

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

JOÃO MATEUS MARÃO DOMINGUES

USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA O ZONEAMENTO AMBIENTAL DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO DO QUILOMBO: subsídios voltados para área de expansão
urbana do município de São Carlos – SP

SÃO CARLOS – SP

2021

JOÃO MATEUS MARÃO DOMINGUES

USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA O ZONEAMENTO AMBIENTAL DA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO DO QUILOMBO: subsídios voltados para área de expansão
urbana do município de São Carlos – SP

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção de título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Noel Stanganini

São Carlos – SP

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Urbana

FOLHA DE APROVAÇÃO

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato João Mateus Marão Domingues, realizada em 20/07/2021.

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Fábio Noel Stanganini (UFSCar)

Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini (UFSCar)

Prof. Dr. Vitor Eduardo Molina Junior (UNICAMP)

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

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

Dedico este trabalho aos meus pais, em especial a minha avó e minha mãe, que sempre me apoiaram nos estudos e à minha instituição de ensino Universidade Federal de São Carlos. Aos amigos que contribuíram de forma direta ou indiretamente no desenvolvimento deste trabalho, e aos colegas do curso de graduação e de pós-graduação.

AGRADECIMENTOS

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

Esta pesquisa não seria realizada sem a ajuda, direta ou indireta, de alguns colaboradores, por isso explico meus agradecimentos:

À minha instituição de ensino, Universidade Federal de São Carlos, pelas pessoas que a compõem, tais como o corpo docente, direção e a administração da academia, que me proporcionaram o ingresso ao programa de pós-graduação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fábio Noel Stanganini pelas sugestões e orientações concedidas.

As minhas colegas de turma Letícia Souza e Maria Eugenia Gonzalez Alvares que me auxiliaram indiretamente para o desenvolvimento do presente relatório. Aos meus colegas de laboratório Felipe Inguaggiato e Vagner Serikawa.

Aos colegas de graduação, aos amigos anteriores e às amigas adquiridas ao longo da minha trajetória estudantil, que contribuíram fortemente em minha construção acadêmica, profissional e social.

E especialmente aos amigos e guerreiros de batalha Alex Rogério Silva, Felipe Ivonez Borges Alexandre e Tatiane Olivatto

Por fim, à minha mãe e avó e pelo apoio prestado nas dificuldades enfrentadas na fase final do curso superior.

RESUMO

Os aspectos físicos e ambientais são constantemente esquecidos durante a fase de planejamento, motivo pelo qual há um desencadeamento de riscos ambientais derivados de problemas de gestão pública. No escopo do planejamento municipal, o plano diretor tem papel fundamental para estabelecer diretrizes estratégicas para o desenvolvimento socioeconômico de uma cidade. Dentre a variedade de instrumentos urbanísticos dentro de um plano diretor, encontra-se o zoneamento ambiental que visa identificar e delimitar unidades ambientais conforme suas características físicas e fragilidades. O advento tecnológico proporcionou o desenvolvimento de Sistemas de Informações Geográficas otimizando os processos de ordenamento territorial, e avaliação da interação entre os meios antrópico e físico. Este trabalho tem como objetivo dar suporte para o planejamento urbano mediante ao desenvolvimento do zoneamento ambiental inserido na área de expansão urbana de São Carlos, na Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo. A distinção das zonas ambientais será baseada na compartimentação do território de acordo com suas potencialidades com base em atributos físicos. O desenvolvimento metodológico fundamentado nesta pesquisa apresenta três etapas, sendo a primeira definida pelo diagnóstico que tem como finalidade analisar e estruturar as informações espaciais; a segunda fase consiste no prognóstico que visa o tratamento das informações da etapa anterior; e o terceiro procedimento visa a integração e interpretação dos documentos cartográficos gerados. O tratamento dos dados geoespaciais e operações de geoprocessamento foram realizados por meio do uso do programa QGIS. Para alcançar os resultados foi necessário desenvolver cinco documentos cartográficos, definidos pelos mapas de altitude, declividade, uso e ocupação do solo, substrato rochoso e material inconsolidado. Com o auxílio da álgebra de mapas foi possível elaborar dois mapas de zoneamento ambiental, estimados pelas médias aritméticas ponderada e simples. A tendência para futuras implementações de infraestruturas urbanas na área estudada foram classificadas conforme a aptidão, variando entre áreas mais ou menos favoráveis. Apesar de apresentar tendências favoráveis na região de expansão urbana de São Carlos é visto que a mesma região se encontra na macrozona de proteção de mananciais. O ordenamento territorial e as classificações obtidas são fundamentais para a gestão da ocupação racional tendo em vista o uso sustentável dos recursos naturais do território.

Palavras-chave: Aptidão. Planejamento Municipal. SIG. Sub-bacia Hidrográfica do Rio Quilombo. Zoneamento Ambiental.

ABSTRACT

The physical and environmental aspects are constantly forgotten during the planning phase, which is why there is a triggering of environmental risks arising from public management problems. In the scope of municipal planning, the master plan has a fundamental role in defining strategic guidelines for the socioeconomic development of a city. Among the variety of urban tools within a master plan, it is found in the environmental zoning that aims to identify and delimit environmental units according to their physical characteristics and fragilities. The technological advent provided the development of Geographic Information Systems optimizing the processes of territorial planning, and evaluation of the interaction between the anthropic and physical methods. This work aims to support urban planning through the development of environmental zoning inserted in the urban expansion area of São Carlos, in the Hydrographic Sub-basin of Quilombo River. The distinction of environmental zones will be based on the subdivision of the territory according to its potentialities based on physical attributes. The methodological development based on this research has three stages, the first being defined by the diagnosis that has to analyze and structure spatial information; the second stage consists of the prognosis based at processing the information from the previous stage; and the third procedure for the integration and interpretation of the cartographic documents generated. The processing of geospatial data and geoprocessing operations were performed through the use of the QGIS program. To achieve the results, it was necessary to develop five cartographic documents, defined by the maps of altitude, slope, use and occupation of the soil, rocky substrate and unconsolidated material. With the help of map algebra, it was possible to elaborate two environmental zoning maps, estimated by the weighted and simple arithmetic averages. The suitability towards future urban infrastructure implementations in the area studied was classified according to suitability, varying between more or less favorable areas. Despite presenting favorable trends in the urban expansion region of São Carlos, it is seen that the same region is in the macro zone of protection of water sources. The territorial planning and the classifications obtained are fundamental for the management of rational occupation with a view to the sustainable use of the natural resources of the territory.

Keywords: Suitability. Municipal Planning. GIS. Quilombo River Sub-basin. Environmental Zoning.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Diferentes abordagens de estudos de natureza geoambiental. 14
- Figura 2 – Mapa de localização do limite municipal de São Carlos, destacando a área de concentração urbana e as Sub-bacias Hidrográficas no seu entorno. 18
- Figura 3 – Aptidão das Sub-bacias do município de São Carlos para captação de água para abastecimento, indicando as áreas de expansão urbana. Contendo quatro unidades hídras classificadas como favoráveis à captação (Guarirobas, Jacaré-Guaçu, Mogi-Guaçu, Quilombo), e seis desfavoráveis (Araras, Cabeceiras, Chibarro, Feijão, Monjolinho e Pântano). 19
- Figura 4 – Delimitação da área de estudo destacando o macrozoneamento do Município de São Carlos, conforme o Plano Diretor do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 2016). As áreas preenchidas em amarelo na região Central, Centro-Sul, Sul e Oeste marcam o perímetro de expansão urbana, já em cinza o perímetro urbano (Distrito de Santa Eudóxia a Norte, Distrito de Água Vermelha a Leste porção superior e São Carlos a Leste porção inferior). 21
- Figura 5 – Macrozoneamento de parte da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo. Em destaque encontram-se as cinco classes definidas no macrozoneamento urbano: perímetro urbano, áreas consolidadas isoladas (distritos de Água Vermelha, Santa Eudóxia e loteamentos isolados), expansão urbana, proteção de mananciais e rural. 26
- Figura 6 – Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos inseridas no limite municipal de São Carlos. Destacado em azul a Bacia Mogi-Guaçu (UGRHI 9), em verde a Bacia Tietê-Jacaré (UGRHI 13) e em cinza o limite municipal de São Carlos. 37
- Figura 7 – Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos inseridas no limite municipal de São Carlos, destacando o limite da Sub-bacia do Quilombo, o perímetro e a área de expansão urbana. 39
- Figura 8 – Municípios limítrofes da área de estudo, sendo destacado a Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo em vermelho e o limite municipal de São Carlos em cinza mais escuro. 41
- Figura 9 – Mapa de localização da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo, destacando o contexto urbano, como a mancha e expansão urbana de São Carlos. 43
- Figura 10 – Rede hidrográfica da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo, destacando os principais cursos d'água (Rio Mogi-Guaçu e Rio do Quilombo) e os corpos d'água (Represas da Barra, do Bom Retiro e do 29). 44
- Figura 11 – Substrato rochoso da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo. 46

Figura 12 – Precipitações e temperaturas médias da área de estudo entre os anos de 1992 e 2010.	48
Figura 13 – Material inconsolidado da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo.	49
Figura 14 – Etapas do desenvolvimento metodológico da pesquisa.	52
Figura 15 – Estrutura dos procedimentos executados conforme as etapas metodológicas da pesquisa.	52
Figura 16 – Relação dos atributos físicos e as respectivas fontes de aquisição.	53
Figura 17 – MDE obtido pelo tratamento da imagem de satélite ALOS PALSAR, expressado em metros.	61
Figura 18 – Declividade obtida pelo tratamento do MDE, expressado em porcentagem.	62
Figura 19 – Classificação dos recursos hídricos superficiais segundo a distância dos cursos d'água. Destacado em laranja distâncias de até 30 metros, e em amarelo entre 30 a 200 metros.	64
Figura 20 – Classes de uso e ocupação do solo obtido pela automatização de amostras de cada classe.	66
Figura 21 – Inconsistências geradas pelo aprendizado de máquina. Destacado em círculos na porção Sul, regiões classificadas como áreas urbanas, porém sem características presentes na imagem de satélite, assim como áreas de vegetação nativa/florestament (destaco pelas setas)	67
Figura 22 – Classes do substrato rochoso.	69
Figura 23 – Classes do material inconsolidado.	70
Figura 24 – Aptidão para implementação de futuras infraestruturas urbanas definido pelo zoneamento ambiental estimado por média aritmética ponderada.	72
Figura 25 – Aptidão para implementação de futuras infraestruturas urbanas definido pelo zoneamento ambiental estimado por média aritmética simples.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aplicação e escalas estabelecidas no decreto nº 4.297 para a elaboração do ZEE.	31
Tabela 2 – Características gerais das UGRHIs Mogi-Guaçu e Tietê-Jacaré.	37
Tabela 3 – Categorias e características consideradas para classificar o uso e ocupação do solo.	56
Tabela 4 – Categorias e características consideradas para classificar o substrato rochoso de acordo com seu potencial de porosidade e permeabilidade.	56
Tabela 5 – Categorias e características consideradas para classificar o material inconsolidado de acordo com sua textura.	57
Tabela 6 – Classe de aptidão frente aos fatores ambientais considerados na área de estudo.	58
Tabela 7 – Atribuição dos valores qualitativos para quantitativos.	58

LISTA DE SIGLAS

ALOS – Advanced Land Observing Satellite

APP – Área de Preservação Permanente

MDE – Modelo Digital de Elevação

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PDMSC – Plano Diretor Municipal de São Carlos

PNGC – Plano de Gerenciamento Costeiro

PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente

SBHRQ – Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo

SIG – Sistemas de Informações Geográfica

UBCs – Unidades Básicas de Compartimentação

UGRHI – Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

ZA – Zoneamento Ambiental

ZEE – Zoneamento Ecológico-Econômico

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SIGLAS	xi
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVOS	22
1.2.1 Objetivo Geral	22
1.2.2 Objetivo Específico	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS	23
2.2 ZONEAMENTO	28
2.3 ZONEAMENTO AMBIENTAL	32
2.4 UNIDADES DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS	36
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	40
3.1 SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO QUILOMBO	40
3.2 CONTEXTO GEOLÓGICO	45
3.3 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS	47
3.3.1 Geomorfologia	47
3.3.2 Clima	47
3.3.3 Pedologia	48
3.3.4 Vegetação	51
4 MATERIAIS E MÉTODOS	52
4.1 DIAGNÓSTICO	55
4.1.1 Mapa de Declividade	55

4.1.2 Mapa de Recursos Hídricos Superficiais	55
4.1.3 Mapa de Uso e Ocupação do Solo	55
4.1.4 Mapas Litológico e de Materiais Inconsolidados	56
4.2 PROGNÓSTICO	57
4.2.1 Carta de Zoneamento Ambiental	57
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
5.1 DIAGNÓSTICO	60
5.1.1 Mapa de Declividade	60
5.1.2 Mapa de Recursos Hídricos Superficiais	63
5.1.3 Mapa de Uso e Ocupação do Solo	65
5.1.4 Mapas do Substrato Rochoso e de Material Inconsolidado	67
5.2 PROGNÓSTICOS	71
5.2.1 Mapas de Zoneamento Ambiental	71
5.3 SUBSÍDIO À IMPLEMENTAÇÃO	75
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

1 INTRODUÇÃO

O acelerado e crescente processo de desenvolvimento urbano acarreta uma série de impactos no cotidiano da população, sob o âmbito ambiental, social, econômico e cultural (SANTOS *et al.*, 2017). O movimento de migração do campo para as cidades tem favorecido a evolução da densidade populacional e a ocupação do solo, e conseqüentemente, o aumento às agressões ao meio ambiente (BARAT, 1978; SANTOS *et al.*, 2017).

Grande parte dos problemas ambientais estão relacionados aos problemas de gestão pública, uma vez que as questões ambientais são desconsideradas durante a fase de planejamento (SOUZA, 2013). Duarte (2009, p. 22) define planejamento como: “o conjunto de medidas tomadas para que sejam atingidos os objetivos desejados, tendo em vista os recursos disponíveis e os fatores externos que possam influir nesse processo.” Nesse contexto, conforme a Constituição Federal o documento que visa o planejamento municipal é conhecido por plano diretor, o qual dispõe as diretrizes estratégicas para o desenvolvimento urbano, assim como das funções econômicas e sociais da cidade (BRASIL, 1988).

Dentre os diversos instrumentos adotados para auxiliar na elaboração de um plano diretor, há o zoneamento ambiental. Esta ferramenta serve de base para o planejamento territorial, auxiliando no processo de identificação e delimitação de unidades ambientais em determinado espaço, de acordo com suas características físicas e suas fragilidades (SILVA; SANTOS, 2004; GUEDES; MEDEIROS; COSTA *et al.*, 2016). Silva e Santos (2011) acrescentam que, além de reconhecer, localizar e classificar atributos espaciais, o zoneamento ambiental também contribui como o resultado de análises dinâmicas e regionalização de atributos relevantes, de modo a integrar essas análises.

O zoneamento ambiental se associa a um instrumento de planejamento sob dois aspectos complementares, um voltado para a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA, Lei nº 6.938/1981 – BRASIL, 1981), e o outro direcionado para o desenvolvimento urbano (Estatuto da Cidade, Lei nº 10.257/2001 – BRASIL, 2001). Segundo o PNMA este tipo de zoneamento prevê a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, desenvolvimento socioeconômico e proteção à dignidade humana; já para o Estatuto da Cidade este instrumento tem como funcionalidade regular o uso da propriedade urbana a favor da segurança e bem-estar dos cidadãos, e do equilíbrio ambiental. Batistela (2007) destaca que o zoneamento ambiental, para ambas políticas (PNMA e Estatuto da Cidade), está voltado para

as potencialidades de uso do território, levando em consideração medidas de proteção ambiental e mediação de usos.

Uma ferramenta comumente utilizada em estudos de análises ambientais é o uso de geotecnologias, tal prática visa monitorar e gerir mudanças ocorridas no meio ambiente, sejam de caráter natural ou antrópico, assim como auxiliar trabalhos de planejamento, fiscalização, delimitação, implementação, zoneamento e manejo. E por consequência esta aplicação otimiza o diagnóstico e a gestão da área estudada (ARAGÃO; DUARTE, 2016; DIAS; FIGUEIRÔA, 2020).

As técnicas do geoprocessamento e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) permitiram a avaliação de condições ambientais sob uma melhor precisão a um menor esforço humano, no que se diz respeito a coleta e a reorganização dos dados, e especialmente para o zoneamento ambiental, onde se obteve novas possibilidades de análises espaciais para delimitação de unidades ambientais (PAULA; SOUZA, 2007).

O estudo mútuo entre modelos matemáticos, dados experimentais e/ou preexistentes favorece a compreensão do comportamento de fenômenos naturais e antrópicos por meio de análises quantitativas e qualitativas. Esta análise integrada também gerou novas perspectivas quanto ao armazenamento, processamento de imagens e dados geográficos, auxiliando a prospecção de novos conhecimentos e relações contidas nas informações exploradas. E consequentemente possibilitou a compreensão das influências do meio sobre a qualidade de vida do ser humano, e vice-versa, melhorando o planejamento do crescimento de determinada região e servindo de suporte para o processo de tomada de decisão.

O desafio tecnológico enfrentado pelas pesquisas vinculadas ao geoprocessamento continua sendo a aplicabilidade em dados espaciais que demandam a representação de fenômenos dinâmicos. Assim, há a necessidade de implementar modelos espaço-temporais em ambiente SIG a fim de simular as leis que governam tais processos dinâmicos por meio das modelagens numéricas, isto é, através de equações iterativas (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Outra dificuldade encontrada pelo tratamento de dados espaciais está relacionada às questões ambientais em meios antropizados, as quais exigem um entendimento multidisciplinar, devido à análise das relações do meio ambiente e a atividade humana. Necessitam também de uma visão integrada dos aspectos do meio físico dos sistemas naturais, e de suas influências nos fatores socioeconômicos e políticos. Como exemplo de algumas áreas

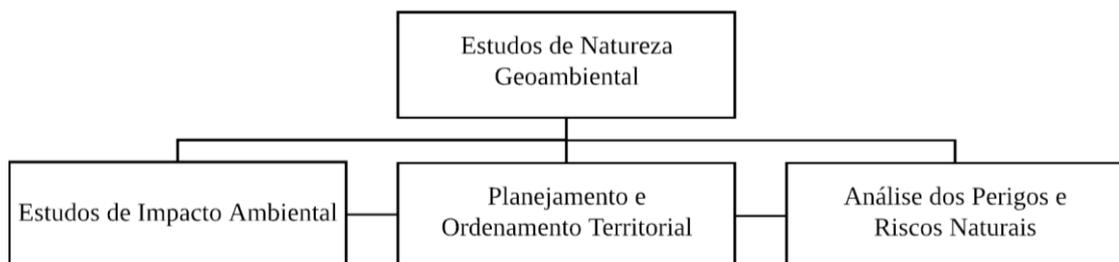
que buscam a caracterização do meio físico podem ser citados: gerenciamento de recursos, gerenciamento ambiental e urbano (zoneamento ambiental e territorial), planejamento de recursos hídricos, entre outros (SILVA, 2014).

Apesar da existência de uma diversidade de estudos sob o ponto de vista da engenharia e geotecnologia, há um assunto de intersecção entre os elementos do planejamento urbano, o qual está inserido na esfera do zoneamento ambiental. Para Ross (1994) o planejamento econômico e ambiental do território (seja em escala, municipal, estadual, federal, bacia hidrográfica, ou qualquer outra unidade espacial) é essencial, tendo como objetivo o ordenamento territorial, tomando-se como premissas a potencialidade dos recursos naturais e humanos e as fragilidades dos ambientes.

Cabe ressaltar que o planejamento urbano não se trata de um controle centralizado, mas sim de um planejamento construtivo. Tem como ponto central a antecipação de necessidades, coordenação de esforços e estabelecimento de horizontes de modo a melhorar a habitabilidade das cidades (BARATTO, 2020). Uma de suas frentes entrelaça-se a um tema relevante às políticas pública, como a prevenção e controle dos fatores de riscos e agravos relacionados ao ambiente.

De acordo com Sobreira (1995), citado por Silva (2005), estudos de natureza geoambiental podem ser separados em três etapas: i. Planificação (análise, diagnóstico e recomendação); ii. Ordenamento (normas estabelecidas com base na etapa anterior); iii. Manejo e gestão (implantação, acompanhamento e controle das atividades do uso do território). Com isso, pesquisas geoambientais podem apresentar três vertentes distintas: planejamento e ordenamento territorial, análise dos perigos e riscos naturais, e estudos de impactos ambientais (Figura 1). Apesar das abordagens serem diferentes, são interligadas entre si, uma vez que têm como problema central a ação antrópica na natureza.

Figura 1 – Diferentes abordagens de estudos de natureza geoambiental.



Fonte: Silva (2005).

Uma das abordagens destacadas consiste nos Estudos de Impacto Ambiental que podem ser entendidos como uma avaliação sistemática das consequências consideradas efetiva ou potencialmente causadoras de degradação ambiental, sua aplicação destina-se na proposição de medidas mitigadoras e/ou compensatórias de acordo com o projeto a ser implementado (CETESB, 2014).

Outro aspecto ressaltado é o Planejamento e Ordenamento Territorial como instrumentos de gestão ambiental tem papel fundamental para a melhoria da qualidade de vida de uma população, visto que deve ser englobado princípios de desenvolvimento sustentável, para garantir a aplicação de recursos em áreas potenciais para o desenvolvimento urbano (CASAGRANDE; SOUZA, 2013).

Já a última abordagem, Análise de Perigos e Riscos Naturais, está conectada com o método conhecido como mapeamento de fragilidade ambiental. Esta técnica é utilizada para compreender as características e a dinâmica do ambiente natural, e do meio sócio econômico. Seus procedimentos envolvem estudos do clima, cobertura vegetal, geologia, relevo, solo e uso e ocupação da terra. Estas informações são combinadas e geram uma carta que expressa a variação de fragilidade do ambiente de acordo com suas características genéticas (ROSS, 1994).

Fragilidade ambiental é reconhecida por ser um dos instrumentos do planejamento territorial, o qual reconhece e investiga as vulnerabilidades do ambiente de forma integrada e proporciona um melhor direcionamento para as diretrizes a serem implantadas, podendo assim servir de embasamento para o zoneamento ambiental (SILVA, 2014).

Becker e Egler (1996) designam os seguintes aspectos como relevantes para a elaboração do zoneamento:

- a) representar informações necessárias para a ocupação racional e para o uso sustentável dos recursos naturais do território;
- b) prover informações integradas em uma base geográfica;
- c) classificar o território de acordo com a sua capacidade de suporte ao uso e ocupação.
- d) ser condicionante de planejamento e gestão para o desenvolvimento em bases sustentáveis, colocando-se como instrumento corretivo e estimulador desse desenvolvimento.

Kurt *et al.* (2003) consideram as seguintes vantagens em relação ao zoneamento ambiental:

- a) delimitação de possíveis irreversibilidades e pontos de fragilidade biológica antes que se tomem decisões sobre o uso de cada área, que possam desencadear danos irreversíveis, tendo, portanto, caráter preventivo;
- b) identificação de atividades antrópicas para cada setor da unidade ambiental e seu respectivo manejo;
- c) pelo fato da metodologia de zoneamento ambiental ser flexível, permite que se adapte a definição de manejo de uma zona conforme sua realidade.

Fenômenos naturais podem ser entendidos por qualquer ação resultante das forças da Terra sem a intervenção humana. Estes processos podem ser condicionantes à vida terrestre, uma vez que influenciam diretamente a biosfera através de epidemias, condições meteorológicas e desastres ambientais. Tais eventos evoluem independentemente da existência de vida terrestre, visto que eles acompanham a evolução do planeta desde seus estágios iniciais.

Mediante ao contexto urbano os eventos naturais podem remeter a resultados prejudiciais à uma população em determinada região, como por exemplo, alagamentos, processos erosivos e movimentos de massa. Tais fenômenos podem atingir níveis mais graves, ou até mesmo catastróficos, dependendo das condições físicas, do tipo de instalação e a densidade populacional da área. Por causa disso, é de fundamental o entendimento destes fenômenos, desde sua formação até suas consequências.

Neste sentido, para um município a caracterização tanto de áreas ocupadas quanto de áreas a serem ocupadas, é de grande importância para o entendimento da dinâmica dos processos ambientais atuantes em determinada região afim de minimizar danos sociais, econômicos, ambientais, e principalmente à qualidade de vida dos munícipes. Com isso, o presente trabalho tem como finalidade propor o Zoneamento Ambiental (ZA) de parte de uma Bacia Hidrográfica como instrumento do planejamento territorial. A aplicação deste instrumento tem como propósito servir de suporte para a formulação de políticas e estratégias de desenvolvimento a serem implementadas na área de estudo que está sujeita aos processos de urbanização.

