

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO
JOÃO (MG) COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

ANA PAULA JACÓ

São Carlos - SP

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO
JOÃO (MG) COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

**GEO-ENVIRONMENTAL ZONING OF THE SÃO JOÃO RIVER WATERSHED APPLIED
AS A TOOL OF WATER RESOURCES MANAGEMENT (MINAS GERAIS, BRAZIL)**

Ana Paula Jacó

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Universidade Federal de São Carlos (PPGCAM-UFSCar), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Goulart Collares

São Carlos - SP

2019

Jacó, Ana Paula

ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO (MG) COMO SUBSÍDIO À GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS / Ana Paula Jacó. -- 2019.

150 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador: Reinaldo Lorandi

Banca examinadora: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi; Prof. Dr. Eduardo Goulart Collares; Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini; Prof. Dr. Carlos Wilmer Costa

Bibliografia

1. Disponibilidade Hídrica. 2. Demanda Hídrica. 3. Estresse Hídrico. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Ronildo Santos Prado – CRB/8 7325



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Ana Paula Jacó, realizada em 08/03/2019:

Prof. Dr. Reinaldo Lorandi
UFSCar

Prof. Dr. Eduardo Goulart Collares
UEMG

Prof. Dr. Luiz Eduardo Moschini
UFSCar

Prof. Dr. Carlos Wilmer Costa
UFRN

Certifico que a defesa realizou-se com a participação à distância do(s) membro(s) Carlos Wilmer Costa e, depois das arguições e deliberações realizadas, o(s) participante(s) à distância está(ao) de acordo com o conteúdo do parecer da banca examinadora redigido neste relatório de defesa.

Prof. Dr. Reinaldo Lorandi

Não existe partida para aqueles que estarão sempre em nossos corações! Dedico este trabalho à querida professora e pesquisadora Dra. Ana Carina Zanollo Biazotti Collares, nossa eterna “Engenheira Ambiental de coração”, a qual será sempre lembrada pelas pessoas que tiveram o privilégio de lhe conhecer.

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento primordial concedo à Deus, razão e motivo de minha Fé, determinação e sonhos realizados. Desta forma, posso agradecer de coração a todos que caminharam ao meu lado e de alguma forma me ajudaram a chegar até aqui:

Ao professor e orientador Doutor Reinaldo Lorandi por me acolher, orientar, incentivar e transmitir seus conhecimentos com tanta serenidade e, ao meu coorientador professor Doutor Eduardo Goulart Collares, por confiar em meu trabalho e estar presente em todos os momentos de minha formação acadêmica.

A todos os professores da pós-graduação pelos ensinamentos transmitidos e aos pesquisadores que tanto me auxiliaram durante o desenvolvimento desta pesquisa, inclusive aos que contribuíram nos exames de qualificação e defesa deste Projeto. Em especial ao professor Doutor Luiz Eduardo Moschini por me acolher e me integrar ao seu grupo de pesquisas. Agradeço pela amizade, pelos ensinamentos e pela convivência.

Ao Departamento de Ciências Ambientais (DCAm-UFSCar) pela oportunidade concedida em realizar o Mestrado e ao assistente administrativo do PPGCAm, Vinícius José de Oliveira Freitas por todo auxílio prestado durante minha passagem pelo Departamento.

Agradeço também por ter tido o privilégio de conhecer, conviver e aprender com pessoas tão ricas de coração e fraternidade. Em especial aos amigos do mestrado Bruno, Elton, Fernanda, Jacqueline, Maurício e Lívia, as colegas de laboratório, gêmeas e amigas de longa data Ana Cláudia e Ana Paula e, minha colega de casa e grande amiga Gabriela Mazzali.

Por fim, agradeço aos e meus amigos de Nova Resende-MG por todo incentivo e principalmente à minha família e meu noivo Diego por sempre guiarem meus passos e acreditarem em meus sonhos.

Saibam que levarei a todos sempre em meu coração!

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

“A consciência é meu guia. A paz é meu abrigo.
A experiência é minha escola. O obstáculo é minha lição.”

Chico Xavier

RESUMO

Tendo em vista a importância da preservação e uso sustentável dos recursos hídricos nos dias atuais, frente ao acelerado desenvolvimento social e econômico, este trabalho constitui-se uma ferramenta de contribuição direta na gestão ambiental e dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio São João (BH-SJ), que compreende uma área de drenagem de 2.417,7 km² e localiza-se na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, Brasil. Esta bacia se caracteriza pela sua diversidade e intensidade de intervenções antrópicas, que afetam direta ou indiretamente seu regime hídrico. O estudo geoambiental, associado a técnicas de zoneamento, se destaca como uma ferramenta essencial de subsídio ao planejamento e gestão do uso do solo. Neste contexto, utilizando-se de técnicas de Zoneamento Geoambiental (ZG) e cruzamento de dados, este trabalho buscou elaborar documentos cartográficos interpretativos como forma de subsídio ao planejamento territorial e gestão dos recursos hídricos da bacia em estudo, tendo por base a realização de um diagnóstico integrado entre disponibilidade e demanda hídrica. Dentre os documentos cartográficos elaborados, destacam-se como principais: Carta da Disponibilidade Hídrica Superficial; Cartas da Demanda Hídrica Superficial e Subterrânea; Carta das Ações Antrópicas Pontuais e a Carta do Zoneamento Geoambiental quanto ao Potencial de Estresse Hídrico da BH-SJ, os quais foram elaboradas em escala de 1:50.000 no ambiente SIG a partir do mapeamento e cruzamento de dados intermediários classificados como atributos geoambientais. Os resultados obtidos nas Cartas de Disponibilidade e Demanda Hídrica evidenciam as feições da bacia que apresentam as maiores e as menores ocorrências destes dois componentes, destacando as áreas de acordo com seus níveis de prioridade. Foram adotados termos semelhantes para a classificação da ocorrência dos componentes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. A Carta das Ações Antrópicas Pontuais evidenciou que os usos consuntivos dos recursos hídricos na bacia podem ir muito além dos valores estimados devido à intensidade de ocorrência e a deficiência no cadastro de usuários pelos órgãos competentes. A Carta do Zoneamento Geoambiental quanto ao Potencial de Estresse Hídrico foi elaborada a partir do cruzamento entre os resultados de disponibilidade e demanda hídrica. Utilizando-se da compartimentação da área de estudo em Microbacias (Mbs), obteve-se o diagnóstico de ocorrência do potencial de estresse hídrico nas 581 Mbs e apresentaram a seguinte classificação: Muito Baixo (17Mbs); Baixo (344 Mbs); Médio (146 Mbs); Alto (70 Mbs); Muito Alto (4 Mbs). As Mbs classificadas com potencial alto e muito alto de estresse hídrico são caracterizadas pelo elevado índice de intervenções antrópicas em seus recursos hídricos, desta forma se enquadram na classe de alta prioridade para medidas que visem aprimorar a gestão de uso nestes locais. Considera-se que os resultados desta pesquisa representam uma ferramenta efetiva de subsídio à gestão e suporte à decisão, frente à viabilidade de análise integrada do território desta bacia, visando o uso sustentável dos recursos hídricos e a prevenção ou mitigação de possíveis conflitos de uso nas áreas que apresentam os maiores potenciais ao estresse hídrico gerado pelo uso excessivo deste recurso.

Palavras-chave: Zoneamento Ambiental; SIG; Disponibilidade Hídrica; Demanda Hídrica; Ações Antrópicas; Estresse Hídrico.

ABSTRACT

Considering the importance of the preservation and sustainable use of water resources nowadays, in the face of accelerated social and economic development, this work represents an important tool of direct contribution in the environmental and water resources management of the São João River Watershed (BH-SJ), which presents a drainage area of 2,417.7 km² and is located in the southwest of the state of Minas Gerais, Brazil. This basin is characterized by its diversity and intensity of anthropic interventions, which affect (directly or indirectly) its water regime. The geo-environmental investigation, associated to zoning techniques, stands out as an essential tool to subsidize planning and management of land-use. In this context, using Geo-environmental Zoning (ZG) techniques and data cross checking, this work sought to elaborate and interpretative cartographic documents as a form of subsidy to the territorial planning and management of the water resources of BH-SJ, based on an integrated diagnosis of its water availability and demand. Among the cartographic documents elaborated, the following stand out as the main ones: Letter of Surface Water Availability; Letters of Surface and Subterranean Water Demand; Letter of Punctual Anthropogenic Actions and the Geo-environmental Zoning Charter for the BH-SJ Water Stress Potential. These documents were elaborated in a scale of 1:50,000 in the GIS environment (Geographic Information Systems) from the mapping and crossing of intermediate data classified as geo-environmental attributes. The results obtained in the Letters of Water Availability and Demand show the features of BH-SJ that present the largest and the smallest occurrences of these two components, highlighting the areas according to their priority levels. Similar terms were used to classify the occurrence of the components: Very Low, Low, Medium, High and Very High. The Letter of Punctual Anthropogenic Actions illustrates that the consumptive uses of water resources in the watershed can go well beyond the estimated values due to the intensity of occurrence and the deficiency in the user registry by the competent bodies. The ZG Chart on Water Stress Potential was elaborated from the intersection between the water availability and demand results. From the subdivision of the study area in Microbasins (Mbs), the diagnosis of water stress potential in 581 Mbs was obtained and presented the following classification: Very Low (17Mbs); Low (344 Mbs); Medium (146 Mbs); High (70 Mbs); Very High (4 Mbs). The Mbs classified with high and very high potential of water stress are characterized by the high index of anthropogenic interventions in their water resources, in this way they fall into the class of high priority for measures that aim to improve the management of use in these places. Therefore, the results of this research represent an effective tool to subsidize the decision management and support, considering the feasibility of integrated analysis of the territory of BH-SJ, aiming at the sustainable use of water resources and the prevention or mitigation of possible conflicts of use in the areas that present the greatest potential to the water stress generated by the excessive use of this resource.

