE, 2001. 124 p. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/sap/artigos/CrepaneEtAl.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

CRU TS – Climatic Research Unit Gridded Time Series. *High-resolution gridded datasets (and derived products)*. Disponível em: <<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg>>. Acesso em: 20 out. 2022.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslide types and processes. In: TURNER, K.; SCHUSTER, R. L. (Eds.). *Landslides: investigation and mitigation*. Washington: Transportation Research Board, National Research Council, 1996. p. 36-75.

CUNHA, B. P. *O antes do Bumba: análise do sistema político sob a ótica das teorias estruturalistas-construtivistas de risco*. 2016. 109 f. Monografia (Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016. Disponível em: <<https://defesacivil.uff.br/wp-content/uploads/sites/325/2020/10/2016-Bruno-Cunha.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

CUNHA, E. R.; BACANI, V. M.; AYACH, L. R. Geoprocessamento aplicado à análise da fragilidade ambiental. *Revista da ANPEGE*, v. 9, n. 12, p. 89-105, 2013. <https://doi.org/10.5418/RA2013.0912.0005>.

CUNHA, R. C. et al. Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo do caso da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos – SP. *Revista Geociências (UNESP)*, v. 30, n. 3, p. 399-414, 2011. Disponível em: <<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/5558>>. Acesso em: 09 set. 2020.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 337-379.

CURTARELLI, M.; ARNESEN, A. Fusão de imagens dos sensores HRC e CCD para a elaboração de uma carta imagem do município de Ladário, MS. 2010. Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 3., Cáceres. *Anais...* Cáceres: Embrapa Agropecuária/INPE, 2010, p. 858-866. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/47738154_Fusao_de_imagens_dos_sensores_HRC_e_CCD_para_a_elaboracao_de_uma_carta_imagem_do_municipio_de_Ladario_MS>. Acesso em: 05 abr. 2022.

DANTAS, M. E. *Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro*. Brasília: Serviço Geológico do Brasil, 2001. 63 p.

DEFESA CIVIL RJ – Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro. Governo do Estado do Rio de Janeiro. *Plano de Contingências do Estado do Rio de Janeiro para chuvas intensas*. 2022. Disponível em: <https://defesacivil.rj.gov.br/images/2022/11/PLANO_DE_CONTINGENCIAS_2022_2023_Versa%CC%83o_publica_site_08_11_22.pdf>. Acesso em: 15 set. 2023.

DER/PR – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná. *Obras complementares: cerca viva ou tela para proteção da fauna*. 2018. Disponível em: <https://www.der.pr.gov.br/sites/der/arquivos_restritos/files/documento/2019-10/esoc1818cercavivaoutelapraprotecaodafauna.pdf>. Acesso em: 10 set. 2023.

DEVANTIER, B.; FELDMAN, A. D. Review of GIS applications in hydrologic modeling. *Journal Water Resources Planning Management*, v. 119, n. 2, p. 246-261, 1993. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1993\)119:2\(246\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1993)119:2(246)).

DEWI, R. K.; WIJAYANTI, P. Nature-Based solutions for landslide risk reduction: a critical review of academic literature. In: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE., 1., 2023. *Anais...* IOP Publishing, 2023. p. 1-16. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1180/1/012030>.

DIAS, G. H. *Identificação da vulnerabilidade socioambiental na área urbana de Mossoró-RN, a partir do uso de técnicas de análises espaciais*. 2013. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) - Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró-RN, 2013.

DIAS, H. C.; HÖBLING, D.; GROHMANN, C. H. Landslide Susceptibility Mapping in Brazil: A Review. *Geosciences*, v. 11, n. 425, p. 1-15, 2021. <https://doi.org/10.3390/geosciences11100425>.

DIAS, L. S. O. et al. Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. *Bahia Análise & Dados*, Salvador, v. 14, n. 2, p. 265-271, 2004.

DIEESE – Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos. *Pesquisa nacional da Cesta Básica de Alimentos: Salário-mínimo nominal e necessário*. Disponível em: <<https://www.dieese.org.br/analisecestabasica/salarioMinimo.html>>. Acesso em: 14 out. 2023.

DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, v. 2, n. 1, p. 29-77, 2012. Disponível em: <<https://www.abge.org.br/downloads/revistas/cartografia.pdf>>. Acesso em: 27 dez. 2020.

DIXON, N. et al. An acoustic emission landslide early warning system for communities in low-income and middle-income countries. *Landslides*, v. 15, p. 1631-1644, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-0977-1>.

DOBSON, J. E. Automated Geography. *The Professional Geographer*, v. 35, n. 2, 1983. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1983.00135.x>.

DOBSON, J. E. The GIS Revolution in Science and Society. In: BRUNN, S. D.; CUTTER, S. L.; HARRINGTON JR, J. W. (Eds.). *Geography and Technology*. Dordrecht: Springer, 2004. p. 573-588. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2353-8_24.

EASTMAN, J. R. *IDRISI Selva Tutorial*. Worcester: Clark Labs-Clark University, 2012. 45 p.

EBC – Empresa Brasil de Comunicação. *Ministério das Cidades vai financiar 20 planos municipais de redução de riscos*. 2023. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202310/ministerio-das-cidades-vai-financiar-20-planos-municipais-de-reducao-de-riscos>. Acesso em: 10 out. 2023.

EGLER, C. A. G. 1996. Risco Ambiental como Critério de Gestão do Território: uma aplicação à zona costeira brasileira. *Território*, v. 1, n. 1, p. 31-41.

ELMOULAT, M.; BRAHIM, L. A. Landslides susceptibility mapping using GIS and weights of evidence model in Tetouan-Ras-Mazari area (Northern Morocco). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, v. 9, n. 1, p. 1306-1325, 2018. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1505666>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa, 5. ed., 2018. 356 p.

_____. *Mapa de solos do Brasil*. 2020. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104. Acesso em: 20 jul. 2022.

_____. *Código Florestal*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/codigo-florestal>. Acesso em: 12 set. 2023.

ENG-SCHOOL. *How to download rainfall data and make annual precipitation map*. 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=IK48E8en5dg>. Acesso em: 25 out. 2022.

EOS – EOS Data Analytics. *Índices de vegetação para impulsionar soluções digitais*. 2022. Disponível em: <https://eos.com/pt/blog/indices-de-vegetacao>. Acesso em: 23 jul. 2023.

EPA – Western Australian Environmental Protection Authority. *Procedure for environmental mitigation strategy*. 2004. Disponível em: [https://www.epa.wa.gov.au/sites/default/files/Proponent_response_to_submissions/A1466_R1138_RTS_REP-00-G-0005-B%20\(Mitigation%20Strategy\).pdf](https://www.epa.wa.gov.au/sites/default/files/Proponent_response_to_submissions/A1466_R1138_RTS_REP-00-G-0005-B%20(Mitigation%20Strategy).pdf). Acesso em: 22 dez. 2021.

ESA – European Space Agency. *Copernicus DEM: 30 meter dataset now publicly available*. 2021. Disponível em: <https://spacedata.copernicus.eu/blogs/-/blogs/copernicus-dem-30-meter-dataset-now-publicly-available>. Acesso em: 06 dez. 2021.

_____. *SPOT-6 to 7 full archive and tasking*. Disponível em: <<https://earth.esa.int/eogateway/catalog/spot-6-to-7-full-archive-and-tasking-and-spotmaps-2-5-dataset>>. Acesso em: 10 ago. 2022a.

_____. *Sentinel-2: Applications*. Disponível em: <https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2>. Acesso em: 23 jul. 2022b.

_____. *Sentinel-1: Mission Summary*. Disponível em: <<https://step.esa.int>>. Acesso em: 12 set. 2023a.

_____. *Sentinel Radarsat*. Disponível em: <<https://earth.esa.int/eogateway/missions/radarsat>>. Acesso em: 12 set. 2023b.

_____. *Science Toolbox Exploitation Platform*. Disponível em: <<https://step.esa.int>>. Acesso em: 12 set. 2023c.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. *ArcGIS Help 10.2, 10.2.1, and 10.2.2: Spectral Conversion function*. 2014. Disponível em: <https://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/Spectral_Conversion_function/009t000000570000000>. Acesso em: 13 mai. 2023.

_____. *ArcGIS Pro Trial*. Disponível em: <<https://www.esri.com/pt-br/arcgis/products/arcgis-pro/trial>>. Acesso em: 24 ago. 2023a.

_____. *Esri Land Cover*. 2023b. Disponível em: <<https://livingatlas.arcgis.com/landcover>>. Acesso em: 08 mai. 2023.

ETCHEGARAY, D. M.; FLORES, A. S. Las áreas protegidas ¿Estrategia clave para la mitigación y la adaptación al cambio climático? *Posición, Revista del Instituto de Investigaciones Geográficas*, n. 9, p. 1-15, 2023. Disponível em: <<https://posicion-inigeo.unlu.edu.ar/posicion/article/view/166>>. Acesso em: 04 ago. 2023.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. *Digital Soil Map of the World*. 2007. Disponível em: <<https://data.apps.fao.org/map/catalog/srv/eng/catalog.search;jsessionid=A7FB242EF1015D1001720FDC2446A54A?node=srv#/metadata/446ed430-8383-11db-b9b2-000d939bc5d8>>. Acesso em: 13 ago. 2022.

FARIA, V. D.; NUNES, D. M.; BOTELHO, R. G. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas: aplicação e análise em diferentes paisagens no Brasil. *Geo UERJ*, n. 42, 2023. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2023.68545>.

FARIAS, A. *DER libera trânsito na Serra do Mato Grosso*. 2022. Disponível em: <<https://leisecamarica.com.br/noticia/43304/der-libera-transito-na-serra-do-mato-grosso>>. Acesso em: 30 mai. 2022.

FCP – Fundação Cultural Palmares. *Certificação Quilombola: Comunidades certificadas*. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/palmares/pt-br/departamentos/protecao-preservacao-e-articulacao/certificacao-quilombola>>. Acesso em: 19 jun. 2021.

FELDMAN, A. D. HEC models for water resources system simulation: theory and experience. *Advances in Hydrosience*, v. 12, p. 297-423, 1981. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-021812-7.50010-9>.

FELL, R. et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, v. 102, n. 3-4, p. 85-98, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>.

FERREIRA, N. H.; FERREIRA, C. A.; GOUVEIA, I. C. Mapa de Fragilidade Ambiental como auxílio para o Planejamento Urbano e Gestão de Recursos Hídricos. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 12, n. 3, 2016. <https://doi.org/10.17271/1980082712320161411>.

FERREIRA, P. Infraestrutura verde pode reduzir enchentes em bacias que passam por urbanização acelerada. *Jornal da USP*, 2022. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/?p=540602>>. Acesso em: 18 set. 2022.

FERREIRA, T. S. F. et al. Espacialização das Comunidades Remanescentes de Quilombos no Estado do Rio de Janeiro em 2021. *Espaço Aberto [Online]*, v. 13, n. 1, p. 73-90, 2023. <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2023.55794>.

FERNANDES, C. F. A. *Avaliação e análise da qualidade da água, sob uma perspectiva de conservação ambiental, do Rio do Mato Grosso, localizado na Serra de Mato Grosso, município de Saquarema-RJ*. 2021. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/handle/1/21371>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

FERNANDES, H. *MOLUSCE e QGIS: predição de cenário futuro de uso e cobertura da terra*. 2022. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=BTQS6RdXzQ0>>. Acesso em: 15 set. 2023.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand, 1996. p. 123-194.

FERNANDES, N. F. et al. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, UGB, 2001, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001. <https://doi.org/10.20502/rbg.v2i1.8>.

FERNANDES, R. O.; COSTA, V. C. *Análise da vulnerabilidade socioambiental no município de Angra dos Reis (RJ), com base em técnicas de geoprocessamento*. 2017. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2017/08/r.o-fernandes_eixo1_poster.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2022.

FERRARI, L. *Pontes verdes sobre estradas viram saída para garantir travessia de animais*. UOL Notícias, 2022. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2022/02/06/pontes-verdes-sobre-estradas-viram-saida-para-garantir-travessia-de-animais.htm>>. Acesso em: 08 fev. 2023.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. *WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas*. *International Journal of Climatology*, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.

FIGUEIRA, R. B. *Caracterização Sócio-Ambiental e Ordenamento Territorial para a Bacia do Rio Mato Grosso – Saquarema – RJ*. Uberlândia: Caminhos de Geografia, v. 10, n. 30, p. 142-152, 2009. <https://doi.org/10.14393/RCG103015962>.

FILHO, A. L. S.; AIRES, M.; JUNIOR, W. M. S. A importância da educação para formação de sociedades resilientes. *Revista Tamoios*, São Gonçalo, n. 3, p. 114-127, 2020. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/tamoios/article/view/48606>>. Acesso em: 5 nov. 2021.

FIPERJ – Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro. *Pesca: Entidades do setor*. 2020. Disponível em: <<http://www.fiperj.rj.gov.br/index.php/entidade/index/20>>. Acesso em: 19 jun. 2021.

FLORENZANO, S. F. S. *Iniciação em Sensoriamento Remoto*. São Paulo: Oficina de Textos, 3. ed., 2011. 123 p.

FOLHARINI, S.; OLIVEIRA, R. Utilização do Land Change Modeler na modelação prospectiva do uso e cobertura do solo na microrregião de Santos, Brasil para o ano de 2022. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, n. 19, p. 57-73, 2020. <http://dx.doi.org/10.17127/got/2020.19.003>.

FONSECA, C. G.; KOBAYAMA, M. A integração das políticas públicas PNPDEC, PNRH, LDNSB através dos seus instrumentos na redução dos riscos de desastres hidrológicos com ênfase no nível municipal. *Revista Geonorte*, Manaus, v. 13, n. 41, p. 60-82, 2022. <https://doi.org/10.21170/geonorte.2022.V.13.N.41.60.82>.

FONSECA, E. H.; CIROLINI, A.; BRUCH, A. F. Método de análise hierárquica de processos (AHP) aplicado a fragilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica Rolante, Brasil. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 17, n. 1, p. 1-18, 2023. Disponível em: <<https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/8084>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

FONSECA, M. N.; GARCIA, C. M.; SILVA, L. P. Sistema de alerta de desastre baseado no CEP: limites e possibilidades. *Cadernos Metrópole*, v. 25, n. 58, 2023. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2023-5807>.

FOREST GIS. *Conheça o NASADEM, o melhor reproprocessamento do SRTM da história*. 2020. Disponível em: <<https://forest-gis.com/2020/03/conheca-o-nasadem-o-melhor-reprocessamento-do-srtm-da-historia.html>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

FRANCISCO, A. B. As escalas de análise na Geografia dos estudos ambientais. *Revista Formação Online*, v. 2, n. 18, p. 39-62, 2012. Disponível em: <<https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/714>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

FRANCO, G. B. et al. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental na Bacia do Rio Almada, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 42, p. 114-127, 2012.

Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/951861/relacao-qualidade-da-agua-e-fragilidade-ambiental-da-bacia-do-rio-almada-bahia>>. Acesso em: 19 mai. 2022.

FREIRE, E. S. D. Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. *Revista Construção*, Rio de Janeiro, p. 10-18, 1965.

FREITAS, C. M.; BARCELOS, C. (Coords.). *Mudanças climáticas, redução de riscos de desastres e emergências em saúde pública nos níveis global e nacional*. Saúde Amanhã, Fiocruz, 2019. 118 p. Relatório final.

FREITAS, D. M. et al. Fusão de Imagens Cbers-CCD com Cbers-HRC para obter uma melhor interpretação das sub-regiões e áreas antrópicas do Pantanal. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., Corumbá. *Anais...* Corumbá: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009. p. 412-421. Disponível em: <<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2009/cd/p124.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2022.

FREITAS, N. C. *Caracterização estrutural e geocronológica da sequência metassedimentar no limite entre os terrenos Cabo Frio e Oriental, Região dos Lagos Fluminense*. 2018. 174 f. Dissertação (Mestrado em Análise de Bacias e Faixas Móveis) - Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.bdtd.uerj.br/handle/1/18626>>. Acesso em: 09 dez. 2021.

FREITAS, S. J. N. et al. Mapeamento e análise de vulnerabilidade social no município de Barcarena-PA. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 24, n. 91, p. 366-378, 2023. <https://doi.org/10.14393/RCG249161628>.

FULGENCIO, L. G. *Programas de pagamento por serviços ambientais na gestão dos recursos hídricos: a experiência do FUNBOAS na bacia Lagos São João - RJ*. 2012. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.bdtd.uerj.br/handle/1/10908>>. Acesso em: 11 mar. 2021.

FUNAI – Fundação Nacional do Índio. *Geoprocessamento: Shape*. Disponível em: <<http://www.funai.gov.br/index.php/shape>>. Acesso em: 19 jun. 2021.

FUNBIO – Fundo Brasileiro para a Biodiversidade. *FUNBIO*. Disponível em: <<https://www.funbio.org.br>>. Acesso em: 25 ago. 2023.

FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R. Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica sob a perspectiva do pensamento da complexidade. *Revista Interface (Porto Nacional)*, v. 11, n. 11, 2016. Disponível em: <<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/interface/article/view/2141>>. Acesso em: 16 ago. 2022.

FRANÇA, L. C. J.; MUCIDA, D. P. *A fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha em Minas Gerais*. Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2022. 52 p. Disponível em: <<https://editorapantanal.com.br/ebooks/2022/a-fragilidade-ambiental-da-bacia-hidrografica-do-rio-jequitinhonha-em-minas-gerais/ebook.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

FRIAS, V. H. C. *Dinâmica do uso do solo na Microbacia dos Rios Roncador e Mato Grosso: Sistema de Informação Geográfica aplicados à Gestão Ambiental*. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011. Disponível em: <<http://pt.calameo.com/read/001060553f2ff6160d28c>>. 2011. Acesso em: 10 mai. 2021.

G1. *Pedras e barranco deslizam por causa da chuva e deixam tráfego perigoso na RJ-106*. G1, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2019/04/10/pedras-e-barranco-deslizam-por-causa-da-chuva-e-deixam-trafego-perigoso-na-rj-106.ghml>>. Acesso em: 10 fev. 2022.

__. *Chuva causa queda de barreira e ponte, deixa RJ-106 interditada e pessoas desalojadas em Saquarema, no RJ*. G1 – Região dos Lagos, 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2022/04/02/chuva-causa-queda-de-barreira-e-ponte-deixa-rj-106-interditada-e-pessoas-desalojadas-em-saquarema-no-rj.ghml>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

__. *População de Saquarema (RJ) é de 89.559 pessoas, aponta o Censo do IBGE*. G1 – Região dos Lagos, 2023. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2023/06/28/populacao-de-saquarema-rj-e-de-89-559-pessoas-aponta-o-censo-do-ibge.ghml>>. Acesso em: 13 jul. 2023.

GAMA, S. V. G. *Contribuição metodológica à gestão ambiental integrada de unidades de conservação: o caso do Maciço Gericinó-Mendanha: Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro / RJ*. 2002. 198 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

GAO, B. C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, v. 58, n. 3, p. 257-266, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3).

GAO, C. et al. Spatiotemporal Change Analysis and Prediction of the Great Yellow River Region (GYRR) Land Cover and the Relationship Analysis with Mountain Hazards. *Land*, v. 12, n. 2, 2023. <https://doi.org/10.3390/land12020340>.

GARCIA, M. A. A. *Medidas mitigadoras de ocorrência de movimentos de massa e plano de revegetação de uma encosta no município de São Sebastião/SP*. 2005. 123 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. <https://doi.org/10.11606/T.18.2016.tde-04042016-103603>.

GARCÍA-TORNEL, F. C. *La geografía de los riesgos*. Barcelona: Geocritica. Cuadernos Críticos de Geografía Humana, n. 54, 1984. Disponível em: <<http://www.ub.edu/geocrit/geo54.htm>>. Acesso em: 02 jul. 2020.

GERALDI, L. H. O.; SILVA, B. C. N. *Quantificação em Geografia*. São Paulo: DIFEL, 1981.

GIP-SBN – Grupo de Interação à Pesquisa em Soluções Baseadas na Natureza. *Soluções baseadas na Natureza*. USP. Disponível em: <<https://sites.usp.br/gipsbn>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

GEO-SPATIAL RESEARCH. *Predicting Land Use/Land Cover Changes; CA-Markov Model; IDRISI; The Selva Edition*. 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kWpE_YJ8rfM>. Acesso em: 12 set. 2023.

GEOSENSOR. *Correção atmosférica de dados WPM do CBERS-4A*. 2022a. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=cosIDDyX9w4>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

_____. *Correção atmosférica de dados WPM do CBERS-4A – Parte 2*. 2022b. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ES2pZJUgMfQ>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

GIGON, A. Typology and principles of ecological stability and instability. *Mountain Research and Development*, v. 3, p. 95-102, 1983. <https://doi.org/10.2307/3672989>.

GISMOBRASIL. *QuickMapServices: uma alternativa ao OpenLayers plugin no QGIS*. 2017. Disponível em: <<https://gismobrasil.com/2017/02/17/quickmapservices-uma-alternativa-ao-openlayers-plugin-no-qgis>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

GODOI, J. V. Z. et al. Implementação do modelo SHALSTAB em ferramentas para ArcGIS e QGIS. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 1., 2018, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: ABRHidro, 2018. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/184947>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

GOEPEL, K. D. Implementation of an online software tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, v. 10, n. 3, p. 469-487, 2018. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>.

GÓES, K. et al. *Live: Riscos Ambientais e Turismo Sustentável*. Grupo de Estudos Ambientais do Instituto de Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=leAT4XWIfV0>>. Acesso em: 07 fev. 2022.

GOIS, G. *Catástrofes naturais no estado do Rio de Janeiro baseado em dados climáticos e produtos orbitais: uma abordagem estatística*. 2017. 312 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais, Conservação da Natureza) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017. Disponível em: <<https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/1966>>. Acesso em: 10 abr. 2022.

GOLDEN GATE WEATHER SERVICES. *El Niño and La Niña years and intensities*. Disponível em: <<https://ggweather.com/enso/oni.htm>>. Acesso em: 05 jul. 2023.

GOLDSMITH, F. B. Evaluating nature. In: WARREN, A.; GOLDSMITH, F. B. (Eds.). *Conservation in perspective*. John Wiley and Sons, Chichester, 1983. p. 233-246.

GOMES, R. L. Avaliação da fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural à perda de solo da bacia hidrográfica do rio Almada-Bahia. *Boletim de Geografia*, v. 31, n. 3, p. 41-53, 2013. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v31i3.18650>.

GONÇALVES, G. G. G. et al. K. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. *Floresta*, v. 41, n. 4, p. 797-808, 2011.
<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v41i4.25344>.

GONÇALVES, S. R. A.; ARAÚJO, R. R.; IMAI, N. N. Mapeamento do grau de fragilidade com processo analítico hierárquico e operadores fuzzy gama na detecção áreas de fragilidade ambiental. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n. 2, 2016.
<http://dx.doi.org/10.14393/rbcv68n2-44398>.

GOOGLE. *Google Earth Pro 7.3.6.9326 (64-bit)*. Disponível em:
<https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/versions>. Acesso em: 15 dez. 2022.

_____. *Dynamic World*. Disponível em: <https://dynamicworld.app>. Acesso em: 12 abr. 2023.

GOULARTE, E. R. P; MARCUZZO, F. F. N. Delimitação automática de bacias hidrográficas por SIG: procedimentos para tratamento de MDT. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 16., Caruaru. *Anais...* Caruaru: ABRHidro, 2022. p. 1-10
 Disponível em:
https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/22946/1/tratamento%20mdt_delimitacao_bacias_hidrograficas_sig.pdf. Acesso em: 22 jan. 2023.

GOUVEIA, R. G. L. et al. Análise da fragilidade ambiental na bacia do rio Queima-Pé, Tangará da Serra, MT. *Pesquisas em Geociências*, v. 42, n. 2, p. 131-140, 2015.
<https://doi.org/10.22456/1807-9806.78115>.

GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. *Plano Integrado de Prevenção e Mitigação de Riscos de Desastres Naturais na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí*. Grupo Técnico Científico, 2009. Disponível em: https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2014/07/plano_integrado._rio_itajai.pdf. Acesso em: 20 set. 2023.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. *Estudos técnicos e planejamento para a universalização do abastecimento de água e esgotamento sanitário: município de Saquarema*. Consórcio Fator, Concremat e VGP. 2020a. Disponível em:
http://www.rj.gov.br/consultapublica/documentos/Planejamento_Municipios_do_Interior/P_U_Saquarema.pdf. Acesso em: 20 set. 2021.

_____. *Decreto Estadual nº 46.935, de 12 de fevereiro de 2020b*. Disponível em:
<https://www.defesacivil.rj.gov.br/images/biblioteca/POLITICA-ESTADUAL-DE-PROTECAO-E-DEFESA-CIVIL.pdf>. Acesso em: 14 set. 2023.

GOVERNO FEDERAL. *Dados Abertos: Unidades de Conservação*. Disponível em:
<https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/unidadesdeconservacao>. Acesso em: 10 out. 2022.

GROHMANN, C. H. Modelos Digitais de Elevação globais em aplicações ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 5., 2022. *Anais eletrônicos...* CBGEO, 2022.

GU, Y. et al. Evaluation of MODIS NDVI and NDWI for vegetation drought monitoring using Oklahoma Mesonet soil moisture data. *Geophysical Research Letters*, v. 35, 2008. <https://doi.org/10.1029/2008GL035772>.

GUAPYASSSÚ, M. D. S.; HARDT, L. P. A. Avaliação de fragilidade ambiental: uma nova abordagem metodológica para unidades de conservação de uso indireto em áreas urbanas. *FLORAM - Floresta e Ambiente*, v. 5, n. 1, p. 55-67, 1998. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/loram/a/qktgWGfq9tSmDmgfmb89tq>>. Acesso em: 03 mai. 2021.

GUERRA, A. J. T. *Erosão dos solos e movimentos de massa – Abordagens Geográficas*. Curitiba: Editora CRV, 2016. 222 p.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. *Processos erosivos e recuperação e áreas degradadas*. Oficina de Textos, 2013. 192 p.

GUIDA DE FREITAS, V. et al. Dieta e condições de vida em Saquarema-RJ: estudo de saúde oral e isotópicos dos remanescentes esqueléticos escavados de grupos caçadores-coletores-pescadores. *Revista de Arqueologia*, v. 33, n. 1, p. 270-276, 2020. Disponível em: <<https://revista.sabnet.org/index.php/sab/article/view/697>>. Acesso em: 9 mai. 2022.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. São Paulo: Edgard Blücher, 2. ed., 1984. 194 p.

GUIMARÃES, M. B. Mudança e colapso no Litoral Fluminense: os sambaquieiros e os outros no Complexo Lagunar de Saquarema, RJ. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, n. 21, p. 71-91, 2011. <https://doi.org/10.11606/issn.2448-1750.revmae.2011.89962>.

GUO, M. et al. Fusing panchromatic and SWIR bands based on CNN – a preliminary study over Worldview-3 datasets. *ISPRS*, v. 42, n. 3, p. 437-442, 2018. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-437-2018>.

GUTIÉRREZ, V. A. T. et al. *Possibilidades da psicologia em situação de emergências e desastres*. Rio de Janeiro: Conselho Regional de Psicologia do Rio de Janeiro, 1. ed., 2021. 196 p. Disponível em: <http://www.crprj.org.br/site/wp-content/uploads/2021/06/ebook_Emergencias_e_Desastres_web.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2023.

HAMAD, R.; BALZTER, H.; KOLO, K. Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. *Sustainability*, v. 10, n. 10, p. 1-23, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10103421>.

HANNA, A. *Táticas de Mitigação de Deslizamentos no Rio, Parte 1: História Técnica e Panorama Geral*. (Tradução: Felipe Moretti). RioOnWatch, 2020a. Disponível em: <https://rioonwatch.org.br/?p=44116_>. Acesso em: 03 nov. 2023.

_____. *A Crescente Vulnerabilidade Climática do Rio de Janeiro: Um Cronograma*. (Tradução: Giovanna Giannini). RioOnWatch, 2020b. Disponível em: <<https://rioonwatch.org.br/?p=43137>>. Acesso em: 03 nov. 2023.

_____. *Táticas de Mitigação de Deslizamentos de Terra no Rio, Parte 2: Emissões Acústicas*. (Tradução: Roseli Franco). RioOnWatch, 2020c. Disponível em: <<https://rioonwatch.org.br/?p=45015>>. Acesso em: 03 nov. 2023.

HANSEN, M. C.; LOVELAND, T. R. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, v. 122, p. 66-74, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.024>.

HANSEN, M. C. et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, v. 342, n. 6160, p. 850-853, 2013. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>.

HASTENRATH, S. *Climate and circulation of the tropics*. Dordrecht: D. Reidel, 1985. 455 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-5388-8>.

HENGL, T. *Pedometric mapping: bridging the gaps between conventional and pedometric approaches*. 2003. 233 f. Tese (PhD) - Wageningen University, Enschede, 2003. Disponível em: <<https://edepot.wur.nl/121443>>. Acesso em: 05 mar. 2022.