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com o art. nº 225 da Constituição Federal é dever do poder público e da coletividade defender, preservar e melhorar as condições do meio ambiente ecologicamente equilibrado para as atuais e futuras gerações (BRASIL, 1988). Para que esta estabilidade seja

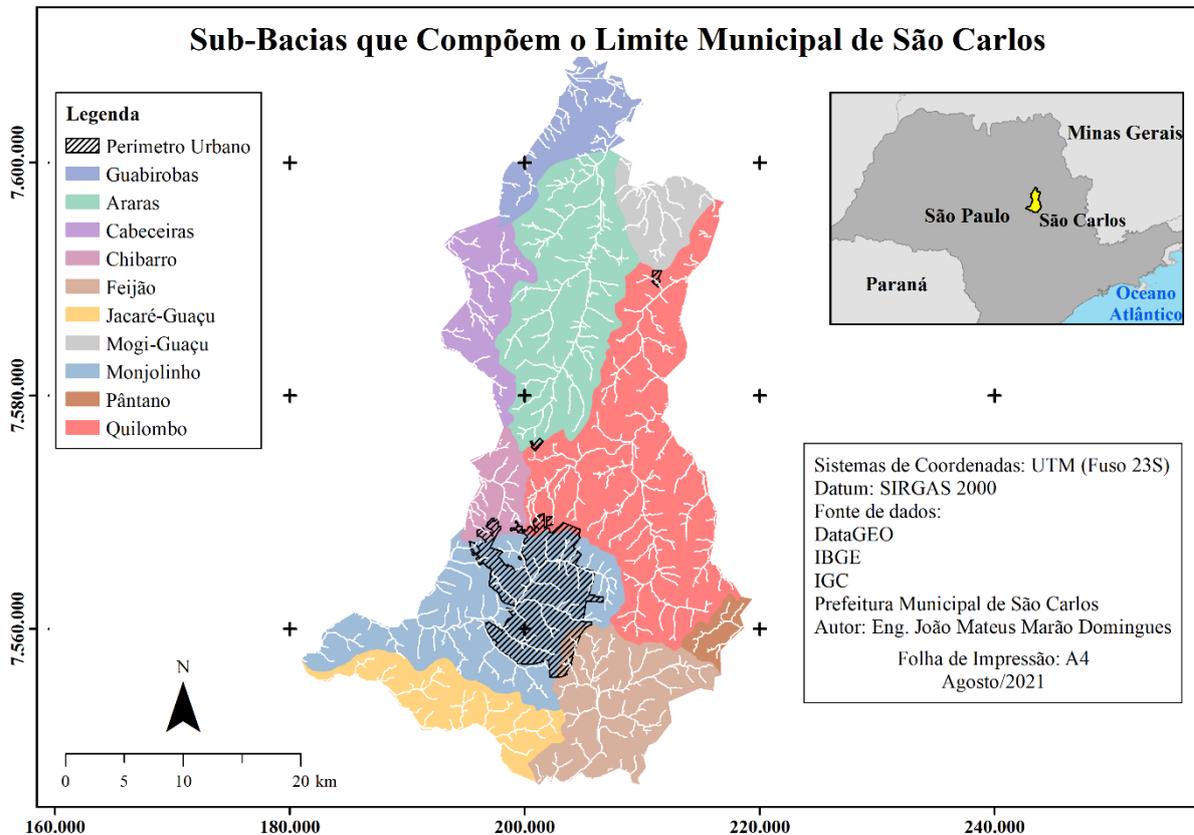
alcançada é necessária a execução de práticas preservacionistas e de controle ambiental, com a finalidade de diminuir os impactos antrópicos. Isto será possível por meio de levantamentos e estudos sistemáticos prévios sobre os tipos de uso e ocupação do solo, e dos principais elementos e condicionantes do meio físico (LOPES; SALDANHA, 2016).

O Plano Diretor Municipal de São Carlos (PDMSC, Lei nº18.053 – SÃO CARLOS, 2016) estabelece que a expansão urbana deverá respeitar as limitações de infraestrutura e ambientais. Segundo o parágrafo 6 do art. 2º do PDMSC as atividades de interesse urbano ou rural são aquelas inerentes ao pleno exercício do direito a cidade sustentável, respeitando e cumprindo as funções sociais do município e ao bem-estar de seus habitantes, incluindo a preservação do patrimônio ambiental e preservação dos recursos necessários à vida urbana e rural, tais como os mananciais, corpos d'água, áreas arborizadas e reservas florestais.

Considerando que as expansões agrícolas, urbanas e industriais a exploração de recursos naturais tem se intensificado constantemente, gerando assim diferentes perturbações no meio ambiente, e conseqüentemente um desequilíbrio ao estado ecológico. O desenvolvimento de estudos relacionados ao zoneamento ambiental objetiva propiciar um ordenamento territorial como solução alternativa para a distribuição do uso racional de recursos, assegurando a preservação da biodiversidade, processos naturais e serviços ambientais ecossistêmicos (AMORIM; OLIVEIRA, 2013).

Este trabalho dará subsídios para a compreensão do meio físico a partir da identificação de características geoespaciais de uma porção da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo (SBHRQ) que está inserida no limite urbano de São Carlos na região Centro-Leste do estado de São Paulo (Figura 2). Este conhecimento favorecerá a identificação dos condicionantes físicos que formam o local, e o reconhecimento das possíveis fragilidades ambientais que a região pode ser submetida no futuro. As informações obtidas também servirão de base para o entendimento dos processos atuantes entre o meio físico e urbano.

Figura 2 – Mapa de localização do limite municipal de São Carlos, destacando a área de concentração urbana e as Sub-bacias Hidrográficas no seu entorno.

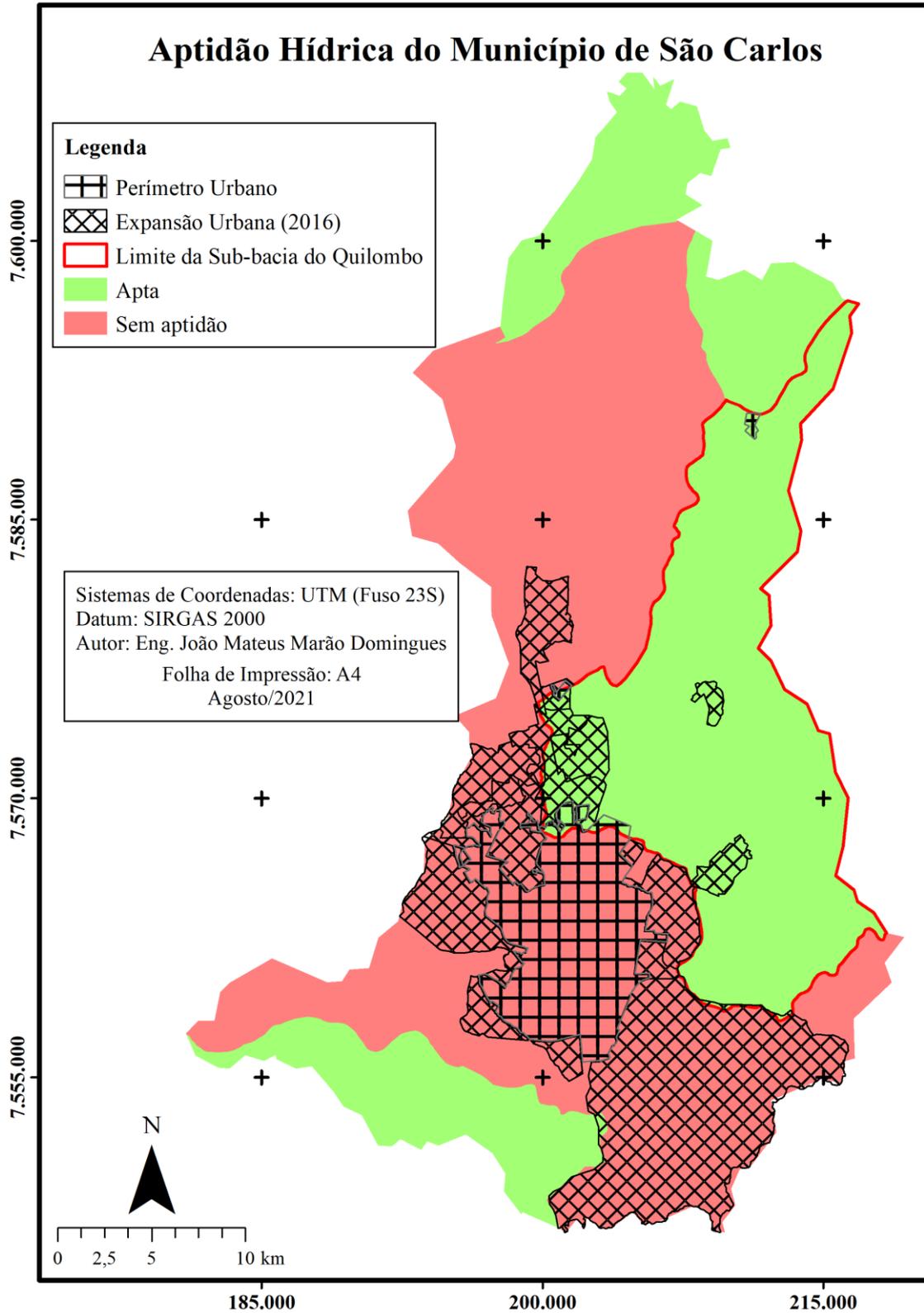


Fonte: Autor, 2021.

A escolha da SBHRQ se embasou na pesquisa desenvolvida por Montañó e Souza (2016), a qual distingue quais Unidades Hidrográficas inseridas no limite municipal de São Carlos estão aptas à captação de recursos hídricos superficiais, das quais apenas quatro são favoráveis: Guaribobas, Jacaré-Guaçu, Mogi-Guaçu, Quilombo. Para atingir os resultados Montañó e Souza (2016) aplicaram uma ponderação sobre os recursos hídricos inseridos no limite municipal de São Carlos, onde são considerados diferentes cenários de uso de recursos hídricos buscando identificar previamente de situação de escassez desse recurso.

A Figura 3 demonstra a classificação destes compartimentos hídricos e a área de expansão urbana estipulada no Plano Diretor Municipal. Alguns estudos acerca do crescimento de São Carlos indicam que a cidade tem sua expansão direcionada para a região Norte (COSTA *et al.*, 2013; STANGANINI; LOLLO, 2018). Sendo assim, em razão da capacidade de extração de recursos hídricos e da proximidade da porção setentrional do perímetro urbano foi selecionado a porção da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo inserida no limite municipal de São Carlos.

Figura 3 – Aptidão das Sub-bacias do município de São Carlos para captação de água para abastecimento, indicando as áreas de expansão urbana. Contendo quatro unidades hídricas classificadas como favoráveis à captação (Guarirobas, Jacaré-Guaçu, Mogi-Guaçu, Quilombo), e seis desfavoráveis (Araras, Cabeceiras, Chibarro, Feijão, Monjolinho e Pântano).

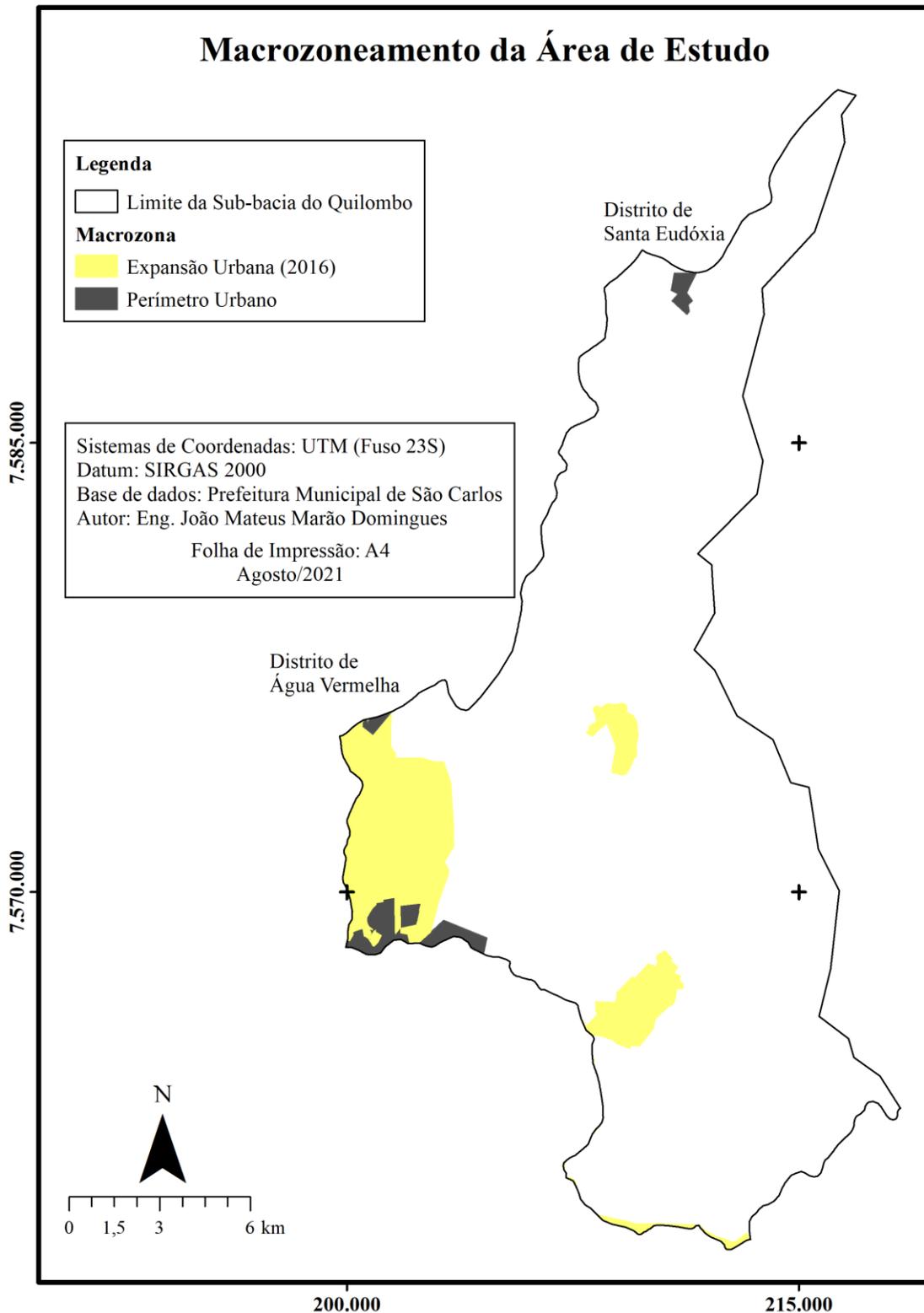


Fonte: Autor, 2021.

Outro agente favorável para a seleção da área de estudo consiste na presença de dois distritos de São Carlos, Água Vermelha e Santa Eudóxia (Figura 4). A maioria do uso do solo de ambos núcleos urbanos é residencial. Sendo o comércio e serviços mais significativos em Santa Eudóxia que em Água Vermelha. As condições de infraestrutura nos distritos são precárias, sendo que Água Vermelha há presença de cortiço e loteamentos irregulares (CONFERÊNCIA DA CIDADE, 2002). Apesar da presença dos dois distritos, a área da Sub-Bacia Hidrográfica do Quilombo é de majoritariamente rural. Logo, por apresentar áreas já estabelecidas e pouco estudadas viu-se a necessidade de investigar a qualidade ambiental da região em prol da segurança e bem-estar dos munícipes, bem como do equilíbrio ambiental.

O vigente estudo também inclui o levantamento bibliográfico a respeito da metodologia adotada, condicionantes urbanas e outras informações pertinentes para a compreensão da inter-relação entre o meio físico-urbano. Para atingir os resultados a pesquisa dispõe-se de análises e interpretações de dados geoespaciais e registros de problemas físico-ambientais.

Figura 4 – Delimitação da área de estudo destacando o macrozoneamento do Município de São Carlos, conforme o Plano Diretor do Município de São Carlos (SÃO CARLOS, 2016). As áreas preenchidas em amarelo na região Central, Centro-Sul, Sul e Oeste marcam o perímetro de expansão urbana, já em cinza o perímetro urbano (Distrito de Santa Eudóxia a Norte, Distrito de Água Vermelha a Leste porção superior e São Carlos a Leste porção inferior).



Fonte: Autor, 2021.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa consiste na elaboração do zoneamento ambiental da porção da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo localizada no limite municipal de São Carlos, a fim de investigar a área de expansão urbana de São Carlos com as indicações de aptidão do uso do solo para futuras implementações de infraestrutura urbana.

1.2.2 Objetivo Específico

O presente trabalho propõe os seguintes objetivos específicos:

- Avaliação da aptidão do uso e cobertura do solo sobre a Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo inserida no limite municipal de São Carlos;
- Análise integrada entre o produto final do zoneamento ambiental e as diretrizes estabelecidas no Plano Diretor Municipal de São Carlos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão indicadas algumas bibliografias encontradas na literatura que servirão de base para as considerações finais do presente trabalho. Os temas abordados compreendem políticas nacionais, plano diretor de São Carlos, fragilidade ambiental, os tipos de zoneamento, em especial o zoneamento ambiental, e a descrição do contexto hidrográfico.

2.1 PLANO DIRETOR DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS

No Brasil, os princípios para o planejamento das cidades estão estabelecidos no Estatuto da Cidade (Lei nº10.257/2001 – BRASIL, 2001). Segundo o art. 1 da referida lei, o Estatuto da Cidade "[...] estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental."

Nesse contexto, os artigos 39 e 40 do Estatuto instituem as disposições preliminares do Plano Diretor, o qual tem como finalidade de assegurar o atendimento das necessidades dos munícipes quanto à qualidade de vida, justiça social e ao desenvolvimento das atividades econômicas (BRASIL, 2001). Em 2012 houve o reajuste e inclusão de algumas seções da Lei nº10.257/2001 (Estatuto da Cidade). Entre as inclusões, encontra-se o artigo 42B, o qual estabelece diretrizes para os municípios que pretendem ampliar o perímetro urbano, levando em considerações os aspectos ambientais e de uso e ocupação do solo das áreas, bem como de infraestruturas urbanas (como sistema viária, instalações públicas, urbanas e sociais) (BRASIL, 2012).

O Plano Diretor de São Carlos foi aceito em 2016 pela Lei nº18.053/2016 (SÃO CARLOS, 2016). O documento contempla as exigências requisitadas pelo Estatuto, no entanto, há dois elementos fundamentais que tangem a temática do presente trabalho, os quais se referem aos aspectos voltados ao crescimento urbano e às demandas ambientais. Dentre os artigos pertencentes ao Plano Diretor de São Carlos, os que destacam as concepções de expansão urbana e as questões ambientais são os: 2º, 3º, 4º 8º e 9º. Tais seções serão apresentadas a seguir, evidenciando alguns tópicos de interesse para desenvolvimento desta pesquisa.

O artigo 2 destaca os princípios que regem a Política de Desenvolvimento Urbano e Plano Diretor Estratégico, para isto a propriedade e as atividades de interesse urbano ou rural

devem atender à requisitos mínimos como destacado nos seguintes parágrafos (§) e incisos/itens do art. 2º:

§5º A propriedade para cumprir sua função social deve atender no mínimo os seguintes requisitos:

II – ser utilizada e aproveitada para atividades ou usos de interesse urbano e rural, caracterizadas como indutores da função social da cidade, compatibilizando o uso da propriedade com a infraestrutura, equipamentos e serviços públicos disponíveis, como também a preservação da qualidade do ambiente urbano e natural e com a segurança, bem-estar e saúde de seus moradores, usuários e vizinhos;

III – preservar e recuperar os recursos e bens naturais, históricos e culturais do Município.

§6º Atividades de interesse urbano ou rural são aquelas inerentes ao pleno exercício do direito a cidade sustentável, ao pleno respeito e cumprimento das funções sociais da cidade e ao bem-estar de seus habitante e usuários, incluindo:

g) preservação do patrimônio cultural, histórico, ambiental e paisagístico;

h) preservação dos recursos necessários à vida urbana e rural, tais como mananciais, os corpos d'água, as áreas arborizadas e as reservas florestais.

§7º A compatibilidade com a preservação do meio ambiente se refere ao controle da poluição do ar, da água, do solo e da destinação dos resíduos, assim como a fluidez de drenagem das águas pluviais e dos corpos d'água, a maior permeabilidade do solo, à maior preservação de sua cobertura vegetal e da vegetação significativa existente.

§11º Direito ao Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado é o direito sobre o patrimônio ambiental, bem de uso comum e essencial à sadia qualidade de vida, constituído por elementos do sistema ambiental natural e do sistema urbano de forma que estes se organizem equilibradamente para a melhoria da qualidade ambiental e bem-estar humano.

O art. 3º designa os objetivos estratégicos da Política de Desenvolvimento Urbano e do Plano Diretor, entre as metas dispostas as que estão relacionadas ao escopo do presente trabalho englobam a acomodação do crescimento urbano em áreas subutilizadas dotadas de infraestrutura e no entorno da rede de transporte coletivo (art. 3º, inciso II), proteção de áreas de preservação permanente, unidades de conservação, áreas de proteção de mananciais e

biodiversidade (art. 3º, inciso X), e recuperação e reabilitação de áreas degradadas da cidade (art. 3º, inciso XVI).

As funções do ordenamento territorial do Município, que convergem com o propósito do trabalho, quanto à Preservação Ambiental compreendem (art. 4º):

- Direcionar e estruturar a expansão urbana em áreas menos vulneráveis, sob o âmbito ambiental e social;
- Proteger e recuperar as áreas de mananciais responsáveis pelo abastecimento de água no Município;
- Identificar áreas com características ambientais relevantes;
- Integrar as áreas de vegetação de interesse paisagístico, protegidas ou não, de forma a garantir e fortalecer as condições de proteção e preservação;
- Combater e evitar a poluição e degradação ambiental.

O Zoneamento Municipal estabelecido tem como meta (art. 9º):

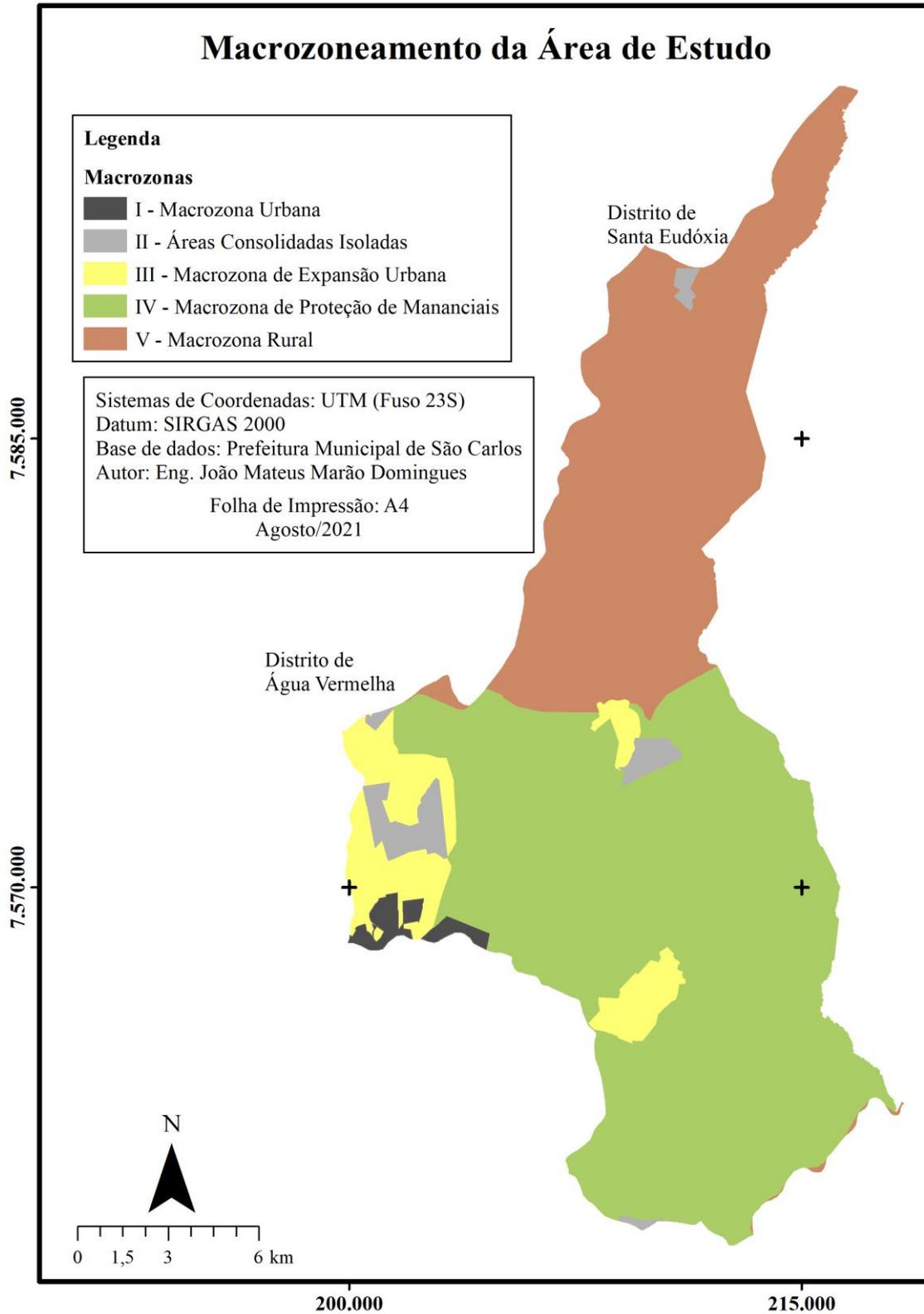
- Ordenar e controlar as formas de ocupação do solo de acordo com o equilíbrio socioambiental, estabelecendo parâmetros urbanísticos adequados;
- Disponibilizar o acesso à terra urbana e rural, em regiões adequadas para o desenvolvimento humano e ambiental apropriados
- Estruturar o crescimento urbano de forma ordenada e condicionada respeitando as limitações ambientais do Município.