Key-words: Environmental Zoning; GIS; Water Availability; Water Demand; Anthropogenic Actions; Water Stress.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização e características geográficas da Bacia Hidrográfica do Rio São João - MG.....	22
Figura 2. Principais vias de acesso da área de estudo e seus limites municipais	24
Figura 3. Distribuição da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio São João	26
Figura 4. Mapa das Unidades Ambientais e Microbacias de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio São João	27
Figura 5. Carta das Vazões Regionalizadas das microbacias de drenagem da BH-SJ.....	29
Figura 6. Carta Hipsométrica da Bacia Hidrográfica do Rio São João	30
Figura 7. Carta de Declividades da BH-SJ e suas respectivas classificações de relevo.....	32
Figura 8. Carta das Unidades de <i>Landforms</i> da BH-SJ	33
Figura 9. Carta das Formas de Terreno da Bacia Hidrográfica do Rio São João.....	34
Figura 10. Carta de Formações Geológicas da Bacia Hidrográfica do Rio São João	35
Figura 11. Carta de Sistemas Aquíferos da Bacia Hidrográfica do Rio São João.....	39
Figura 12. Carta de Materiais inconsolidados da Bacia Hidrográfica do Rio São João.....	40
Figura 13. Carta Pedológica da Bacia Hidrográfica do Rio São João.....	43
Figura 14. Carta de Unidades Texturais da Bacia Hidrográfica do Rio São João.....	44
Figura 15. Carta da Temperatura Média Anual da Bacia Hidrográfica do Rio São João	46
Figura 16. Carta da Pluviosidade Média Anual da Bacia Hidrográfica do Rio São João	47
Figura 17. Carta dos Domínios Fitogeográficos da Bacia Hidrográfica do Rio São João	48
Figura 18. Carta da Cobertura Florestal da área de estudo.....	50
Figura 19. Espacialização das imagens RapidEye na área da BH-SJ e fluxograma das etapas do mapeamento.....	52
Figura 20. (A) Composição das bandas espectrais; (B) Segmentação da imagem RapidEye.....	53
Figura 21. Gráfico do percentual de área ocupada pelas classes de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica	54
Figura 22. Carta das Classes de Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio São João.....	55
Figura 23. Imagens das maiores jazidas de mineração da área de estudo	58

Figura 24. Localização geográfica e Mapa das Unidades Aquíferas da área de estudo.....	68
Figura 25. Fluxograma das etapas metodológicas desenvolvidas	71
Figura 26. Atributos do Meio Físico definidos para a estimativa da disponibilidade hídrica superficial da BH-SJ.....	73
Figura 27. Atributos Climáticos, Hidrológico, Bióticos e Abióticos definidos para a estimativa da disponibilidade hídrica superficial da BH-SJ	74
Figura 28. Atribuição de pesos pelo método AHP às classes dos atributos geoambientais	76
Figura 29. Percentual de ocorrência das classes de disponibilidade hídrica por Unidade Ambiental	83
Figura 30. Carta da Disponibilidade Hídrica Superficial da Bacia Hidrográfica do Rio São João	84
Figura 31. Detalhamento da ocorrência das classes disponibilidade hídrica nas UAs da BH-SJ	85
Figura 32. Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio São João e sua localização geográfica	100
Figura 33. Mapa de delimitação das unidades ambientais e das microbacias de drenagem da BH-SJ.....	103
Figura 34. Pontos de captação dos usuários de recursos hídricos regularizados e não regularizados na BH-SJ	105
Figura 35. Panorama das demandas superficiais e subterrâneas por finalidade de uso dos recursos hídricos.....	109
Figura 36. Carta da Demanda Hídrica Superficial das Microbacias de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio São João.....	111
Figura 37. Carta da Demanda Hídrica Subterrânea das Microbacias de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio São João.....	113
Figura 38. Mapa da localização da área de estudo e das vazões regionalizadas das microbacias de drenagem.....	125
Figura 39. Fluxograma das etapas metodológicas desenvolvidas no trabalho	126
Figura 40. Planos de Informação utilizados no zoneamento quanto ao potencial de estresse hídrico.....	131
Figura 41. Carta do Zoneamento Geoambiental quanto ao potencial de Estresse Hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio São João.....	134
Figura 42. Percentual de ocorrência das classes de potencial ao Estresse Hídrico por Unidade Ambiental	135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Divisões municipais na Bacia Hidrográfica do Rio São João – MG.....	23
Tabela 2. Detalhamento das Unidades Ambientais da BH-SJ.....	28
Tabela 3. Classificação das Formações Geológicas e suas respectivas Unidades Litológicas	36
Tabela 4. Domínios hidrogeológicos da Bacia Hidrográfica do Rio São João	37
Tabela 5. Unidades de Sistemas Aquíferos e suas unidades de substrato rochoso dominante	38
Tabela 6. Caracterização das Unidades de Materiais Inconsolidados quanto ao seu perfil de alteração.....	41
Tabela 7. Caracterização pedológica da BH-SJ.....	42
Tabela 8. Caracterização hidrogeológica da área de estudo	69
Tabela 9. Planos de informação utilizados na estimativa da Disponibilidade Hídrica e fonte dos dados.....	72
Tabela 10. Escala de valores hierárquicos aplicados nas Matrizes AHP	75
Tabela 11. Equações aplicadas para análise dos pesos atribuídos.....	76
Tabela 12. Índice de consistência randômica atribuído em função da ordem da matriz	76
Tabela 13. Planos de informação cartográfica utilizados	101
Tabela 14. Classes de demanda hídrica das microbacias da BH-SJ	106
Tabela 15. Equações aplicadas para análise das ocorrências das ações antrópicas avaliadas	108
Tabela 16. Demanda total de consumo (m ³ /h) por finalidade de uso dos recursos hídricos na BH-SJ.....	108
Tabela 17. Planos de informação utilizados na estimativa da disponibilidade hídrica da BH-SJ	127
Tabela 18. Matriz AHP de atribuição de pesos para as classes de disponibilidade e demanda	132
Tabela 19. Matriz AHP de normalização para atribuição dos pesos finais às classes dos atributos	132
Tabela 20. Resultado das equações aplicadas para análise de consistência dos pesos finais	132
Tabela 21. Detalhamento dos percentuais de ocorrência do potencial ao estresse hídrico por UA	135
Tabela 22. Tabela síntese do Zoneamento Geoambiental da microbacias da BH-SJ.....	143

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADMC	Análise de Decisão Multicriterial
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANA	Agência Nacional de Águas
BH-SJ	Bacia Hidrográfica do Rio São João, MG
CBH-GD7	Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande
CPRM	Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESRI	Environmental Systems Research Institute
GD7	Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Mb	Microbacia
MG	Minas Gerais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PI	Plano de Informação
REIS	RapidEye Earth Imaging System
SEAPA	Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SISEMA	Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SISMET/ COOXUPÉ	Sistema Meteorológico da Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
UA	Unidade Ambiental
UPGRH	Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais
UTM	Universal Transversa de Mercator
WWAP	World Water Assessment Programme
ZA	Zoneamento Ambiental
ZAP	Zoneamento Ambiental Produtivo
ZG	Zoneamento Geoambiental

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA	19
1.2 OBJETIVO GERAL	20
1.2.1 Objetivos específicos.....	20
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	21
2. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO	22
2.1 CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DO MEIO FÍSICO.....	25
2.1.1 Hidrografia	25
2.1.2 Unidades Ambientais	27
2.1.3 Vazão regionalizada das microbacias	28
2.1.4 Hipsometria	30
2.1.5 Declividades e Relevô	31
2.1.6 Formas de Terreno	33
2.1.7 Geologia	35
2.1.8 Hidrogeologia.....	37
2.1.9 Materiais Inconsolidados.....	40
2.1.10 Pedologia.....	42
2.1.11 Unidades Texturais.....	43
2.2 CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DO CLIMA.....	45
2.2.1 Temperatura	45
2.2.2 Pluviosidade	46
2.3 CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DOS MEIOS BIÓTICO E ABIÓTICO ...	48
2.3.1 Domínios Fitogeográficos	48
2.3.2 Cobertura Florestal.....	49
2.3.2 Uso e Cobertura do Solo	51

2.4 REFERÊNCIAS.....	59
3. ZONEAMENTO DOS ATRIBUTOS GEOAMBIENTAIS ASSOCIADOS AO POTENCIAL DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO - MG.....	64
3.1 RESUMO.....	64
3.2 INTRODUÇÃO.....	65
3.3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	67
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	70
3.4.1 Diagnóstico dos componentes geoambientais e seus atributos.....	72
3.4.2 Método AHP.....	75
3.4.3 Álgebra de mapas no SIG.....	78
3.4.4 Zoneamento Geoambiental quanto à disponibilidade hídrica superficial.....	78
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
3.5.1 Influência dos atributos geoambientais na disponibilidade hídrica.....	79
3.5.2 Zoneamento das UAs quanto à disponibilidade hídrica superficial.....	83
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
3.7 AGRADECIMENTOS.....	90
3.8 REFERÊNCIAS.....	90
4. ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA FRENTE AS AÇÕES ANTRÓPICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO, MG.....	94
4.1 RESUMO.....	94
4.2 INTRODUÇÃO.....	95
4.3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	98
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	101
4.4.1 Metodologia.....	101
4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	108
4.5.1 Estimativa da demanda hídrica nas microbacias de drenagem da BH-SJ.....	108
4.5.2 Estudo e mapeamento das ações antrópicas pontuais da BH-SJ.....	114

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
4.7 AGRADECIMENTO.....	117
4.8 REFERÊNCIAS.....	117
5. ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL QUANTO AO POTENCIAL DE ESTRESSE HÍDRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO	121
5.1 RESUMO.....	121
5.2 INTRODUÇÃO.....	122
5.3 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	124
5.4 MATERIAL E MÉTODOS	126
5.4.1 Estimativa da Disponibilidade Hídrica	127
5.4.2 Estimativa da Demanda Hídrica.....	128
5.4.3 Zoneamento Geoambiental quanto ao potencial de estresse hídrico.....	129
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	133
5.6 CONCLUSÃO	144
5.7 AGRADECIMENTOS	145
5.8 REFERÊNCIAS.....	145
APÊNDICES	147
I. Carta do Zoneamento Geoambiental quanto ao potencial de Estresse Hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio São João	147
II. Carta das Ações Antrópicas Pontuais da Bacia Hidrográfica do Rio São João	147

1 INTRODUÇÃO

A água constitui o recurso natural primordial para a sobrevivência e manutenção da vida no planeta. Os recursos hídricos podem se caracterizar como um bem de domínio público de importância fundamental para o desenvolvimento social e econômico. No entanto, o uso intensivo deste recurso pelos múltiplos setores da sociedade, associado à escassez de planejamento e gestão, tem ocasionado mudanças significativas tanto na qualidade, quanto na quantidade dos recursos hídricos disponíveis nos mananciais, delimitados pelas bacias hidrográficas.

Atualmente, os recursos hídricos têm chamado à atenção de seus usuários em relação à sua disponibilidade (ROSA, 2012), pois considerando o crescimento da população e das atividades econômicas, o uso da água vem sendo feito de forma descontrolada pelos diversos setores da sociedade, como a indústria, a agricultura e o abastecimento humano (SANTIN e GOELLNER, 2013) e mesmo em regiões onde a disponibilidade hídrica sempre foi elevada, com o avanço econômico e social, a água tem se tornado cada vez mais escassa (SCHMITZ, 2014).

Neste contexto, a disponibilidade hídrica pode ser considerada como o acúmulo de água disponível nos mananciais associados à uma probabilidade de ocorrência (WWAP, 2018) e a demanda hídrica se caracteriza como sendo a vazão de retirada, ou água captada, para atender os diversos usos consuntivos dos recursos hídricos (MATOS et al., 2007). Quando uma determinada região apresenta elevada demanda de água, compreendendo valores excessivos frente à disponibilidade hídrica do local, pode ocorrer o fenômeno denominado estresse hídrico ou até mesmo a escassez hídrica. Santos (2005) descreve o estresse hídrico como sendo a relação entre a utilização e provisão dos recursos hídricos.