HENRICH, V. et al. Development of an online indices database: Motivation, concept and implementation. In: EARSSEL IMAGING SPECTROSCOPY SIG WORKSHOP INNOVATIVE TOOL FOR SCIENTIFIC AND COMMERCIAL ENVIRONMENT APPLICATIONS, 6., Tel Aviv. *Anais...* Tel Aviv: EARSeL, 2009.

HENRICH, V. et al. *Index DataBase: A database for remote sensing indices*. IDB Project, 2023. Disponível em: <<https://www.indexdatabase.de>>. Acesso em: 13 abr. 2023.

HERCULANO, R. M. C. S.; SOUZA, J. C. Fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uru (Goiás): comparação entre modelos. *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, v. 20, n. 3, p. 305-323, 2022. <https://doi.org/10.5016/estgeo.v20i3.16799>.

HERCULANO, S. *Saquarema: história de sua urbanização pela função-veraneio e a disputa por suas terras públicas (1955-1980): analisando um caso de desenvolvimento local na Região dos Lagos (RJ)*. 2017. Disponível em: <https://www.professores.uff.br/seleneherculano/wp-content/uploads/sites/149/2017/09/Saquarema_v4_historia_de_sua_urbaniza%3a7%3a3o_pelo_veraneio_e_terras_p%3%bablicas.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2022.

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRISFORD, P. et al. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 146, p. 1999-2049, 2020. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. *Revista LABVERDE*, v. 1, p. 92-115, 2010. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-2275.v0i1p92-115>.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. *The landslide handbook: A guide to understanding landslides*. Traduzido para português por: ROGÉRIO, P. R.; AUMOND, J. J. Reston, Virginia: Geological Survey Circular 1325, 2008. 129 p. Disponível em: <https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos_M5DS.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2021.

HOLANDA, M. *Governo federal decreta calamidade pública, libera FGTS e envia Exército a Petrópolis*. Folha de São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2022/02/exercito-manda-tropas-e-equipamentos-para-petropolis.shtml>>. Acesso em: 18 jun. 2022.

HOPKINS, A. et al. Áreas protegidas y cambio climático. In: WORBOYS, G. L. et al. (Eds.). *Gobernanza y gestión de áreas protegidas*. Bogotá: Editorial Universidad El Bosque e ANU Press, 2019. p. 525-564. Disponível em: <<https://press.anu.edu.au/publications/gobernanza-gesti%C3%B3n-de-%C3%A1reas-protegidas>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

HUANG, Q. X.; WANG, J. L.; XUE, X. Interpreting the influence of rainfall and reservoir infilling on a landslide. *Landslides*, n. 13, v. 5, p. 1139-1149, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0644-8>.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X).

HUETE, A. R. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).

HUFFMAN, G. J. et al. GPM IMERG Final Precipitation L3 1 month 0.1 degree x 0.1 degree V06. *Greenbelt: Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center*, 2019. <https://doi.org/10.5067/GPM/IMERG/3B-MONTH/06>.

HUSSAIN SABREE ALI, A.; AMANY, A. K.; JALIL, M. A. Predicting the future growth depending on GIS and IDRISI program, city of Najaf-Iraq. *Materials Science and Engineering Conference Series*, v. 881, n. 1, p. 12-31, 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/881/1/012031>.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, v. 106, p. 211-232, 1989. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(89\)90073-5](https://doi.org/10.1016/0022-1694(89)90073-5).

HYSLOP, K.; GALDINO, S. Geração de modelo digital de terreno hidrologicamente consistente para delimitação de bacia hidrográfica na Amazônia. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 15. *Anais...* Embrapa, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1134173/geracao-de-modelo-digital-de-terreno-hidrologicamente-consistente-para-delimitacao-de-bacia-hidrografica-na-amazonia>>. Acesso em: 08 nov. 2022.

IBCT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. *Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações*. [s. d.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/ibict/pt-br/assuntos/informacao-cientifica/bdtd>>. Acesso em: 15 set. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades: Saquarema – História & Fotos*. [s. d.]. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/saquarema/historico>>. Acesso em: 02 fev. 2022.

_____. *Clima*: 2002 Clima – 1:5.000.000. 2002. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 10 nov. 2022.

_____. *Censo Demográfico 2010*: Aglomerados subnormais. 2010a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias>>. Acesso em: 10 fev. 2022.

_____. *Download*: Estatísticas – Resultados do Universo. Agregados por setores censitários. 2010b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>>. Acesso em: 13 nov. 2021.

_____. *Perfil dos Municípios Brasileiros*. 2013a. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv86302.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2021.

_____. *Manual Técnico de Uso da Terra*. IBGE, 3. ed., 2013b. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 7). Disponível em: <ftp://geofpt.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_uso_da_terra.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

_____. *Censo Agro*. 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html>. Acesso em: 20 nov. 2022.

_____. *População em áreas de risco no Brasil*. 2018a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/21538-populacao-em-areas-de-risco-no-brasil>>. Acesso em: 01 fev. 2022.

_____. *Downloads*: Geociências – Bases cartográficas contínuas – Brasil. 2018b. <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

_____. *Informações ambientais*: Cobertura e uso da terra – RJ. 2018c. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/cobertura-e-uso-da-terra/15831-cobertura-e-uso-da-terra-do-brasil.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 03 mar. 2022.

_____. *Aglomerados subnormais*. 2019a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15788-favelas-e-comunidades-urbanas.html?edicao=27720&t=downloads>>. Acesso em: 10 mar. 2022.

_____. *Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil*: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2019b. 56 p.

_____. *Download*: Informações ambientais. 2021a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 20 out. 2022.

_____. *Cidades e Estados*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj>>. Acesso em: 01 set. 2021b.

_____. *Censo contou mais de 104 milhões de pessoas, quase metade da população estimada do país*. Agência IBGE Notícias, 2022a. Disponível em:

<<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/35080-censo-contou-mais-de-104-milhoes-de-pessoas-quase-metade-da-populacao-estimada-do-pais>>. Acesso em: 04 out. 2022.

_____. *Quarto balanço da coleta: Censo conta 168 milhões de pessoas, quase 80% da população*. Agência IBGE Notícias, 2022b. Disponível em:

<<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/35727-censo-counta-168-milhoes-de-pessoas-quase-80-da-populacao>>. Acesso em: 10 dez. 2022.

_____. *Malha censitária*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?edicao=30113&t=o-que-e>>. Acesso em: 12 abr. 2022c.

_____. *Base Cartográfica Contínua do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:25.000, versão 2018, na ET-EDGV 3.0*. Nota técnica 01/2023. 2023. Disponível em:

<https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc25/rj/versao2018_edgv_3.0/informacoes_tecnicas/NT01_2023_BC_RJ_20230623.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2023.

IBGE; EMBRAPA – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Mapa de Solos do Brasil*. Rio de Janeiro, RJ, 2001. Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/brasil/solos.pdf>. Acesso em: 02 out. 2021.

ICEYE. *Your choice for persistent monitoring*. Disponível em: <<https://www.iceye.com>>. Acesso em: 21 set. 2023.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Plano de Manejo da Reserva Particular do Patrimônio Natural Eldorado*. 2019. Disponível em:

<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/mata-atlantica/lista-de-ucs/rppn-eldorado/arquivos/plano_de_manejo_rppn_eldoradoplanodem.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2022.

_____. *Reservas Particulares do Patrimônio Natural*. Disponível em:

<<https://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/publico>>. Acesso em: 10 fev. 2022.

_____. *Planos de manejo de Unidades de Conservação federais*. 2023. Disponível em:

<<https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/planos-de-manejo-de-unidades-de-conservacao-federais>>. Acesso em: 01 nov. 2023.

IFF – Instituto Federal Fluminense. Campus Avançado Maricá. *Maricá Cidade Resiliente*. 2020. Disponível em: <<https://www.maricaresiliente.com.br>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

IIS – Instituto Internacional para a Sustentabilidade. *Ferramenta analítica para orientar a mitigação de catástrofes naturais por meio de Soluções baseadas na Natureza*. 2023.

Disponível em: <<https://www.iis-rio.org/projetos/ferramenta-analitica-para-orientar-a>>

mitigacao-de-catastrofes-naturais-por-meio-de-solucoes-baseadas-na-natureza>. Acesso em: 04 nov. 2023.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. *Acervo Fundiário*: Download de shapefile. 2020. Disponível em:

<http://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py>. Acesso em: 19 jun. 2023.

INDE – Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. *INDE*. Disponível em:

<<https://inde.gov.br>>. Acesso em: 22 mai. 2023.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Governo do Estado do Rio de Janeiro. *Portaria Inea nº 63, de 16 de agosto de 2009*.

_____. *Metodologia a ser utilizada para delimitação de Área de Preservação Permanente de topo de morro no Estado do Rio de Janeiro*. 2014. Disponível em:

<<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdyy/~edisp/inea0062360.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

_____. *Norma operacional para demarcação das faixas marginais de proteção e das faixas non aedificandi de cursos d'água no Estado do Rio de Janeiro*. Resolução Inea nº 130. 2016.

Disponível em: <<https://www.saquarema.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/NOP-INEA-33-2016-NORMA-OPERACIONAL-PARA-DEMARCA%C3%87%C3%83O-DE-FMP.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

_____. Comitê das Bacias Hidrográficas das Lagoas de Araruama e Saquarema e dos Rios São João e Una. *Regimento Interno*. 2019. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/CBH-LSJ_Regimento-Interno.pdf>. Acesso em: 27 set. 2022.

_____. *Áreas de Preservação Permanente de declividade 1:25.000*. 2021a. Disponível em:

<<https://inea.maps.arcgis.com/home/item.html?id=3174199368214d99b9f19afd2aedc04e>>. Acesso em: 22 mar. 2022.

_____. *Áreas de Preservação Permanente de topos de morro 1:25.000*. 2021b. Disponível em:

<<https://inea.maps.arcgis.com/home/item.html?id=3174199368214d99b9f19afd2aedc04e>>. Acesso em: 22 mar. 2022.

_____. *Cobertura e uso da terra do Rio de Janeiro em 2010 – 1:1.000.000*. 2021c. Disponível em:

<<https://inea.maps.arcgis.com/home/item.html?id=ed09159d1b2a46c48bf4897e5560b256>>. Acesso em: 04 mar. 2022.

_____. *GeoINEA*. Disponível em: <www.inea.rj.gov.br/portageoinea>. Acesso em: 10 out. 2021d.

_____. *Rio de Janeiro: Revista Ineana*, 2022a. 100 p. Disponível em:

<<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/Revista-Ineana-Especia-II-Premio-Meio-Ambiente.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2022a.

_____. *Biodiversidade e Território: Olho no Verde*. Disponível em:

<<https://www.inea.rj.gov.br/olho-no-verde>>. Acesso em: 20 ago. 2023.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. *Catálogo de Estações Automáticas*. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/paginas/catalogoaut>>. Acesso em: 20 abr. 2022a.

_____. *Mapa de Estações*. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br>>. Acesso em: 20 jun. 2022b.

_____. *Estações do ano*. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/paginas/estacoes>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Topodata*: Banco de dados geomorfométricos do Brasil. 2011. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata>>. Acesso em: 05 fev. 2022.

_____. *LIDAR*. [s. d.]. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/DSR/areas-de-atuacao/sensores-plataformas/lidar>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

_____. *HAND Model: A new look over the landscape*. Disponível em: <<http://handmodel.ccst.inpe.br>>. Acesso em: 15 out. 2022a.

_____. *Mapa Índice TOPODATA*. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata>>. Acesso em: 20 jun. 2022b.

_____. *Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos*: Saquarema-RJ. Disponível em: <<https://www.cptec.inpe.br/rj/saquarema>>. Acesso em: 22 set. 2022c.

_____. *Divisão de Processamento de Imagens*: AMBDATA. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/dados_climaticos>. Acesso em: 22 nov. 2022d.

_____. *Divisão de Geração de Imagens*: Catálogo. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br>>. Acesso em: 15 abr. 2023a.

_____. *TerraBrasilis*. Disponível em: <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br>>. Acesso em: 23 jul. 2023b.

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Summary for Policymakers. In: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 2021. , p. 3-32. <http://dx.doi.org/10.1017/9781009157896.001>.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Atlas da Vulnerabilidade Social*. Disponível em: <<http://ivs.ipea.gov.br>>. Acesso em: 02 out. 2023.

IPSL – Instituto Pierre Simon Laplace. *IPSL-CM6A-LR*. Disponível em: <<https://cmc.ipsl.fr/ipsl-climate-models/ipsl-cm6>>. Acesso em: 01 out. 2023.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; SGB – Serviço Geológico do Brasil. *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações*: 1:25.000: nota técnica explicativa. São Paulo: IPT, 2014. 42 p. Disponível em:

<https://lcb.fflch.usp.br/sites/lcb.fflch.usp.br/files/upload/paginas/Nota_Tecnica_Explicativa_Carta_Suscetibilidade.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2022.

IUGS – INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES. Quantitative risk assessment for slopes and landslides – the State of the Art. In: CRUDEN, D. D.; FELL, R. (Eds.). *Landslide risk assessment*. Balkema, Rotterdam, 1997. p. 3-12.

IVIDES – Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável. *Workshop de Mapeamento Colaborativo e Cartografia Social*. 2022. Disponível em: <<https://www.youtube.com/playlist?list=PLquZuhANeXX1l-xBAQuYMeUR6QQIFlvdR>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

JANZ, A. et al. *EnMAP-Box 3*. 2023. Disponível em: <<https://plugins.qgis.org/plugins/enmapboxplugin>>. Acesso em: 10 set. 2023.

JAXA – Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial. *Precise Global Digital 3D Map “ALOS World 3D” (AW3D)*. Disponível em: <<https://earth.jaxa.jp/en/data/2552/index.html>>. Acesso em: 04 ago. 2023.

JULIÃO, R. P. et al. Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal. *Autoridade Nacional de Proteção Civil*, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10451/39562>>. Acesso em: 22 dez. 2021.

JURGIEL, B. *Point sampling tool*. 2022. Disponível em: <<https://plugins.qgis.org/plugins/pointsamplingtool/version/0.5.4>>. Acesso em: 04 set. 2023.

KALSNES, B.; CAPOBIANCO, V. Use of vegetation for landslide risk mitigation. In: KONDRUP, C., et al. *Climate Adaptation Modelling*. Springer Climate. Springer, Cham, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86211-4_10.

KANDEL, A. *Fuzzy mathematical techniques with applications*. Boston: Addison-Wesley Publishing Company, 1986. 274 p.

KARASIAK, N. *Dzetsaka QGIS Classification plugin*. 2016. Disponível em: <<https://github.com/nkarasiak/dzetsaka#installation-of-scikit-learn>>. Acesso em: 25 jul. 2022.