Baseado no art. 222º cabe a Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano compatibilizar o planejamento e gestão urbana a melhoria da qualidade do meio ambiente.

As disposições transitórias e finais do Plano Diretor de São Carlos consideram como Área de Preservação Permanente (APP) a faixa de 30m (trinta metros) de largura às margens direita e esquerda dos cursos d'água naturais (contados a partir do leitor maior sazonal do respectivo curso d'água), e a área em um raio de 50m (cinquenta metros) das nascentes das drenagens (art. 226, incisos I e II).

Com base no macrozoneamento urbano estipulado pelo Plano Diretor de São Carlos é possível distinguir duas macrozonas na SBHRQ, uma localizada na porção Centro-Norte e a outra Centro-Sul, das quais são caracterizadas, respectivamente, pela macrozona rural e de proteção de mananciais (Figura 5).

Figura 5 – Macrozoneamento de parte da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo. Em destaque encontram-se as cinco classes definidas no macrozoneamento urbano: perímetro urbano, áreas consolidadas isoladas (distritos de Água Vermelha, Santa Eudóxia e loteamentos isolados), expansão urbana, proteção de mananciais e rural.



Algumas pesquisas tiveram como base de estudo o contexto de expansão urbana do município de São Carlos, como os trabalhos desenvolvidos por Costa *et al.* (2013), Stanganini e Lollo (2018). Os autores mencionados investigaram o comportamento do crescimento municipal, e verificaram que mesmo existindo diretrizes para o ordenamento territorial, a expansão urbana não respeitou os limites ambientais das novas áreas urbanizadas.

O trabalho de Costa *et al.* (2013) monitorou o comportamento da expansão urbana do município de São Carlos em um período de 44 anos (1962 até 2006), e fizeram uma projeção para os próximos 44 anos (2006 a 2050). Os autores notaram que até 2006 houve um grande avanço de ocupações inadequadas nas Bacias Hidrográficas do Rio do Monjolinho e do Ribeirão do Feijão, consideradas Áreas de Proteção e de Recuperação conforme o Plano Diretor de São Carlos.

Esta expansão inapropriada, segundo os autores, é preocupante devido aos acréscimos de superfícies impermeabilizadas (36,4%), e aos danos provocados aos corpos hídricos, em especial à Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho que é utilizada como manancial para o abastecimento público da cidade.

A simulação realizada (2006 até 2050) estimou um aumento de 93,6% de superfície impermeabilizada na região estudada (de 74km², contabilizados em 2006, passaria para 143,1km²). Estes dados demonstram a importância estratégica para o planejamento e gestão dos mananciais superficiais afim de evitar a degradação e uma superexploração das fontes subterrâneas locais, evitando assim um colapso de disposição hídrica em São Carlos.

Stanganini e Lollo (2018) verificaram que entre os anos de 2010 e 2015 São Carlos teve uma mudança significativa e impactante, no que se diz respeito aos processos de ocupações derivados da urbanização e ao aumento da área de solo exposto e áreas agrícolas. Os dados levantados indicam que em 2015 a cidade atingiu um grau de urbanização de 97,56% em uma área urbanizada compreendida entre 102,7km². O trabalho demonstrou que o crescimento urbano desconsiderou fatores ambientais, certificado pelo fato de que a cidade expandiu seu perímetro em fundos de vale, várzeas alagáveis, retificação/canalização dos córregos, construção de avenidas marginais sobre áreas de preservação da vegetação. Os autores alertam sobre os danos e impactos ambientais provocados por este crescimento desordenado.

2.2 ZONEAMENTO

Pode se dizer que as características mais marcantes do Brasil se concentram na sua diversidade ambiental e social. Por vezes, estas mesmas qualidades são conflitantes entre si, sob o ponto de vista econômico, em consequência de interesses políticos, seja em esfera nacional, regional e/ou local. Com isso, a articulação de instrumentos que visem o planejamento estratégico territorial é primordial ao desenvolvimento socioeconômico, associado à preservação ambiental de determinada região.

As primeiras diretrizes do Brasil surgiram em 1981 com a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA, Lei nº 6.938/1981), com o intuito de preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental propícia à vida; posteriormente, subordinado aos objetivos gerais do PNMA, foi elaborado o Plano de Gerenciamento Costeiro (PNGC, Lei nº 7.661/1988) como forma de gestão territorial marítima. Há um instrumento em comum em ambas as leis, definido pelo zoneamento ambiental.

Silva e Santos (2004) definem o zoneamento como o processo de identificar e delimitar unidades em um determinado espaço físico, classificados de acordo com suas atribuições e elementos que compõem o meio planejado. Segundo os autores o produto gerado consiste na apresentação de um conjunto de zonas, onde cada uma atende a diretrizes individuais para o desenvolvimento de atividades naquele espaço. Em outras palavras, atribui-se ao zoneamento a divisão de uma área em setores a partir de determinado critério, dos quais estão sujeitos a normas específicas que podem direcionar um tipo de planejamento; cada zona tem um grau de similaridade entre seus elementos e uma diferença entre as zonas adjacentes (SILVA; SANTOS, 2011).

Na literatura são encontrados diversos tipos de zoneamento, variando em função da perspectiva de ação, ou seja, pela sua finalidade. Esta técnica tem sido adotada como principal instrumento de regulamentação de determinado território, como o planejamento do processo de ocupação urbana em bacias hidrográficas, a conservação de recursos naturais, o desenvolvimento socioeconômico regional e o desenvolvimento de atividades agrícolas (SILVA; SANTOS, 2011; CAMPANELLI, 2012). Alguns dos exemplos de zoneamento encontrados estão listados a seguir:

- Zoneamento Agrícola;
- Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos;
- Zoneamento Agroecológico;

- Zoneamento Agropedoclimático;
- Zoneamento Ambiental e Zoneamento Ecológico-Econômico;
- Zoneamento Costeiro;
- Zoneamento (Geo)ambiental;
- Zoneamento Urbano.

O zoneamento agrícola tem como finalidade classificar a aptidão de regiões para a implantação de determinada cultura, considerando as exigências bioclimáticas da planta e as características pedológicas, geomorfológicas e climáticas da área (SILVA; SANTOS, 2011). Com a intenção de minimizar perdas na produção agrícola, em conjunto a este instrumento pode ser realizado um estudo de regionalização dos sinistros climáticos, conhecido por zoneamento agrícola de riscos climáticos (ROSSETTI, 2001). Segundo Blain *et al.* (2009) esta metodologia se fundamenta na definição de épocas de plantio, semeadura e/ou poda que proporcionem um grau de suprimento hídrico apropriado de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura.

Outra forma de ordenamento territorial agrícola é o zoneamento agroecológico, o qual aborda o desenvolvimento sustentável. Este zoneamento permite a individualização do potencial agrícola e ecológico, indicando as limitações do uso do solo na área estudada; o instrumento tem como princípio integrar as demandas de desenvolvimento econômico e as exigências de conservação ambiental (BARBOSA; ANDRADE; ALMEIDA, 2009).

O zoneamento agropedoclimático além de abordar os atributos pedológicos e climáticos, também considera as áreas de interesse ecológico, paisagístico e espaços fundamentais para a conservação da biodiversidade. Deste modo, neste método são indicadas as épocas de semeadura das culturas, em função das variáveis físicas e de áreas especiais (CHAGAS *et al.*, 2001).

Santos e Ranieri (2013) caracterizam o zoneamento ambiental como um instrumento de ordenamento territorial que incorpora a variável ambiental e as atividades antrópicas a serem desenvolvidas naquele espaço, sendo assim considerado a viabilidade da atividade econômica sob os aspectos ambientais. O termo zoneamento ambiental também pode ser referido como zoneamento ecológico-econômico quando se englobar questões econômicas e sociais aos fatores ambientais (FRITZSONS; CORREA, 2009).

O zoneamento costeiro foi estabelecido pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC, 1988 – Lei nº 7.661). O instrumento tem como finalidade orientar o uso de recursos nacionais na zona costeira, de modo a melhorar a qualidade de vida da população e a

proteção do seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural. Segundo a lei deverá ser indicado o zoneamento de usos e atividades da região costeira, e dar prioridade à conservação e proteção de bens (como por exemplo, recursos naturais, sejam renováveis ou não renováveis, sítios ecológicos e monumentos).

Zoneamento geoambiental consiste no ordenamento territorial de acordo com as potencialidades naturais do meio físico e biótico, relacionando com as restrições e limites exploratórios de acordo com a conservação ambiental (FRITZSONS; CORREA, 2009; SILVA; SANTOS, 2011). Tem como fundamento a teoria de sistemas, onde os componentes físicos e biológicos do meio natural formam uma cadeia de inter-relações, buscando assim uma estabilidade dinâmica constante (SILVA; SANTOS, 2011).

O zoneamento urbano formaliza as formas de uso, atividade humana e tipos de construções do perímetro urbano, especificando o que se pode ou não ser realizado em determinada seção. Este instrumento serve de suporte para o desenvolvimento do plano diretor de um município, dividindo as áreas urbanas em zonas residencial, comercial, industrial, central, de proteção, de expansão e especial (SILVA; SANTOS, 2011).

Dentre os marcos legais brasileiros que regem a esfera ambiental, e visam regular o zoneamento ambiental (ou zoneamento ecológico-econômico), encontram-se:

- Lei nº 6.938, 31 de agosto de 1981 – Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA): no artigo 9º define o zoneamento ambiental como um instrumento fundamental para o planejamento ambiental, de modo a organizar o uso do solo e o espaço, assim como solucionar os conflitos de uso.
- Lei nº 7.661, 16 de maio de 1988 (BRASIL, 1988) – Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC): vincula seus princípios e objetivos aos estabelecidos pelo PNMA, como forma de orientar o uso dos recursos na zona costeira. O artigo 3º complementa que o PNGC deve fundamentar o zoneamento de uso e atividades nas zonas costeiras, priorizando à conservação e proteção de bens naturais e históricos.
- Lei nº 10.257, 10 de julho de 2001 – Estatuto da Cidade: no artigo 4º assume o zoneamento ambiental como um dos instrumentos de planejamento municipal, em conjunto com o plano diretor, gestão orçamentária e parcelamento do uso e ocupação do solo.

- Decreto nº 4.297, 10 de julho de 2002 (BRASIL, 2002) – regulamenta o art. 9º, inciso II, da lei nº 6.938 (PNMA): estabelece critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil, além de outros princípios.
- Decreto nº 5.300, 07 de dezembro de 2004 (BRASIL, 2004) – regulamente a lei nº 7.661 (PNGC): coordena as regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, além de outros princípios.
- Lei nº 12.651, 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012) – alteração de diretrizes prévias, dentre elas está a lei nº 6.938 (PNMA): determina normas gerais relacionadas à proteção de vegetação nativa.

Dos marcos listados anteriormente, o Decreto nº 4.297 merece destaque, pois prescreve orientações mínimas para a elaboração de um Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE). Seu artigo 6ºA estipula as escalas dos produtos gerados do ZEE, a Tabela 1 remete os valores estabelecidos.

Tabela 1 – Aplicação e escalas estabelecidas no decreto nº 4.297 para a elaboração do ZEE.

Inciso	Aplicação	Escala
I	ZEE Nacional	1:5.000.000 (apresentação) 1:1.000.000 (referência)
II	ZEE Macrorregional	1:1.000.000 ou maior
III	ZEE das Macro Regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste	1:1.000.000 a 1:250.000
	ZEE das Macro Regiões Sudeste, Sul e Zona Costeira	1:250.000 a 1:100.000
IV	ZEE local	1:100.000 ou maiores

Fonte: Autor, 2021.

O artigo 11º do referido decreto destaca que o ZEE deve dividir o território em zonas, conforme as necessidades de proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais e desenvolvimento sustentável. Estas seções devem ser orientadas pelos princípios da utilidade e da simplicidade, de modo a facilitar a implementação de seus limites e restrições, bem como da compreensão dos cidadãos.

Cabe ressaltar que a implementação dos instrumentos urbanísticos apontados nesta seção, tiveram como propósito a aplicação do zoneamento como forma de planejamento e ordenamento territorial, visando a redução da desigualdade socioeconômica, vinculado a mitigação dos danos ambientais desencadeados pelo crescente desenvolvimento urbano

2.3 ZONEAMENTO AMBIENTAL

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) destaca que o zoneamento ambiental é um instrumento imprescindível para os municípios que estão na fase de revisão de seu plano diretor, assim como àqueles que estão elaborando o documento pela primeira vez. A técnica visa contribuir para a relação sustentável do ambiente natural com o antrópico e para a prestação de serviços ecossistêmicos como pressupostos para o ordenamento do território (MMA, 2020).

O zoneamento ambiental surgiu como alicerce ao ordenamento do uso e ocupação do solo, principalmente aos processos provenientes dos planos diretores municipais sob a óptica ambiental (MMA, 2020). O instrumento se destaca pelas seguintes contribuições:

- Base para processos de licenciamento ambiental e urbanístico do município;
- Contribuição para o planejamento, gestão e monitoramento ambiental municipal;
- Compreensão das vulnerabilidades e potencialidades ambientais do município;
- Desenvolvimento de relatórios ambientais;
- Fornecer estudos para a elaboração do macrozoneamento do plano diretor municipal;
- Confecção de mapas temáticos;
- Ferramenta de integração de planos, projetos e ações às políticas públicas ambientais, setoriais e urbanas.

Pode-se dizer que o zoneamento possui quatro requisitos: i. compreensão do território; ii. sustentabilidade ambiental; iii. abordagem sistêmica; iv. valorização da interdisciplinaridade e elaboração de cenários.

A compreensão do território presume a criação da distribuição espacial de seus atributos e de seus condicionantes físicos. A sustentabilidade ambiental é entendida pela otimização do uso dos recursos naturais associado às funções ecológicas de modo a assegurar a preservação natural. A abordagem sistêmica propicia a delimitação das diferentes zonas para o ordenamento territorial. E a elaboração de cenários visa a prospecção de eventos de acordo com o comportamento do meio natural.

De modo geral, o zoneamento ambiental pode ser entendido como a compartimentação do território de acordo com suas vocações e fragilidades, com base em atributos físicos, biológicos e antrópicos dos ecossistemas. Sendo assim, um instrumento fundamental para direcionar estratégias de ocupação do território.

Souza e Oliveira (2011) destacam três pressupostos básicos para a execução do zoneamento ambiental. O primeiro considera o ordenamento territorial e as normas ambientais que compõe o zoneamento, tendo como origem os atributos físico e biótico. O segundo pensamento é a identificação e delimitação dos sistemas ambientais de acordo com áreas homogêneas, atentando as dinâmicas naturais, e o uso e ocupação do solo. E o terceiro constitui-se da avaliação da capacidade produtiva dos recursos naturais baseado na ponderação entre suas potencialidades e limitações.

A elaboração de propostas de zoneamento ambiental pode seguir duas abordagens, sintética ou analítica. A abordagem sintética considera unidades ambientais uniformes para o estabelecimento de diretrizes para o uso e ocupação do solo; enquanto a analítica é baseada na sobreposição de mapas temáticos (como geologia, materiais inconsolidados, declividade, cobertura vegetal) (CAMPANELLI, 2012).

Segundo Cemin *et al.* (2012) a abordagem analítica é a mais usual. Os autores ressaltam que o uso de SIGs favoreceram a organização e a utilização de dados espaciais provenientes do meio físico e biótico e de outras fontes, em uma única base de dados.

Para Ferreira, Dresch e Ayach (2016) o planejamento ambiental é um processo crucial para o entendimento das modificações ambientais. Para isto é necessária uma análise integrada sobre os meios físico, biótico e antrópico uma vez que a paisagem observada no presente é resultado de processos socioambientais do passado, e será diferente no futuro, e esta evolução depende das ações do presente, ou seja, dos padrões de organização do espaço adotados e sua evolução ao longo do tempo (RODRIGUES; LEITE, 2018).

Na literatura é possível encontrar trabalhos que empregaram o zoneamento ambiental como base metodológica, como os produzidos por Crepani *et al.* (1996), Vedovello (2000), Faleiros (2012), Bacani e Luchiari (2014), Lossardo (2014), Barroso, Trevisan e Wolff (2015).

Crepani *et al.* (1996) descreve os procedimentos metodológicos adotados para desenvolver documentos cartográficos da vulnerabilidade natural da erosão na Amazônia, o trabalho foi desenvolvido com o objetivo de servir de subsídio para o Zoneamento Ecológico-Econômico da região. Os autores se embasaram em conceitos de Unidades Básicas de Compartimentação para a execução das etapas preliminares.

Vedovello (2000) apresentou uma estrutura metodológica para desenvolver um zoneamento geotécnico. Para exemplificar o uso da ferramenta o autor a aplica em áreas

litorâneas de São Paulo e na região metropolitana de Campinas. Os objetivos foram alcançados mediante ao desenvolvimento de um mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) a partir da análise integrada dos atributos fisiográficos das regiões estudadas. Segundo Vedovello este procedimento é fundamental, pois permite um fácil entendimento para os usuários, que muitas vezes são de diferentes áreas do conhecimento. O autor acrescenta como aspecto favorável do uso de UBCs a delimitação de limites fixos mediante a associações dos elementos do meio físico, permitindo assim uma análise integrada entre esses elementos.

Faleiros (2012) como forma de contribuir à gestão ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Fartura, localizada na região Leste do Estado de São Paulo, elaborou seu zoneamento geoambiental. O estudo verificou que 23% da área possui ocupação restrita devido à legislação ambiental vigente. Também foi realizado um levantamento histórico, isto permitiu identificar que em 1987 37,27% das áreas com restrições estavam ocupadas inadequadamente, já para os anos de 2000 e 2011 esta taxa passou a ser, respectivamente, 17,12% e 35,92%. Outra questão considerada aborda o avanço da ocupação urbana dos municípios inseridos na Bacia, a taxa de crescimento estimada foi de 1,19%.

Bacani e Luchiari (2014) organizaram o zoneamento ambiental em uma Bacia Hidrográfica no Centro-Norte do Mato Grosso do Sul (Bacia Alto Rio Coxim). O estudo embasou-se nas unidades de fragilidade ambientais naturais proposta por Ross (1994), e na espacialização de áreas que apresentam algum tipo de restrição legal a ocupação (como por exemplo, Áreas de Preservação Permanente). O estudo revelou que mais de 80% da área enquadra-se como área de fragilidade média, o que indica que a ocupação deve ser cuidadosa, principalmente se voltada a exploração agrícola; delimitaram também áreas prioritárias para preservação, conservação e de uso sustentável. Os resultados encontrados indicaram que áreas ocupadas pela pecuária são mais vulneráveis à ocupação que as que estão submetidas a manejo de agricultura mecanizada.

A proposta de zoneamento desenvolvida por Lossardo (2014) resultou em 17 zonas geoambientais distintas na bacia hidrográfica do Ribeirão do Ouro. O estudo demonstrou que 68,4% da área é classificada com ocupação induzida sem maiores restrições, seguido de 23,7% de áreas que possuem restrições específicas e 7,8% por áreas de ocupação restrita.

Barroso, Trevisan e Wolff (2015) propuseram o zoneamento ambiental para o município de Itaara, no Rio Grande do Sul. Os autores selecionaram a cidade como objeto de estudo devido aos conflitos de uso da terra, envolvidos principalmente à ocupação irregular em

áreas de preservação, como nascentes, matas ciliares, lagos e encostas. A análise integrada dos dados geoespaciais permitiram demonstrar que as áreas de preservação permanente estão distribuídas nas áreas com maior relevo, motivo pelo qual é recomendado a proibição de atividades explorativas e de ocupação humana, tendo em vista a potencialidade de desencadear problemas de erosão do solo. A pesquisa realizada reforça a importância da aplicação deste instrumento como gestão de recursos naturais e planejamento urbano.

As bacias hidrográficas de São Carlos já foram objetos de estudos de zoneamento ambiental, como as pesquisas desenvolvidas por Montañó (2002), Cunha *et al.* (2011) e Campanelli (2012).

A pesquisa desenvolvida por Montañó (2002) propôs a elaboração do zoneamento ambiental do limite municipal de São Carlos, para refletir a vulnerabilidade e aptidões do território quanto à instalação de determinadas atividades econômicas. O produto final constatou que 50,22km² (4,41%) do território analisado tem indicação apta à instalação de empreendimentos, conforme a metodologia adotada; em contrapartida uma área de 513,63km² (45,15%) apresentam restrições à instalação de empreendimentos potencialmente poluidores. O autor destaca que o perímetro urbano está instalado em regiões com aptidões mais favoráveis a ocupações.

Cunha *et al.* (2011) desenvolveram dois modelos de zoneamento à vulnerabilidade ambiental a partir de duas metodologias distintas, com a intenção de compará-las e investigar as influências das variáveis ambientais na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão (extremo Sul do limite municipal de São Carlos). Os autores adotaram a lógica *fuzzy* para determinar a fragilidade ambiental com a intenção de reduzir a propagação de erros intrínsecos dos métodos convencionais. Os autores detectaram que as variáveis de uso do solo e relevo foram as mais relevantes para minimizar os impactos sobre a aceleração dos processos erosivos, em ambos os modelos. No entanto, acrescentam que a presença de cobertura vegetal pode minimizar ainda mais os impactos advindos dos processos erosivos. A aplicação da lógica *fuzzy*, sob o mesmo propósito de delimitar aptidões geoambientais, também pode ser encontrada na pesquisa desenvolvida por Silva (2005).

Conforme destacado por Campanelli (2012) a técnica de zoneamento ambiental tem caráter preventivo, pois permite avaliar restrições e limitações intrínsecas aos fatores ambientais, no que se diz respeito ao desenvolvimento de determinada atividade.

Domingues (2020) realizou um levantamento bibliométrico sobre os aspectos de zoneamento ambiental e gestão ambiental urbana. A análise constatou um crescimento de produções científicas ao longo de 2010 e 2020, sendo os artigos os tipos de publicações mais predominantes. A pesquisa aponta que apesar do termo zoneamento ambiental não ter aparecido diretamente nas palavras-chave identificadas, as observações expostas indicam que seu conceito está presente nas pesquisas levantadas, tendo em vista que os termos estão associados ao reconhecimento e classificação de determinado atributo em uma região.