No passado, a ocupação das sociedades em bacias hidrográficas era realizada com escassez de planejamento, visando o mínimo de custo e o máximo de benefícios de seus usuários (TUCCI, 2009). A partir dos anos 80, foram aderidas à nível global diversas iniciativas de modernização dos modelos e sistemas nacionais de gestão das águas, passando a ter sua importância reforçada nas políticas públicas de desenvolvimento de numerosos países (MAGALHÃES JÚNIOR, 2010).

No Brasil, os mecanismos de gestão dos recursos hídricos passaram a atuar de maneira integrada a partir da implantação da Lei Federal nº 9.433 de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, visando assegurar água de boa qualidade à atual e às futuras gerações. A partir de então, definiu-se a bacia hidrográfica como a unidade territorial para

implementação da política e gerenciamento dos recursos hídricos (BRASIL, 1997), visto que esta representa a unidade mais apropriada na perspectiva de estudos qualitativos e quantitativos (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2008).

Para Lorandi e Cançado (2008), o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas devem integrar três itens principais: a incorporação dos recursos ambientais da área de drenagem; adoção de uma abordagem de integração dos aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos, com ênfase nos dois primeiros; e a inclusão dos objetivos de qualidade ambiental para a utilização dos recursos, visando o aumento da produtividade dos mesmos e a diminuição dos impactos e riscos ambientais na bacia de drenagem.

Além disso, para que haja um processo eficiente de planejamento e gestão, a demanda por recursos hídricos para os mais variados usos deve ser monitorada e confrontada com a disponibilidade hídrica, bem como deve ser controlada adequadamente a qualidade das águas devolvidas aos mananciais (SCHMITZ, 2014). Um instrumento que pode contribuir para a gestão dos recursos hídricos é a cartografia geoambiental associada à técnica do zoneamento, possibilitando avaliar o potencial ao estresse hídrico em bacias hidrográficas.

Os estudos geoambientais envolvem a aplicação de conhecimentos técnicos do meio físico associados aos diversos instrumentos e mecanismos de gestão ambiental, podendo ser aplicados por meio da cartografia geotécnica e o geoprocessamento, que utilizam Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e bancos de dados.

Conceituado dentro da temática de planejamento e ordenamento territorial, o Zoneamento é considerado uma ferramenta político-técnica que objetiva-se em ordenar adequadamente a utilização de um espaço, analisando aspectos relevantes, os quais podem ser físicos e/ou humanos, podendo determinar a dinâmica de uma respectiva área (FOLHARINI e OLIVEIRA, 2013). Desta forma, o Zoneamento Geoambiental (ZG) proporciona a caracterização da área de estudo, seja em escala regional ou local, destacando suas aptidões e restrições quanto às atividades atuantes e as que poderão ser implementadas, bem como a identificação de espaços territoriais que indicam maior nível de qualidade ambiental, visando sua preservação e uso sustentável (GRECCHI, 1998) e os documentos gerados por meio desta técnica podem ser utilizados pelos órgãos públicos para fiscalizar as ações dos usuários que se interessem por ocupar o espaço planejado (ZUQUETTE e GANDOLFI, 2004).

Neste contexto, considerando a necessidade da realização de estudos que visem o desenvolvimento de técnicas efetivas relacionadas ao planejamento e gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, este projeto, tendo como área piloto a bacia hidrográfica do

Rio São João (MG), propõe a realização de um Zoneamento Geoambiental (ZG), por meio da análise integrada de atributos geoambientais relacionados ao potencial de disponibilidade e de demanda hídrica da bacia hidrográfica, possibilitando elaborar um método de avaliação do potencial ao estresse hídrico, como forma de contribuição nas tomadas de decisão necessárias para a preservação e/ou melhorias das condições de uso dos recursos hídricos.

1.1 JUSTIFICATIVA

O uso intensivo dos recursos naturais e, em especial dos recursos hídricos vem sendo feito de forma descontrolada por seus usuários e o uso irracional destes recursos pode ocasionar diversas alterações ambientais, que resultam em impactos de grande magnitude.

A Bacia Hidrográfica do Rio São João, MG (BH-SJ) apresenta uma extensão territorial de 2.417,7 km², compreendendo totalmente cinco municípios e parcialmente seis municípios do sudoeste do estado de Minas Gerais e seus mananciais constituem-se como principal fonte de abastecimento hídrico superficial para muitos destes. Com isto, a bacia se caracteriza por sua extensa diversidade de uso e cobertura, apresentando diversos fatores agravantes para a degradação de seus recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

A elevada densidade de ocupações rurais e urbanas, o nível de intervenções antrópicas, o desenvolvimento de atividades agrícolas e agroindustriais e a exploração mineral são considerados como os fatores que mais comprometem conservação e uso sustentável dos recursos em sua área de drenagem. Por outro lado, a BH-SJ possui aspectos do meio físico diversos como, por exemplo, a ocorrência de duas províncias geológicas bem distintas: ao sul é caracterizada pela presença de depósitos vulcânicos e sedimentares da Bacia do Paraná, de idade Mesozoica, e ao norte é composta por rochas cristalinas metamorfizadas do Proterozóico.

Desta forma, o trabalho em questão justifica-se pela necessidade de se buscar um processo eficiente de gestão nesta unidade de gerenciamento, considerando a aplicação de um estudo sistematizado entre a disponibilidade e a demanda hídrica utilizando-se de técnicas de zoneamento geoambiental. A elaboração das Cartas de ZG, em especial a Carta do potencial ao Estresse Hídrico, visam subsidiar a gestão dos recursos hídricos e contribuir nas tomadas de decisão necessárias para a preservação e/ou melhorias das condições de uso dos recursos hídricos.

1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo principal realizar o Zoneamento Geoambiental (ZG) da Bacia Hidrográfica do Rio São João, MG (BH-SJ) por meio das estimativas da disponibilidade e demanda hídrica, buscando identificar o potencial ao estresse hídrico ocorrente nas microbacias de drenagem da área de estudo como forma de contribuição na gestão dos recursos hídricos.

1.2.1 Objetivos específicos

- Estruturar uma base de dados digital georreferenciada composta por informações relacionadas aos meios físico, biótico e abiótico da área de estudo;
- Realizar um estudo sistematizado dos atributos de influência no potencial de disponibilidade e demanda hídrica e elaborar documentos cartográficos básicos e intermediários para subsídio ao ZG;
- Determinar a estimativa da disponibilidade hídrica da BH-SJ e representá-la por meio da Carta da Disponibilidade Hídrica Superficial da Bacia Hidrográfica do Rio São João;
- Estruturar uma base de dados das vazões estimadas dos usuários dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e elaborar as Cartas de Demanda Hídrica Superficial e Demanda Hídrica Subterrânea da Bacia Hidrográfica do Rio São João;
- Cartografar a ocorrência das atividades e infraestruturas antrópicas consideradas como fonte de demanda hídrica pontuais da bacia, a serem representadas pela Carta das Ações Antrópicas da Bacia Hidrográfica do Rio São João;
- Realizar o Zoneamento Geoambiental quanto ao potencial de Estresse Hídrico das Microbacias de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio São João relacionando os componentes de disponibilidade e demandada hídrica superficiais.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi elaborada em forma de artigos científicos, os quais são antecedidos por dois Capítulos de subsídio ao Zoneamento Geoambiental proposto: o Capítulo 1 é composto por uma introdução geral ao tema, acompanhada pela justificativa e objetivos gerais e específicos que orientaram a pesquisa. No Capítulo 2, são apresentados um conjunto de dados relacionados aos meios físico, biótico e abiótico, compostos por documentos cartográficos básicos e intermediários da área de estudo.

Capítulo 3 - Artigo I: “ZONEAMENTO DOS ATRIBUTOS GEOAMBIENTAIS ASSOCIADOS AO POTENCIAL DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO - MG”.

Capítulo 4 - Artigo II: “ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA FRENTE AS AÇÕES ANTRÓPICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO, MG”.

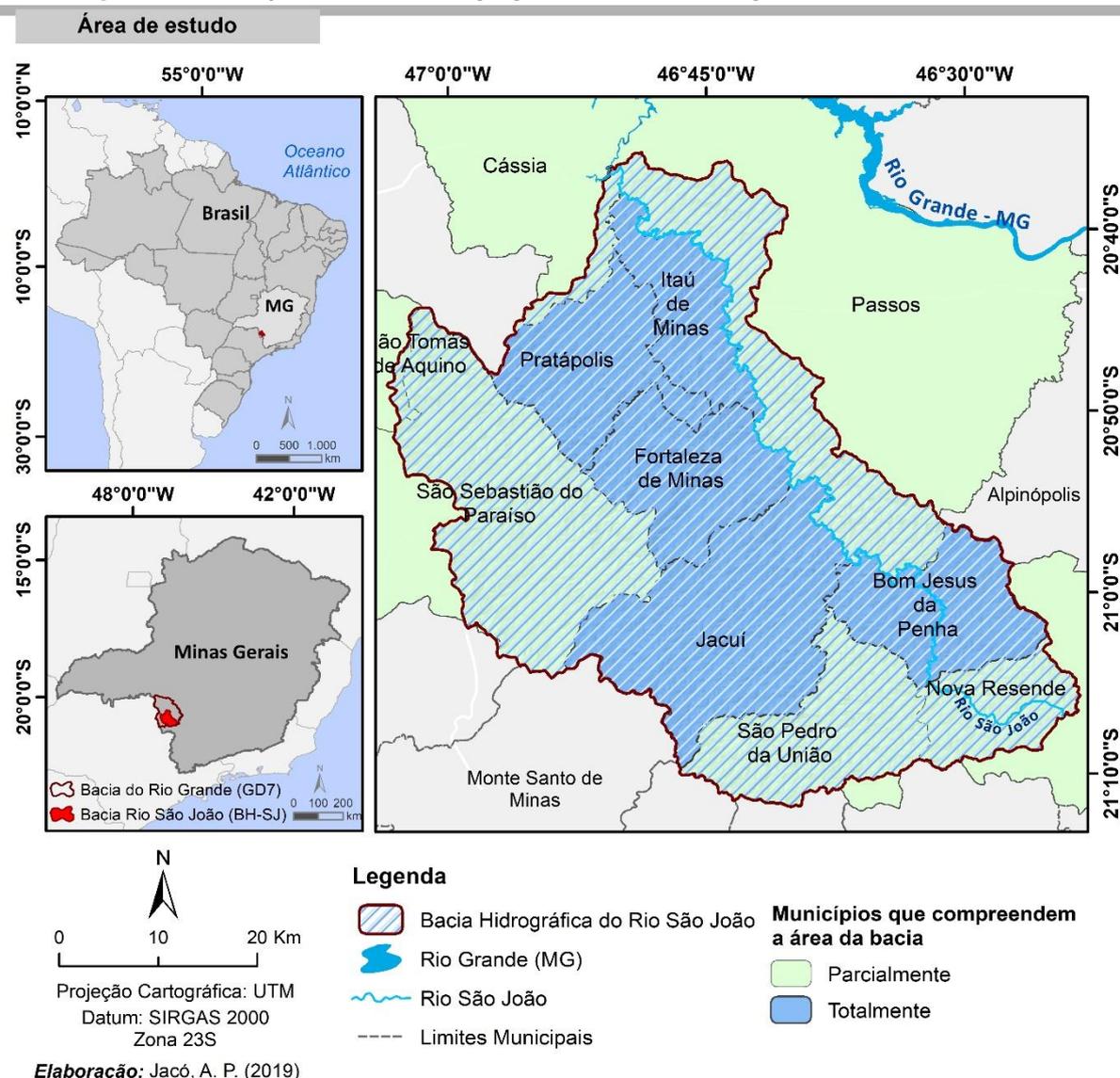
Capítulo 5 - Artigo III: “ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL QUANTO AO POTENCIAL DE ESTRESSE HÍDRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO”.