_____. *dzetsaka: Classification tool*. 2021. Disponível em: <<https://plugins.qgis.org/plugins/dzetsaka>>. Acesso em: 27 jun. 2023.

KARGER, D. N. et al. Climatologies at high resolution for the Earth land surface areas. *Scientific Data*, v. 4, 2017. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>.

KARGER, D. N. et al. Global daily 1km land surface precipitation based on cloud cover-informed downscaling. *Scientific Data*, v. 8, n. 307, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-01084-6>.

KAWAKUBO, F. S. et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia. *Anais...* Goiânia: INPE, 2005. p. 2203-2210. Disponível em:

<<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.16.10/doc/2203.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2023.

KLIPPEL, S. *CBERS4A Downloader*: CBERS4A Downloader QGIS Plugin. 2022. Disponível em: <<https://plugins.qgis.org/plugins/cbers4a>>. Acesso em: 23 ago. 2023.

KLIPPEL, V. H. *Avaliação de métodos de restauração florestal de Mata Atlântica de tabuleiros*. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2011. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/bitstream/10/4969/1/tese_4987_.pdf>. Acesso em: 05 out. 2021.

KNEIP, L. M.; CRANCIO, F.; H. RODRIGUES FRANCISCO, B. O Sambaqui da beirada (Saquarema – Rio de Janeiro). *Revista de Arqueologia*, v. 5, n. 1, p. 41-54, 1988. <https://doi.org/10.24885/sab.v5i1.67>.

KNUST, K; MARINHO, R. *Viaduto vegetado ganha câmeras e tem primeiro registro de uso por animais no RJ; saiba como funciona*. G1 Região dos Lagos, 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2021/08/24/camera-faz-primeiro-registro-de-uso-do-viaduto-vegetado-simbolo-de-conservacao-da-biodiversidade-no-pais.ghtml>>. Acesso em: 19 nov. 2022.

KOBAYASHI, Y.; PORTER, J. W. *Flood Risk Management in the People's Republic of China*: Learning to live with flood risk. Filipinas: Asian Development Bank, 2012. 65 p. Disponível em: <<https://www.adb.org/sites/default/files/publication/29717/flood-risk-management-prc.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2021.

KOBIYAMA, M. et al. *Prevenção de Desastres Naturais*: Conceitos básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. 109 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/prevencaodedesastresnaturaisconceitosbasicos.pdf>>. Acesso em: 02 jul. 2022.

KOBIYAMA, M. et al. Uso da bacia-escola na redução do risco de desastres: uma abordagem socio-hidrológica. In: MAGNONI JÚNIOR, L. et al. (Orgs.). *Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano*. São Paulo: CPS, 2. ed., 2020. p. 560-583. Disponível em: <https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Reducao2020/Reducao_2ed-2020.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2022.

LANA, V. M. et al. Preparação de bases de dados vetoriais do IBGE no ArcGIS para a geração de modelos digitais de elevação hidrograficamente condicionados (MDEHCs). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, 2011. p. 6073-6080.

LANDIS, R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977. <https://doi.org/10.2307/2529310>.

LEFF, E. *Ecologia, capital e cultura: a territorialização da racionalidade ambiental*. Petrópolis: Vozes, 2009. 440 p.

LEVIN, K.; TIRPAK, D. 2018: A year of climate extremes. 2018. Disponível em: <<https://www.wri.org/insights/2018-year-climate-extremes>>. Acesso em: 15 ago. 2022.

LI, X. GeoDa: *An introduction to spatial data science*. Disponível em: <<https://geodacenter.github.io>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

LILLESAND, T.; KIEFER, R.; CHIPMAN, J. *Remote Sensing and Image Interpretation*. Nova Iorque: John Wiley & Sons Inc., 5. ed., 2004. 820 p.

LIMA, F. A. *Territórios de vulnerabilidade social: construção metodológica e aplicação em Uberlândia-MG*. 2016. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2016.221>.

LIMA, T. P. et al. Dinâmica espaço temporal da cobertura da terra em uma bacia hidrográfica da região do MATOPIBA, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, UFRJ, v. 43, n. 1, 2020. https://doi.org/10.11137/2020_1_162_170.

LIMA-RIBEIRO, M. S. et al. EcoClimate: A database of climate data from multiple models for past, present, and future for Macroecologists and Biogeographers. *Biodiversity Informatics*, v. 10, p. 1-21, 2015. <https://doi.org/10.17161/bi.v10i0.4955>.

LIMA-RIBEIRO, M. S. et al. *The ecoClimate Database*. Disponível em: <<http://ecoclimate.org>>. Acesso em: 29 set. 2022.

LINS-DE-BARROS, F.; MANSUR, K. L. Desafios da gestão costeira integrada da Região dos Lagos (RJ): uma análise baseada na vulnerabilidade costeira e nos serviços ecossistêmicos da geodiversidade. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 63, n. 1, 2018. (Dossiê "Zona Costeira do Brasil" – Parte 1). https://doi.org/10.21579/issn.2526-0375_2018_n1_p73-97.

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, p. 1-17, 2022. <https://doi.org/10.14393/sn-v34-2022-62872>.

LIU, H. Q.; HUETE, A. R. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 33, n. 2, p. 457-465, 1995. <https://doi.org/10.1109/TGRS.1995.8746027>.

LLANO, X. C. *AcATaMa*. 2023. Disponível em: <<https://plugins.qgis.org/plugins/AcATaMa>>. Acesso em: 05 set. 2023.

LOPES, V. A. R. *Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada de bacias e sistemas lagunares com influência do vento*. 2017. 200 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

LOTTE, R. G.; ALMEIDA, C. M.; VALERIANO, M. M. Aquisição do Índice de Saturação do Solo (TWI) para a avaliação de suscetibilidade a movimentos de massa na região de São Sebastião-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: INPE, 2015. p. 7117-7124.

LP DAAC. *Release of NASADEM data products*. 2020. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/news/release-nasadem-data-products>>. Acesso em: 22 abr. 2023.

LUERS, A. L. The surface of vulnerability: An analytical framework for examining environmental change. *Global Environmental Change*, v. 15, n. 3, p. 214-223, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.04.003>.

LUZ, M. B.; FILGUEIRA, H. J. A. Sistemas de alerta a desastres relacionados com fenômenos naturais: algumas alternativas no brasil e no mundo. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 1., Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: ABRH, 2018. p. 1-8. Disponível em: <<https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/79/END130.pdf>>. Acesso em: 11: abr. 2022.

LYRA, G. B. et al. Evaluation of methods of spatial interpolation for monthly rainfall data over the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 134, p. 955-965, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2322-3>.

MAGALHÃES, A. M. W. *Manual para planejamento de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) orientado à gestão de bacias hidrográficas*. 2018. 145 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA)) - Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MALTA, F. S.; COSTA, E. M.; MAGRINI, A. Análise da vulnerabilidade social e risco ambiental no município do Rio de Janeiro. *Geo UERJ*, n. 30, p. 19-34, 2017a. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2017.28311>.

_____. Índice de vulnerabilidade socioambiental: uma proposta metodológica utilizando o caso do Rio de Janeiro, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22, n. 12, p. 3933-3944, 2017b. <https://doi.org/10.1590/1413-812320172212.25032017>.

MANFRÉ, L. A. *Identificação e mapeamento de áreas de deslizamentos associados a rodovias utilizando imagens de sensoriamento remoto*. 2015. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

MARANDOLA, E.; HOGAN, D. J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. *Ambiente & Sociedade*. v. 7, n. 2, p. 95-109, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2004000200006>.

MARCELINO, E. V. *Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto e SIG*. São José dos Campos. 2003. 218 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.

MARENGO, J. A. et al. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, n. 38, p. 1-5, 2011. <https://doi.org/10.1029/2011gl047436>.

MARQUES, A. *Forte chuva em Petrópolis causa inundações, arrasta carros e provoca queda de barreiras; mortes passam de 30*. G1, 2022a. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2022/02/15/grande-voluma-de-chuva-causa-inundacoes-arrasta-carros-e-provoca-queda-de-barreiras-em-petropolis.ghtml>>. Acesso em: 19 jun. 2022.

_____. *Cruzes que simbolizavam vítimas da tragédia de 15 de fevereiro em Petrópolis são levadas por inundação*. G1, 2022b. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2022/03/21/cruzes-que-simbolizavam-vitimas-da-tragedia-de-15-de-fevereiro-em-petropolis-sao-levadas-por-inundacao.ghtml>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

MARQUES, A. J.; GALO, M. D. L. B. T. Escala geográfica e escala cartográfica: distinção necessária. *Boletim de Geografia*, p. 47-55, 2009. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v0i0.7998>.

MARQUES, N.; AMORIM, R. R. Áreas protegidas: evolução histórica e conceitual e seus significados na agenda ambiental global do século XXI. In: EVENTO DE COMEMORAÇÃO AOS 20 ANOS DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA (IG-UNICAMP). 2022, Campinas. *Anais...* Campinas: UNICAMP, 2022. Disponível em: <<https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/20anosppgg/article/view/3865>>. Acesso em: 03 fev. 2023.

MARTINELLI, E.; CARVALHO, A. C. P. L. F. Extração de conhecimento de redes neurais artificiais. In: WORKSHOP DE TESES E DISSERTAÇÕES EM ANDAMENTO DO ICMC/USP. 1999, São Carlos. *Anais...* São Carlos: ICMC-USP, 1999.

MARTINS, P. A. *Mapeamento das áreas suscetíveis a deslizamentos no perímetro urbano de Igrejinha – RS*. 2013. 158f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/86449>>. Acesso em: 16 nov. 2022.

MARTH, J. D.; MOURA, N. S. V.; KOESTER, E. Estudo da suscetibilidade à inundação com base em análise geomorfológica, Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Isabel, região costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 13-28, 2016. <https://doi.org/10.5935/0100-929X.20160002>.

MAS, J. F. et al. Análise da disponibilidade de imagens Landsat e Sentinel para o Brasil. *Geografia Ensino & Pesquisa*, v. 24, 2020. <https://doi.org/10.5902/2236499461324>.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional. *Alertas de Desastres*. 2021. Disponível: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/alertas-de-desastres>>. Acesso em: 07 nov. 2022.

MEDEIROS, A. *Como gerar MDE a partir de Curvas de Nível no QGIS: ALL com GEO*. 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=zC2wWFlrHY8>>. Acesso em: 22 jun. 2022.

MEDEIROS, C. N. Mapeamento da vulnerabilidade socioambiental utilizando ferramentas de geoprocessamento. In: IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. *Texto para discussão*. Fortaleza: IPECE, 2018. p. 1-37. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/12/TD_126.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2023.

MÉDICI, D.; MACEDO, L. *Cidades-esponja: conheça iniciativas pelo mundo para combater enchentes em centros urbanos*. G1 Mundo, 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/2020/02/16/cidades-esponja-conheca-iniciativas-pelo-mundo-para-combater-enchentes-em-centros-urbanos.ghml>>. Acesso em: 07 nov. 2022.

MEHRAVAR, S. et al. Flood susceptibility mapping using multi-temporal SAR imagery and novel integration of nature-inspired algorithms into support vector regression. *Journal of Hydrology*, v. 617, p. 1-16, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129100>.

MEIRELES, C. G. *Uso de técnicas de inteligência artificial na Cartografia para a classificação supervisionada de imagens digitais: Um estudo de caso do município de Sabará, Minas Gerais*. 2021. 71 f. Dissertação (Mestrado em Tratamento da Informação Espacial) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

MEIRELLES, E. O.; DOURADO, F.; COSTA, V. C. Análise multicritério para mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa na bacia do Rio Paqueta - RJ. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 33, p. 1-22, 2018. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2018.26037>.

MELO, L. C. et al. Análise da fragilidade ambiental potencial dos solos do Paraná. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 28, p. 101-111, 2015. <https://doi.org/10.11606/rdg.v28i0.518>.

MELO, T. A. T. et al. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 4, p. 147-165, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000400011>.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. *Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação*. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.

MENDONÇA, A.; CRISTIE, E. *Urgente: após chuva forte em fevereiro, Petrópolis volta a ficar alagada*. Estado de Minas, 2022. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/nacional/2022/03/20/interna_nacional,1354069/urgente-apos-chuva-forte-em-fevereiro-petropolis-volta-a-ficar-alagada.shtml>. Acesso em: 10 jul. 2022.

MENDONÇA, F. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Editora UFPR, n. 10, p. 139-148, 2004. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v10i0.3102>.

_____. Riscos, vulnerabilidades e resiliência socioambientais urbanas: inovações na análise geográfica. *Revista da ANPEGE*, v. 7, n. 1, p. 111-118, 2011. <https://doi.org/10.5418/RA2011.0701.0010>.

_____. *Riscos climáticos: vulnerabilidades e resiliência associados*. Jundiaí: Paco Editorial, 1. ed., 2014. 388 p.

MENDONÇA, F.; BUFFON, E. A. M. Riscos híbridos. In: MENDONÇA (Org.). *Riscos híbridos: concepções e perspectivas ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos, 1. ed., 2021. p. 13-38.

MENDONÇA, M. B.; GREGORIO, L. T.; ALFRADIQUE, C. O. S. Diagnóstico e discussão sobre Planos Municipais de Redução de Riscos no Brasil. *Ambiente & Sociedade*, v. 26, 2023. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20210207r1vu2023L2AO>.

MENEZES, P. M. L.; CRUZ, C. B. M.; FERNANDES, M. C. A Geoinformação na pesquisa em Geografia no contexto do PPGG/UFRJ. *Espaço Aberto*, PPGG – UFRJ, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 65-86, 2022. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/EspacoAberto/article/view/55024>. Acesso em: 22 abr. 2023.

METZ, L.; BEAR-CROZIER, A. N. *Landslide susceptibility mapping: A remote sensing based approach using QGIS 2.2* (Valmiera). Camberra: Geoscience Australia, 2014. 90 p. Relatório técnico. <http://dx.doi.org/10.11636/Record.2014.056>.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. *Em parceria com o Google, Defesa Civil Nacional lança nova ferramenta de emissão de alertas no Brasil*. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/noticias/anterior/em-parceria-com-o-google-defesa-civil-nacional-lanca-nova-ferramenta-de-emissao-de-alertas-no-brasil-1>. Acesso em: 07 nov. 2022.

_____. *Capacitação em mapeamento e gerenciamento de risco*.

Disponível em:

<https://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/mapeamento/mapeamento-grafica.pdf>. Acesso em: 27 out. 2023.

MINISTÉRIO DAS CIDADES; IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. *Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*. Brasília: Ministério das Cidades. IPT, 2007. 176 p.