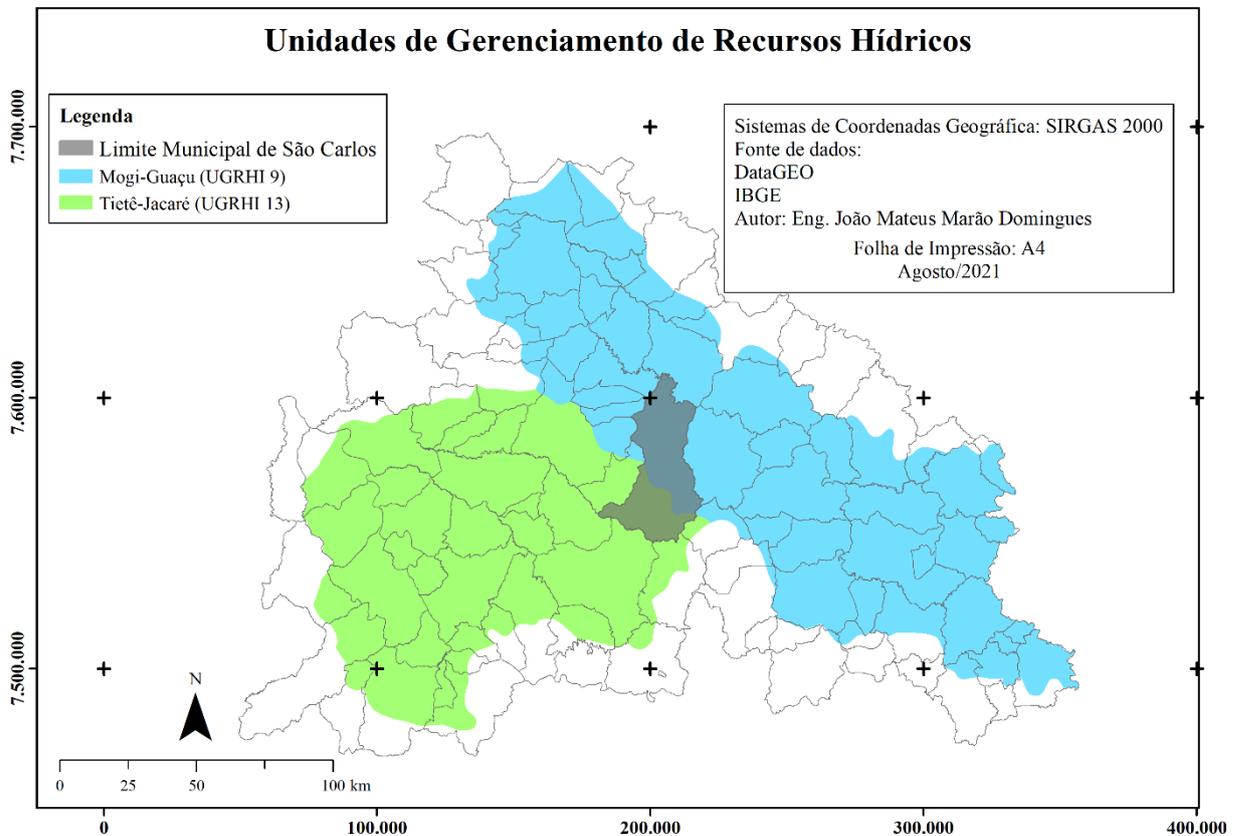
A proposta de ordenamento territorial através do zoneamento ambiental atinge todas as esferas buscando o equilíbrio entre os recursos naturais e o uso e ocupação do solo. Este planejamento estratégico apoia as dimensões ambiental, socioeconômica, técnico-científica e política. Independente do caso, o instrumento é aplicado como uma ferramenta para compreender o comportamento do meio físico, e conseqüentemente subsidiar a tomada de decisão de entidades, motivo pelo qual é considerado de caráter preventivo. A organização do espaço se demonstra cada vez mais relevante como objeto de estudo e suporte para o planejamento ambiental de municípios, tendo em vista o aumento da ocupação indevida de áreas inapropriadas.

Como visto, a técnica de zoneamento ambiental gera resultados quantitativos e qualitativos. Sob o espectro qualitativo a ferramenta permite classificar a aptidão das zonas, indicando quais áreas são propícias para exercer determinada atividade, bem como àquelas que possuem restrição. Já sob a óptica quantitativa é possível estimar a taxa de ocupação favorável de determinada região, assim como das áreas desfavoráveis.

2.4 UNIDADES DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

O limite municipal de São Carlos está inserido em duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI), Rio Jacaré-Guaçu e Rio Mogi-Guaçu (Figura 6). A porção Norte do limite municipal de São Carlos está inserida no contexto da UGRHI Mogi-Guaçu (UGRHI 9), já a Sul pertence a UGRHI Tietê-Jacaré (UGRHI 13).

Figura 6 – Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos inseridas no limite municipal de São Carlos. Destacado em azul a Bacia Mogi-Guaçu (UGRHI 9), em verde a Bacia Tietê-Jacaré (UGRHI 13) e em cinza o limite municipal de São Carlos.



Fonte: Autor, 2021.

A Bacia Hidrográfica do Mogi-Guaçu tem como principais rios: Mogi-Guaçu, do Peixe e Jaguari-Mirim. Segundo a página do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SigRH) a forma de disponibilidade de água na Unidade é de 33,4% superficial e 12,4% subterrânea (SIGRH, 2021a). Já a Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré tem como principais rios: Tietê, Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira. A Unidade conta com três reservatórios em seu entorno Bariri, Ibitinga e Lobo (SIGRH, 2021b). A Tabela 2 apresenta algumas características gerais de cada uma dessas UGRHs.

Tabela 2 – Características gerais das UGRHs Mogi-Guaçu e Tietê-Jacaré.

Nome	UGRHI	Área de Drenagem (km ²)	Nº Municípios	População (habitantes)
Mogi-Guaçu	9	15.004	43*	1.431.786
Tietê-Jacaré	13	11.779	34	1.462.855

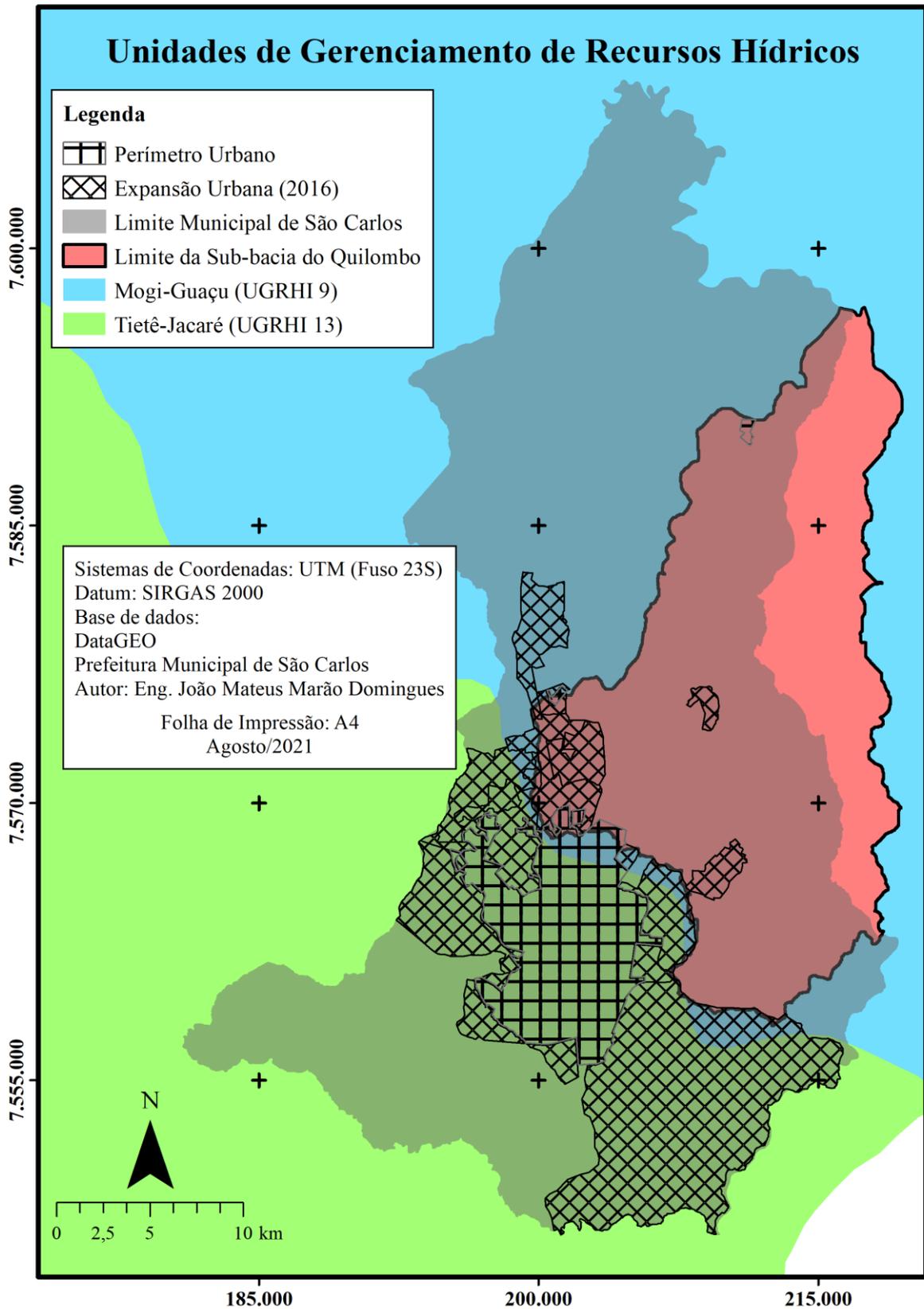
* Sendo 38 com sede urbana na área de drenagem (15.000m²).

Fonte: SigRH (2021a) e SigRH (2021b). Adaptado pelo autor (2021).

Ambas UGRHIs são classificadas como industrial, tendo destaque para a agroindústria (açúcar, álcool, processamento de cítricos). A Bacia Mogi-Guaçu apresenta 1.598km² de vegetação natural remanescente que ocupa, aproximadamente, 10,5% de sua área; já a Bacia Tietê-Jacaré apresenta 1.106km² de vegetação natural remanescente que ocupa, aproximadamente, 9% da área da UGRHI. As categorias de maior ocorrência em ambas Bacias são a Floresta Estacional Semidecidual e a Savana (SIGRH, 2021a; SIGRH, 2021b). Somado a isso Freitas e Santos (2020) reforçam que a UGRHI Mogi-Guaçu é de grande importância econômica e ambiental para o município, pois há a presença de dois distritos, Água Vermelha e Santa Eudóxia, de economia essencialmente rural.

Ao analisar São Carlos é possível distinguir que o perímetro urbano está inserido, quase que em sua totalidade, na UGRHI Tietê-Jacaré, ao passo que parte da área de expansão concentra-se na UGRHI Mogi-Guaçu. A Figura 7 representa o contexto das Unidades Hidrográficas no entorno do município, e destaca a Sub-bacia Hidrográfica do Quilombo.

Figura 7 – Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos inseridas no limite municipal de São Carlos, destacando o limite da Sub-bacia do Quilombo, o perímetro e a área de expansão urbana.



Fonte: Autor, 2021.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo serão abordadas as características do meio físico da área de estudo, levando em consideração seu contexto hidrográfico, geológico, geomorfologia, clima, pedologia, e cobertura vegetal. Também tem por finalidade caracterizar o município de São Carlos. O embasamento teórico descrito neste capítulo tem grande importância para o desenvolvimento do presente trabalho, no que se diz respeito à compreensão das características naturais da região.

Por ser uma área pouco estudada não foi possível encontrar estudos detalhados da SBHRQ, motivo pelo qual foi necessário analisar um contexto regional para a caracterização da área. Dentre os trabalhos publicados se destaca o estudo realizado por Muro (2000), uma vez foi utilizado dois mapas base de sua autoria, tais como a carta de substrato rochoso e de material inconsolidado, ambas confeccionadas na escala 1:50.0000.

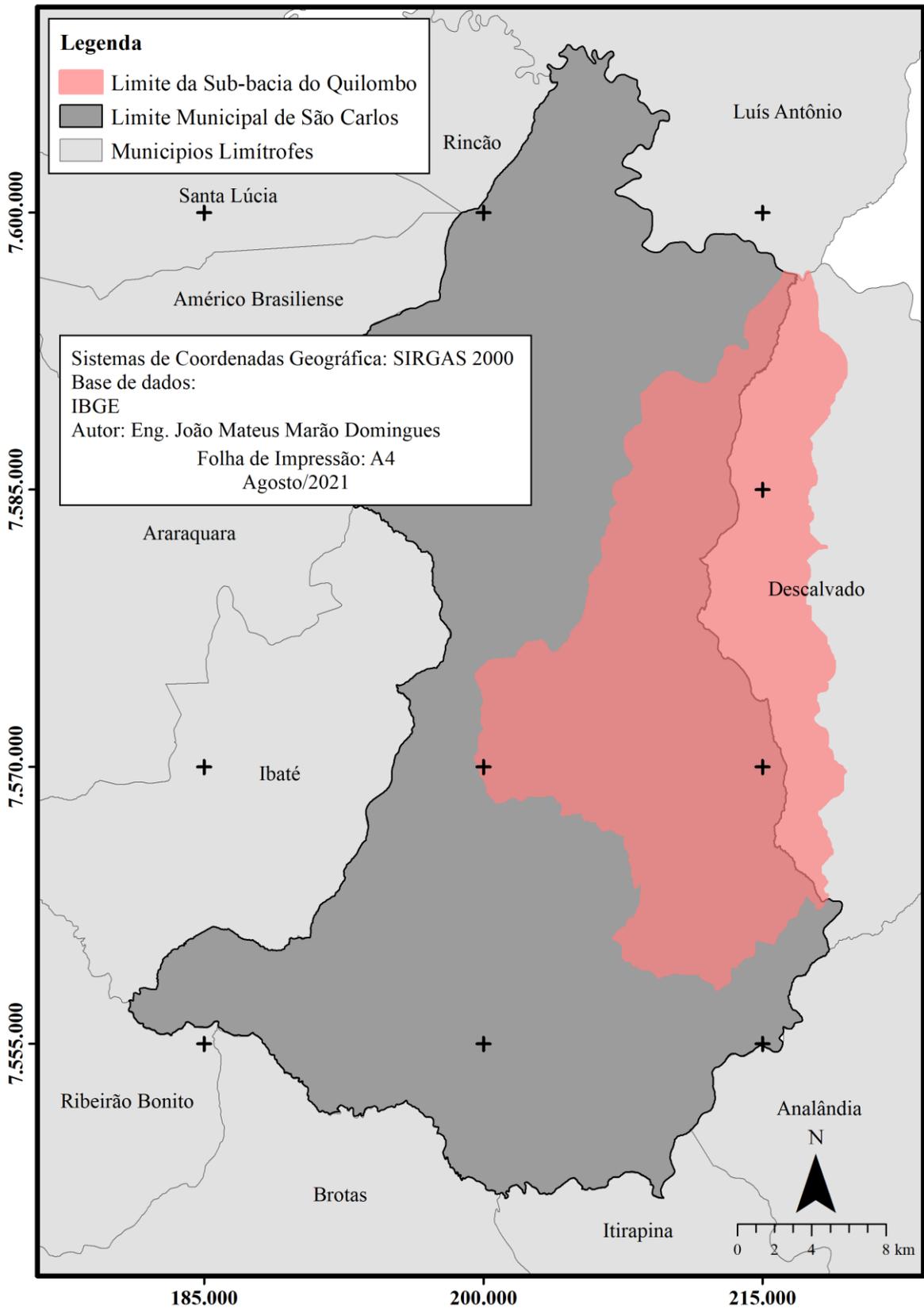
3.1 SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO QUILOMBO

A Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo está inserida no limite municipal de São Carlos (Figura 8). A cidade está localizada na porção Centro-Leste do Estado de São Paulo, e distancia-se cerca de 230km da capital São Paulo, entre os paralelos 21°30' e 22°30'S e os meridianos 47°30' e 48°30'O. Os municípios limítrofes são:

- Norte: Rincão, Luís Antônio, Santa Lúcia;
- Leste: Descalvado, Analândia;
- Sul: Ribeirão Bonito, Brotas, Itirapina;
- Oeste: Ibaté, Araraquara, Américo Brasiliense.

De acordo com dados mais atualizados da Prefeitura da cidade e da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE), a área municipal de São Carlos é de aproximadamente de 1.136,91km², sendo que a área urbana está distribuída em cerca de 67,25km² (6% da área total) e apenas 33km² de área urbana ocupada (SÃO CARLOS, 2020; SEADE, 2021). As informações da Fundação indicam que o município contém cerca de 242.632 habitantes, e apresenta densidade demográfica equivalente a 213,41habitantes/km², e grau de urbanização está em torno de 96% (SEADE, 2021).

Figura 8 – Municípios limítrofes da área de estudo, sendo destacado a Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo em vermelho e o limite municipal de São Carlos em cinza mais escuro.



Fonte: Autor, 2021.

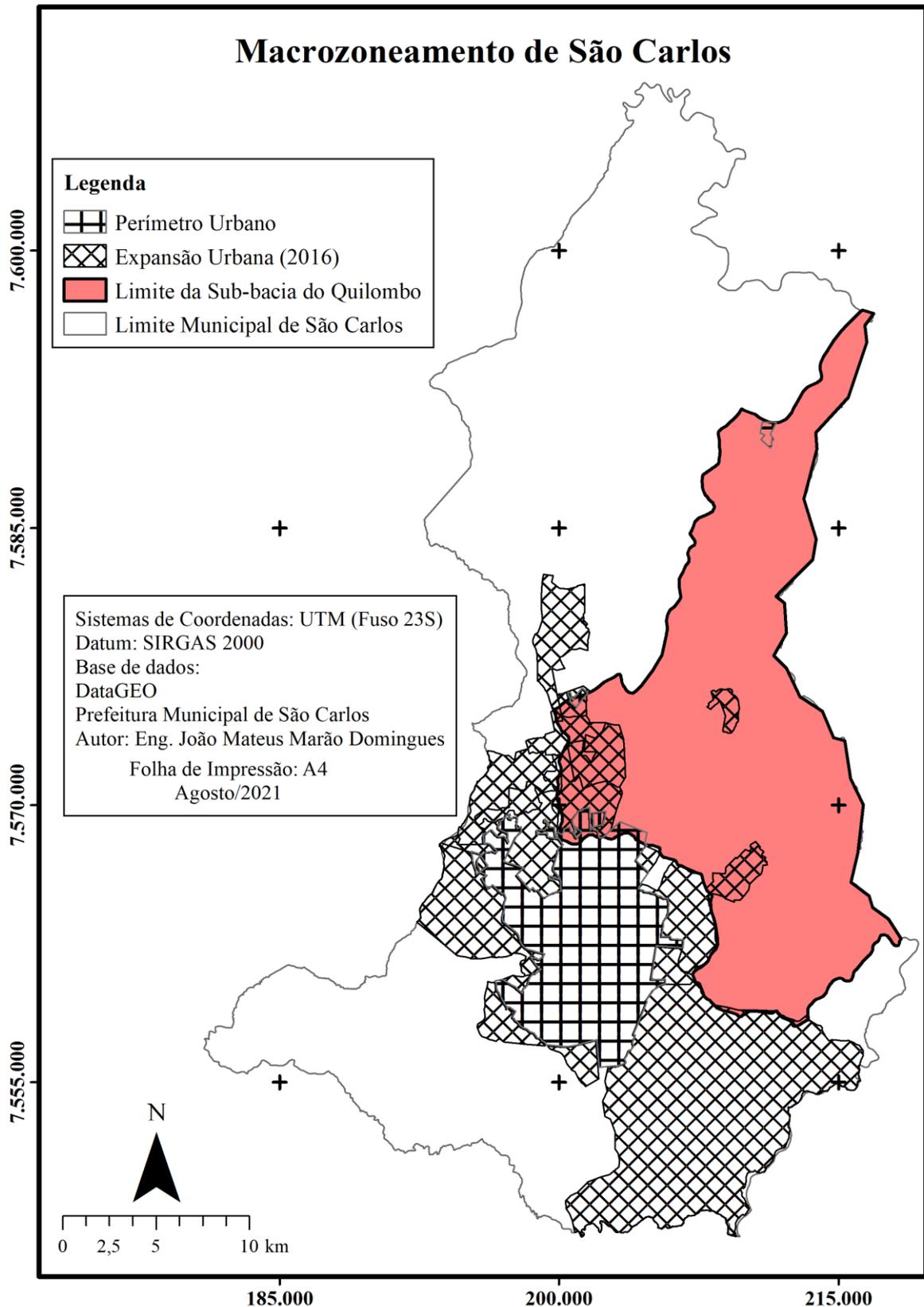
O limite municipal engloba ao todo dez sub-bacias hidrográficas, porém, será levado em consideração apenas uma delas conforme exposto nos capítulos anteriores. A Figura 9 destaca o perímetro urbano, o limite da expansão urbana delimitada no plano diretor de São Carlos e a Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo.

A Sub-bacia do Quilombo ocupa grande parte da área do município de São Carlos e de acordo com o Plano Diretor Municipal é considerada como Zona de Interesse Turístico e de produção agrícola.

A SBHRQ drena parte dos municípios de São Carlos e Descalvado e sua área abrange cerca de 418km². O Rio do Quilombo nasce próximo à Capela de Nossa Senhora Aparecida da Babilônia (nas proximidades da rodovia SP-215 que liga São Carlos a Descalvado) e percorre uma extensão de aproximadamente 40km em direção ao distrito de Santa Eudóxia até desembocar no Rio Mogi-Guaçu, caracterizado por ser o divisor geográfico dos municípios de São Carlos e Luis Antônio (FREITAS; SANTOS, 2020).

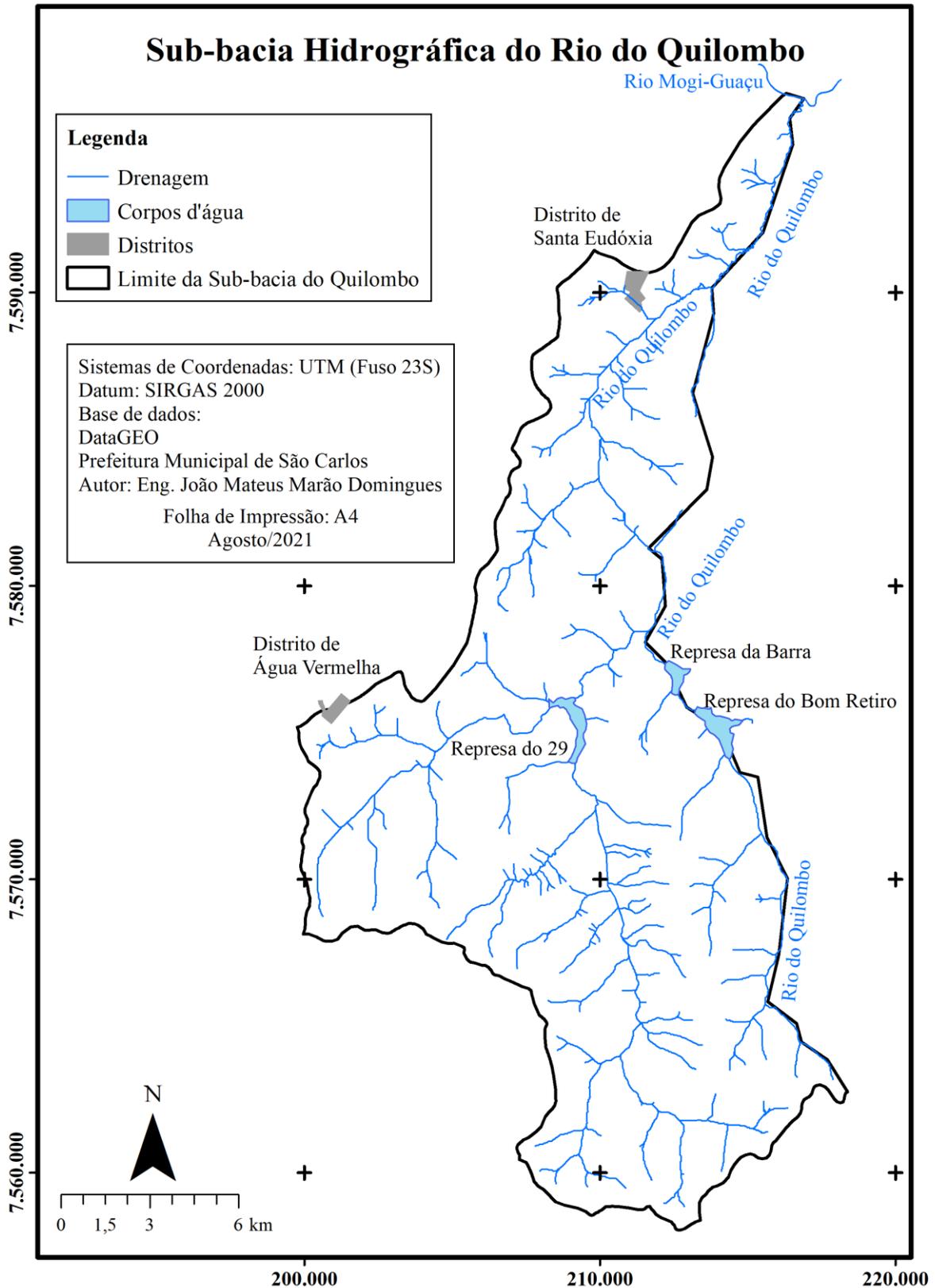
Tendo em vista a relevância hidráulica da SBHRQ, no que tange seu potencial de geração de energia elétrica, foram construídas duas barragens no Rio do Quilombo (Represa do Bom Retiro e Represa da Barra) e uma no seu afluente, Ribeirão dos Negros (Represa do 29) para armazenamento de água e funcionamento da Usina Hidrelétrica Capão Preto (FREITAS; SANTOS, 2020). A Figura 10 ilustra os distritos, a rede de drenagem e os corpos d'água inseridos na área de estudo.