Ao final do Trabalho são apresentados os Apêndices com a Carta do Zoneamento Geoambiental quanto ao potencial de Estresse Hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio São João e a Carta das Ações Antrópicas Pontuais da Bacia Hidrográfica do Rio São João em tamanho A2 (420 x 594 mm) para retratar os resultados em maior nível de detalhes.

2. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio São João (BH-SJ) localiza-se na porção sudoeste do estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas 21°12'26,9" e 20°35'25,15" de latitude Sul e 47°03'18" e 46°23'30" de longitude Oeste, ocupando uma extensão territorial de 2.417,7 km² (Figura 1).

Figura 1. Localização e características geográficas da Bacia Hidrográfica do Rio São João - MG



Fonte: autora.

A nível regional, a área em estudo se caracteriza como a mais extensa das 34 sub-bacias que envolvem a Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande (GD7),

ocupando cerca de 24,75% de sua área total, conforme definição do ZA-GD7 (Zoneamento Ambiental das Sub-Bacias Hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande), realizado pelo Projeto Grande Minas – União pelas Águas (COLLARES, 2013a).

A GD7 por sua vez, é considerada uma das 36 Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH's) pertencentes ao estado de Minas Gerais, estando localizada na porção mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Grande, que em âmbito nacional, compreende cerca de 145.000 km² de área de drenagem e localiza-se entre os Estados de Minas Gerais e São Paulo.

O limite fisiográfico da BH-SJ envolve totalmente cinco municípios e parcialmente seis municípios do Estado de Minas Gerais. Dentre estes onze, oito apresentam suas sedes municipais localizadas na área de drenagem da bacia, sendo eles: Bom Jesus da Penha, São Pedro da União, Jacuí, Fortaleza de Minas, Itaú de Minas, Pratápolis, Nova Resende e São Sebastião do Paraíso, contudo, os dois últimos citados apresentam parte de seu perímetro urbano fora da área da bacia. Os outros três municípios, (Passos, Cássia e São Tomás de Aquino) não apresentam influência direta no âmbito de drenagem da Bacia por seus limites estarem localizados nas extremidades Nordeste e Noroeste da área de estudo.

A Tabela 1 apresenta o detalhamento das divisões municipais na área de estudo, indicando a área total e/ou parcial de cada município na bacia, o percentual de área ocupada, a população total no ano de 2010 e estimada no ano de 2018 e, a Densidade demográfica apresentada por cada município, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE, 2010; 2018).

Tabela 1. Divisões municipais na Bacia Hidrográfica do Rio São João – MG

	Municípios que envolvem a bacia	Área total do Município (Km²)	Área do Município na bacia (%)	População (IBGE 2010) *(População estimada em 2018)	Densidade demográfica (IBGE 2010)
Totalmente	Bom Jesus da Penha	208,35	100%	3.887 (4.190)	18,66 hab./km ²
	Fortaleza de Minas	218,80	100%	4.098 (4.387)	18,73 hab./km ²
	Itaú de Minas	153,45	100%	14.945 (16.014)	97,41 hab./km ²
	Jacuí	409,23	100%	7.502 (7.681)	18,33 hab./km ²
	Pratápolis	215,52	100%	8.807 (8.642)	40,86 hab./km ²
Parcialmente	Cássia	665,80	5,06%	17.412 (17.739)	26,15 hab./km ²
	Nova Resende	390,15	33,88%	15.374 (16.610)	39,41 hab./km ²
	Passos	1338,05	22,99%	106.290 (113.998)	79,44 hab./km ²
	São Pedro da União	260,80	94,10%	5.040 (4.709)	19,32 hab./km ²
	São Sebastião do Paraíso	814,90	59,25%	64.980 (70.450)	79,74 hab./km ²
	São Tomás de Aquino	278,00	3,72%	7.093 (7.042)	25,52 hab./km ²

O município de Itaú de Minas se destaca por apresentar a maior densidade demográfica da área em estudo, além disso, este tem sua economia gerida principalmente pelas atividades industriais e minerárias. Os Municípios de Passos e São Sebastião do Paraíso também são caracterizados por sua elevada densidade demográfica e o maior índice populacional da bacia.

A principal via de acesso da área estudada é a Rodovia Estadual MG-050 (Rodovia Newton Penido), que se inicia na Capital Mineira Belo Horizonte e termina no município de São Sebastião do Paraíso, próximo à divisa com o estado de São Paulo. Engloba ainda as Rodovias Estadual MG-344 e Federal BR-491, de acesso a outros municípios da região Sul e Sudoeste de Minas (Figura 2).

Figura 2. Principais vias de acesso da área de estudo e seus limites municipais



Fonte: autora.

2.1 CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DO MEIO FÍSICO

2.1.1 Hidrografia

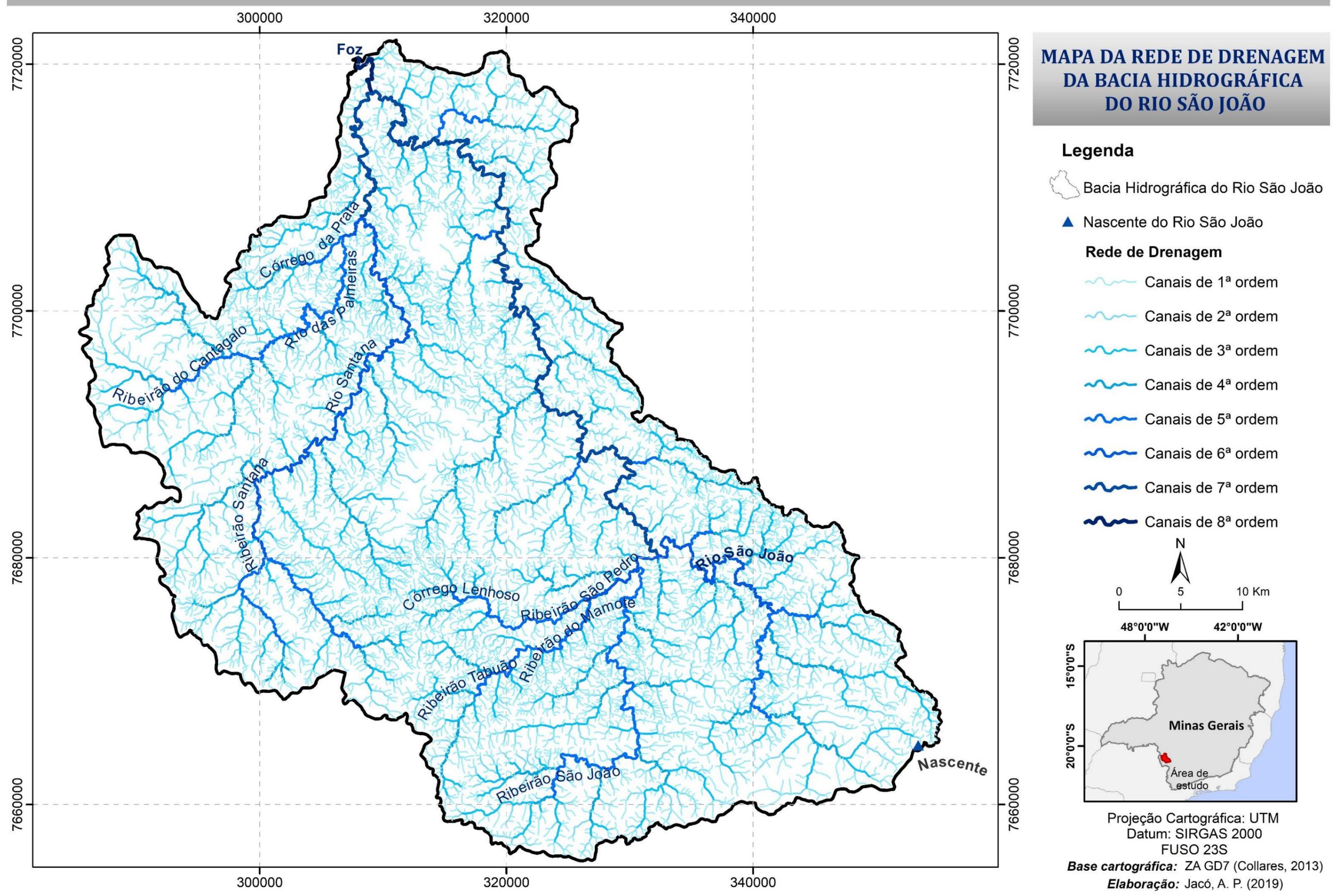
O Rio São João constitui o curso d'água principal da área de estudo e tem sua nascente localizada à Sudeste da bacia, próximo ao perímetro urbano do município de Nova Resende-MG, às margens do bairro Lava-Pés, entre as coordenadas geográficas 21°06'52,7" de latitude Sul e 46°24'43,6" e de longitude Oeste. O Rio segue sua jusante ao sentido Sul da bacia, passando pelos municípios de Nova Resende, Bom Jesus da Penha e estendendo-se pelo limite oeste de Passos, percorrendo cerca de 177 km de sua nascente a foz, até desembocar no Rio Grande, no trecho onde localizam-se as represas de Furnas e Peixoto (MG).

Considerando a metodologia de classificação definida por Strahler (1957), o Rio São João é classificado como um canal de 8ª ordem de ramificação e seus principais afluentes de macrodrenagem, com suas respectivas extensões são: Ribeirão São João (64 km); Ribeirão Tabuão (16 km); Ribeirão do Mamote (14 km); Córrego Lenhoso (07 km); Ribeirão São Pedro (13 km); Ribeirão Santana (37 km); Rio Santana (73 km); Ribeirão do Cantagalo (08 km); Rio das Palmeiras (37 km); Córrego da Prata (06 km), classificados como canais de 5ª, 6ª e 7ª ordem.