MIN – Ministério de Integração Nacional do Brasil. *Anuário Brasileiro de Desastres Naturais – 2012*. Disponível em:

https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/AnuariodeDesastresNaturais_2013.pdf. Acesso em: 15 dez. 2021.

MMA – Ministério do Meio Ambiente do Brasil. *Geo Catálogo MMA*. Disponível em:

<http://geocatalogo.mma.gov.br>. Acesso em: 15 mar. 2023.

MOHAMED, A.; WORKU, H. Simulating urban land use and cover dynamics using cellular automata and Markov chain approach in Addis Ababa and the surrounding. *Urban Climate*, v. 31, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100545>.

MONTE, V. H. A. et al. Distribuição geográfica de *Gleichenella pectinata* (willd.) Ching (Gleicheniaceae) na porção meridional da trilha Abraão-Dois Rios, Ilha Grande, Angra dos Reis – RJ: causas, impactos e funções ecológicas. *Humboldt – Revista de Geografia Física e Meio Ambiente*, v. 1, n. 3, p. 1-15, 2022. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/humboldt/article/view/60218>. Acesso em: 15 fev. 2023.

MONTEIRO, C. A. F. *Geossistemas: a história de uma procura*. São Paulo: Contexto, 2001.

MORAIS, R. *Ponte Rio-Niterói completa 49 anos; veja imagens marcantes*. O GLOBO, 2023. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/bairros/niteroi/noticia/2023/03/ponte-rio-niteroi-completa-49-anos-veja-imagens-marcantes.ghtml>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

MOURA, A. C. M. Geodesign como processo de co-criação de acordos coletivos para a paisagem territorial e urbana. In: LADWIG, N. I.; CAMPOS, J. B. (Orgs.). *Planejamento e Gestão Territorial – O papel e os instrumentos do Planejamento Territorial na interface entre o urbano e o rural*. Criciúma UNESC, 2019. p. 16-69. <https://doi.org/10.18616/pgtur01>.

MOURA, M. O.; CUNICO, C.; LUCENA, D. B. *Riscos, vulnerabilidades e desastres socioambientais: concepções e estudos de caso*. João Pessoa: Editora UFPB, 2023. 207 p. Disponível em: <<http://www.editora.ufpb.br/sistema/press5/index.php/UFPB/catalog/download/1147/1039/11786-1?inline=1>>. Acesso em: 30 out. 2023.

MOURA, R. *Arranjos urbano-regionais no Brasil: uma análise com foco em Curitiba*. 2009. 242 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MORAES NOVO, E. M. L. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. Blucher, 4. ed., 2010. 388 p.

MUHAMMAD, R. et al. Spatiotemporal change analysis and prediction of future land use and land cover changes using QGIS MOLUSCE plugin and Remote Sensing Big Data: A case study of Linyi, China. *Land*, v. 11, n. 3, 2022. <https://doi.org/10.3390/land11030419>.

MÜLLER, G. O. *A conectividade da paisagem no Centro de Diversidade Vegetal de Cabo Frio, RJ, Brasil, e perspectivas para sua conservação e restauração*. 2021. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Conservação) - Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2021.

NAPOLEÃO, M. C. *Fusão de imagens Landsat-5 TM e SPOT pancromática aplicada ao mapeamento do uso da terra*. 2001. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, 2001.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)*. Greenbelt: Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, 2011. <https://doi.org/10.5067/TRMM/TMPA/MONTH/7>.

_____. *U.S. Releases Enhanced Shuttle Land Elevation Data*. Disponível em: <<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm>>. Acesso em: 23 jul. 2022a.

_____. *EarthData: Search*. Disponível em: <<https://search.earthdata.nasa.gov/search>>. Acesso em: 19 jun. 2022b.

_____. *Landsat Science*. Disponível em: <<https://landsat.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em: 23 jul. 2022c.

NASCIMENTO, P. W. F. *Análise da vulnerabilidade ambiental à inundação na bacia hidrográfica do rio Grande, Baixada de Jacarepaguá (RJ)*. 2020. 155 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

NEMIROVSKY, A. K. S. et al. Avaliação da acurácia vertical e horizontal de modelos digitais de elevação (SRTM PLUS, ALOS WORLD 3D E ASTER GDEM 2) a partir de um MDE de referência. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos, *Anais...* Santos: INPE, 2017.

NEVES, L. V. et al. Mudanças de uso e cobertura da terra e áreas suscetíveis à inundação – estudo de caso do Município de Duque de Caxias/RJ. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 37, p. 30-43, 2019. <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.149051>

NEXTGIS. *QuickMapServices*: Discover, share and use geospatial data services. Disponível em: <<https://qms.nextgis.com>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

NHU, V. et al. Landslide susceptibility mapping using machine learning algorithms and remote sensing data in a tropical environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17144933>.

NILSSON, C.; GRELSSON, G. The fragility of ecosystems: a review. *Journal of Applied Ecology*, v. 32, n. 4, p. 677-692, 1995. <https://doi.org/10.2307/2404808>.

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

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; MOMO, M. R. et al. HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. *Hydrological Processes*, 2015. <https://doi.org/10.1002/hyp.10581>.

NÖRNBERG, S. O.; REHBEIN, M. O. Avaliação da fragilidade ambiental no município de pelotas/ RS. *Geosul*, Florianópolis, v. 35, n. 76, p. 210-231, 2020. <http://doi.org/10.5007/2177-5230.2020v35n76p210>.

NOSAVAN, J.; MOREAU, A.; HOSFORD, S. SPOT World Heritage catalogue: 30 years of SPOT 1-to-5 observation. *EGUshpere*, 2020. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-8275>.

NRC – National Research Council. Conselho Nacional de Pesquisa dos Estados Unidos da América. *Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology and Public Policy*. Washington, DC: The National Academies Press, 1992. <https://doi.org/10.17226/1807>.

NUNES, L. *Trecho da Serra do Mato Grosso, entre Maricá e Saquarema, sofre erosão*. Errejota, 2020. Disponível em: <<https://errejotanoticias.com.br/trecho-da-serra-do-mato-grosso-entre-marica-e-saquarema-sofre-erosao>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

NUNES, M. A. R. *Relatos de campo na Microbacia do Rio Mato Grosso em 2020 e 2022*. 2022.

NUNES, M. A. R. *Relatos de campo na Microbacia do Rio Mato Grosso em 2023*. 2023.

O DIA. *Quedas de árvores e desmoronamentos interditam Serra do Mato Grosso*. O DIA, 2022a. Disponível em: <<https://odia.ig.com.br/squarema/2022/01/6315789-quedas-de-arvores-e-desmoronamentos-interditam-serra-do-mato-grosso>>. Acesso em: 25 fev. 2022.

_____. *Primeiro trecho com oito quilômetros da TranSquarema recebe sinalização*. 2022b. Disponível em: <<https://odia.ig.com.br/squarema/2022/07/6451038-primeiro-trecho-com-oito-quilometros-da-transquarema-recebe-sinalizacao>>. Acesso em: 10 nov. 2022.

_____. *Prefeitura de Squarema retorna com o projeto "Defesa Civil no seu bairro"*. 2023a. Disponível em: <<https://odia.ig.com.br/squarema/2023/01/6549052-prefeitura-de-squarema-retorna-com-o-projeto-defesa-civil-no-seu-bairro.html>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

_____. *Governo do Rio avança com obras de drenagem e contenção de encostas na rodovia que liga Maricá e Squarema*. 2023b. Disponível em: <<https://odia.ig.com.br/squarema/2023/03/6593169-governo-do-rio-avanca-com-obras-de-drenagem-e-contencao-de-encostas-na-rodovia-que-liga-marica-e-squarema.html>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

O FLUMINENSE. *DER-RJ trabalha nas RJs de todo o estado após fortes chuvas*. 2020. Disponível em: <<https://www.ofluminense.com.br/cidades/regioes/2020/12/1160508-der-rj-trabalha-nas-rjs-de-todo-o-estado-apos-fortes-chuvas.html>>. Acesso em: 25 out. 2022.

OGURA, A. T. Análise de riscos geológicos em planos preventivos de defesa civil. In: BITAR (Coord.). *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. ABGE: São Paulo, 1995. p. 203-215.

OICS – Observatório de Inovação para Cidades Sustentáveis. *Catálogo Brasileiro de Soluções Baseadas na Natureza*. Disponível em: <<https://catalogo-sbn-oics.cgee.org.br>>. Acesso em: 13 abr. 2023.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. et al. Análise de homogeneidade de séries pluviométricas para determinação do índice de seca IPP no estado de Alagoas. *FLORAM - Floresta e Ambiente*, n. 19, v. 1, p. 101-112, 2012. <https://doi.org/10.4322/floram.2012.011>.

OMM – Organização Meteorológica Mundial. *State of the Climate in 2018 shows accelerating climate change impacts*. 2019. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/media/press-release/state-of-climate-2018-shows-accelerating-climate-change-impacts>>. Acesso em: 12 ago. 2022.

ONU – Organização das Nações Unidas. *Ocha: Brasil entre países com maior número de pessoas expostas a inundações*. 2020a. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2020/01/1699571>>. Acesso em: 06 nov. 2020.

_____. *Latin America and the Caribbean: Natural Disasters 2000-2019*. 2020b. Disponível em: <<https://www.humanitarianresponse.info/en/operations/latin-america-and>>

caribbean/document/latin-america-and-caribbean-natural-disasters-2000>. Acesso em: 06 nov. 2022.

_____. *Objetivos do Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 20 set. 2022.

OPENGIS. *USLE (Perda de Solo – Fator CP, K, R) no QGIS 3 – Parte 1/2*. 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=oa6Rj_9iAlo>. Acesso em: 12 set. 2022.

OPENTOPOGRAPHY. *OpenTopography*: High-resolution topography data and tools. 2023. Disponível em: <<https://opentopography.org>>. Acesso em: 18 mai. 2023.

OSMF – OpenStreetMap Foundation. Fundação OpenStreetMap. *OpenStreetMap*. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org>>. Acesso em: 01 ago. 2022.

PACHECO, F. F. *Fragilidade ambiental como instrumento de planejamento em unidades de conservação: o caso da APA Serra da Piedade – MG*. 2021. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Viçosa, 2021. <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.021>.

PACHECO, F. F.; CASTRO, J. F. M. *La fragilidad ambiental como instrumento de planificación ambiental en Unidades de Conservación: O caso de APA Serra da Piedade – MG*. Entre-Lugar, v. 13, n. 25, 2022. <https://doi.org/10.30612/rel.v13i25.14893>.

PACTO – Pacto pela Restauração da Mata Atlântica. *Portal do PACTO*. 2023. Disponível em: <<https://www.pactomataatlantica.org.br>>. Acesso em: 15 set. 2023.

PAIVA, C. M. *Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa e da ocorrência de veranicos na Bacia do Rio Doce*. 1997. 65 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

PARANHOS FILHO, A. C. et al. (Orgs.). *Geotecnologias para aplicações ambientais*. Maringá, PR: Uniedusul, 2021. 392 p. Disponível em: <<https://www.uniedusul.com.br/wp-content/uploads/2021/01/GEOTECNOLOGIAS-PARA-APLICACOES-AMBIENTAIS.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2023.

PASSOS, A. S. et al. Modelagem da ocupação e uso do solo na zona costeira do Município de Mangaratiba-RJ e suas implicações utilizando a ferramenta LCM e imagens orbitais. *Anuário do Instituto de Geociências*, UFRJ, v. 43, n. 1, p. 346-354, 2020. https://doi.org/10.11137/2020_1_346_354.

PASSOW, M. J. TRMM: Trazendo o sensoriamento remoto de precipitação para sua sala de aula. *Terræ Didática*, v. 6, n. 1, p. 03-08, 2010. <https://doi.org/10.20396/td.v6i1.8637477>.

PEDRASSOLI, J. C. Comparação visual entre fusão de imagens CBERS II B/CCD e Landsat 5/TM utilizando a pancromática CBERS II B/HRC em software livre. *Revista Eletrônica FACP*, Ano II, n. 3, p. 51-62, 2013. Acesso em: 22 jul. 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/259146124_COMPARACAO_VISUAL_ENTRE_FUSAO_DE_IMAGENS_CBERS_II_BCCD_E_LANDSAT_5TM_UTILIZANDO_A_PANCROMATICA_CBERS_II_BHRC_EM_SOFTWARE_LIVRE>. Acesso em: 22 jul. 2022.

PEIXOTO, J. P.; OORT, A. H. *Physics of climate*. Nova Iorque: Instituto Americano de Física, 1992. 520 p.

PEREIRA, G. S.; MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C. Suscetibilidade à erosão linear no município de Álvares Machado – SP. *Revista GeoUECE (Online)*, v. 08, n. 15, p. 111-123, 2019. Disponível em: <<https://revistas.uece.br/index.php/GeoUECE/article/view/2170>>. Acesso em: 23 mai. 2023.

PEREIRA, L. F.; GUIMARÃES, R. M. F. Mapeamento multicategórico do uso/cobertura da terra em escalas detalhadas usando Semi-automatic Classification Plugin. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 3, n. 4, p. 379-385, 2018. <https://doi.org/10.24221/jeap.3.4.2018.2016.379-385>.

PEREIRA, P. B.; ROCHA, G. C.; AQUINO, C. M. S. Análise dos estudos de fragilidade ambiental na identificação e mitigação de impactos ambientais em bacias hidrográficas, a partir de análise bibliométrica. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 40, n. 2, p. 24-34, 2023. <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2023.253370>.

PEREIRA, V. C. *Uso de imagens WPM/CBERS 04A para análise da situação das áreas de preservação permanente no Distrito Federal*. 2021. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: <<http://repositorio2.unb.br/jspui/handle/10482/42686>>. Acesso em: 30 set. 2022.

PEREIRA CALDAS, V. I. S.; SILVA, A. S.; SANTOS, J. P. C. Suscetibilidade a erosão dos solos da Bacia Hidrográfica Lagos – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do método AHP e análise multicritério. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 4, p. 1415-1430, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.4.p1415-1430>.

PERIÇATO, A. J.; SOUZA, M. L. O Estudo da Fragilidade Potencial e Emergente na Bacia Hidrográfica do Rio das Antas, Noroeste do Paraná. *Caderno de Geografia*, v. 29, n. 59, p. 1064-1082, 2019. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n59p1064>.

PHIRI, M.; SHIFERAW, Y. A.; TESFAMICHAEL, S. G. Biome-level relationships between vegetation indices and climate variables using time-series analysis of remotely-sensed data. *GIScience & Remote Sensing*, v. 57, n. 4, p. 464-482, 2020. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1733325>.