Figura 9 – Mapa de localização da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo, destacando o contexto urbano, como a mancha e expansão urbana de São Carlos.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 10 – Rede hidrográfica da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo, destacando os principais cursos d'água (Rio Mogi-Guaçu e Rio do Quilombo) e os corpos d'água (Represas da Barra, do Bom Retiro e do 29).



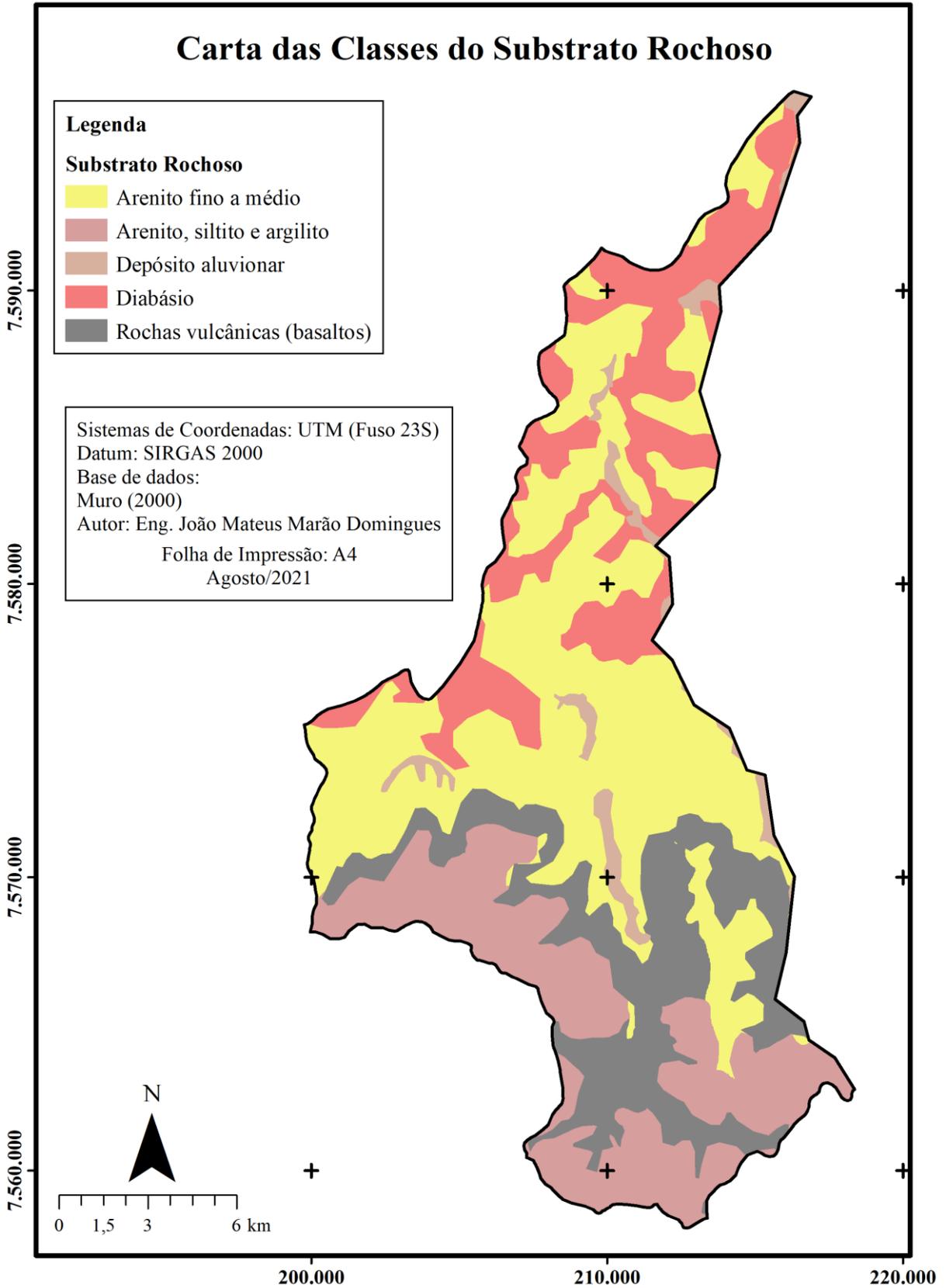
Fonte: Autor, 2021.

3.2 CONTEXTO GEOLÓGICO

São Carlos está inserida no complexo geológico da Bacia Sedimentar do Paraná (MURO, 2000). Os grupos litológicos que compõem a área de estudo, de modo geral, pertencem ao Grupo Bauru (Formação Itaqueri e Adamantina), ao Grupo São Bento (Formações Serra Geral, Botucatu e Piramboia) e ao Grupo Passa Dois (Formação Corumbataí) (FAILACHE, 2018).

Tendo como base o mapa do substrato rochoso elaborado por Muro (2000) é visto que dentro do limite da Sub-bacia Hidrográfica do Quilombo há a ocorrência de cinco tipos de rochas: i. Arenito fino a médio; ii. Arenito, siltito e argilito; iii. Depósito aluvionar; iv. Diabásio; v. Rochas vulcânicas (basaltos) (Figura 11). Baseado nestas características serão apresentadas a seguir as formações geológicas que contém tais atributos. Cabe ressaltar que a área de estudo não possui um mapeamento geológico de detalhe o que dificulta a classificação dos litotipos presentes na SBHRQ.

Figura 11 – Substrato rochoso da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo.



3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSIOGRÁFICAS

3.3.1 Geomorfologia

São Carlos está inserido no domínio geomorfológico do Planalto Ocidental, o compartimento é representado predominantemente por paisagens colúvio-aluviais e relevo suavemente ondulado a ondulado, de colinas amplas e arredondadas, além de paisagens aluviais controladas por soleiras basálticas. O Planalto de São Carlos é assinalado por níveis planálticos escalonados, isto é, variando de Planalto muito alto, alto e médio (MACHINI, 2010).

Sé (1922 *apud* DORNELLES, 2006) caracteriza a Sub Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho (localizada à Sudoeste da Sub Bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo) também como Cuestas Basálticas. Segundo o autor esta província morfológica apresenta relevo escarpado nos limites com a Depressão Periférica, podendo ser acompanhado de uma sucessão de extensas plataformas estruturais de relevo suavizado.

A Bacia se estabeleceu sobre o planalto de São Carlos, no reverso das linhas de cuestas escarpadas a Leste, inserida na Província Geomorfológica de Cuestas Basálticas. Quando próximo a áreas de rochas vulcânicas aflorantes (como basalto e diabásio) o relevo possui maior declividade, e quando próximo de áreas de rochas sedimentares (arenitos) a declividade é menor. Os relevos predominantes na região são os morros, em que as colinas e morrotes da Depressão Periférica e do Planalto Ocidental ficam separados por uma faixa de relevo mais acidentado. Esta diversificação geomorfológica é decorrente da ação diferenciada da erosão sobre as camadas geológicas, uma vez que rochas básicas (vulcânicas) são mais resistentes que as sedimentares (arenitos) (DORNELLES, 2006).

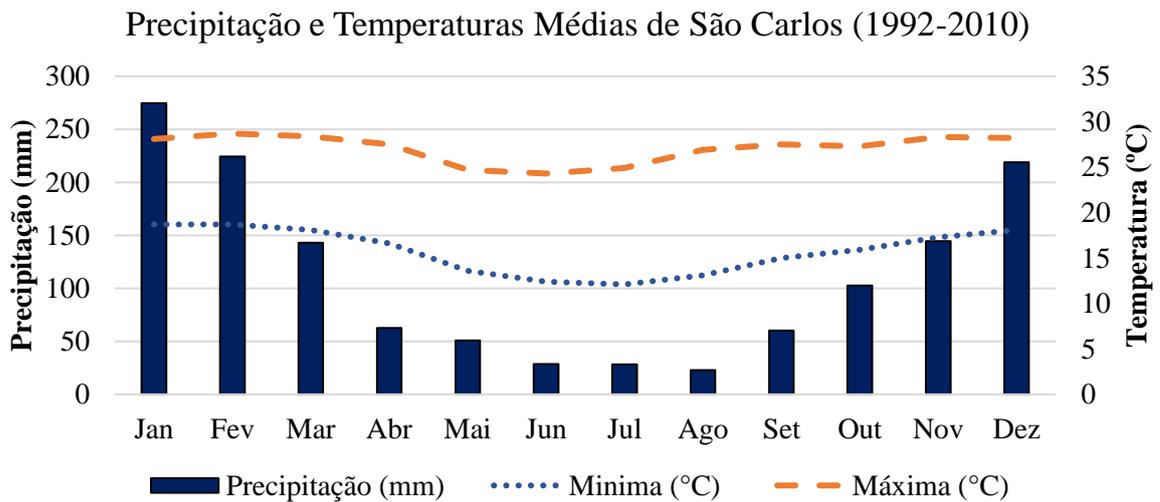
3.3.2 Clima

O município de São Carlos dispõe de uma estação meteorológica pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – EMBRAPA Pecuária Sudeste a qual se localiza dentro da SBHRQ. O clima local predominante segundo a classificação de Köppen é o Cwa, característico de regiões com clima quente com inverno seco (EMBRAPA, 2021a).

De acordo com os registros referentes ao período entre 1992 e 2010, é possível analisar a distribuição das temperaturas médias (mínimas e máximas) e da pluviosidade média (EMBRAPA, 2021a). Os dados indicam que a região tem pluviosidade média igual a

1.361,6mm, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso (274,7mm) e agosto o menos chuvoso (22,8mm), e temperatura máxima anual de 27,1°C e a mínima igual a 15,8°C, sendo fevereiro o mês mais quente (temperatura média anual igual a 23,7°C) e junho o mais frio (média anual de 18,4°C) (Figura 12).

Figura 12 – Precipitações e temperaturas médias da área de estudo entre os anos de 1992 e 2010.



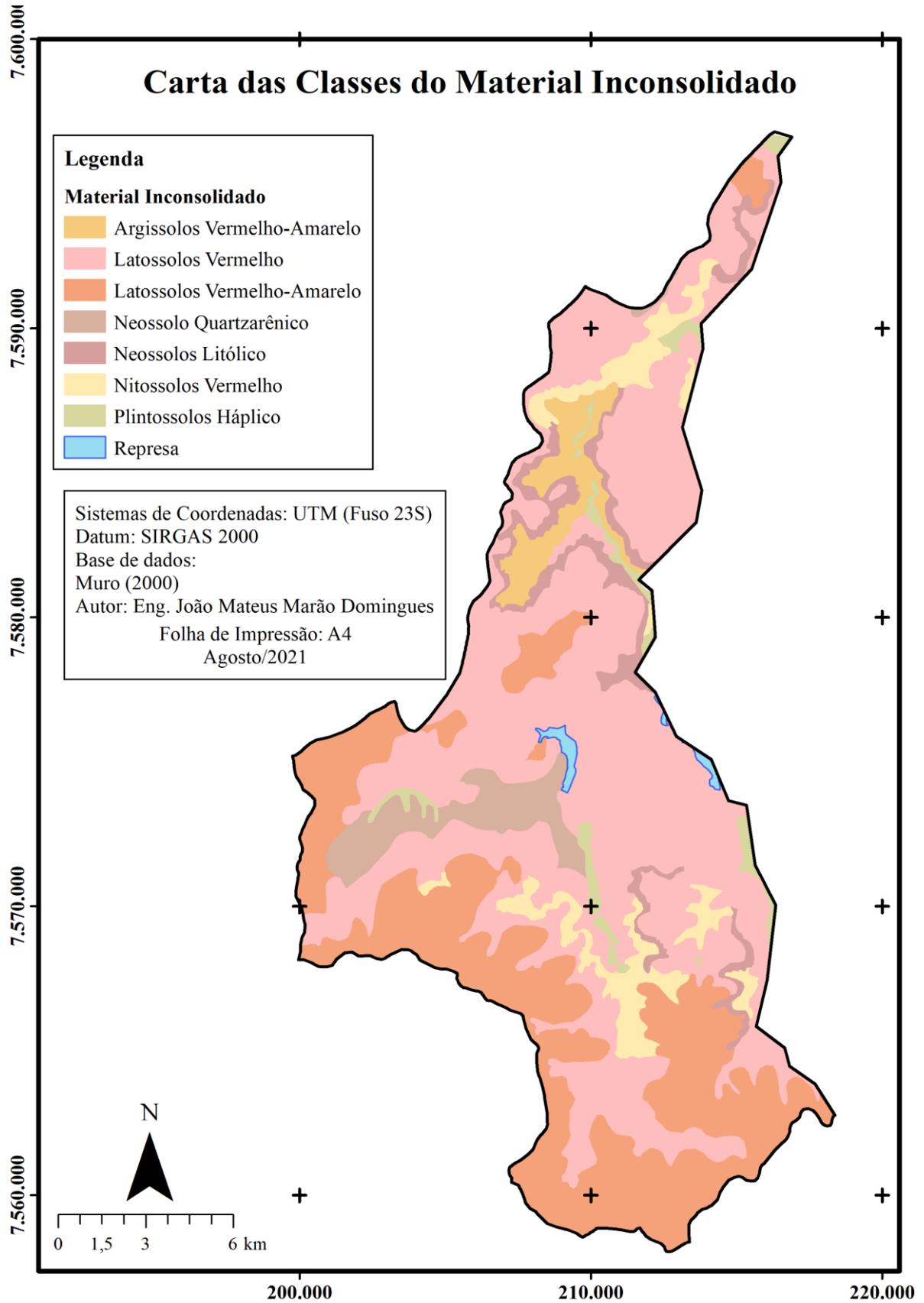
Fonte: EMBRAPA (2021a). Adaptado pelo autor (2021).

3.3.3 Pedologia

Aguiar (1989) organiza as classes de solos encontrados na região de São Carlos, conforme a predominância espacial, como sendo os latossolos vermelho amarelos, areias quartzosas profundas, latossolos roxos, latossolos vermelho escuros, terra roxa estruturada, solos litólicos e solos hidromórficos.

Com o auxílio do mapa pedológico desenvolvido por Muro (2000) é possível notar que a SBHRQ possui sete tipos de materiais inconsolidados: argissolo, latossolo vermelho, latossolo vermelho-amarelo, neossolo quartzarênico, neossolo litólico, nitossolo e plintossolo (Figura 13). Cabe ressaltar que a área de estudo não possui um mapeamento pedológico de detalhe o que dificulta a classificação dos tipos de materiais inconsolidados presentes na SBHRQ.

Figura 13 – Material inconsolidado da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo.



3.3.3.1 Argissolo

São solos de coloração vermelha a amarela e textura argilosa, medianamente profundos a profundos e moderadamente drenados. Apresenta baixo teor de matéria orgânica, e grande teor de argila. Em áreas de relevo plano e suave ondulado este tipo de solo pode ser utilizado em culturas (sendo necessário a adequação da acidez e adubação). Tem grande susceptibilidade à erosão, mesmo em relevo suave ondulado, por isso é recomendável práticas de conservação do solo (EMBRAPA, 2021b).

3.3.3.2 Latossolos

Este tipo de solo está presente em grande parte do território nacional associados aos relevos, plano, suave ondulado ou ondulado. São solos bem desenvolvidos (antigos) e aparecem em ambientes bem drenados, normalmente muito profundos (EMBRAPA, 2021b).

Aguiar (1989) distinguiu três tipos de latossolos na região (vermelho amarelo, roxo e vermelho escuro), dos quais são distinguidos entre si por meio da coloração, origem do material geológico e de teores de ferro presentes no solo. Segundo o autor a gênese dos latossolos vermelho amarelos aos sedimentos do Grupo Bauru, podendo ocorrer contribuições das rochas básicas da Formação Serra Geral; Os latossolos roxos se destacam pelos teores totais de óxido de ferro (superiores a 18%), de titânio (maior que 3%) e presença de magnetitas, associados exclusivamente ao intemperismo das rochas basálticos; Os latossolos vermelho escuros apresentam variação textural em função do material de origem, texturas argilosas são derivadas pela ação intempérica resultante das rochas sedimentares com material fino, quando a matriz é mais grosseira é resultante dos magmatitos.

3.3.3.3 Neossolo Quartzênico

Esta classe é composta por material de textura arenosa com coloração amarelada, ocorrendo em áreas de relevo plano ou suave ondulado. A susceptibilidade à erosão pode ser baixa devido ao relevo, no entanto é necessário precaução devido sua textura arenosa. Apesar de serem solos apropriados para reflorestamento, são utilizados para cultura de cana de açúcar (EMBRAPA, 2021b).

3.3.3.4 Solos Litólicos ou Neossolos Litólicos

São caracterizados por serem solos pouco desenvolvidos (imaturos), constituídos com frequência por cascalhos e fragmentos de rocha (EMBRAPA, 2021b). Podem apresentar duas distinções, quanto ao seu grau de fertilidade, podendo ser eutróficos (férteis, de origem basáltica da Formação Serra Geral) ou distróficos (pouco férteis, de origem arenítica da Formação Botucatu) (AGUIAR, 1989). Os Solos Litólicos também podem ser denominados como Neossolos Litólicos.

3.3.3.3 Terra Roxa Estruturada ou Nitossolos

Este tipo de solo apresenta coloração vermelha e vermelha-escura, com matriz argilosa e muito argilosa, compostas por estrutura em blocos bem desenvolvidos, derivados de rochas básicas e ultrabásicas, a mudança entre os horizontes é sutil (EMBRAPA, 2021b). A Terra Roxa Estruturada também pode ser reconhecida como Nitossolos Vermelhos.

3.3.3.4 Plintossolos

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) este tipo de solo é constituído por material mineral, provenientes da segregação localizada de ferro, que atua como agente de cimentação. Esta classe de solo é tipicamente encontrada em zonas quentes e úmidas, com estação seca bem definida. Parte dos solos desta classe tem ocorrência associada a áreas de várzeas, terrenos com relevo plano ou suavemente ondulado. Tem potencial agrícola voltado ao cultivo de arroz irrigado, dentre suas principais limitações destaca-se a sua baixa fertilidade natural e acidez elevada e drenagem (EMBRAPA, 2021b).

3.3.4 Vegetação

Silva, Abdon e Paranaguá (2000 *apud* CAMPANELLI, 2012) classificam as formações vegetacionais presentes na região como: floresta estacional Semidecidual submontana (mata), floresta estacional semidecidual aluvial (mata ciliar), savana florestada (cerradão), savana arborizada (cerrado) e capoeiras.

Segundo o IBGE (2017) o município de São Carlos abrange dois Biomas, o Cerrado e a Mata Atlântica. Por outro lado, ao analisar a região de estudo pelo DataGeo (2020) é visto que o território está inserido exclusivamente no Bioma Cerrado.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão demonstrados os passos executados para o desenvolvimento do presente trabalho. A sistematização dos procedimentos metodológicos desta pesquisa se fundou parcialmente nas etapas de zoneamento ambiental municipal estabelecidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2018). A primeira fase é definida pelo diagnóstico, o qual tem como finalidade a análise e estruturação das informações. Já a segunda consiste na base de informação territorial, caracterizado pelo prognóstico, tendo como propósito fornecer a carta de zoneamento ambiental. Por fim, o último processo é estabelecido pela integração e interpretação dos resultados obtidos previamente, com a intenção de subsidiar à gestão pública, por ser um procedimento estritamente voltado aos gestores e tomadores de decisão, esta etapa não foi considerada no desenvolvimento da pesquisa (Figura 14).

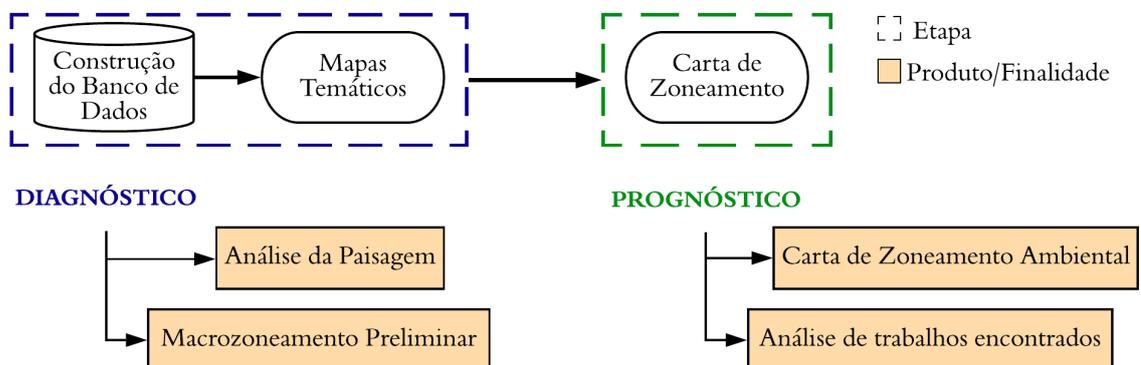
Figura 14 – Etapas do desenvolvimento metodológico da pesquisa.



Fonte: MMA (2018). Adaptado pelo autor (2021).

A Figura 15 exibe a sequência dos passos seguidos, tal como a funcionalidade e/ou o produto de cada etapa.

Figura15– Estrutura dos procedimentos executados conforme as etapas metodológicas da pesquisa.



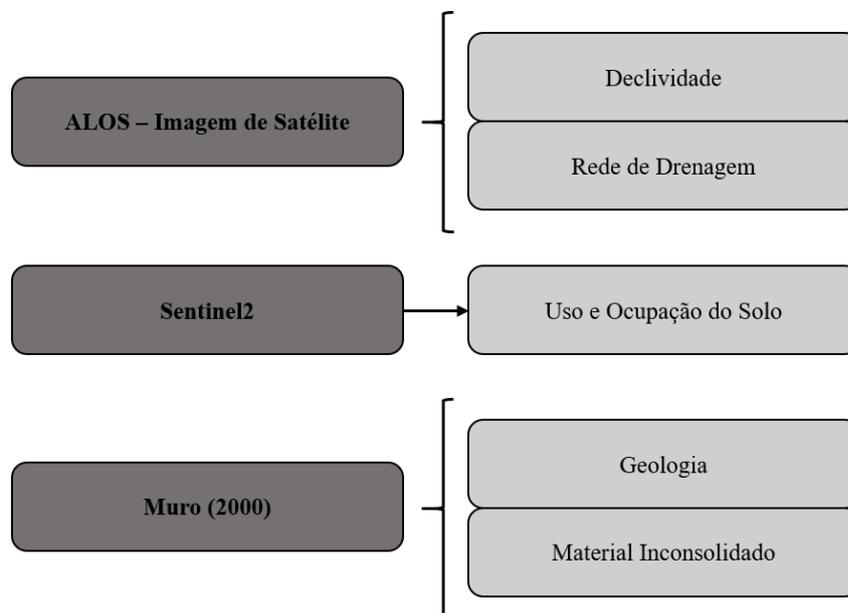
Fonte: Autor, 2021.

O procedimento técnico adotado para a elaboração da carta de zoneamento ambiental da área de estudo fundamentou-se nas concepções estabelecidas por Santos e Montañó (2010).

Os autores direcionam o ordenamento territorial ao processo de ocupação urbana do município de Brotas em São Paulo com o auxílio de álgebra cartográfica e levando em conta as diferentes componentes do meio físico. Considerando a proximidade física entre as cidades de Brotas e São Carlos, se espera que o comportamento dos atributos sejam similares, motivo pelo qual foi adotado a mesma classificação para cada atributo.