A bacia do Rio São João é composta por 6.273 nascentes mapeadas. A rede de drenagem abrange cerca de 5.400 km de extensão e apresenta uma elevada densidade hidrográfica em seu território. Deste total, 62,5% dos cursos d'água são classificados como canais 1ª ordem, 20,3% de 2ª ordem, 11,3% de 3ª ordem e 5,9% dos cursos d'água classificados como canais de 4ª ordem (COLLARES; GOMES e SANTOS, 2013).

Na Figura 3 é apresentado o Mapa da Rede de Drenagem da BH-SJ, classificado de acordo com a hierarquização fluvial dos cursos d'água e a identificação de seus principais afluentes de macrodrenagem.

Figura 3. Distribuição da rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio São João

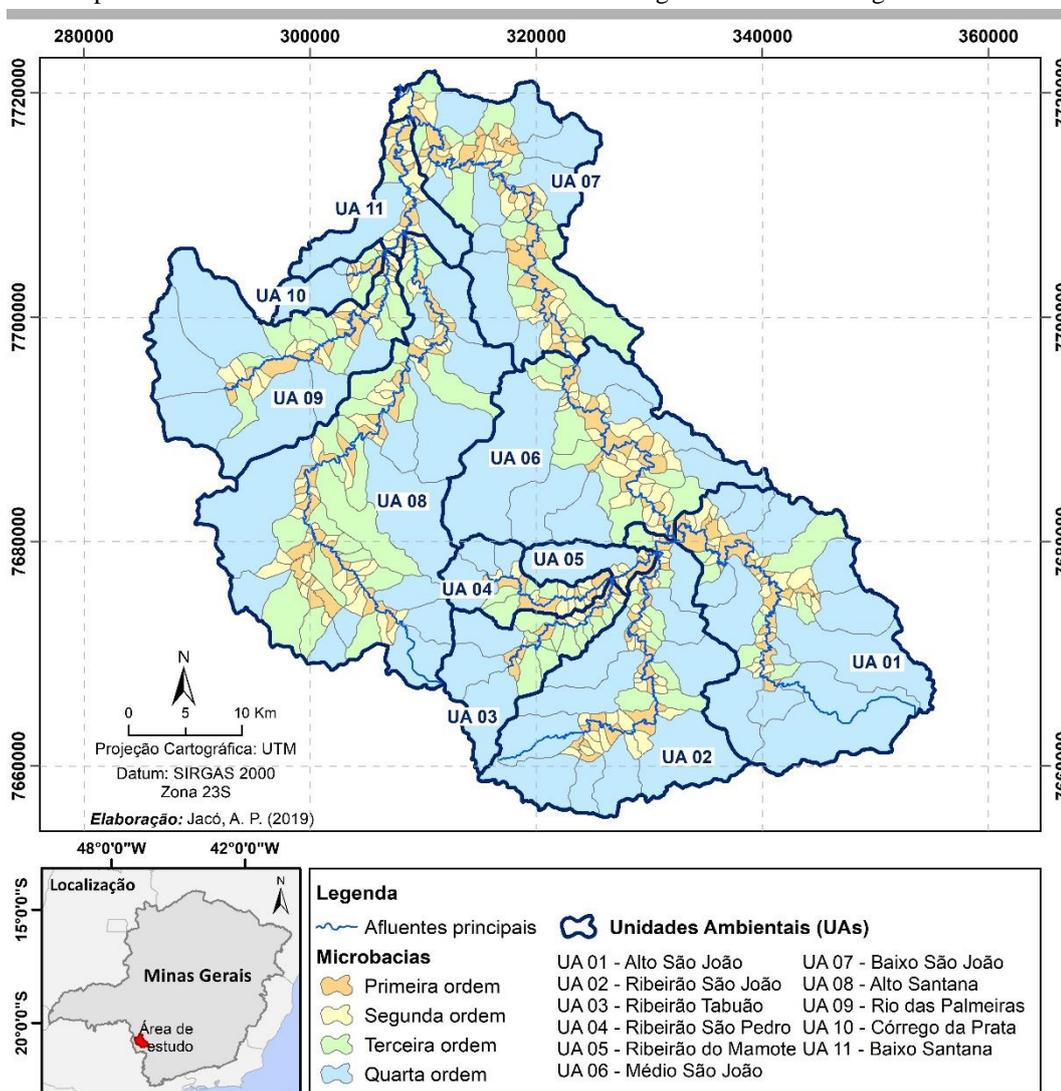


2.1.2 Unidades Ambientais

Para a elaboração do Zoneamento Geoambiental (ZG) de forma analítica, este estudo considerou a compartimentação da bacia em dois níveis de detalhamento, definido inicialmente por microbacias (Mbs) com base na hierarquia fluvial dos corpos d'água de primeira à quarta ordens e aplicado no ZA-GD7 por Collares; Gomes e Santos (2013) seguindo a metodologia de Strahler (1957). Esta compartimentação é composta por 581 microbacias, sendo 207 de 1ª ordem, 214 de 2ª ordem, 91 de 3ª ordem e 69 de 4ª ordem.

Posteriormente, com base nos principais afluentes de macrodrenagem da bacia, classificados de quinta à oitava ordens, foi realizada a setorização da BH-SJ em onze Unidades Ambientais (UAs), possibilitando a análise e diagnóstico dos resultados da pesquisa de maneira pormenorizada. A compartimentação das Mbs e das UAs são apresentadas na Figura 4.

Figura 4. Mapa das Unidades Ambientais e Microbacias de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio São João



Fonte: Collares; Gomes e Santos (2013); Autora (2019).

A Tabela 2 apresenta o detalhamento com os nomes das onze UAs e suas respectivas áreas de drenagem.

Tabela 2. Detalhamento das Unidades Ambientais da BH-SJ

Unidade Ambiental (UA)	Nome da UA	Área da UA (km²)
UA 01	Sub-bacia do Alto São João	375,25
UA 02	Sub-bacia do Ribeirão São João	312,9
UA 03	Sub-bacia do Ribeirão Tabuão	109,52
UA 04	Sub-bacia do Ribeirão São Pedro	63,5
UA 05	Sub-bacia do Ribeirão do Mamote	35,8
UA 06	Sub-bacia do Médio São João	313,63
UA 07	Sub-bacia do Baixo São João	291,4
UA 08	Sub-bacia do Alto Santana	540,95
UA 09	Sub-bacia do Rio das Palmeiras	265,48
UA 10	Sub-bacia do Córrego da Prata	33,82
UA 11	Sub-bacia do Baixo Santana	75,45

2.1.3 Vazão regionalizada das microbacias

O método de determinação das vazões médias possibilita caracterizar a capacidade de disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica. Para isto, é necessário que a região de estudo seja compartimentada em sub-bacias que sigam de modo geral o relevo e forma da bacia (TUCCI, 2009). Neste trabalho, estudo hidrológico foi definido tomando-se por base a determinação da vazão regionalizada das microbacias de drenagem da área de estudo, com base nas vazões médias dos cursos d'água de primeira à quarta ordens, utilizando como base o método de cálculo de descarga específica e vazão regionalizada (NAGHETTINI e VON SPERLING, 2007; TUCCI, 2009).

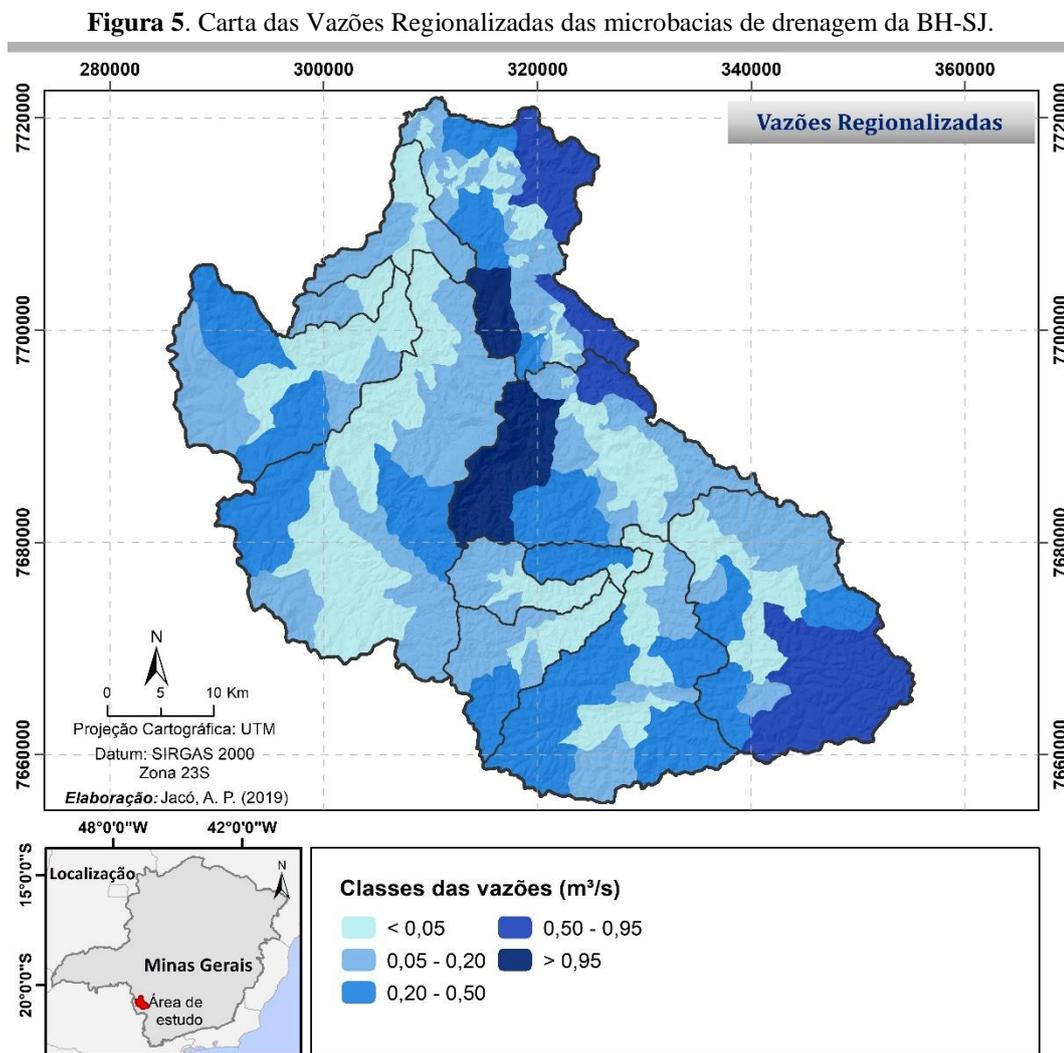
Foram coletados e selecionados dados de seis estações telemétricas presentes na área de estudo disponibilizados pela Plataforma digital HydroWeb da Agência Nacional de Águas. Devido à inexistência de séries históricas de dados hidrológicos, os dados foram filtrados a partir das leituras das vazões diárias de todo o ano de 2017 e calculadas as vazões médias mensais e anuais dos trechos compostos pelas estações telemétricas, obtendo um valor denominado como Descarga Específica (DE) para o trecho da bacia localizada à montante de cada estação, com base na seguinte equação:

- Onde:
- (1) $DE = Q \div A_{total}$
- DE: Descarga Específica (l/s.km²)
 Q: Vazão total do trecho da estação de dados (l/s)
 A_{total}: área da bacia à montante da estação de dados (km²)

Após obter o valor da DE, foram calculadas as vazões médias regionalizadas de cada microbacia conforme a equação descrita a seguir:

- Onde:
- (2) $Q_{Reg} = DE \times A_{Mb}$
- Q_{Reg}: Vazão regionalizada (l/s)
 DE: Descarga Específica (l/s.km²)
 A_{Mb}: área da microbacia (km²)

A Figura 5 apresenta a Carta das Vazões Regionalizadas das microbacias da BH-SJ.