PICARELLI, S. B. N. *Mudança do clima e as soluções baseadas na natureza (SbN): medidas de adaptação para as cidades brasileiras*. 2022. 145 f. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. <https://doi.org/10.11606/T.106.2022.tde-22122022-115429>.

PIMENTEL, T. B.; BRICALLI, L. L. The relationship between lineament patterns and mass movements in the municipality of Vitória (Espírito Santo, Southeast Brazil). *Sociedade & Natureza*, v. 35, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-66655>.

PINA, J. H. A. *Bacias hidrográficas e unidades de conservação no Brasil: um estudo*

sobre as dificuldades e perspectivas para uma gestão integrada. 2016. 162 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. <https://doi.org/10.14393/ufu.te.2016.119>.

PINHEIRO, L. S.; MEIRELES, A. J. A.; ROSSI, S. Dinâmica do uso e cobertura da terra em microbacias no nordeste brasileiro ao longo de uma década. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 16, n. 7, p. 8068-8089, 2023. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.7-230>.

PINHEIRO, R. J. B. *Estudo de alguns casos de instabilidade da encosta da Serra Geral no Estado do Rio Grande do Sul*. 2000. 318 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/118558>>. Acesso em: 27 jan. 2023.

PIRES, G. *Chuva em Saquarema, RJ, deixa cinco famílias desalojadas; duas casas foram interditadas*. G1 – Região dos Lagos, 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2020/09/23/chuva-em-saquarema-rj-deixa-cinco-familias-desalojadas-duas-casas-foram-interditadas.ghtml>>. Acesso em: 25 out. 2022.

PISANI, R. J. et al. Avaliação de técnicas de fusão de imagens orbitais utilizando produtos do satélite CBERS 4 para a APA do Rio Machado-MG. *Caderno de Geografia*, v. 30, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2019v29nespp58>.

PLANET LABS. *Planet API: Understanding PlanetScope Instruments*. Disponível em: <<https://developers.planet.com/docs/apis/data/sensors>>. Acesso em: 25 jul. 2022a.

_____. *Planet QGIS plugin: Getting started*. 2022b. Disponível em: <<https://developers.planet.com/docs/integrations/qgis/quickstart>>. Acesso em: 25 jul. 2022.

_____. *Basemaps viewer*. Disponível em: <<https://www.planet.com/basemaps>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

PONTES, P. R. M. *Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada da bacia do Rio da Prata*. 2016. 194 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/156600>>. Acesso em: 19 out. 2022.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, n. 63, v. 22, p. 43-60, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000200004>.

POSSA, T. M. *Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo com influência do vento*. 2019. 122 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019. Disponível em: <<https://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/prefix/5777>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

PPGPDS – Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. In: SEMINÁRIO DIÁLOGOS PARA A PRÁTICA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 12., 2023. *Anais eletrônicos...* 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLP0WYnH19IkaP_ZCMxELoCoLWTf87_vbg>. Acesso em: 10 set. 2023.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. *Programa de redução de riscos de inundação e melhorias urbanas na Bacia do Ribeirão Isidoro*. 2023. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/publicacoes/programa-reducao-riscos-inundacao-melhorias-urbanas-bacia-ribeirao-isidoro>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

PREFEITURA DE MARICÁ. *Produto 3: Diagnóstico Técnico*. 2020. Disponível em: <https://www.marica.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/11/p3_diagnostico_tecnico_revfinal_27.11->. Acesso em: 02 mar. 2022.

_____. *Chuvas: Maricá entra em estágio de atenção*. 2021. Disponível em: <<https://www.marica.rj.gov.br/2021/11/01/marica-entra-em-estagio-de-atencao-por-conta-das-chuvas-2>>. Acesso em: 15 jan. 2022.

_____. *Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil do Município de Maricá*. Decreto nº 813, de 11 de fevereiro de 2022. 2022. Disponível em: <https://www.marica.rj.gov.br/wp-content/uploads/2022/03/00-JOM_1275.-14-fev-22-Plancon-Publicado.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

_____. *Boletim Meteorológico*. Disponível em: <<https://www.marica.rj.gov.br/tag/boletim-meteorologico>>. Acesso em: 15 set. 2023.

PREFEITURA DE NOVA IGUAÇU. *Secretaria Municipal de Defesa Civil*. 2023. Disponível em: <<https://www.novaiguacu.rj.gov.br/smdc>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

PREFEITURA DE PETRÓPOLIS. *Decreto n.º 042 de 25 de fevereiro de 2022*. Disponível em: <<https://www.petropolis.rj.gov.br/pmp/index.php/servicos-na-web/informacoes/diario-oficial/finish/277-fevereiro/5211-6373-sexta-feira-25-de-fevereiro-de-2022>>.

PREFEITURA DE SAQUAREMA. *História: Origem do Município de Saquarema*. [s. d.]. Disponível em: <<https://www.saquarema.rj.gov.br/historia/#:~:text=As%20for%C3%A7as%20somaram%20400%20portugueses,lutas%20em%20toda%20a%20capitania>>. Acesso em: 02 fev. 2022.

_____. *Lei nº 490 de 20 de janeiro de 2001*. Disponível em: <<https://transparencia.saquarema.rj.gov.br/wp-content/uploads/2018/01/LO-490-2001.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2023.

_____. *Lei nº 1.739 de 17 de outubro de 2018*. Disponível em: <<http://www.saquarema.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/Lei-1739-2018-Recategoriza%C3%A7%C3%A3o-do-REVIS-Mato-Grosso-Tingui-Castelhanas.pdf?x78364>>. Acesso em: 02 fev. 2022.

_____. *Plano Diretor Municipal de Desenvolvimento Sustentável*. Lei Complementar nº 71, de 08 de dezembro de 2021. 2021a. Disponível em: <<https://planodiretor.saquarema.rj.gov.br/wp-content/uploads/2023/05/Lei-Complementar-71-2021-Plano-Diretor-Municipal-de-Desenvolvimento-Sustentavel.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2022.

_____. *Município dá pontapé na implementação da “TranSsquarema”*. Prefeitura de Saquarema, 2021b. Disponível em: <<https://www.saquarema.rj.gov.br/municipio-da-pontape-na-implementacao-da-transaquarema>>. Acesso em: 22 jul. 2022.

_____. *“Defesa Civil no Seu Bairro” chega em Sampaio Corrêa*. 2021c. Disponível em: <<https://www.saquarema.rj.gov.br/defesa-civil-no-seu-bairro-chega-em-sampaio-correa>>. Acesso em: 10 ago. 2022.

_____. *Prefeitura realiza o I Congresso em Proteção e Defesa Civil*. 2022a. Disponível em: <<https://www.saquarema.rj.gov.br/prefeitura-realiza-o-i-congresso-em-protecao-e-defesa-civil>>. Acesso em: 28 mai. 2022.

_____. *Revisão do Plano Diretor de Saquarema*. 2022b. Disponível em: <<https://planodiretor.saquarema.rj.gov.br>> Acesso em: 10 abr. 2022.

_____. *Saquarema Viveiro da Vida*. 2022c. Disponível em: <<https://www.saquarema.rj.gov.br/saquarema-viveiro-da-vida>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

_____. *Saquarema é destaque no Prêmio ICMS Ecológico 2021*. 2022d. Disponível em: <<https://saquarema.rj.gov.br/saquarema-e-destaque-no-premio-icms-ecologico-2021>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

_____. *Legislação Ambiental*. Disponível em: <<https://www.saquarema.rj.gov.br/legislacao/ambiental>>. Acesso em: 27 out. 2023.

PRIETO, C. C. *Previsão de deslizamentos em encostas por meio de modelagem numérica: estudo de caso na Bacia Piracuama, município de Campos do Jordão, SP*. 2018. 187 f. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018. Disponível em: <<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2018/01.09.21.38/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

PROJETO MAPBIOMAS. *Coleções Mapbiomas*. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/downloads>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

QGIS. *QGIS Python Plugins Repository: Molusce*. 2017. Disponível em: <<https://plugins.qgis.org/plugins/molusce>>. Acesso em: 14 set. 2022.

_____. *Guia do Usuário QGIS*. Disponível em: <https://docs.qgis.org/3.22/pt_BR/docs>. Acesso em: 20 jul. 2022.

_____. *Baixe o QGIS para sua plataforma*. Disponível em: <https://qgis.org/pt_BR/site/forusers/download>. Acesso em: 27 jul. 2023.

QUEVEDO, R. P. *Mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa a partir de aprendizado de máquina*. 2019. 71 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11276.97922>.

RATCLIFFE, D. A. *Criteria for the selection of nature reserves*. Londres: Advancement of Sciences, v. 27, 1971. p. 294-296.

_____. (Ed.). *A Nature Conservation Review*. Cambridge University Press, Cambridge, v. 1, 1977. 401 p.

REIS, T. E. *Análise da vulnerabilidade socioambiental na Zona de amortecimento do Parque Estadual do Ibitipoca (MG), por geoprocessamento: contribuindo no apoio à tomada de decisão*. 2014. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.bdtd.uerj.br/handle/1/13350>>. Acesso em: 07 jul. 2023.

RENNÓ, C. D. et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, n. 9, p. 339-358, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.03.018>.

REZENDE, O. R. *Reestruturação urbana e segregação sócio-espacialmente induzida em Niterói: observações acerca do processo de construção do risco e vulnerabilidades socioambientais a partir da tragédia do Morro do Bumba*. 2018. 173 f. Dissertação (Mestrado em Produção social do espaço: natureza, política e processos formativos em Geografia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, São Gonçalo, 2018. Disponível em: <<https://www.bdtd.uerj.br:8443/handle/1/13456>>. Acesso em: 05 jun. 2021.

RIBEIRO, G. A.; SILVA, J. N. C.; SILVA, J. B. Índice de vegetação ajustado ao solo (IVAS): estado da arte e suas potencialidades. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 6, p. 2054-2074, 2016. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.6.p2054-2074>.

RIBEIRO, H. J.; FERREIRA, N. C. Análise comparativa de redes hidrológicas geradas a partir de superfícies hidrologicamente consistentes. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 20, n. 4, p. 784-805, 2014. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=393933926004>>. Acesso em: 20 set. 2022.

RIBEIRO, J.; VILELA, R. Experiências da Educação Ambiental voltada à gestão de riscos de desastres naturais no Brasil. *Revista Amazônica de Ensino de Ciências*, v. 11, n. 23, p. 72-86, 2018. Disponível em: <<http://periodicos.uea.edu.br/index.php/arete/article/view/869>>. Acesso em: 22 jun. 2022.

RIBEIRO, N. B.; FORMIGA-JOHNSON, R. M.; MARTINS, M. S. Risco ecológico da Bacia Hidrográfica Lagos São João, RJ. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n. 3, p. 447-458, 2018. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018160564>.

RIFFEL, E. S.; GUASSELLI, L. A.; BRESSANI, L. A. Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de literatura. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 36, n. 2, p. 285-305, 2016. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337146915006>>. Acesso em: 22 mar. 2023.

RITTER, D. F.; KOCHER, R. C.; MILLER, J. R. *Process Geomorphology*. Waveland Press, 4. ed., 2006. 548 p.

ROCHA, G. C. *Riscos Ambientais: Análise e Mapeamento em Minas Gerais*. Juiz de Fora: Ed. UFJF, 2005. 126 p.

ROCHA, L. *Serra do Mato Grosso, no sentido Maricá-Rio, é liberada ao tráfego*. 2022. Disponível em: <<https://rc24h.com.br/serra-do-mato-grosso-no-sentido-marica-rio-e-liberada-aos-trafego>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

ROCHA, V. M.; CORREIA, F. H. S.; FIALHO, E. S. *A Amazônia frente às mudanças no uso da terra e do clima global e a importância das áreas protegidas na mitigação dos impactos: um estudo de modelagem numérica da atmosfera*. Acta Geográfica, 2012. (Edição Especial Climatologia Geográfica). <https://doi.org/10.5654/acta.v0i0.1092>.

ROCHA NETO, O. *Análise temporal do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica da microrregião de Irecê-BA*. 2021. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2021. Disponível em: <<https://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/3828>>. Acesso em: 01 fev. 2022.

RODRIGUES, A. *IBGE adia data de divulgação dos novos dados do Censo 2022*. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-09/ibge-adia-data-de-divulgacao-dos-novos-dados-do-censo-2022>>. Acesso em: 06 set. 2023.

RODRIGUES DOS SANTOS JUNIOR, E.; BONTEMPI, R. M.; FANTIN, M. Replanejar com a paisagem: uma abordagem multimétodo sobre a adoção de infraestrutura verde para bacias hidrográficas em urbanização. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 3, p. 1478-1494, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbfg.v15.3.p1478-1494>.

ROSAS, R. O. et al. Uso do solo e processo erosivo na Bacia do Rio do Mato Grosso, município de Saquarema-RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: UERJ, 2003. p. 1052-1054.

ROSI, A. et al. Landslides in the Mountain Region of Rio de Janeiro: A proposal for the semi-automated definition of multiple rainfall thresholds. *Geosciences*, v. 9, n. 5, 2019. <https://doi.org/10.3390/geosciences9050203>.

ROSS, J. L. S. *Geomorfologia: Ambiente e Planejamento*. São Paulo: Contexto, 2. ed., 1991. 88 p. (Coleção Repensando a Geografia).

_____. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plans with ERTS. In: EARTH RESOURCES. TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., Washington, 1973. *Anais...* Washington: NASA, Goddard Space Flight Center, 1973. v. 1. p. 309-317. (NASA SP-351). Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>>. Acesso em: 10 out. 2020.

RUHOFF, A. L. *Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas: modelagem ambiental com simulação de cenários preservacionistas*. 2004. 93 f. Dissertação (Mestrado em

Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/9609>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5).

_____. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Research*, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I).

_____. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008. <http://dx.doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>.

SAITO, N. S. et al. Modelos Digitais de Elevação no estudo de bacias hidrográficas. In: SANTOS, A. R. et al. (Orgs.). *Geotecnologias Aplicadas aos Recursos Florestais*. Alegre, ES: CAUFES, v. 1, 1. ed., 2012. p. 126-138. Disponível em: <https://mundogeomatica.com/Publicacoes_Capitulos.htm>. Acesso em: 20 set. 2022.

SAITO, S. *Estudo analítico da suscetibilidade a escorregamentos e quedas de blocos no Maciço Central de Florianópolis – SC*. 2004. 133 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/87389>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

SAITO, S. M. et al. Urban population exposed to risks of landslides, floods and flash floods in Brazil. *Sociedade & Natureza*, v. 31, 2019. <https://doi.org/10.14393/SN-v31-2019-46320>.