As variáveis utilizadas na construção do banco de dados foram selecionadas entorno da metodologia proposta por Santos e Montañó (2010). A Figura 16 indica a relação dos atributos abordados e a respectiva fonte da aquisição.

Figura 16 – Relação dos atributos físicos e as respectivas fontes de aquisição.



Fonte: Autor, 2021.

Para o tratamento dos dados espaciais, vetorização e operações de geoprocessamento, assim como produção de documentos cartográficos foi utilizado o *software* de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) QGIS 3.10.4. Optou-se pelo uso deste programa por este ser de caráter livre (*open access*).

Tendo em vista a aplicação das escalas expostas na Tabela 1, zoneamentos locais podem ser realizados a uma escala de 1:100.000, motivo pelo qual esta é escala padrão dos documentos cartográficos elaborados nesta pesquisa. Somado a isso, cabe ressaltar que o vigente trabalho trata de um estudo preliminar da área de expansão urbana de São Carlos localizada em uma porção da SBHRQ. A representação cartográfica adotada corresponde ao sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) no Fuso 23S e ao datum SIRGAS 2000.

Para coletar o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo foi utilizado o satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite – lançado em 2006 pela companhia japonesa Japan Aerospace Exploration Agency, deixou de operar cinco anos após seu lançamento, em 2011). Optou-se por realizar o tratamento preliminar do MDE baseado neste satélite devido a qualidade da imagem que apresenta uma alta resolução espacial (12,5 metros). Considerando a localização da SBHRQ e a estabilidade tectônica do Brasil, é considerado que atributos extraídos (altitudes das superfícies topográficas e declividade) não sofrem alteração entre os anos de 2011 e 2020.

A extração do MDE decorreu-se por meio da importação da imagem de satélite disposto na plataforma Alaska Satellite Facility (ASF), desenvolvida pelo Centro de Arquivos Ativos Distribuídos da NASA (DAACs)¹. Para isto foi necessário localizar a área de interesse, e indicar a data em que deseja extrair o modelo, neste caso atribuiu-se os anos em que o satélite operou de 2006 a 2011. Outros parâmetros configurados compreendeu a escolha dos arquivos com alta resolução e corrigidos (fornecido pela própria plataforma), modo FBS (responsável por fornecer dados de altitude), e por fim a polarização HH (recepção e transmissão horizontal). O site concedeu uma série de arquivos, no entanto, foi selecionado a imagem mais recente datada em 15 de janeiro de 2011.

Para classificar o uso e ocupação do solo foi utilizado imagens do satélite multiespectral Sentinel 2 (lançado em 2015 a partir de um projeto da Agência Espacial Europeia – ESA, operante até hoje em dia). Este satélite foi selecionado em razão da sua alta resolução espacial (10m para as bandas, 10m para as bandas do visível, 20m para o infravermelho e 60m para as bandas de correção atmosférica), e pela aplicação de suas imagens que são voltadas para o monitoramento de agricultura, florestas, águas e uso e ocupação das terras (EMBRAPA, 2021c).

A extração das imagem do satélite Sentinel 2 decorreu-se com o auxílio do complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SPC) fornecido no próprio ambiente do QGIS. Dentre os resultados obtidos pela ferramenta, foi selecionado a imagem mais recente com menor taxa de cobertura de nuvens, datada em 09 de abril de 2021. Cabe ressaltar que foi

¹ Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>

possível escolher uma imagem acompanhada das devidas correções atmosféricas. As bandas coletadas foram combinadas com o auxílio da função *Mesclar Raster*.

4.1 DIAGNÓSTICO

Esta fase pode ser entendida pela aquisição das informações espaciais referentes à área estudada, como medida para entender a identidade do contexto geográfico frente aos atributos do meio físico da área de estudo. Para entender o comportamento do meio físico de parte da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo foram elaborados os seguintes mapas temáticos: declividade, recursos hídricos superficiais, uso e cobertura do solo, litológico e materiais inconsolidados.

4.1.1 Mapa de Declividade

Para gerar a declividade do terreno foi necessário transformar o MDE, obtido pela imagem de satélite, por meio da ferramenta *Declividade* nas opções de *Raster*. Em seguida o produto gerado, expressado em porcentagem, foi reclassificado em cinco classes de declividade: 0-6%, 6-12%, 12-20% e maiores que 20%.

4.1.2 Mapa de Recursos Hídricos Superficiais

O MDE também possibilitou a extração da rede de drenagem. Para isso, foi necessário uma correção das depressões por meio da ferramenta *Fill*. Seguido da aplicação da ferramenta *Channel Network and Drainage Basins*, sendo necessário definir o nível de detalhamento (limite escolhido igual a 5, por se tratar de uma análise preliminar regional).

O passo seguinte consiste na apuração das distâncias de áreas próximas à rede de drenagem coletada. A apuração dos intervalos espaciais foi desenvolvida pela ferramenta *Buffer* sendo definido a camada alvo (cursos d'água) e as distâncias, para este estudo foram atribuídas as distâncias de 30 e 200 metros.

4.1.3 Mapa de Uso e Ocupação do Solo

Para definir o uso e ocupação do solo foi utilizado a ferramenta de classificação supervisionada *dzetsaka: Classification Tool*. Esta técnica se baseia em *machine learning*, isto

é, um método que se fundamenta na automatização do procedimento por meio de um conjunto de amostras pré definidos. Consequentemente, a ferramenta necessita de dois dados de entrada, raster e polígonos pré definidos (amostras de cada categoria a ser classificada). O raster utilizado nesta operação consiste no produto resultante da combinação das bandas da imagem de satélite Sentinel 2.

A Tabela 3 destaca as categorias consideradas para realizar a classificação do uso e ocupação do solo, e as características atribuídas para distinguir cada classe na imagem de satélite. No entanto, cabe destacar que apesar de classificar seis tipos de categorias para o uso e ocupação do solo, foi utilizado apenas duas classes, conforme a proposição da metodologia adotada. Estas seis classes apresentadas foram simplificadas em apenas duas, ausência ou presença de vegetação nativa. Sendo assim, a vegetação nativa e o florestamento inseridos na nova categoria de remanescente de vegetação nativa, e as demais como ausente.

Tabela 3 – Categorias e características consideradas para classificar o uso e ocupação do solo.

ID	Classificação	Característica	Zoneamento
1	Vegetação nativa	Vegetação verde densa e sem forma definida	Remanescente de vegetação nativa
2	Florestamento	Vegetação verde densa e com forma definida	Remanescente de vegetação nativa
3	Pastagem	Vegetação verde	Ausente
4	Agricultura	Áreas com forma definida	Ausente
5	Área urbana	Concentração de quadras	Ausente
6	Corpos d'água	Áreas escuras	Ausente

Fonte: Autor, 2021.

4.1.4 Mapas Litológico e de Materiais Inconsolidados

Os atributos referentes à geologia e pedologia da região foi obtido por meio da sobreposição e vetorização das respectivas cartas desenvolvidas no trabalho de Muro (2000). A Tabela 4 identifica as características atribuídas para o substrato rochoso.

Tabela 4 – Categorias e características consideradas para classificar o substrato rochoso de acordo com seu potencial de porosidade e permeabilidade.

Substrato Rochoso	Característica
Arenito fino a médio	Área de afloramento de aquífero
Arenito, siltito e argilito	Formações geológicas de baixa permeabilidade
Depósito aluvionar	Ausente
Diabásio	Formações geológicas fraturadas
Rochas vulcânicas (basaltos)	Formações geológicas impermeáveis

Fonte: Autor, 2021.

A Tabela 5 distingue os diferentes tipos de materiais inconsolidados da área de estudo e suas características.

Tabela 5 – Categorias e características consideradas para classificar o material inconsolidado de acordo com sua textura.

Material Inconsolidado	Característica
Argissolo vermelho-amarelo	Solos muito arenosos e litólicos
Latossolo vermelho	Solos com gradiente de textura não abrupto
Latossolo vermelho-amarelo	Solos com gradiente de textura não abrupto
Neossolo litólico	Solos muito arenosos e litólicos
Neossolo quartzênico	Solos muito arenosos e litólicos
Nitossolo vermelho	Solos com gradiente de textura não abrupto
Plintossolo háplico	Solos argilosos ou siltosos

Fonte: Autor, 2021.

4.2 PROGNÓSTICO

Esta etapa é entendida pela caracterização dos potenciais ambientais sobre a área de interesse, mediante a representação dos vetores de pressão (mapas). Tem como propósito antecipar futuros impactos derivados da implantação de empreendimentos e infraestruturas urbanas na área estudada.

Será adotado como parte da fase de prognóstico do vigente trabalho o desenvolvimento da carta do zoneamento ambiental da área de interesse.

4.2.1 Carta de Zoneamento Ambiental

A carta de zoneamento ambiental indica as potencialidades de parte da SBHRQ, levando em consideração a interação entre as condicionantes físicas e o processo de ocupação urbana, com destaque para a implantação de futuras estrutura urbanas (por exemplo, edificações, arruamento, rede de abastecimento de água, rede coletora de esgoto sanitário, sistema de drenagem pluvial), bem como futuras atividades econômicas.

Como mencionado previamente, a carta de zoneamento ambiental terá como base as classificações estabelecidas no trabalho de Santos e Montañó (2010). A Tabela 6 sintetiza as classes dos atributos ambientais utilizados no estudo, e que também serviu de base para a presente pesquisa.

Tabela 6 – Classe de aptidão frente aos fatores ambientais considerados na área de estudo.

Fator Ambiental	Descrição	Aptidão
Declividade	0 - 6%	Alta
	6 - 12%	Média
	12 - 20%	Baixa
	> 20%	Nula
Cobertura Vegetal do Solo	Ausente	Apta
	Remanescente de vegetação nativa	Nula
Recursos Hídricos Superficiais	> 200 metros de distância	Alta
	30 a 200 metros de distância	Média
	Até 30 metros	Baixa
	APP, várzeas e/ou áreas inundáveis	Nula
Geologia	Formações geológicas impermeáveis	Alta
	Formações geológicas de baixa permeabilidade e/ou fraturadas	Média
	Área de afloramento de aquífero	Baixa
	Ausente	Nula
Materiais Inconsolidados	Solos argilosos ou siltosos	Alta
	Solos com gradiente de textura não abrupto	Média
	Solos muito arenosos e litólicos	Baixa
	Solos de várzeas, de fundos de vale, sob efeito de inundação	Nula

Fonte: Santos e Montañó (2010). Adaptado pelo autor (2021).

Cabe destacar que houve a necessidade de converter os valores qualitativos da aptidão para valores quantitativos (Tabela 7), para que assim fosse possível realizar a álgebra de mapas.

Tabela 7 – Atribuição dos valores qualitativos para quantitativos.

Aptidão	
Qualitativa	Quantitativa
Alta	3
Média	2
Baixa	1
Nula	0

Fonte: Autor, 2021.

Uma proposta metodológica adotada para reduzir a propagação de erros sobre inferências espaciais, é definida pela lógica *fuzzy*, a qual se utiliza de limiares mais suaves, isto é, homogeneizando os dados analisados (CALIJURI et al., 2007; ASCIUTTI, 2019). Motivo pelo qual, os valores representados na Tabela 7 foram padronizados conforme a lógica *fuzzy* (onde os valores variam entre 0 e 1) para posteriormente serem interpolados pela álgebra cartográfica e elaborar os mapas de zoneamento ambiental.

Ao todo foram gerados cinco mapas distintos frente suas particularidades, conforme exposto na Tabela 3. A carta final do zoneamento ambiental consiste no resultado da álgebra cartográfica destes mapas, para isso adotou-se dois tipos de médias com a intenção de diversificar os resultados obtidos permitindo agregar e comparar com os produtos finais de outros trabalhos.

As médias aritméticas, ponderada e simples, utilizadas neste estudo foram calculadas por meio da ferramenta *Calculadora de Raster*. Cabe ressaltar que a média aritmética ponderada tem caráter exploratório, tendo em vista que a pesquisa visa fornecer subsídios para a área de estudo. As equações abaixo representam o cálculo da aptidão de acordo com a média simples e ponderada, respectivamente.

$$ZA = (Declividade + Cobertura Vegetal do Solo + Recursos Hídricos Superficiais + Geologia + Materiais Inconsolidados)/5$$

$$ZA = Declividade * 0,3 + Geologia * 0,15 + Material Inconsolidado * 0,2 + Cobertura Vegetal * 0,35$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

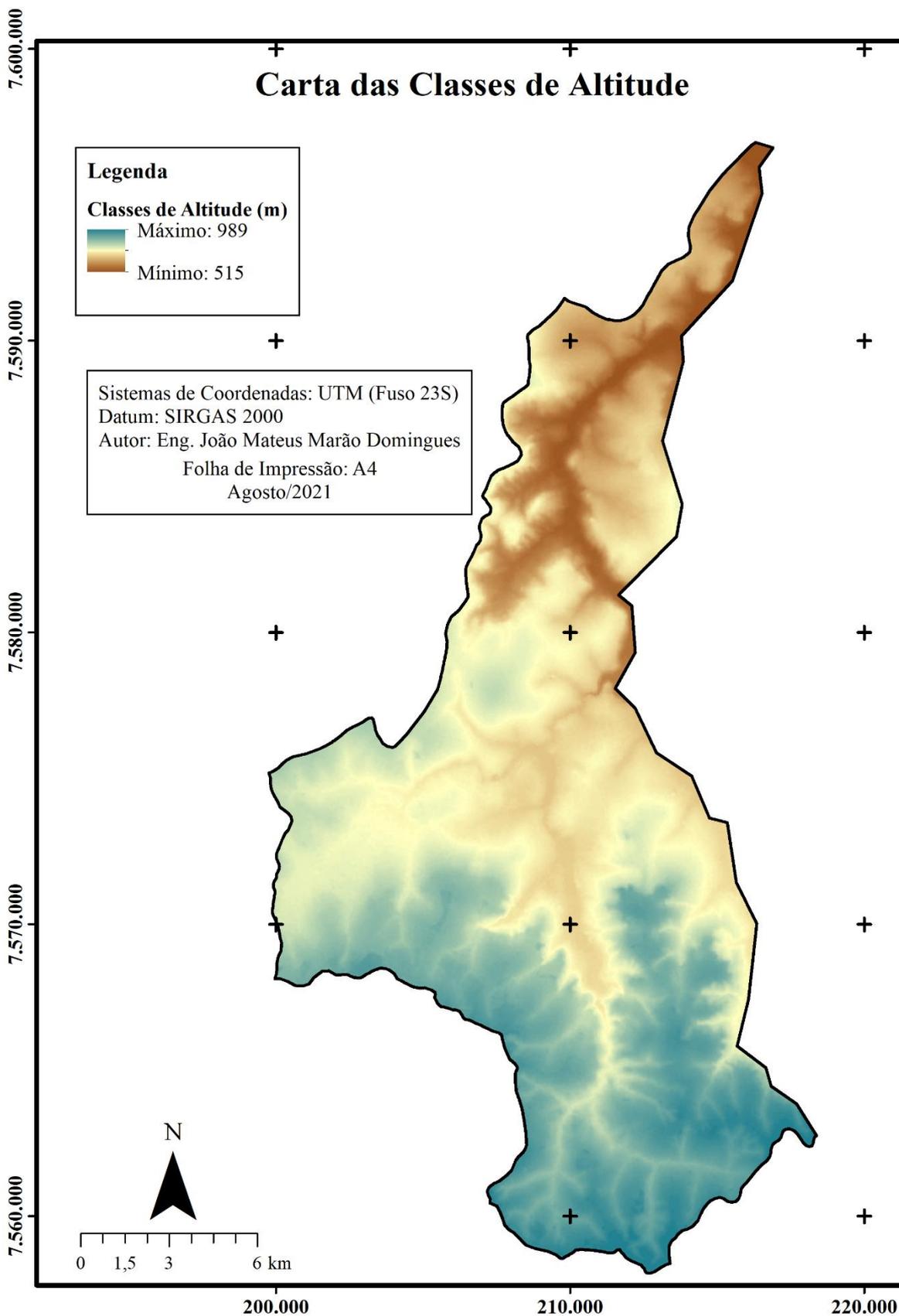
Neste capítulo são apresentados os documentos cartográficos provenientes da etapa de diagnóstico e prognóstico gerados a partir dos procedimentos indicados no capítulo anterior. Cabe ressaltar que os mapas foram recortados para destacar apenas a área da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo inserido no limite municipal de São Carlos.

5.1 DIAGNÓSTICO

5.1.1 Mapa de Declividade

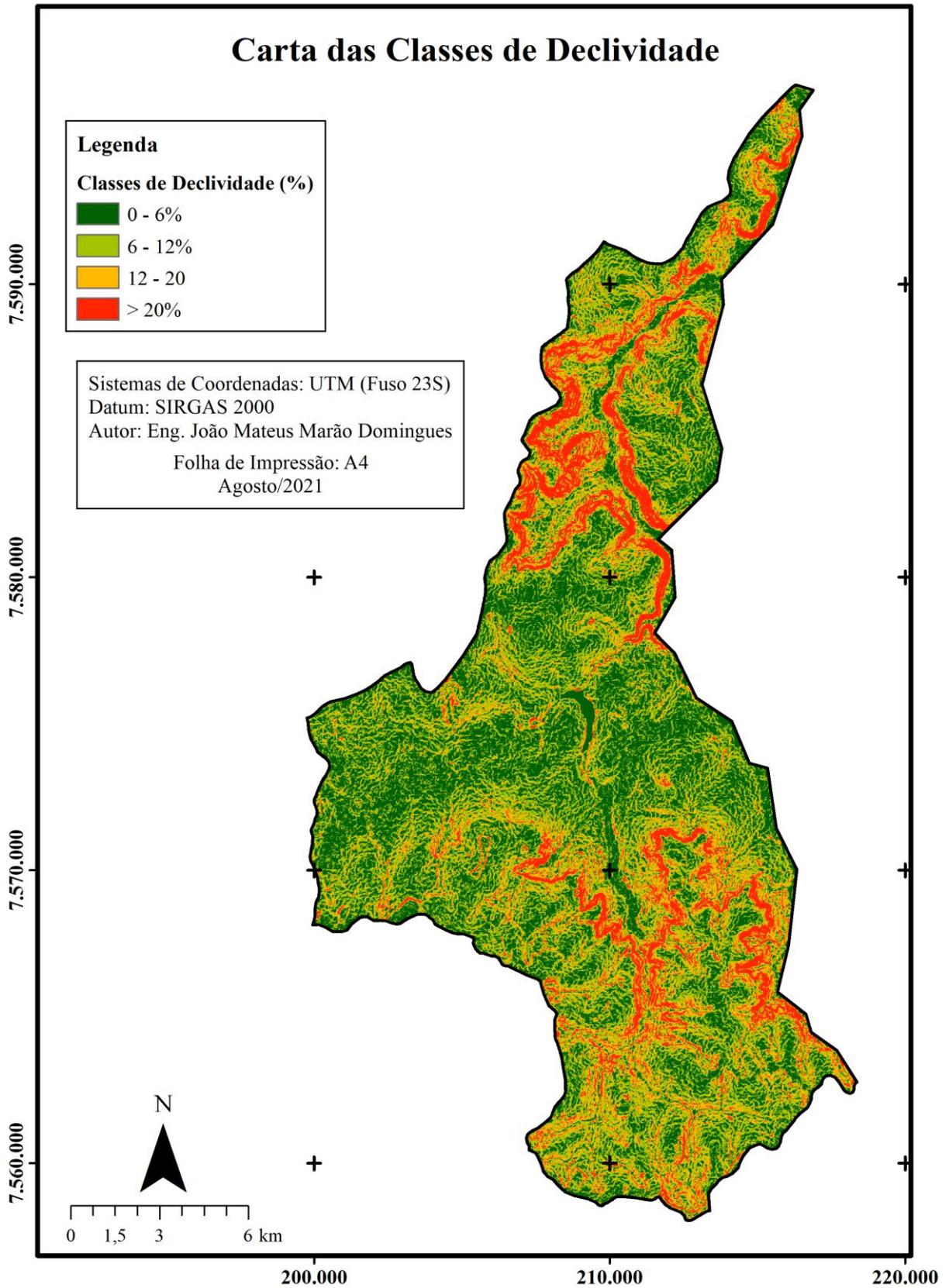
Por meio do tratamento da imagem de satélite ALOS PALSAR foi possível extrair, o Modelo Digital de Elevação (Figura 17), e conseqüentemente, a declividade do terreno (Figura 18), expressados em metros e em porcentagem, respectivamente. O MDE demonstrou que a altitude mínima é de 515 metros, e máxima de 989 metros, a uma declividade média de 10,38%. As maiores declividades estão inseridas nas porções Norte e Sudeste da Bacia, enquanto as menores estão bem distribuídas em todo território, tendo maior representatividade na região central. Comparando ambas as cartas é possível visualizar que as maiores declividades da porção Norte coincidem com as altitudes mais baixas da SBHRQ.

Figura 17 – MDE obtido pelo tratamento da imagem de satélite ALOS PALSAR, expressado em metros.



Fonte: Autor, 2021.

Figura18 – Declividade obtida pelo tratamento do MDE, expressado em porcentagem.



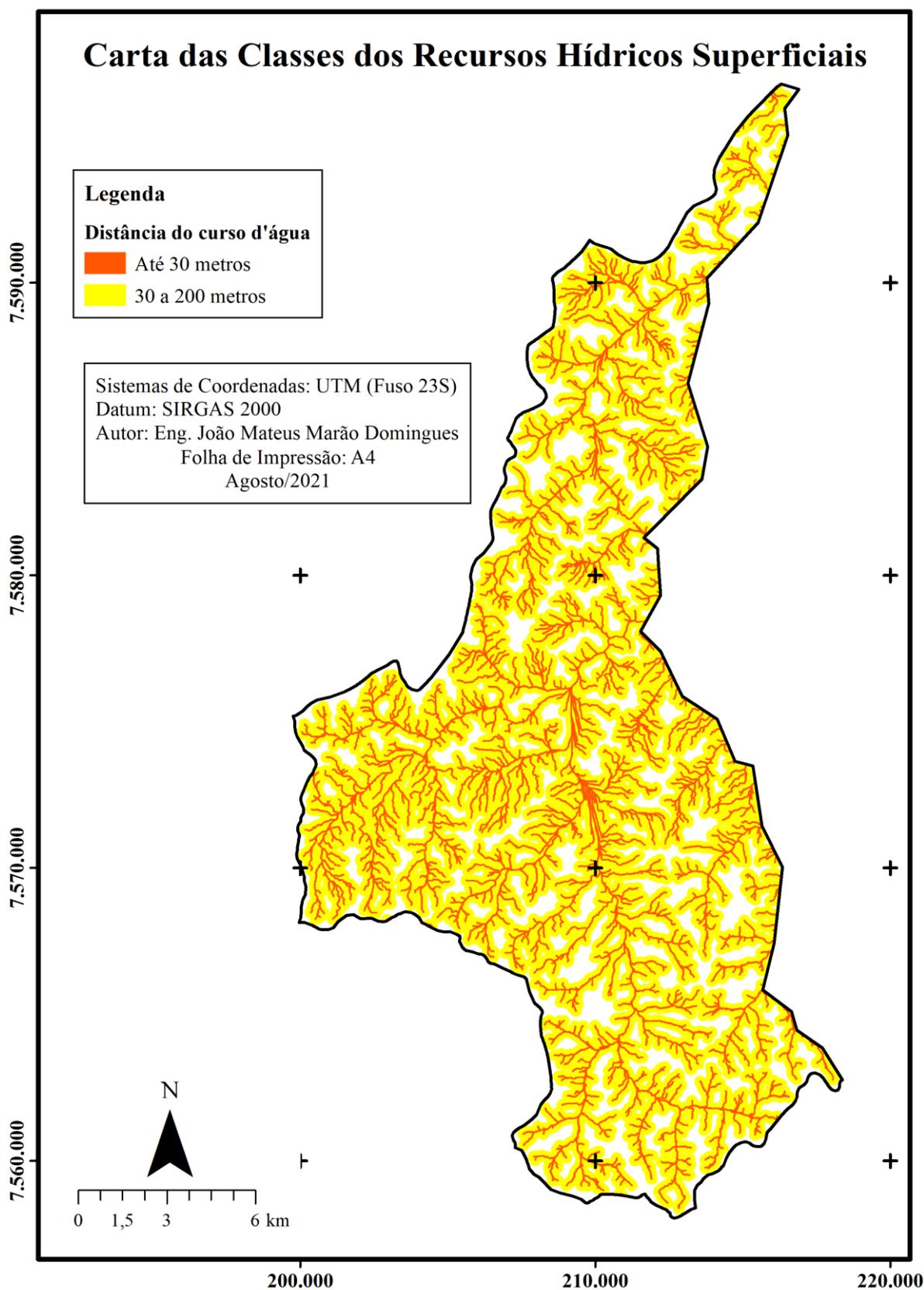
Fonte: Autor, 2021.