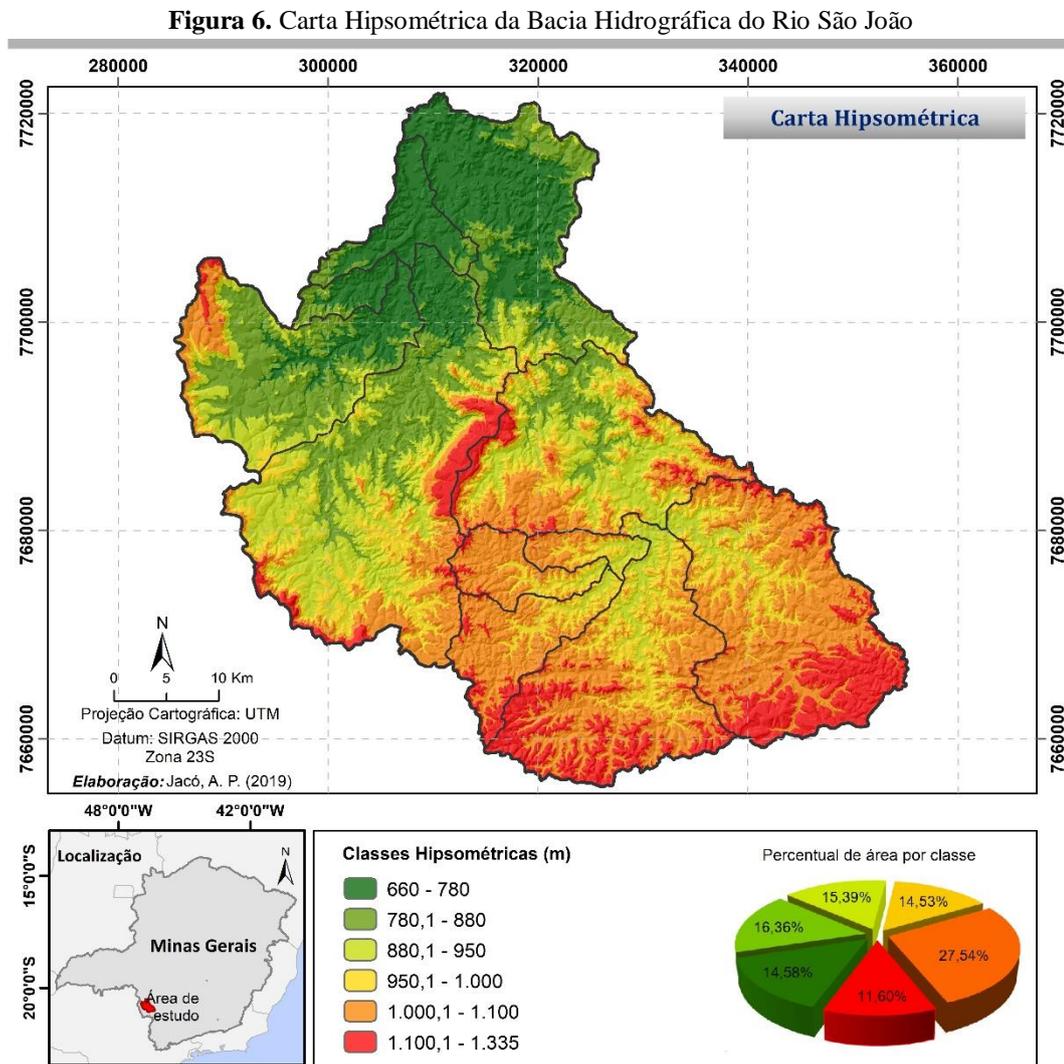


Fonte: autora.

2.1.4 Hipsometria

A caracterização hipsométrica da BH-SJ foi elaborada no SIG ArcGis 10.5[®] a partir da classificação do MDE (Modelo Digital de Elevação) da área em estudo, utilizando como base um conjunto de imagens de alta resolução corrigida (12,5 metros) do Satélite ALOS-PALSAR (ASF DAAC EARTH DATA, 2018).

A hipsometria apresenta-se bem distribuída na área de estudo, com predomínio das classes que variam de 1.000 a 1.100 metros de altitude, representando cerca de 27,54% da área. Se caracteriza com elevada variação altimétrica entre suas classes, sendo as áreas de cabeceira e algumas regiões centrais compreendidas por variações que chegam à 1.335 metros em seu ponto mais alto (sul) e 660 metros em seu ponto mais baixo, no sentido à sua jusante (norte), como apresentado na Carta Hipsométrica da Figura 6.



Fonte: autora.

2.1.5 Declividades e Relevo

A Carta de Declividades foi gerada por meio da ferramenta *Slop* do SIG ArcGis 10.5[®], tomando por base o conjunto de imagens de alta resolução corrigida (12,5 metros) do Satélite ALOS-PALSAR (ASF DAAC EARTH DATA, 2018).

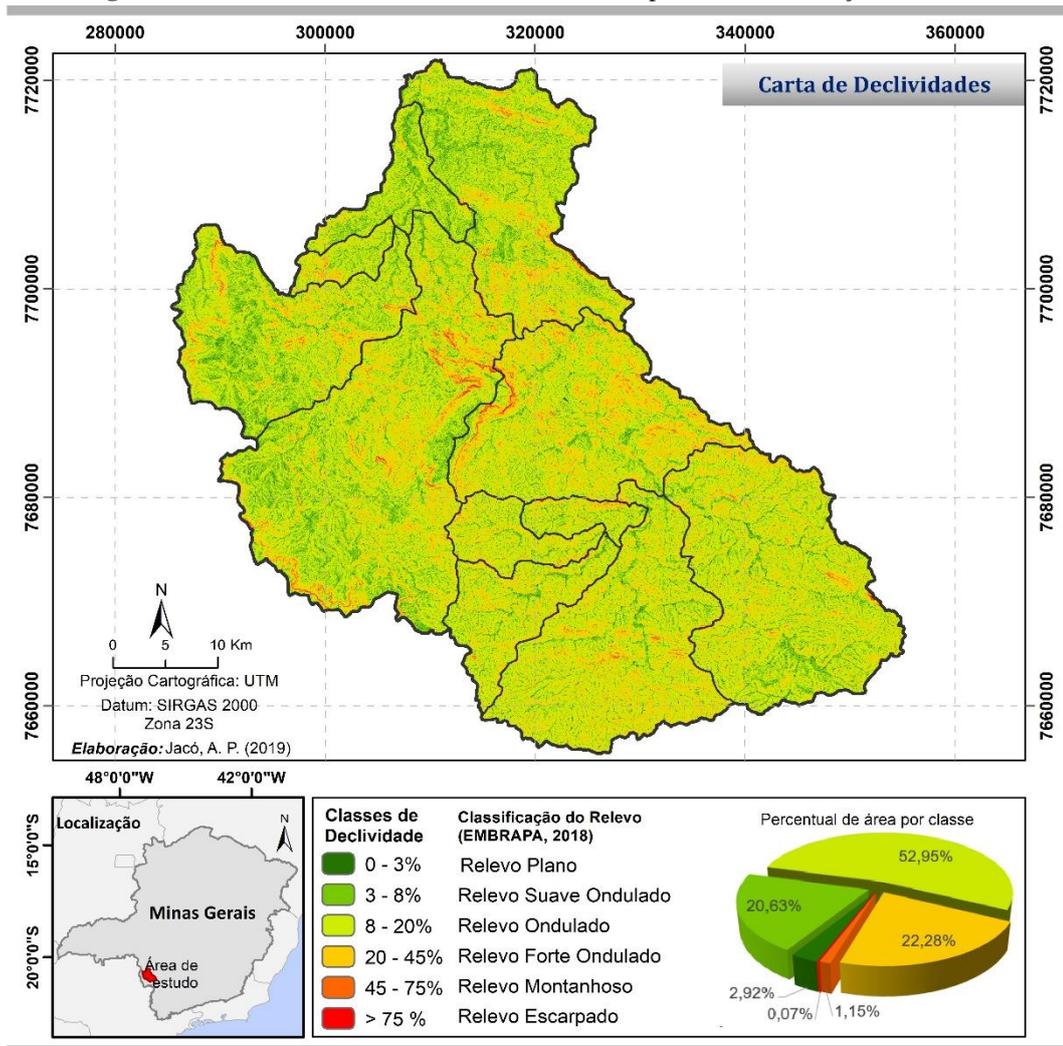
As classes das declividades foram estabelecidas conforme definição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA SOLOS, 2018), que apresenta seis classes de declividade e considera as seguintes características de relevo:

- **Plano** (0% a 3%) - superfície topográfica horizontal, com desnivelamentos muito pequenos;
- **Suave ondulado** (3% a 8%) - superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50 m e de 50 m a 100 m, respectivamente) com declives suaves;
- **Ondulado** (8% a 20%) - superfície pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, com declives moderados;
- **Forte ondulado** (20% a 45%) - superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros (elevações relativas de 50 m a 100 m e de 100 m a 200 m, respectivamente) e raramente colinas, com declives fortes;
- **Montanhoso** (45% a 75%) - superfície topográfica vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, com desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes a muito fortes;
- **Escarpado** (> 75%) - predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escarpados, como: aparados, itaimbés, frentes de cuevas, falésias, vertentes de declives muito fortes.

Na Figura 7 é apresentada a Carta de Declividades da bacia e suas respectivas características. Verifica-se na área o predomínio da classe de declividade de 8 a 20%, que correspondem a quase 53% da área total da bacia e apresenta característica de relevo ondulado.

As declividades medianas constituem as classes de 3 a 8% e 20 a 45% e são representadas por relevos suave ondulados e forte ondulados, respectivamente. As menores ocorrências classificam-se por declividades de 0 a 3% (relevo plano) e superiores a 45%, apresentando relevos montanhosos e escarpados.