SALES, L. B.; NASCIMENTO, F. R. Geomorfologia e fragilidade ambiental na classificação de paisagens em bacias hidrográficas. *Revista Equador (UFPI)*, v. 9, n. 1, p. 246-265, 2020. Disponível em: <https://www.academia.edu/106175095/Geomorfologia_e_Fragilidade_Ambiental_Na_Classifica%C3%A7%C3%A3o_De_Paisagens_Em_Bacias_Hidrogr%C3%A1ficas>. Acesso em: 20 mai. 2023.

SANTOS, A. A. et al. Aplicação ambiental em geoprocessamento: análise das mudanças de uso e cobertura da terra no município de Saquarema-RJ nos anos de 1984 e 2014. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO AMBIENTAL E BIODIVERSIDADE, 6., Três Rios. *Anais... Três Rios*: UFRRJ, 2016. p. 75-82. Disponível em: <https://www.itr.ufrrj.br/sigabi/wp-content/uploads/5_sigabi/Sumarizado/10.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2020.

SANTOS, F. A.; MENDES, L. M. S. Análise bivariada, multivariada e espacial da ocorrência do Sars-Cov-2 nos municípios do Estado do Piauí, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde (Hygeia)*, v. 16, p. 249-263, 2020. <http://dx.doi.org/10.14393/Hygeia16055472>.

SANTOS, J. G.; OLIVEIRA, L. A. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão São Bento da ressaca, município de Frutal – MG. *OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia*, v. 5, n. 15, p. 2-23, 2013. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/Observatorium/article/view/45748>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

SANTOS, J. O.; ROSS, J. L. S. Fragilidade ambiental urbana. *Revista da ANPEGE*, v. 8, n. 10, p. 127-144, 2012. <http://dx.doi.org/10.5418/RA2012.0810.0009>.

SANTOS, J. O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. *Mercator*, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, 2015. <https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0005>.

SANTOS, J. R. U.; MARCHIORO, E. Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 39, p. 72-87, 2020. <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.160946>.

SANTOS, M.; SOUZA, C. A.; SOUSA, J. B. The environmental fragility within the Cachoeirinha stream Hydrographic basin, in Cáceres city, Mato Grosso state. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 10, p. 1-24, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i10.33111>.

SANTOS, V. J.; ROCHA, G. C.; ANDRADE, F. L. O Conceito de Risco. *Revista de Geografia*, v. 5, n. 1, p. 33-42, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/17990>>. Acesso em: 13 set. 2023.

SANTOS, V. S. *Análise ambiental integrada do componente solo como subsídio para avaliação da sustentabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Tenente Amaral em Jaciara – Mato Grosso – Brasil*. 2007. 191 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/1599>>. Acesso em: 17 set. 2021.

SATO, T.; KATSUKI, Y.; SHUIN, Y. Evaluation of influences of forest cover change on landslides by comparing rainfall-induced landslides in Japanese artificial forests with different ages. *Scientific Reports*, v. 13, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41539-x>.

SCHIAVO, B. N. et al. Caracterização da fragilidade ambiental de uma Bacia Hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 464-474, 2016. <https://doi.org/10.5902/2236117019981>.

SEAERJ – Sociedade de Engenheiros e Arquitetos do Estado do Rio de Janeiro. *SEAERJHoje*, n. 22, 2013. 2013. (Edição Comemorativa: Hora do Desenvolvimento). Disponível em: <<https://seerj.org.br/SEAERJ%20Hoje/SEAERJ%2022.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2021.

_____. Serviço Geológico. *Riscos de Escorregamento em Encostas: os números fluminenses*. 2016. Disponível em: <<https://seerj.org.br/2016/09/14/servico-geologico-riscos-de-escorregamento-em-encostas-os-numeros-fluminenses>>. Acesso em: 25 out. 2023.

SELBY, M. J. *Earth's changing surface: an introduction to geomorphology*. Nova Iorque: Clarendon/Oxford University Press, 1985. 607 p.

SELUCHI, M. E.; CHOU, S. C. Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, n. 98, v. 1-2, p. 67-77, 2009. <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0101-x>.

SESTINI, M. F.; FERRI, C. P. Procedimento para minimização do efeito de alta frequência resultante de fusão entre bandas TM Landsat e pancromáticas Spot e Quickbird. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLÓGICO, 1., 2007, Taubaté. *Anais...* Taubaté: IPABHi, 2007. p. 59-66. Disponível em: <<https://ipabhi.org/serhidro/doc/pdfs/59-66.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2022.

SGB – Serviço Geológico do Brasil. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Saquarema, RJ. 2019. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21438>>. Acesso em: 19 jun. 2021.

____. *Atlas Pluviométrico do Brasil*. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique///Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>>. Acesso em: 12 mar. 2022.

____. *Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações*. 2023a. Disponível em: <<https://www.sgb.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-5379.html>>. Acesso em: 20 ago. 2023.

____. *GeoSGB*: dados, informações e produtos do Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <<https://geosgb.sgb.gov.br>>. Acesso em: 20 out. 2023b.

____. *Educação Ambiental*: Temas geológicos para Educação Ambiental. Disponível em: <<https://www.sgb.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Educacao-Ambiental-4006.html>>. Acesso em: 10 set. 2023c.

SGB – Serviço Geológico do Brasil; IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações*: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa. São Paulo: IPT; Brasília: CPRM, 2014. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16588/NT-Carta_Suscetibilidade.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2022.

SHANO, L.; RAGHUVANSHI, T. K.; METEN, M. Landslide susceptibility evaluation and hazard zonation techniques: a review. *Geoenvironmental Disasters*, v. 7, n. 18, p. 1-19, 2020. <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00152-0>.

SICAR – Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. *Consulta pública*. Disponível em: <<https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>>. Acesso em: 11 set. 2023.

SILVA, A. A. *Panorama de aplicação de práticas de conservação do solo e água nos Programas de Pagamento por Serviços Ambientais hídricos do Estado do Rio de Janeiro*. 2018. 146 f. Dissertação (Mestrado profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA)) - Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<https://www.bdt.d.uerj.br:8443/handle/1/13507>>. Acesso em: 13 jun. 2023.

SILVA, C. V. T. et al. Caracterização morfométrica, uso e ocupação de uma bacia hidrográfica. *Revista Engenharia na Agricultura – REVENG*, v. 25, n. 5, p. 436-444, 2017. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i5.828>.

SILVA, D. A. et al. Fragilidade ambiental de um setor do Parque Estadual da Cantareira e entorno seccionado pela Rodovia Fernão Dias (BR-381). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6., 2006, Goiânia. *Anais...* Goiânia: UGB, 2006. p. 1-12.

SILVA, E. M.; BACANI, V. M. Análise da fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jatobá-MS. *GEOFRONTER*, v. 9, n. 1, p. 1-24, 2023a. <https://doi.org/10.61389/geofronter.v9i1.7537>.

SILVA, G. A.; COSTA, R. A. Paisagem e fragilidade ambiental natural da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, Ituiutaba/Prata – MG. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 12, n. 39, p. 151-166, 2011. <https://doi.org/10.14393/RCG123916635>.

SILVA, L. C. N.; BACANI, V. M. Simulação de cenários de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio da Prata, MS, utilizando o modelo de Cadeias Markov e autômatos celulares. *Geosul*, v. 38, n. 85, p. 184-207, 2023b. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2023.e87208>.

SILVA, P. R. P. *Associação entre indicadores demográficos, socioeconômicos e ambientais e a prevalência de municípios do Estado do Rio de Janeiro atingidos por desastres de origem hidrológica, no período de 2015 a 2019*. 2020. 94 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020. Disponível em: <<https://defesacivil.uff.br/wp-content/uploads/sites/325/2021/03/TCC-PDF-Paulo-Renato.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2021.

SILVA, P. R. P.; OLIVEIRA, T. R.; MORAES, J. R. Associação entre indicadores demográficos, socioeconômicos e ambientais e a prevalência dos municípios do Estado do Rio de Janeiro atingidos por desastres de origem hidrológica no período de 2015 a 2019. *Educação Ambiental em Ação*, n. 73, 2021. Disponível em: <<http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=4066>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

SILVA, R. C. F. et al. Contribuições para a gestão de bacias hidrográficas a partir da abordagem multicritério para análise da fragilidade ambiental a processos erosivos. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 8, 2022. <https://doi.org/10.18764/2446-6549.e202215>.

SILVA JUNIOR, C. H. L. et al. Uso de lógica fuzzy e processo analítico hierárquico – AHP no zoneamento de áreas suscetíveis a deslizamento utilizando o operador fuzzy média ponderada AHP: O caso da Bacia Hidrográfica do Rio Anil em São Luís – MA. *Revista de Geografia*, v. 3, n. 2, p. 1-7, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/17943>>. Acesso em: 02 ago. 2022.

SILVEIRA, G. V.; GUASSELLI, L. A. Mapeamento das inundações a partir de NDWI no município de Itaquí, Rio Uruguai – RS. *Revista Geociências (UNESP)*, v. 38, n. 2, p. 521-534, 2019. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i2.13679>.

SILVEIRA, M. I. *“Você é o que você come”*: Aspectos da subsistência no Sambaqui do Moa – Saquarema/RJ. 2001. 165 f. Tese (Doutorado em Arqueologia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/1217>>. Acesso em: 22 set. 2020.

SIMÕES, T. S. *Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão Esperança – PR: estudo comparativo de duas metodologias*. 2017. 78 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/5682>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SMITH, P. G. R.; THEBERGE, J. B. A review of criteria for evaluating natural areas. *Environmental Management*, v. 10, p. 715-734, 1986. <https://doi.org/10.1007/BF01867726>.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. *Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano*. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, p. 79-97, 2012. Disponível em: <<https://www.abge.org.br/volume-2-n-1>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

SOARES FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, v. 154, n. 3, p. 217-235, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00059-5).

SOBRINHO, T. A. et al. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000100005>.

SODRÉ, L. *Dois anos após tragédia, contenção é concluída no Morro da Boa Esperança, em Niterói*. O Globo Rio, 2020. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/rio/bairros/dois-anos-apos-tragedia-contencao-concluida-no-morro-da-boia-esperanca-em-niteroi-24734120>>. Acesso em: 12 ago. 2022.

SOLERA, M. L. *Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde*. São Paulo: IPT; FIPT – Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2020. 78 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/343194648_Guia_metodologico_para_implantacao_de_infraestrutura_verde>. Acesso em: 10 fev. 2023.

SOMBRA, Y. B. S.; SILVA, T. P. Avaliação de suscetibilidade a inundações e a movimentos de massa no baixo curso da bacia de drenagem do Rio Muriaé (RJ) com base no Geoprocessamento. *GeoPUC*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 21, p. 7-32, 2018. Disponível em: <<http://geopuc.geo.puc-rio.br/media/v11n21a1.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2021.

SOUZA, C. 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, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>.

SOUZA, C. R. G. Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 70, n. 2, p. 354-366, 1998. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/292776586_Flooding_in_the_Sao_Sebastiao_Regi on_Northern_Coast_of_Sao_Paulo_State_Brazil>. Acesso em: 21 out. 2020.

_____. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 6, n. 1, p. 45-61, 2005. <https://doi.org/10.20502/rbg.v6i1.38>.

SOUZA, E. G. S.; REBELATO, M. G. Avaliação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Baixo Mogi com uso da geotecnologia. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 4, n. 1, p. 411-426, 2021. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n1-036>.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 15-20, 2000. Disponível em: http://www.cecs.unimontes.br/biblioteca_virtual/detalhardoc.php?id=2125>. Acesso em: 09 ago. 2021.

SOUZA, J.; FRUTUOZO, J. V. P. Rio de Janeiro: considerações sobre os processos de expansão urbana e interiorização do crescimento (1980-2010). *urbe, Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 10, n. 1, p. 124-139, 2018. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.001.AO12>.

SOUZA, J. B. *Proposta metodológica para mapeamento de fragilidade ambiental: Estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, MG*. 2021. 217 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Pós-graduação em Geografia e Tratamento da Informação Espacial, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: https://bib.pucminas.br/teses/Geografia_JorgeBatistaDeSouza_19113_Textocompleto.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2022.

SOUZA, K. R. G. *Análise de risco ambiental na Serra do Mar: o caso do Parque Estadual do Cunhambebe e entorno (RJ)*. 2017. 325 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.bdt.d.uerj.br/handle/1/13249>>. Acesso em: 06 mai. 2022.

SPAMLAB IEE-USP – Laboratório de Análise e Modelagem Espacial do Instituto de Energia e Ambiente da USP. *#Tutorial Copernicus DEM – como baixar e qual baixar (DTED ou DGED?)*. 2021. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=_1giv7vpvhc>. Acesso em: 05 set. 2022.

_____. *QGIS – Plugin para baixar MDEs (SRTM, Copernicus, NASADEM, etc)*. 2022. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=1gsV_wyfWJY>. Acesso em: 25 jul. 2022.

SPRÖL, C. *Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais*. 2007. 185 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. <https://doi.org/10.11606/T.8.2007.tde-10102007-145640>.

SPRÖL, C.; ROSS, J. L. S. Análise Comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, v. 8, n. 1, p. 39-49, 2004. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2004.123868>.

STORMGEO. *StormGeo and Grupo Climatedpo join forces to create Latin American weather intelligence leader*. 2019. Disponível em: <<https://www.stormgeo.com/newsroom/stormgeo-climatedpo>>. Acesso em: 25 jun. 2022.

SULAIMAN, S. N. Educação para prevenção de desastres: a persistência do conhecimento tecnocientífico e da individualização do risco. *Territorium: Revista Internacional de Riscos*, n. 25, v. 2, p. 19-30, 2018. https://doi.org/10.14195/1647-7723_25-2_2.

_____. (Coord.). *GIRD+10: caderno técnico de gestão integrada de riscos e desastres*. Brasília/DF: Ministério do Desenvolvimento Regional; Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, 1. ed., 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/Caderno_GIRD10_.pdf>. Acesso em: 28 out. 2023.

SULSOFT. *TerrSet: Geoespatial Monitoring and Modeling System*. 2020. Disponível em: <<http://www.terrset.com.br>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

SUTIL, S. C.; GONÇALVES, J. A. C.; VIEIRA, E. M. Análise comparativa da fragilidade ambiental da bacia do rio Piracicaba a partir da aplicação de dois modelos metodológicos: suporte para o estabelecimento e proposição de corredores ecológicos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 6, p. 3060-3077, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p3060-3077>.

TCE-RJ – Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro. *Estudos Socioeconômicos: Municípios do Estado do Rio de Janeiro*. Saquarema. 2020. Disponível em: <https://www.tcerj.tc.br/portalnovo/publicadordearquivo/estudos_socioeconomicos>. Acesso em: 20 ago. 2021.

TEIXEIRA, T. M. A.; OLIVEIRA, V. P. V.; TEIXEIRA, A. C. O. Fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São João de Tiba, Extremo Sul da Bahia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 4, p. 1941-1956, 2021. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p1941-1956>.