5.1.2 Mapa de Recursos Hídricos Superficiais

Com o suporte das ferramentas de preenchimento as depressões foram corrigidas, e por consequência, se desenvolveu a rede hidrográfica da área estudada (Figura 19). O mapa demonstra que grande parte da extensão do território há a presença de cursos d'água. Ao observar a altitude e a declividade é visto que os principais cursos (segundo a hierarquia fluvial, consiste nos cursos que captam as águas de rios de menor ordem) coincidem com as regiões mais planas, isto é, que apresentam menor declividade (variando de 0 a 6%).

Conforme a metodologia adotada, áreas de até 50 metros dos recursos hídricos superficiais possuem aptidão nula, ou seja, não são favoráveis a implementação de futuras infraestruturas urbanas. No entanto, os valores de tal categoria foram adaptados conforme a diretriz estabelecida pelo Plano Diretor de São Carlos, a qual define que as APPs compreendem faixas de 30 metros dos cursos d'água naturais. Motivo pelo qual as faixas consideradas variam de até 30m e/ou 30 a 200m.

Figura19 – Classificação dos recursos hídricos superficiais segundo a distância dos cursos d'água. Destacado em laranja distâncias de até 30 metros, e em amarelo entre 30 a 200 metros.



Fonte: Autor, 2021.

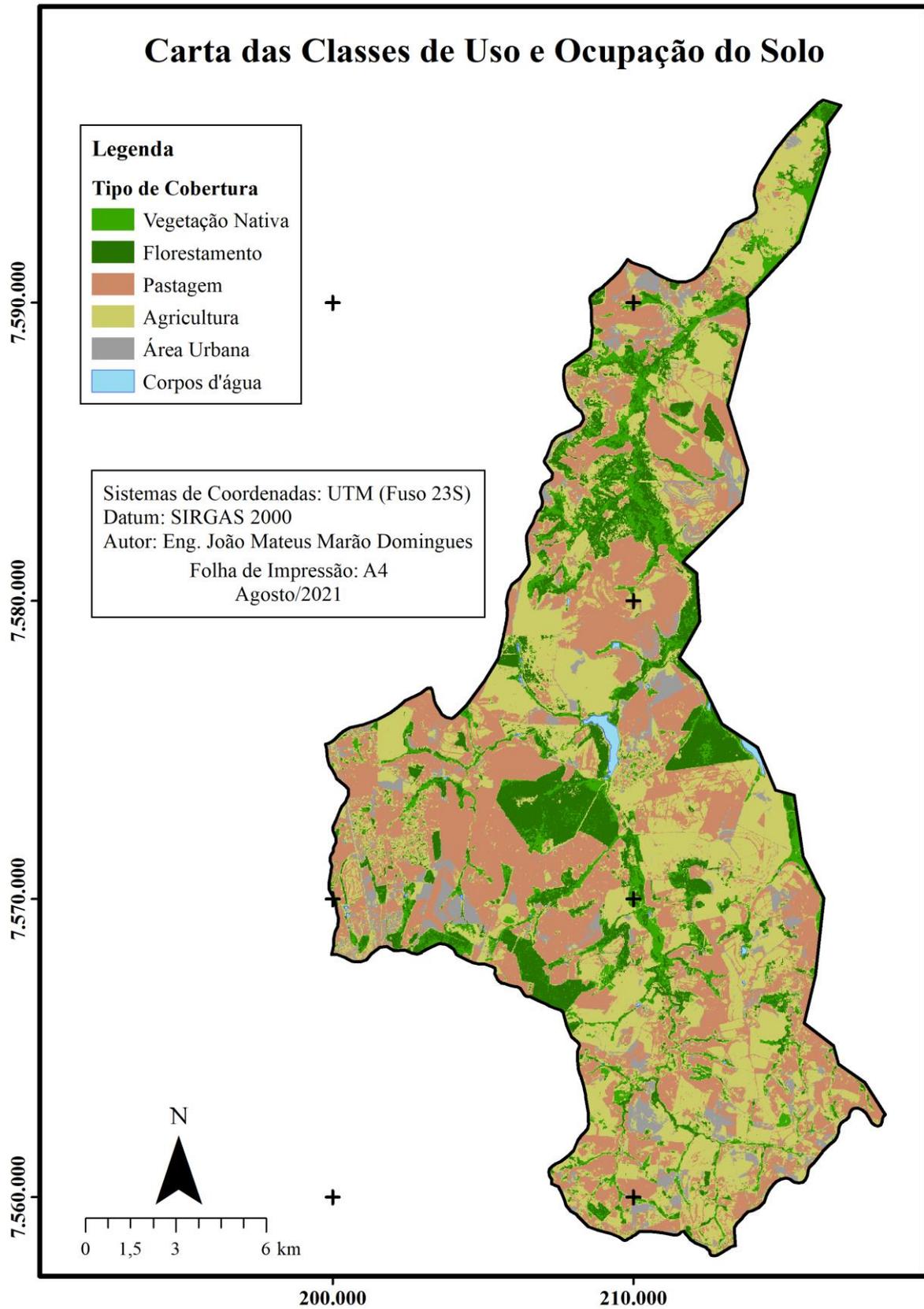
5.1.3 Mapa de Uso e Ocupação do Solo

Para elaborar o mapa de uso e ocupação do solo, inicialmente se realizou uma classificação com seis tipos de categorias: vegetação nativa, florestamento, pastagem, agricultura, área urbana e corpos d'água (Figura 20). No mapa é possível distinguir áreas urbanas como a de expansão urbana de São Carlos (região Oeste), e os distritos de Água Vermelha (Centro-Oeste) e Santa Eudóxia (Norte).

Comparando a carta de uso e ocupação com as de altitude e de declividade é possível notar que as áreas de vegetação nativa e florestamento agrupam-se em áreas de cota topográfica mais baixa e de maior declive na porção Norte, e que as áreas urbanas situam-se em cotas mais elevadas e com menor declividade (exceto na porção Oeste onde a declividade varia entre 6 a 12%).

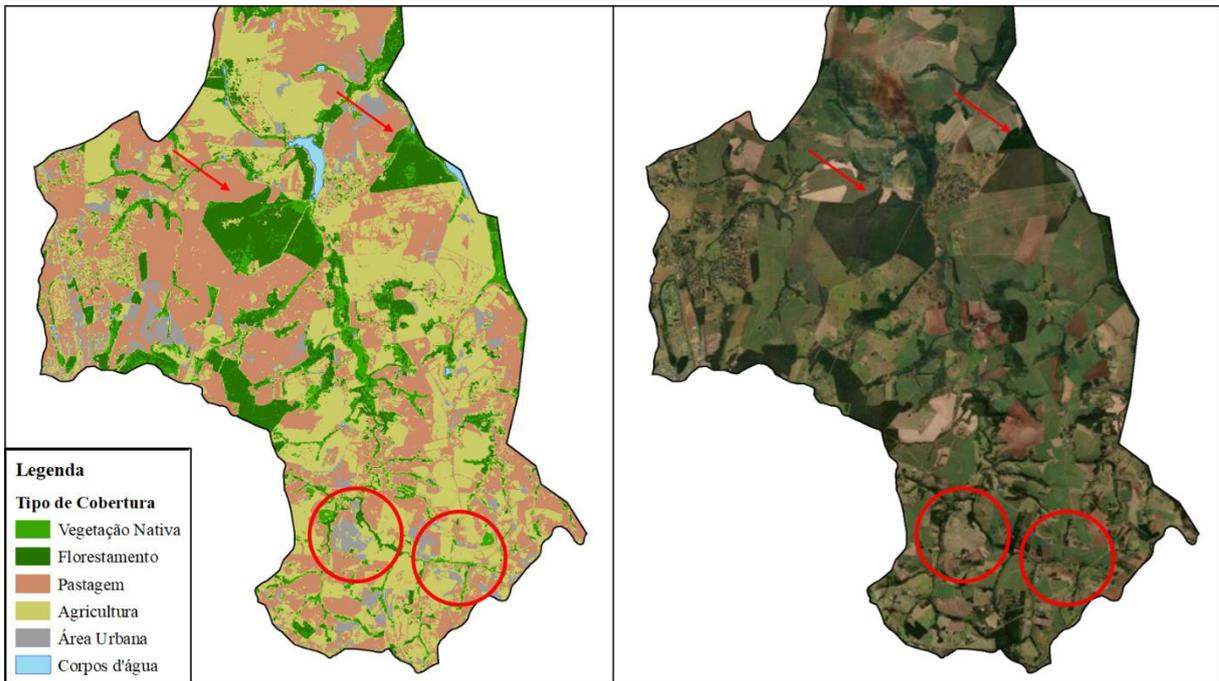
Visto que o mapa de uso e ocupação do solo é determinado pelo aprendizado de máquina é possível notar algumas inconsistências no produto gerado, como por exemplo algumas ocorrências indevidas de áreas urbanizadas na SBHRQ (Figura 21). Não cabe ao escopo deste trabalho aprofundar pormenorizadamente a erros intrínsecos do método de automatização do processamento, entretanto, é importante destacá-los dado que podem resultar em um erro acumulativo no mapa de zoneamento ambiental.

Figura 20 – Classes de uso e ocupação do solo obtido pela automatização de amostras de cada classe.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 21 – Inconsistências geradas pelo aprendizado de máquina. Destacado em círculos na porção Sul, regiões classificadas como áreas urbanas, porém sem características presentes na imagem de satélite, assim como áreas de vegetação nativa/florestamento (destaco pelas setas)



Fonte: Autor, 2021.

5.1.4 Mapas do Substrato Rochoso e de Material Inconsolidado

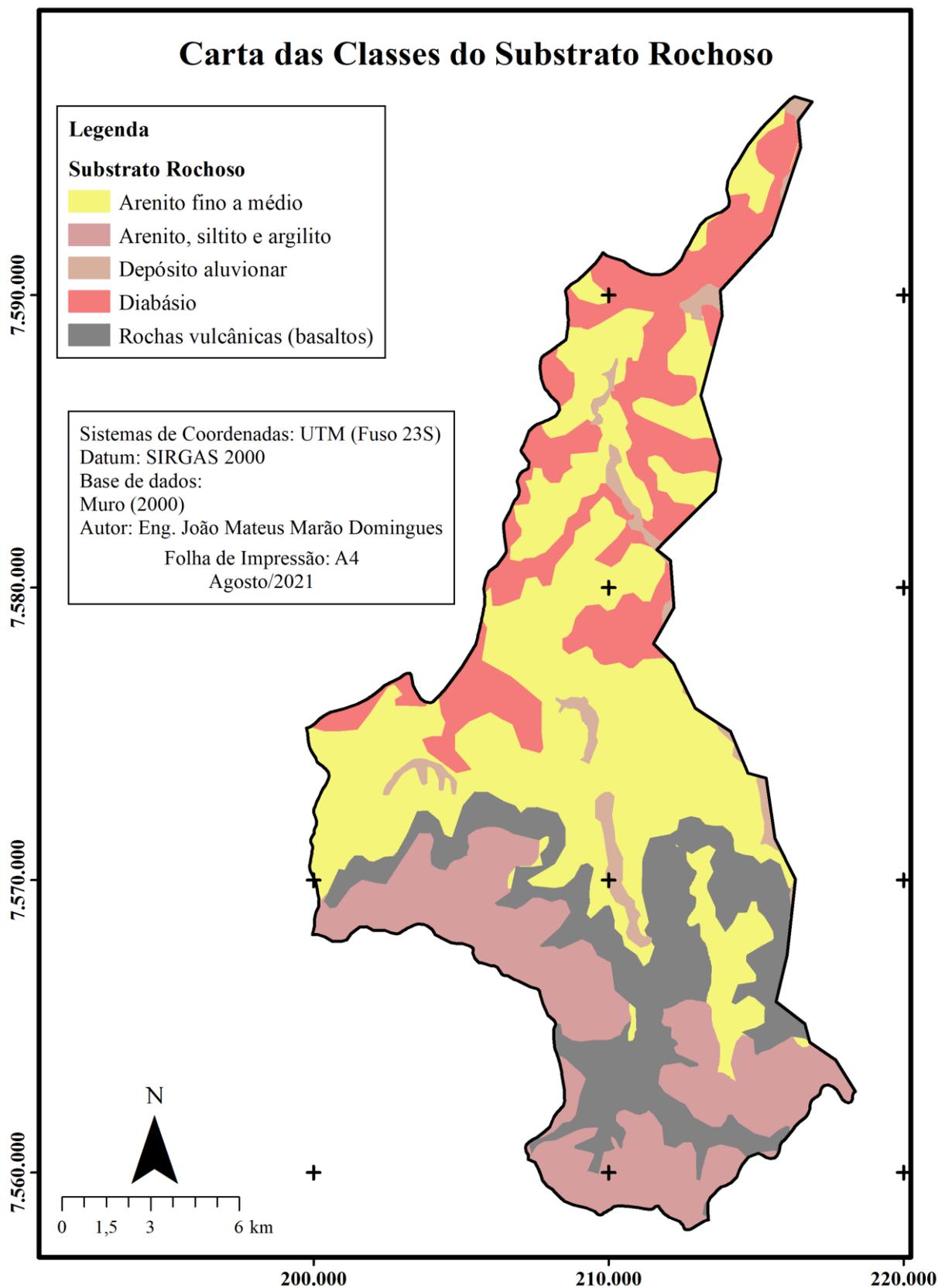
Na região estudada é possível distinguir cinco tipos de rochas compreendidos por: arenitos arenito fino a médio, arenito (siltito e argilito), depósito aluvionar, diabásio e rochas vulcânicas. (Figura 22); também é possível identificar sete tipos de material inconsolidado: argissolo, latossolo vermelho, latossolo vermelho-amarelo, neossolo quartzarênico, neossolo litólico, nitossolo e plintossolo (Figura 23).

Ao comparar a carta do substrato rochoso com a de declividade é possível analisar que os depósitos aluvionares e os arenitos fino a médio estão situados nas regiões com menor declividade (0 a 6%), e que as rochas vulcânicas (basaltos) acompanham uma faixa de declividade intermediária (12 a 20%). Uma parte do litotipo diabásio concentrado na porção Norte localiza-se nas áreas de maior declive (> 20%). Já a análise entre o substrato rochoso e a altimetria aponta que arenitos, siltitos e argilitos, e os basaltos compreendem a porção mais alta da Bacia, por outro lado, o diabásio e os depósitos aluvionares nas mais baixas.

Ao correlacionar a declividade com o material inconsolidado é visto que os latossolos vermelhos estão inseridos nas seções de menor declividade, e que os neossolos litólicos tem

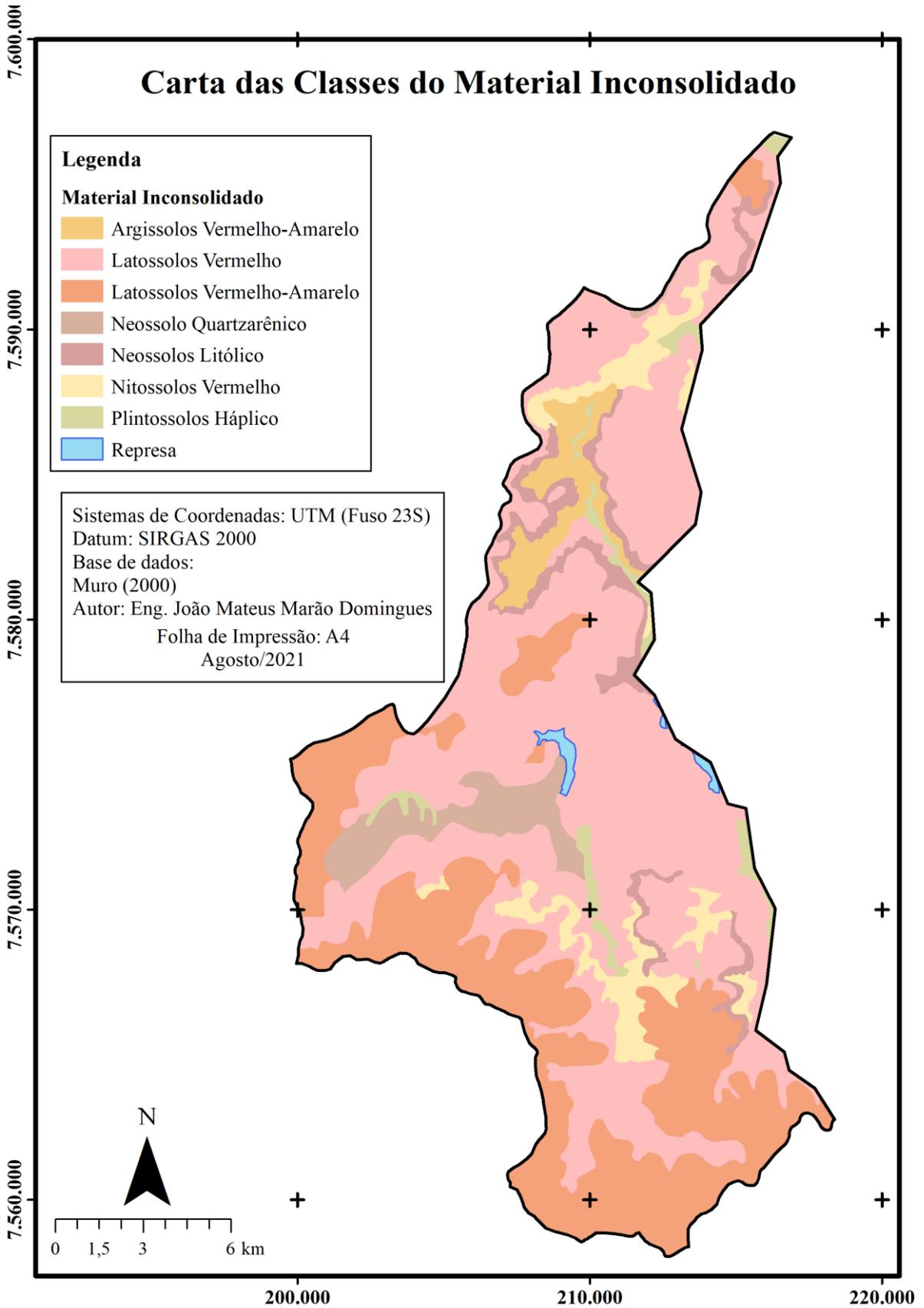
ocorrência apenas em áreas de maior declive. Comparando as cotas topográficas com os tipos de solo é visto que os latossolos vermelho-amarelo situam-se na porção de maior altitude.

Figura 22 – Classes do substrato rochoso.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 23 – Classes do material inconsolidado.



5.2 PROGNÓSTICOS

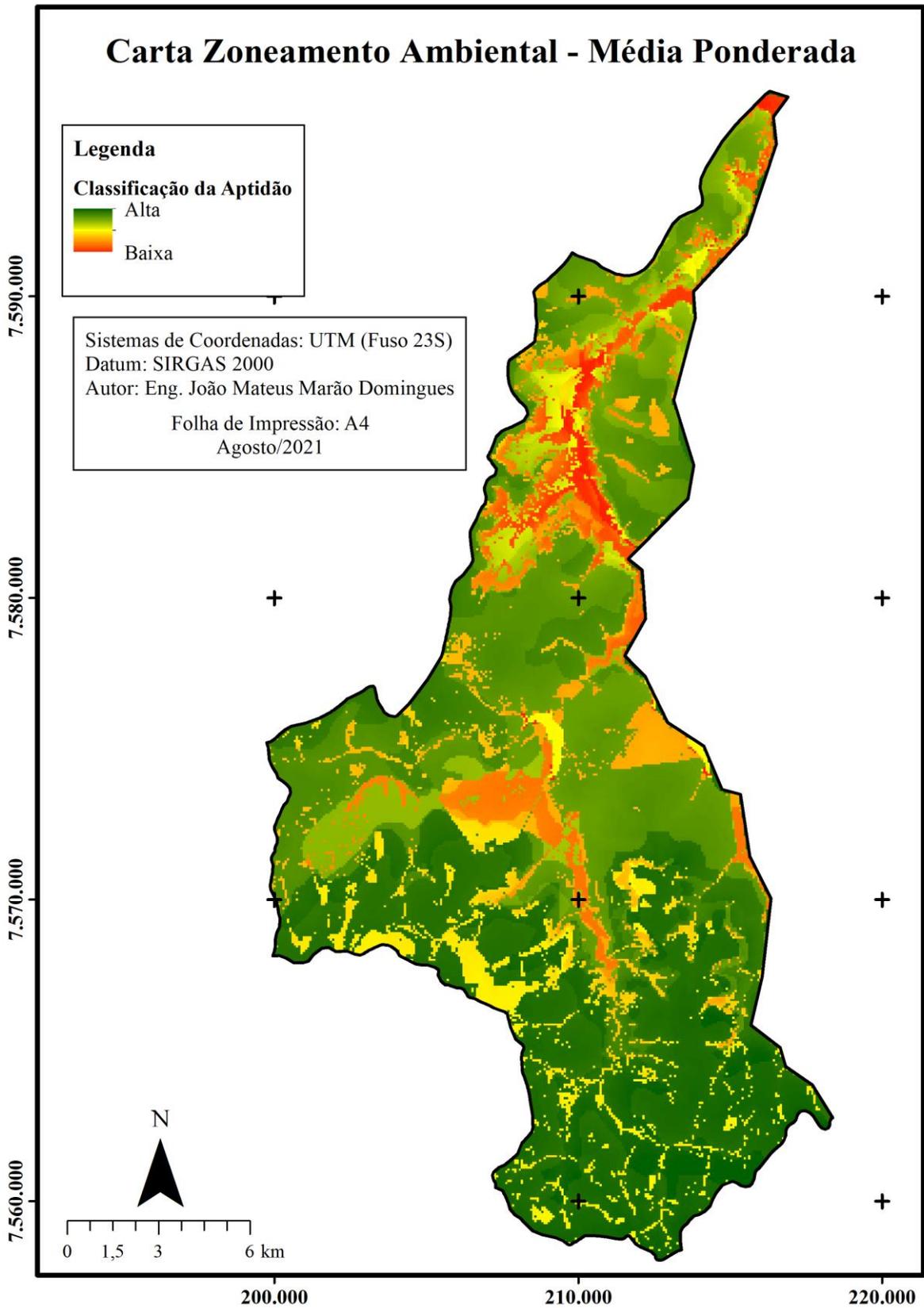
5.2.1 Mapas de Zoneamento Ambiental

A partir dos mapas temáticos (declividade, recursos hídricos superficiais, uso e ocupação do solo, substrato rochoso e material inconsolidado) foi possível estabelecer a aptidão ambiental. Cada atributo foi padronizado conforme a lógica *fuzzy* com a intenção de homogeneizar os valores, visto que algumas variáveis apresentavam mais, ou menos, valores de aptidões que outros.

Para combinar as variáveis em um único produto foi estimado duas médias aritméticas (ponderada e simples). A Figura 24 reflete o zoneamento ambiental calculado a partir da média aritmética ponderada dos atributos. A tendência para futuras implementações de infraestruturas urbanas na área estudada estão classificadas conforme a aptidão, variando de alta (áreas mais favoráveis, em verde escuro) a baixa (áreas menos favoráveis, em vermelho).

A ponderação atribuída apresenta maior peso para a cobertura vegetal (remanescente de vegetação nativa), seguido da declividade. Por serem atributos favoráveis em grande parte da SBHRQ esta estimativa contribuiu positivamente com o resultado final. A região Sul apresenta áreas com maiores altitudes e tendências mais favoráveis na área estudada, em contra partida, na região Centro Norte há uma maior variação entre as classificações. Este mesmo padrão é notado ao analisar as categorias de substrato rochoso e materiais inconsolidados, em que áreas mais favoráveis estão localizadas na porção Sul (substrato rochoso: arenitos/siltitos e rochas vulcânicas; material inconsolidado: latossolo vermelho amarelo) e as menos na porção Centro Norte (substrato rochoso: arenitos, diabásio; material inconsolidado: latossolo vermelho, nitossolo e argissolo).