Figura 7. Carta de Declividades da BH-SJ e suas respectivas classificações de relevo



Fonte: autora.

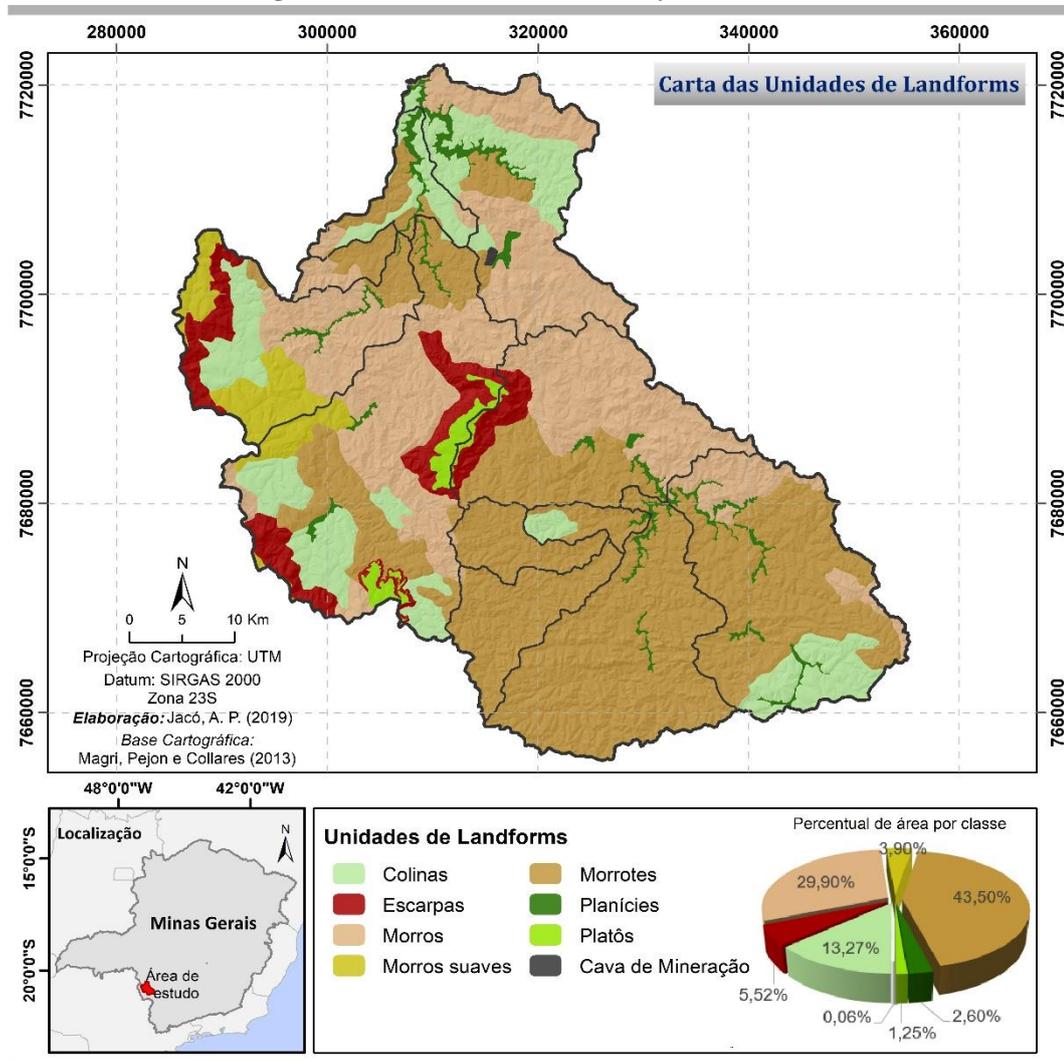
Ainda quanto às características do relevo, Magri, Pejon e Collares (2013) realizaram o mapeamento dos *Landforms* (Unidades de Relevo), por meio de características como expressão geográfica, forma dos topos, padrão de drenagem, presença de vales e densidade hidrográfica. Desta forma, a bacia foi classificada conforme características predominantes de cada região, estabelecendo as classes de Planícies, Platôs, Colinas, Morrotes, Morros com encostas suavizadas, Morros, Serras ou montanhoso e Escarpas (Figura 8).

Nota-se que as unidades com declividades medianas a elevadas correspondem a maior parte de sua extensão, sendo constituída por Morrotes (43,5%), Morros (29,9%) e Escarpas (5,52%). As unidades com declividades mais amenas correspondem a colinas (13,27%), morros suaves (3,9%), planícies (2,6%) e os platôs (1,25%).

A unidade classificada como Cava de Mineração, ocupando cerca de 0,06% da bacia hidrográfica, corresponde à uma área com elevado rebaixamento de nível de solo e substrato

rochoso, para fins de extração mineral, sendo delimitado à parte devido suas características intrínsecas frente às demais classes.

Figura 8. Carta das Unidades de *Landforms* da BH-SJ



Fonte: Magri, Pejon e Collares (2013).

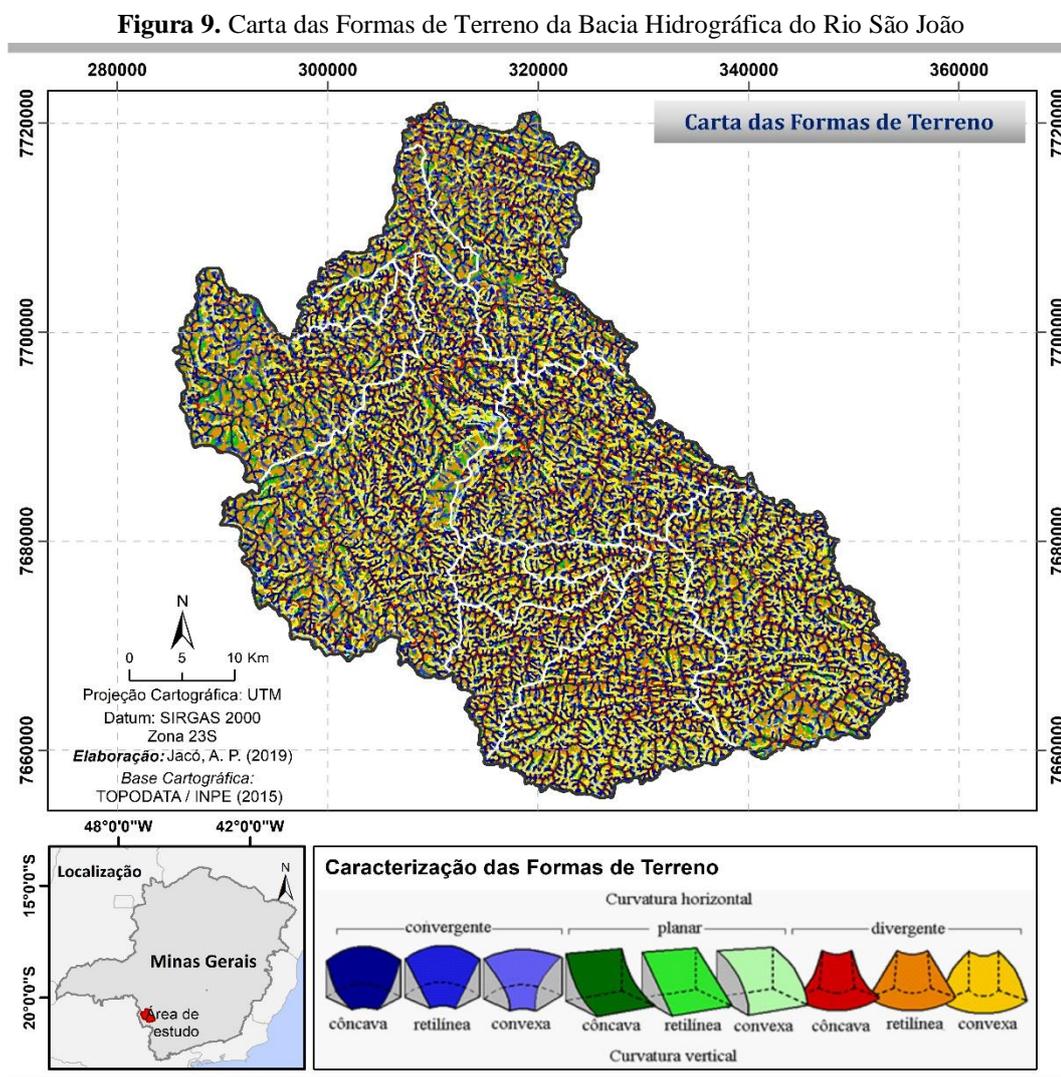
2.1.6 Formas de Terreno

De acordo com a caracterização geomorfológica de Valeriano (2008), as formas de terreno podem ser representadas por meio de combinações entre as classes de curvaturas horizontais (convergente, planar ou divergente) e curvaturas verticais (côncavo, retilíneo ou convexo). A curvatura vertical expressa o formato da vertente quando observada em perfil e a curvatura horizontal expressa o formato da vertente quando observada em projeção horizontal (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2008).

O estudo quanto à orientação das vertentes advém de seu poder de descrição da estrutura de hidrologia superficial, podendo determinar um caminho esperado do escoamento superficial, denominado de linhas de fluxo, orientados pelos canais de drenagem e divisores de água.

A Carta das Formas de Terreno foi desenvolvida para todo o território nacional tomando-se por base uma combinação entre as classes de curvaturas horizontais e verticais, sendo estabelecida uma paleta de cores representando a matiz como expressão da curvatura horizontal e o brilho como expressão da curvatura vertical (INPE, 2008).

A Figura 9 apresenta a Carta das Formas de Terreno da área de estudo e a caracterização da paleta de cores com a combinação de suas curvaturas. As classes predominantes são representadas pelas formas de terreno convergente-côncavas (24,16%), divergente-convexas (21,23%) e divergente-retilíneas (16,51%). As demais classes ocorrem em menor proporção (< 10%) ao longo de toda área da bacia hidrográfica.