TOLEDO, L. M. et al. Panorama do Sistema Lagunar de Maricá – RJ: indicadores de saneamento vs. qualidade de água. *Revista Internacional de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 01, p. 6-24, 2021. <https://doi.org/10.12957/ric.2021.51768>.

TOMINAGA, L. K. *Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: Aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP*. 2007. 220 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. <https://doi.org/10.11606/T.8.2007.tde-18102007-155204>.

_____. Análise e mapeamento de risco. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Org). *Desastres Naturais: Conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 147-160.

_____. Escorregamentos. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 3. ed., 2015. p. 25-38.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 91 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=29679&view=detalhes>>. Acesso em: 22 abr. 2023.

_____. Geomorphology for the future: geomorphology for development and development for geomorphology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 1., 1985, Chichester. *Anais...* Chichester, UK: University of Manchester, 1986.

TROLL, C. El paisaje geográfico y su investigación. In: MENDOZA, J. G.; JIMÉNEZ, J. M.; CANTERO, N. O. *El pensamiento geográfico: estudio interpretativo y antología de textos (de Humboldt a las tendencias radicales)*. Madrid: Alianza Universidad Textos, 2. ed., 1988. p. 323-329.

TUCCI, C. E. M. *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 2. ed., 2005.

_____. *Gestión de inundaciones urbanas*. Traduzido para espanhol por: NESPOLO, A. P. Organização Meteorológica Mundial, 2007. 315 p. Disponível em: <https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/gestion-de-inundaciones/gestion-de-inundaciones-urbanas-esp.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2022.

UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. *Biblioteca Digital de Teses e Dissertações*. [s. d.]. Disponível em: <<https://www.bdt.d.uerj.br>>. Acesso em: 15 set. 2023.

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. *Pantheon*: Repositório Institucional da UFRJ. [s. d.]. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br>>. Acesso em: 15 set. 2023.

UNISDR – United Nations International Strategy for Disaster Reduction. *Living with risk*. A global review of disaster reduction initiatives. Geneva, Suíça: United Nations, 2004. Disponível em: <<https://www.undrr.org/publication/living-risk-global-review-disaster-reduction-initiatives>>. Acesso em: 22 jun. 2022.

_____. *Terminology on Disaster Risk Reduction*. Genebra, Suíça: 2009. Disponível em: <<https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction>>. Acesso em: 22 jun. 2022.

_____. *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030*. 2015. Disponível em: <http://www.preventionweb.net/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2022.

USACE – US Army Corps of Engineers. *HEC-HMS – Hydrologic Modeling System*: Technical Reference Manual. Davis: Hydrologic Engineering Center, v. 5, 2016a.

_____. *HEC-RAS – River Analysis System*. Hydraulic Reference Manual. Davis: Hydrologic Engineering Center, 2016b. Disponível em: <<https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

USGS – United States Geological Survey. *EarthExplorer*. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

USP – Universidade de São Paulo. *Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP*. [s. d.]. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br>>. Acesso em: 15 set. 2023.

VALENZUELA, C. R. Data analysis and models. In: BELWARD, A. S.; VALENZUELA, C. *Remote Sensing and geographical information systems for resource management in developing countries*. Euro Courses: Remote Sensing, Amsterdam, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, v. 1, 1991. p. 335-348.

VALERIANO, M. M. Programação do cálculo da declividade em SIG pelo método de vetores ortogonais. *Espaço & Geografia*, v. 5, n. 1, p. 69-85, 2002.

_____. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). *Geomorfologia – conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de textos, 1. ed., 2008. p. 72-104.

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da fragilidade ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. *FLORAM - Floresta e Ambiente*, v. 23, n. 2, p. 295-308, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.107714>.

VARNES, J. 1978. Slope movement types and processes. In: SCHUSTER, R. L.; KRIZEK, R. J. (Eds.). *Landslide Analysis and Control*. Special Report 176 Transportation Research Board, National Academy of Science, Washington, USA. p. 11-33. Disponível em: <<https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/sr/sr176/176-002.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2021.

VASCONCELOS, C. *Um homem morre e outro fica ferido em acidente entre ônibus e caminhão em Saquarema*. Extra, 2020. Disponível em: <<https://extra.globo.com/noticias/rio/um-homem-morre-outro-fica-ferido-em-acidente-entre-onibus-caminhao-em-saquarema-rv1-1-24170690>>. Acesso em: 25 out. 2022.

VEYRET, Y. *Os Riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Ed. Contexto, 2007. 319 p.

VIANA, V. J. et al. Base legal de implementação de infraestrutura verde aplicada à redução de riscos de inundação no Rio de Janeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 15., Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: IFRJ, 2018.

VIEIRA, R. S. et al. Fragilidade ambiental emergente da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria do Doce – ES, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 3, p. 1253-1267, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/353542921_Fragilidade_ambiental_emergente_da_bacia_hidrografica_do_rio_Santa_Maria_do_Doce_-_ES_Brasil>. Acesso em: 08 nov. 2022.

VIGNOLLI, J. R. Vulnerabilidade sociodemográfica: antigos e novos riscos para a América Latina e o Caribe. Cap. 4. In: CUNHA, J. M. P. (Org.). *Novas metrópoles paulistas: população, vulnerabilidade e segregação*. Campinas: Unicamp/Nepo, 2006. p. 95-142. Disponível em: <http://www.nepo.unicamp.br/publicacoes/livros/vulnerabilidade/arquivos/arquivos/vulnerab_cap_4_pgs_95-142.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2020.

VITTE, A. C.; MELLO, J. P. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do rio Verde, região Nordeste do estado de São Paulo, Brasil. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, n. 35, p. 192-222, 2013. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2013.75447>.

WECKMÜLLER, R.; VICENS, R. S. Detecção de mudanças florestais em séries temporais utilizando os algoritmos Landtrendr: estudo de caso no Estado do Rio de Janeiro. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 37, p. 44-57, 2019. <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.153546>.

WIKIAVES. *Espécies em Saquarema*. 2021. Disponível em: <https://www.wikiaves.com.br/especies.php?t=c&c=3305505>>. Acesso em: 10 abr. 2022.

WIKILOC. *Trilhas do mundo*. Disponível em: <https://pt.wikiloc.com>>. Acesso em: 14 set. 2023.

WIKIMAPIA. *Favelas, aglomerados subnormais, invasão*. Disponível em: <http://wikimapia.org/#lang=pt&lat=-22.877282&lon=-42.627640&z=12&m=w&tag=7375&search=aglomerados%20subnormais>>. Acesso em: 09 ago. 2022.

WIN, K. N. *QGIS Python Plugins Repository: OpenTopography DEM Downloader 2.0*. 2023. Disponível em: <https://plugins.qgis.org/plugins/OpenTopography-DEM-Downloader>>. Acesso em: 18 mai. 2023b.

WINTER, L. G. *Elaboração de manchas de inundação na área central de Pato Branco considerando aspectos urbanísticos*. 2018. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3251>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

WINDYTY. *Windy.com*. Disponível em: <https://www.windy.com>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Washington: Agriculture Research Service, 1978. 58 p.

WOLLE, C. M. *Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas*. 1988. 384 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

WONG, T. *Mudança climática: urbanista cria 'cidades-esponja' para combater enchentes*. BBC News Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-59549718>>. Acesso em: 27 out. 2023.

WOOD, J. *The geomorphological characterization of Digital Elevation Models*. 1996. 185 f. Tese (PhD) - University of Leicester, Leicester, 1996. Disponível em: <https://hdl.handle.net/2381/34503>>. Acesso em: 22 jun. 2022.

_____. Visualizing Geomorphometry: Lessons from information visualization. *Proceedings of Geomorphometry*, Zurich, p. 9-12, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228873567_Visualizing_Geomorphometry_Lessons_from_Information_Visualization>. Acesso em: 08 ago. 2023.

WOTIKOSKI, S. L. et al. Corredores ecológicos em rodovias. In: JORNADA ACADÊMICA DAS ENGENHARIAS, 1., 2020, Governador Valadares. *Anais...* Governador Valadares: UNIVALE, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.univale.br/index.php/jae/article/view/127>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

XU, W.; QIAO, Y.; WU, W. *The evolution of national disaster risk reduction plans in China*. 2020. Disponível em: <<https://www.gfdr.org/en/feature-story/evolution-national-disaster-risk-reduction-plans-china>>. Acesso em: 06 nov. 2022.

YAMAZAKI, D. et al. A physically based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model. *Water Resources Research*, v. 47, n. 4, p. 1-21, 2011. <https://doi.org/10.1029/2010WR009726>.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965. [https://doi.org/10.1016/s0019-9958\(65\)90241-x](https://doi.org/10.1016/s0019-9958(65)90241-x).

ZANETTI, S. S. et al. Avaliação de modelos digitais de elevação para análise espacial de bacias hidrográficas. *Cadernos de Geociências*, v. 15, 2022. <https://doi.org/10.9771/geocad.v15i0.30650>.

ZHANG, J. et al. Accelerating effect of vegetation on the instability of rainfall-induced shallow landslides. *Remote Sensing*, v. 14, n. 22, 2022. <https://doi.org/10.3390/rs14225743>.

ZHANG, K. et al. High-efficiency microsatellite-using super-resolution algorithm based on the multi-modality super-CMOS Sensor. *Sensors*, v. 20, n. 14, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20144019>.

ZHANG, Y. Understanding image fusion. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 70, n. 6, p. 657-661, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/342318144_Understanding_Image_Fusion>. Acesso em: 29 ago. 2021.

ZHOU, W. et al. A New Index Model NDVI-MNDWI for Water Object Extraction in Hybrid Area. In: BIAN, F.; XIE, Y. (Eds.). *Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem*. GRMSE 2014. Communications in Computer and Information Science. Berlim: Springer, v. 482, 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45737-5_51.

ZUQUETTE, L.V. *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamento e guia para elaboração*. 1993. 368 f. Tese (Livre-docência em Geotecnia) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/18/tde-27092019-143236/pt-br.php>>. Acesso em: 22 abr. 2022.

APÊNDICE E – MATRIZES DE CONFUSÃO DAS CLASSIFICAÇÕES POR DZETSAKA – GAU, KNN E RF (T2)

Matriz de Erros por Área (m²)	DZETSAKA – GAU (t2)			Referência						
Classificado	3	11	15	21	24	29	33	49	Área	Proporção
3	0,5543	7	156	4	8	0	1	321	19798600	0,604
11	0,0003	204	26	15	1	0	4	18	883556	0,027
15	0,0006	18	542	511	30	26	0	26	3799760	0,116
21	0,0017	97	84	1288	21	0	0	178	5526076	0,169
24	0,0006	3	28	133	69	0	1	9	816220	0,025
29	0	1	0	0	0	6	0	0	25660	0
33	0	30	0	0	0	0	57	0	284000	0,009
49	0,0146	0	55	2	6	0	2	291	1644240	0,05
Total	0,5721	360	891	1954	135	33	65	842	32778112	
Área (m²)	18750910	1178498	2921670	6403317	443327	107503	213027	2759860	32778112	
Erro padrão	0,0005	2	4	4	2	1	0	4		
Erro padrão (área m²)	14757	4987	13144	11898	5825	2594	1589	14343		
95% intervalo de confiança (área m²)	28924	9774	25763	23319	11418	5085	3114	28113		
Precisão do produtor [%]	96,9015	566768	607909	659275	506525	176455	878134	345080		
Precisão do usuário [%]	91,7737	755963	467427	763932	275118	739259	658683	579217		
Kappa hat	0,8078	7469	4153	7066	2652	7384	6565	5405		
Precisão geral [%] = 79,9877										
Coeficiente de acurácia Kappa = 0,6696										

Matriz de Erros por Área (m²)	DZETSAKA – KNN (t2)			Referência						
Classificado	3	11	15	21	24	29	33	49	Área	Proporção
3	0,576	17	217	16	17	0	0	356	20922932	0,638
11	0,0003	260	32	22	1	0	5	27	1144120	0,035
15	0,0006	44	408	1022	40	18	0	46	5193456	0,158
21	0,0011	32	58	843	16	0	0	153	3650756	0,111
24	0	2	8	103	23	0	0	2	452052	0,014
29	0	1	1	0	0	6	0	0	29088	0
33	0	17	0	0	0	0	56	0	238708	0,007
49	0,0092	0	22	1	4	0	1	230	1147000	0,035
Total	0,5873	373	745	2008	101	25	62	814	32778112	
Área (m²)	19249590	1221603	2440882	6580897	332083	82125	201669	2669263	32778112	
Erro padrão	0,0005	1	4	3	1	1	0	4		
Erro padrão (área m²)	15123	4886	12224	10682	4595	1879	971	13637		
95% intervalo de confiança (área m²)	29642	9576	23959	20937	9006	3683	1903	26729		
Precisão do produtor [%]	98,085	696533	547247	419947	222318	255199	907972	283048		
Precisão do usuário [%]	90,2405	743705	257202	757002	163318	720513	767086	658701		
Kappa hat	0,7635	7338	1974	6960	1548	7198	7656	6284		
Precisão geral [%] = 75,8575										
Coeficiente de acurácia Kappa = 0,5885										

Matriz de Erros por Área (m²)	DZETSAKA – RF (t2)			Referência						
Classificado	3	11	15	21	24	29	33	49	Área	Proporção
3	0,5749	18	215	21	17	0	0	251	20556568	0,627
11	0,0002	247	25	19	1	0	1	22	1041136	0,032
15	0,0007	38	417	1055	37	0	0	47	5247780	0,16
21	0,0013	44	60	819	16	0	0	161	3649652	0,111
24	0	6	14	119	29	0	0	3	561992	0,017
29	0	0	0	0	0	8	0	0	27032	0
33	0	16	0	0	0	0	55	0	233104	0,007
49	0,0121	0	19	1	3	0	0	302	1460848	0,045
Total	0,5891	369	750	2035	104	8	56	787	32778112	
Área (m²)	19310154	1209897	2457998	6671307	341803	25246	183446	2578262	32778112	
Erro padrão	0,0004	2	4	3	1	0	0	4		
Erro padrão (área m²)	14220	5025	12174	10955	4650	224	567	12429		
95% intervalo de confiança (área m²)	27871	9850	23861	21473	9114	440	1112	24361		
Precisão do produtor [%]	97,5794	668717	555733	402424	282301	984860	985519	383608		
Precisão do usuário [%]	91,6628	777111	260299	735602	171695	919804	775574	677032		
Kappa hat	0,7971	7686	2003	6680	1630	9197	7743	6495		
Precisão geral [%] = 76,2511										
Coeficiente de acurácia Kappa = 0,5981										