Figura 24 – Aptidão para implementação de futuras infraestruturas urbanas definido pelo zoneamento ambiental estimado por média aritmética ponderada.



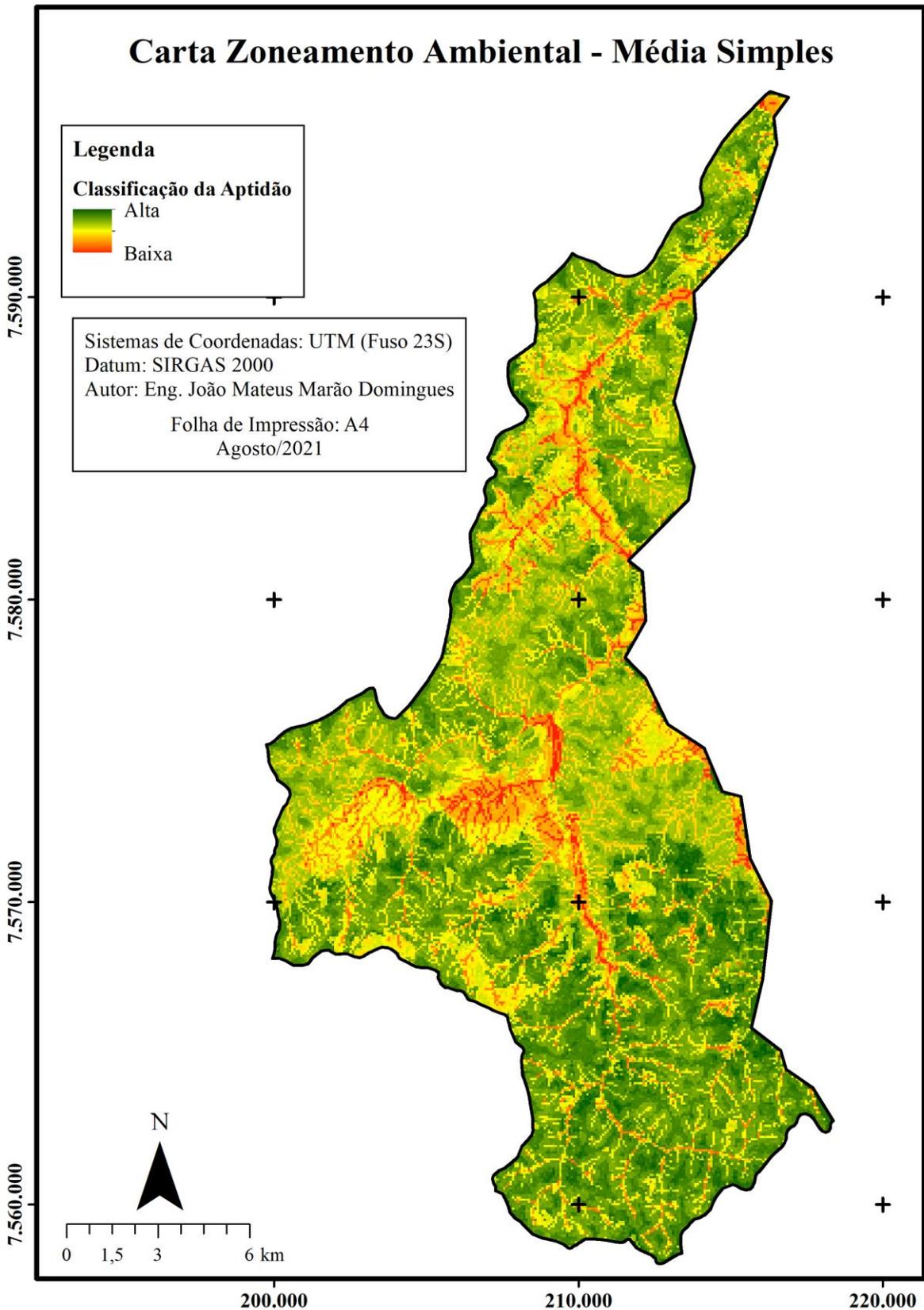
Fonte: Autor, 2021.

A Figura 25 reflete o zoneamento ambiental estimado pela média aritmética simples dos atributos. Ao comparar com o produto anterior é possível notar que a distribuição entre as classes de aptidão é mais homogênea, isto é, não é possível estabelecer uma relação de predominância entre as classes.

Ao correlacionar o resultado com o MDE e a declividade é visto que as áreas com menor altitude, em conjunto com áreas de maior declividade, assim como áreas próximas aos cursos d'água (em até 30 metros) coincidem com áreas de aptidão baixa em toda a extensão da SBHRQ. Áreas com aptidão moderada a baixa (destacadas em laranja e vermelho, respectivamente) coincidem com regiões de remanescente de vegetação nativa (APPs).

As áreas com maior aptidão (destacadas em verde mais escuro) se concentram na região Sul da SBHRQ, sendo esta porção constituída por latossolo vermelho-amarelo e arenito/siltito. Na porção Centro Sul é visto uma faixa transitória da aptidão, variando entre verde claro e amarelo, onde coincide com a faixa do substrato rochoso composto por rochas vulcânicas.

Figura 25 – Aptidão para implementação de futuras infraestruturas urbanas definido pelo zoneamento ambiental estimado por média aritmética simples.



Fonte: Autor, 2021.

5.2 Análise de Trabalhos Encontrados

Apesar de ambos resultados identificar tendências favoráveis, é perceptível que o produto gerado pela média aritmética ponderada teve maior contribuição para um cenário mais otimista, visto que há poucas áreas com aptidão moderada e baixa, e consequentemente, uma predominância das áreas com aptidão média a alta.

As porções desfavoráveis (menor aptidão destacado em vermelho) no zoneamento proveniente da média simples correspondem as porções com restrições mais brandas (menor aptidão destacado em alaranjado) no zoneamento calculado pela média ponderada.

Uma análise preliminar entre ambos os mapas aponta que a área de expansão urbana de São Carlos, o perímetro urbano já instalado na SBHRQ e o distrito de Água Vermelha (localizados na porção Centro Oeste) possuem classificação positiva à implementação de infraestrutura urbana. Por outro lado, o distrito de Santa Eudóxia (porção Norte) se situa próxima a áreas com classificação moderada a negativa.

As cartas desenvolvidas por Montañó (2002) representam a aptidão do limite municipal de São Carlos relacionada a três aspectos: instalações de indústrias (têxtil e suco de laranja), estação de tratamento de esgoto e captação de água para abastecimento. Os modelos propostos por Montañó mostram que para a área da SBHRQ há restrições para a instalação de indústrias e estação de tratamento de esgoto (a classificação pode variar conforme a vazão simulada). Por outro lado, o cenário se demonstrou favorável para a captação de água para abastecimento.

O presente trabalho enfatizou a classificação de cenários de futuras instalação de infraestrutura urbana, e como visto é possível identificar áreas com maior e menor aptidão. De modo geral, as áreas de expansão urbana de São Carlos inseridos na SBHRQ apresentam restrições em determinadas regiões, consolidando as constatações realizadas por Montañó.

Asciutti (2019) investigou a fragilidade ambiental da mesma área, com isso, é possível notar que a região Centro Oeste (como mencionado anteriormente consiste nas áreas de expansão e perímetros urbanos e o distrito de Água Vermelha) é marcada por áreas com fragilidade moderada. Ao passo que a porção Norte (distrito de Santa Eudóxia) tem fragilidade moderada a fraca.

Apesar da diferença entre os resultados, o planejamento urbano não se trata de um controle centralizado, e sim de um planejamento construtivo, sendo assim, ambos trabalhos tem

potencial complementares. No entanto, vale salientar que para uma análise ambiental integrada entre as metodologias, zoneamento e fragilidade, seria mais pertinente realizar uma comparação entre metodologias que se baseiam nos mesmos atributos, o que não ocorreu entre a metodologia adotada no presente trabalho com o trabalho desenvolvido por Ascitti (2019), pois em cada trabalho se adotou diferentes tipos de classificações e atributos ambientais.

Outro aspecto relevante a ser considerado corresponde na comparação entre as macrozonas estipuladas pelo Plano Diretor de São Carlos e as aptidões de futuras instalações obtidas. Embora as áreas mais aptas tenham proximidade com os perímetros urbanos e de expansão é apropriado evidenciar que esta região se identifica pela Macrozona de Proteção de Mananciais. Por tal motivo, tais áreas podem desencadear problemas futuros para a população local, como a contaminação de aquíferos em locais indevidamente planejados, e o agravamento do abastecimento de água proveniente da permeabilização do solo. Já a Macrozona Rural contém as áreas menos propícias a futuras instalações urbanas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A origem de muitos problemas enfrentados pelas cidades pode ser justificada pela falta de organização do processo de desenvolvimento urbano. A falta desta gestão territorial acarreta o aparecimento de diversos problemas, afetando conseqüentemente, a qualidade de vida da população local. Como exemplo de alguns aspectos ignorados podem ser citados o zoneamento de áreas propícias para a implementação de determinada infraestrutura urbana.

Com a intenção de lidar com o crescimento e o funcionamento dos municípios, levando em consideração preocupações ambientais, zoneamentos, áreas urbanas, infraestrutura e entre outras particularidades criou-se um estudo denominado planejamento urbano. Este seguimento tem como foco a mitigação da evolução desordenada das cidades por meio de diretrizes locais e intervenções diretas, para atender as necessidades urbanas, como mobilidade, qualidade de vida e sustentabilidade.

A proposta do presente estudo foi realizar um zoneamento ambiental preliminar de parte da Sub-bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo como subsídio à gestão pública. Espera-se que a partir da caracterização dos atributos ambientais e da classificação de aptidão territorial possam proporcionar uma melhor definição de diretrizes, servindo de base para o planejamento da Sub-bacia, em especial a área de expansão urbana de São Carlos.

A partir dos resultados obtidos foi possível levantar informações necessárias para a ocupação racional e para o uso sustentável dos recursos naturais do território, classificar a área de estudo de acordo com seu potencial de uso e ocupação do solo. Este ordenamento territorial tem grande importância para região visto que se encontra em duas macrozonas (rural e proteção de mananciais) cruciais para o município de São Carlos. A ausência de gestão de tais áreas podem acarretar uma série de perturbações no meio ambiente, e conseqüentemente, um desequilíbrio ecológico, podendo também prejudicar a qualidade de vida da população local.

Dentre as observações dissertadas foi visto que, baseado na metodologia empregada e nos mapas desenvolvidos, a área de expansão urbana de São Carlos e os distritos de Água Vermelha e Santa Eudóxia se situam em áreas propícias ao desenvolvimento de futuras implementações urbanas. No entanto, essas áreas estão compreendidas na área de proteção de mananciais. Ao passo que a macrozona rural é composta por áreas menos aptas para instalações de infraestruturas urbanas.

Cabe destacar que o planejamento urbano não é definido por um controle centralizado, mas sim por um planejamento construtivo. Motivo pelo para uma análise integrada é crucial o desenvolvimento de análises cartográficas que abordam as mesmas classificações e atributos.

Por fim, as informações levantadas tem grande importância para o fomento de novas pesquisas, e para o planejamento territorial urbano. Também é de suma importância para gestores públicos caracterizar as fragilidades e as zonas aptas para determinada atividade, afim de mitigar impactos socio ambientais de determinada cidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, R. L. **Mapeamento geotécnico da área de expansão urbana de São Carlos – SP: contribuição ao planejamento.** 1989. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.
- AMORIM, Raul Reis; OLIVEIRA, Regina Célia de. Zoneamento ambiental, subsídio ao planejamento no uso e ocupação das terras da Costa do Descobrimento. **Mercator: Revista de Geografia da UFC, Fortaleza**, v. 12, n. 29, p. 211-231, set./dez. 2013.
- ARAGÃO, Juliana Gomes; DUARTE, Simone Mirtes Araujo. Uso das geotecnologias para a caracterização do parque estadual Dois Irmãos, Recife-PE. **Tecno-Lógica**, v. 20, n. 1, p. 26-32, 2016.
- ASCIUTTI, G. A. M. **Mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio do Quilombo – São Carlos/SP.** 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.
- BACANI, Vitor Matheus; LUCHIARI, Ailton. Geoprocessamento aplicado ao zoneamento ambiental da Bacia do Alto Rio Coxim-MS. **Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 184-197, jan./abr. 2014.
- BARAT, Josef. Política de desenvolvimento urbano e política de localização industrial: uma abordagem integrada. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 117-137, abr./jun. 1978.
- BARATTO, Romullo. **10 Razões por que uma cidade precisa de planejamento urbano.** Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/174761/10-razoes-pelas-quais-uma-cidade-precisa-de-planejamento-urbano>>. Acesso em: 15 março 2021.
- BARBOSA, Íris do S.; ANDRADE, Leonaldo A.; ALMEIDA, José A. P. de. Zoneamento agroecológico do município de Lagoa Seca, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 623-632, 2009.
- BARROSO, Lidiane Bittencourt; TREVISAN, Tiago Mariosi; WOLFF, Delmira Beatriz. Proposta de zoneamento ambiental para o município de Itaara – RS. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 12, n. 1, p. 123-136, jan./jun. 2015.
- BATISTELA, T. S. **O zoneamento ambiental e o desafio da construção da gestão ambiental urbana.** 2007. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- BECKER, Bertha K.; EGLER, Claudio A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia legal.** Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Secretaria de Coordenação da Amazônia, 1996.
- BLAIN, G. C. *et al.* Variabilidade sazonal da evapotranspiração relativa em Campinas (SP): caracterização climática e análise de tendências. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 545-553, 2009.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, de 05 de outubro de 1988. Brasília, 1988.
- BRASIL. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.** Lei nº 12.651, 25 de maio de 2012. Brasília, 2012.

- BRASIL. **Estatuto da Cidade**. Lei nº10.257, de 10 de julho de 2001. Brasília, 2001.
- BRASIL. **Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro**. Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988. Brasília, 1988.
- BRASIL. **Política Nacional de Proteção e Defesa Civil**. Lei nº12.608, de 10 de abril de 2012. Brasília, 2012.
- BRASIL. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Lei nº6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília, 1981.
- BRASIL. **Regulamenta o art. 9º, inciso II, da lei nº 6.938**. Decreto nº 4.297, 10 de julho de 2002. Brasília, 2002.
- BRASIL. **Regulamenta a lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988**. Decreto nº 5.300, 07 de dezembro 2004. Brasília, 2004.
- CALIJURI, M. L. et al. Proposta metodológica para geração da carta de fragilidade ambiental, utilizando lógica fuzzy e combinação linear ponderada. **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, n. 1977, p. 3311-3318, 2007.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 345p.
- CAMPANELLI, L. C. **Zoneamento (geo)ambiental analítico da Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho – São Carlos (SP)**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.
- CASAGRANDE, Adriana Eliane; SOUZA, Edson Belo Clemente de. Do planejamento ao ordenamento territorial: estudo da região costa Oeste do Paraná. **Raega: o espaço geográfico em análise**, Curitiba, v. 28, p. 67-85, 2013.
- CEMIN, G. *et al.* Proposta metodológica para a elaboração de um zoneamento ambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 64/3, p. 301-316, 2012.
- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Manual para elaboração de estudos para o licenciamento com avaliação de impacto ambiental**. Lei nº217, de 29 de maio de 2014. São Paulo, 2014.
- CHAGAS, C. da S. et al. Um método para elaboração de zoneamentos agropedoclimáticos: estudo de caso do arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 571-580, 2001.
- CONFERÊNCIA DA CIDADE. **Processo de Elaboração do Plano Diretor do Município de São Carlos**, 2002. CD-ROM.
- COSTA, C. W. *et al.* Fragilidade ambiental e escassez hídrica em bacias hidrográficas: Manancial do Rio das Araras – Araras, SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 4, p. 946-958, out./dez. 2015.
- COSTA, C. W. *et al.* Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos no município de São Carlos, SP. **Geociências**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 63-80, 2013.
- CREPANI, E. *et al.* **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: Inpe, 1996.

- CUNHA, R. C. da *et al.* Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades: Estudos do caso da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos - SP. **Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 399-414, 2011.
- DIAS, Natália Oliveira; FIGUEIRÔA, Carlos Frederico Baumgratz. Potencialidades e Uso de Geotecnologias para Gestão e Planejamento de Unidades de Conservação. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 10, n. 2, p. 283-302, 2020.
- DOMINGUES, J. M. M. Zoneamento Ambiental – Estudo Bibliométrico no Contexto Urbano (2010-2020). *In: Jornada de Gestão e Análise Ambiental*, 6, 2020, São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: UFSCar, 2020.
- DORNELLES, Claudio Turene Almeida. **Percepção ambiental: Uma análise na bacia hidrográfica do Rio Monjolinho, São Carlos, SP.** 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- DUARTE, F. **Planejamento urbano.** Editora Ibpx, 2009.
- EMBRAPA (a), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Meteorologia: caracterização.** Disponível em: <<http://www.cppse.embrapa.br/meteorologia/index.php?pg=caracterizacao>>. Acesso em: 26 março 2021.
- EMBRAPA (b), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos tropicais.** Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais>. Acesso em: 26 março 2021.
- EMBRAPA (c), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Satélites de monitoramento: Missão Sentinel.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>>. Acesso em: 29 abril 2021.
- FAILACHE, M. F. **Proposta de procedimentos para a estimativa da infiltração potencial e do escoamento superficial Hortoniano potencial baseada em dados geológicos, geotécnicos, de uso e ocupação e eventos de chuva.** 2018. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.
- FALEIROS, C. de Á. R. J. **Zoneamento geoambiental da Bacia do Rio Fartura: abrangendo os municípios de São José do Rio Pardo-SP, São Sebastião da Gramma-SP, Vargem Grande do Sul-SP e Águas da Prata-SP, na escala 1:50.000.** Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.
- FERREIRA, Ercília Mendes; DRESCH, Cássia Julita; AYACH, Lucy Ribeiro. A modificação da paisagem no contexto histórico de ocupação do território do assentamento São Manoel – Anastácio – MS. **Geografar**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 5-25, jul. 2016
- FREITAS, D.; SANTOS, S. A. M. (org.). **Atlas Histórico e Socioambiental das Regiões Hidrográficas de São Carlos - SP.** São Carlos: Diagrama Editorial, 2020.
- FRITZSONS, Elenice; CORREA, Ana Paula Araújo. O zoneamento ecológico-econômico como instrumento de gestão territorial. **Embrapa Florestas**, Colombo, 2009.
- GUEDES, Jânio Carlos Fernandes; MEDEIROS, Andréia Dias de; COSTA, Diógenes, Félix da. Estratégia de zoneamento ambiental aplicada a caracterização ambiental de Bacias Hidrográficas do semiárido brasileiro: estudo de caso na microbacia do Rio Barra Nova – RN/PB. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 1011-1024, 2016.

KURTZ, F. C *et al.* Zoneamento ambiental dos banhados da Estação Ecológica do Taim, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 77-83, jan./fev. 2003.

LOPES, Manoela Sacchis; SALDANHA, Dejanira Luderitz. Análise de vulnerabilidade natural à erosão como subsídio ao planejamento ambiental do oeste da Bacia Hidrográfica do Camaquã – RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n.68/9, p.1689-1708, out. 2016.

LOSSARDO, L. F. **Proposta de zoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão do Ouro no município de Pirassununga (SP)**. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

MACHINI, P. L. F. *et al.* Compartimentação do meio físico na região de São Carlos-SP a partir de técnicas de fotointerpretação em imagem TM/Landsat. **VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia** – III Encontro Latino Americano de Geomorfologia I Encontro Ibero-Americano de Geomorfologia - I Encontro Ibero Americano do Quaternário, VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia- III Encontro Latino Americano de Geomorfologia I Encontro Ibero- Americano de Geomorfologia - I Encontro Ibero Americano do Quaternário, Recife, 2010.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Planejamento ambiental e territorial urbano: zoneamento ambiental municipal**. 2020. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/item/15343-zam.html>>. Acesso em: 27 maio 2020.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Zoneamento Ambiental Municipal: o meio ambiente contribuindo para o planejamento urbano**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental - Brasília, DF: MMA, 2018. 82 p. ISBN: 978-85-7738-414-3.

MONTAÑO, M. **Os recursos hídricos e o zoneamento ambiental: o caso do município de São Carlos (SP)**. 2002. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

MONTAÑO, Marcelo; SOUZA, Marcelo Pereira de. Integração entre planejamento do uso do solo e de recursos hídricos: a disponibilidade hídrica como critério para a localização de empreendimentos. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 489-495, jul./set. 2016.

MURO, M. D. **Carta de zoneamento para seleção de áreas frente à instalação de aterros sanitários no município de São Carlos-SP**. 2000. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PAULA, E. M. S. de; SOUZA, M. J. N de. Lógica fuzzy como técnica de apoio ao zoneamento ambiental. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: INPE, 2007, p. 2979-2984.

PNGC. **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro**. Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988. Brasília, 1988.

RODRIGUES, Lidiane Perbelin; LEITE, Emerson Figueiredo. Zoneamento ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Acôgo (MS). **Geoambiente On-line**, n. 31, mai./ago. 2018.

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

ROSSETTI, Luiz Antônio. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 386-399, 2001.

SANTOS, Mariana Rodrigues Ribeiro dos; MONTAÑO, Marcelo. Considerações sobre as indicações do plano diretor frente ao zoneamento ambiental para a área de expansão urbana do município de Brotas – SP. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO, 1, Rio Claro, 2010.

SANTOS, Mariana Rodrigues Ribeiro dos; RANIERI, Victor Eduardo Lima. Critérios para análise do zoneamento ambiental como instrumento de planejamento e ordenamento territorial. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 16, n. 4, p. 43-62, out./dez. 2013.

SANTOS, K. *et al.* Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 22, n.5, p. 943-952, set./out. 2017.

SÃO CARLOS. Lei Municipal nº 18.053, de 19 de dezembro de 2016. Plano Diretor do Município de São Carlos. **Diário Oficial do Município de São Carlos**, São Carlos, SP, 28 dez. 2016. Poder Executivo. ano 8. n. 1003. p. 01-32.

SÃO CARLOS. **Prefeitura Municipal de São Carlos: Dados da Cidade (Geográfico e Demográfico)**. Disponível em: <<http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/conheca-sao-carlos/115442-dados-da-cidade-geografico-e-demografico.html>>. Acesso em: 01 maio 2020.

SEADE, Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Perfil dos Municípios Paulistas**. 2020. Disponível em: <<https://perfil.seade.gov.br/>>. Acesso em: 24 março 2021.

SIGRH (a), Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. **Comitê de Bacia Hidrográfica do Mogi-Guaçu (CBH-MOGI)**. 2021. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhmogi/apresentacao>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

SIGRH (b), Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré (CBH-TJ)**. 2021. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhtj/apresentacao>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

SILVA, João dos Santos Vila da; SANTOS, Rozely Ferreira dos. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 221-263, maio/ago. 2004.

SILVA, S. F da. **Zoneamento geoambiental com auxílio de lógica fuzzy e proposta de um geoindicador para caracterização do meio físico da bacia do Rio do Peixe**. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SILVA, T. C. P da. **Diagnóstico da fragilidade ambiental como subsídio ao zoneamento ambiental do município de Pains/MG**. 2014. Monografia (Especialista em Geoprocessamento) - Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SILVA, J.; SANTOS, R. F dos. **Estratégia metodológica para zoneamento ambiental: a experiência aplicada na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Taquari**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011, 329 p.

SILVA, S. F. da. **Zoneamento geoambiental com auxílio de lógica fuzzy e proposta de um geoindicador para caracterização do meio físico da Bacia do Rio do Peixe**. 2005. Tese

(Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SOUZA, Carina Siqueira de. O papel do zoneamento ambiental no planejamento municipal. **PIDCC**, Aracaju, ano 2, n. 4, p. 154-175, out. 2013.

SOUZA, Marcos José Nogueira de; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Análise ambiental - uma prática da interdisciplinaridade no ensino e na pesquisa. **Revista Eletrônica do Prodem**, Fortaleza, v. 7, n. 2, p. 42-59, nov. 2011.

STANGANINI, Fábio Noel; LOLLO, José Augusto de. O crescimento da área urbana da cidade de São Carlos/SP entre os anos de 2010 e 2015: o avanço da degradação ambiental. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, p. 118-128, 2018.

VEDOVELLO, R. **Zoneamento geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs**. 2000. Tese (Doutorado em Geociências) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.