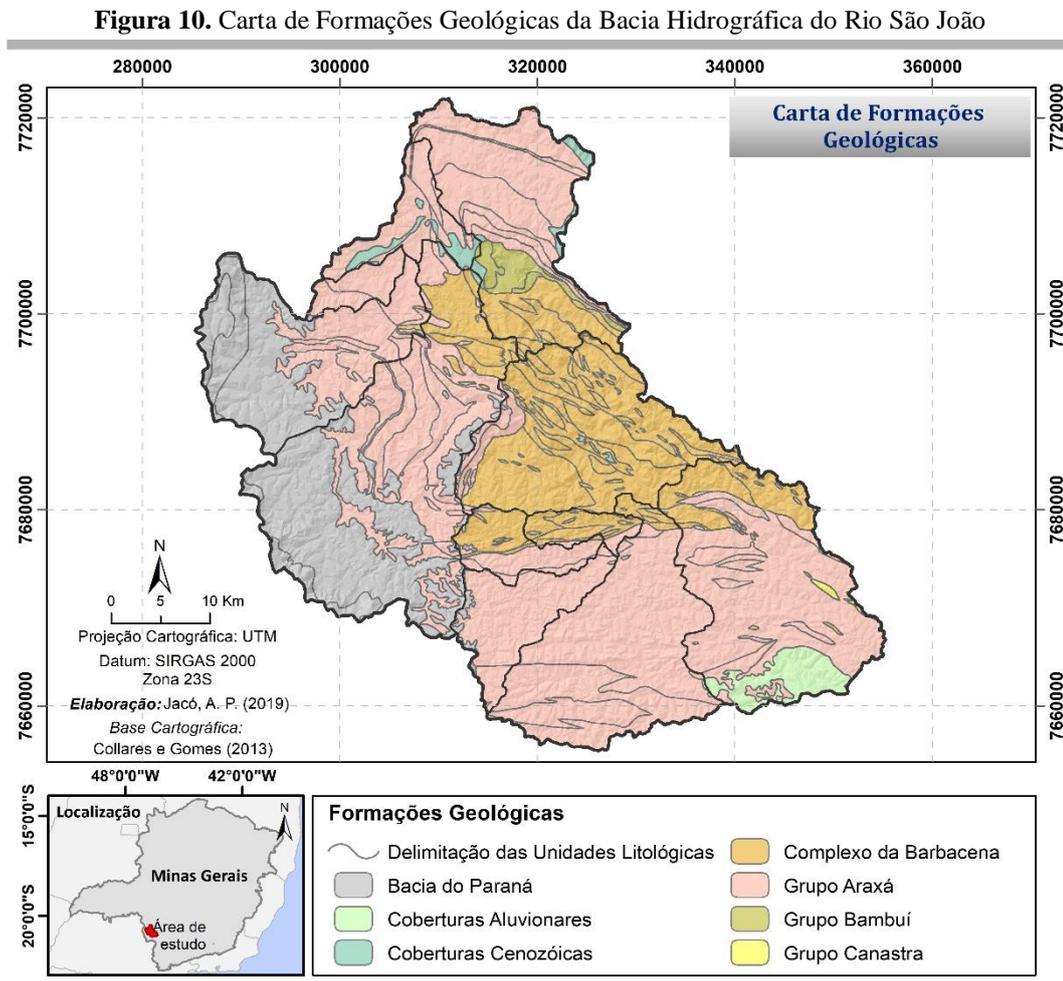


Fonte: TOPODATA - INPE (2015).

2.1.7 Geologia

O território da BH-SJ envolve duas províncias geológicas distintas, pertencentes à bacia sedimentar do Paraná: em sua porção oeste é caracterizada por terrenos Sedimentares das Formações Aquidauana e Botucatu, apresentando pequenas ocorrências litológicas ígneas vulcânicas da Formação Serra Geral, ambas da idade Fanerozóica; na porção que vai de norte a sul apresenta terrenos Metamórficos composto por rochas cristalinas metamorfizadas do Proterozóico (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. CPRM, 2004).

De acordo com o mapeamento geológico-litológico realizado na região de estudo por Collares e Gomes (2013), em escala de 1:50.000, ocorrem formações rochosas datadas do Pré-Cambriano, representadas por rochas do embasamento cristalino e metassedimentares de formações geológicas diversas, bem como por formações do Fanerozóico com ocorrência de depósitos vulcânicos e sedimentares representados por rochas da Bacia do Paraná. Desta forma, a área da bacia compreende sete formações geológicas, como ilustrado na Figura 10.



Fonte: Collares e Gomes (2013).

As Unidades Litológicas são representadas pelos tipos de materiais rochosos que ocorrem em frações heterogêneas de cada formação geológica. Na Tabela 3 são apresentadas as unidades litológicas que ocorrem em cada formação geológica, juntamente com seus respectivos dados quantitativos.

Nota-se que a maior parte da bacia é composta pelas formações do Grupo Araxá, compreendendo cerca de 55,8% da área, com predomínio de gnaiss com intercalações de xisto, quartzito e anfibolito. Secundariamente predominam os gnaisses e migmatitos do Complexo da Barbacena e os arenitos da Bacia do Paraná.

Tabela 3. Classificação das Formações Geológicas e suas respectivas Unidades Litológicas

Formações Geológicas	Unidades Litológicas	Área	
		Km ²	%
<i>Bacia do Paraná</i>	Arenito, conglomerado, folhelho e siltito (Formação Aquidauana)	342,06	14,15
	Arenito (Formação Botucatu)	17,70	0,73
	Basalto e Diabásio (Formação Serra Geral)	51,32	2,12
<i>Coberturas Aluvionares</i>	Coberturas Aluvionares	46,50	1,92
<i>Coberturas Cenozóicas</i>	Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas	29,15	1,20
<i>Complexo da Barbacena e Sequência Greenstone Morro de Ferro</i>	Migmatitos e granitóides gnaissificados, graníticos a granodioríticos, localmente com lentes dioríticas, anfibolíticas e ultramáficas	243,83	10,1
	Anfibolitos e gnaiss dioríticos	2,35	0,10
	Gnaiss e migmatitos com intercalações de anfibolitos ultramáficas e metassedimentos	252,23	10,43
	Rochas ultramáficas com intercalações de gnaiss e metassedimentos	50,15	2,07
<i>Grupo Araxá</i>	Gnaiss com intercalações de xisto, quartzito-xisto, quartzito e anfibolito	64,96	2,70
	Gnaiss com intercalações de xisto, quartzito e anfibolito	707,49	29,26
	Gnaiss e xisto com intercalações de quartzito, anfibolito e rocha calcissilicática	114,0	4,71
	Gnaiss migmatítico	13,20	0,55
	Quartzito com intercalações de mica-xisto	51,92	2,15
	Mica-xisto com intercalações de quartzito-xisto, quartzito, anfibolito e gnaiss	220,94	9,13
	Mica-xisto com intercalações comuns de quartzito	67,63	2,80
	Mica-xisto com ocorrências ocasionais de quartzito e lentes de mármore	39,75	1,65
	Rochas ultramáficas	68,35	2,82
<i>Grupo Bambuí</i>	Xisto e filito com ocorrência local de gnaiss e mármore	20,26	0,83
	Rochas calcissilicáticas	9,67	0,40
<i>Grupo Canastra</i>	Quartzito com intercalações ocasionais de mica-xisto e filito	4,24	0,18

Fonte: adaptado de Collares e Gomes (2013).

2.1.8 Hidrogeologia

Os estudos hidrogeológicos são vistos como fundamentais para o entendimento do comportamento dinâmico de sistemas físicos subsuperficiais que constituem as águas subterrâneas. Segundo Feitosa et al., (2008), o panorama geológico do Brasil compreende diferentes domínios onde as condições de porosidade, permeabilidade e recarga natural apresentam características similares. Com relação aos domínios aquíferos de porosidade e permeabilidade intersticial primária, ocorrem em duas formas principais: (a) rochas sedimentares e (b) depósitos aluviais e dunas.

As bacias de depósitos sedimentares são constituídas por camadas ou corpos rochosos relativamente extensos e consolidados, sendo que os aquíferos predominantes nestas áreas se classificam como confinados. Em geral, as bacias sedimentares apresentam os maiores potenciais de água subterrânea do País. Já nos depósitos aluviais e dunas, ocorrem aquíferos do tipo livre, freáticos ou rasos, caracterizados como muito vulneráveis (FEITOSA et al., 2008),

Em âmbito nacional, de acordo com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2007; 2015), a área estudada insere-se na Província Hidrogeológica do Paraná e envolve cinco domínios hidrogeológicos. A Tabela 4 apresenta a descrição definida por Bomfim (2010) sobre os domínios hidrogeológicos constantes na área de abrangência da BH-SJ, com suas principais características e percentual de ocorrência na bacia.

Tabela 4. Domínios hidrogeológicos da Bacia Hidrográfica do Rio São João

Domínios hidrogeológicos	Características hidrogeológicas	Área (%)
(1) <i>Bacias sedimentares</i> (Aquífero Poroso)	Alta favorabilidade hidrogeológica quanto ao armazenamento de água subterrânea. Constituem os mais importantes reservatórios, em decorrência da grande espessura de sedimentos e da alta porosidade/permeabilidade de grande parte de suas litologias permitindo a exploração de vazões significativas.	14,8%
(2) <i>Cristalino</i> (Aquífero Fissural)	Baixa/Muito baixa favorabilidade hidrogeológica devido sua falta de porosidade primária. A ocorrência de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, resultando em reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Na maior parte das vezes, os poços apresentam vazões pequenas e água salinizada.	34,3%
(3) <i>Formações cenozóicas</i> (Aquífero Poroso)	Favorabilidade hidrogeológica variável, apresentando comportamento de aquífero poroso caracterizado por sua porosidade primária e elevada permeabilidade nos terrenos arenosos. A depender da espessura e da razão areia/argila dessas unidades, podem produzir vazões significativas em poços tubulares perfurados, sendo, contudo bastante comum a ocorrência de captação de água dos aquíferos subjacentes.	1,4%

Tabela 4. (Continuação)

(4) <i>Metassedimentos- Metavulcânicas</i> (Aqüífero Fissural)	Possuem comportamento similar ao do Cristalino tradicional, configurando porosidade primária e favorabilidade hidrogeológica relativamente baixos. Contudo, suas rochas apresentam comportamento reológico distinto, reagindo diferentemente aos esforços causadores das fendas e fraturas. Podem ser enquadrados neste domínio grande parte das supracrustais, aí incluídos os gresstones belts.	47,8%
(5) <i>Vulcânicas</i> (Aqüífero Fissural)	Espera-se neste domínio uma maior favorabilidade hidrogeológica do que o esperado para o domínio dos metassedimentos/ metavulcânicas. Estas sequências rochosas tendem normalmente ao anisotropismo, com uma estruturação acentuada de foliação e/ou acamadamento, sendo que algumas delas apresentam uma porosidade primária relacionada a estruturas vesiculares (principalmente derrames básicos).	1,7%

Fonte: adaptado de Bomfim (2010).

Dentre os fatores aplicados à estudos hidrogeológicos, a geologia é considerada como fundamental para a elaboração de qualquer mapa hidrogeológico, visto que a litologia, a estrutura e a tectônica são responsáveis por controlar as condições de ocorrência, o fluxo e a qualidade das águas (FEITOSA et al., 2008).

Para a representação hidrogeológica da bacia do Rio São João, Collares e Gomes (2013) realizaram o mapeamento dos Sistemas Aqüíferos, com base nos mapas de unidades geológicas e de substrato rochoso dominante da área de estudo, respeitando os limites apresentados em suas unidades geológico-litológicas.

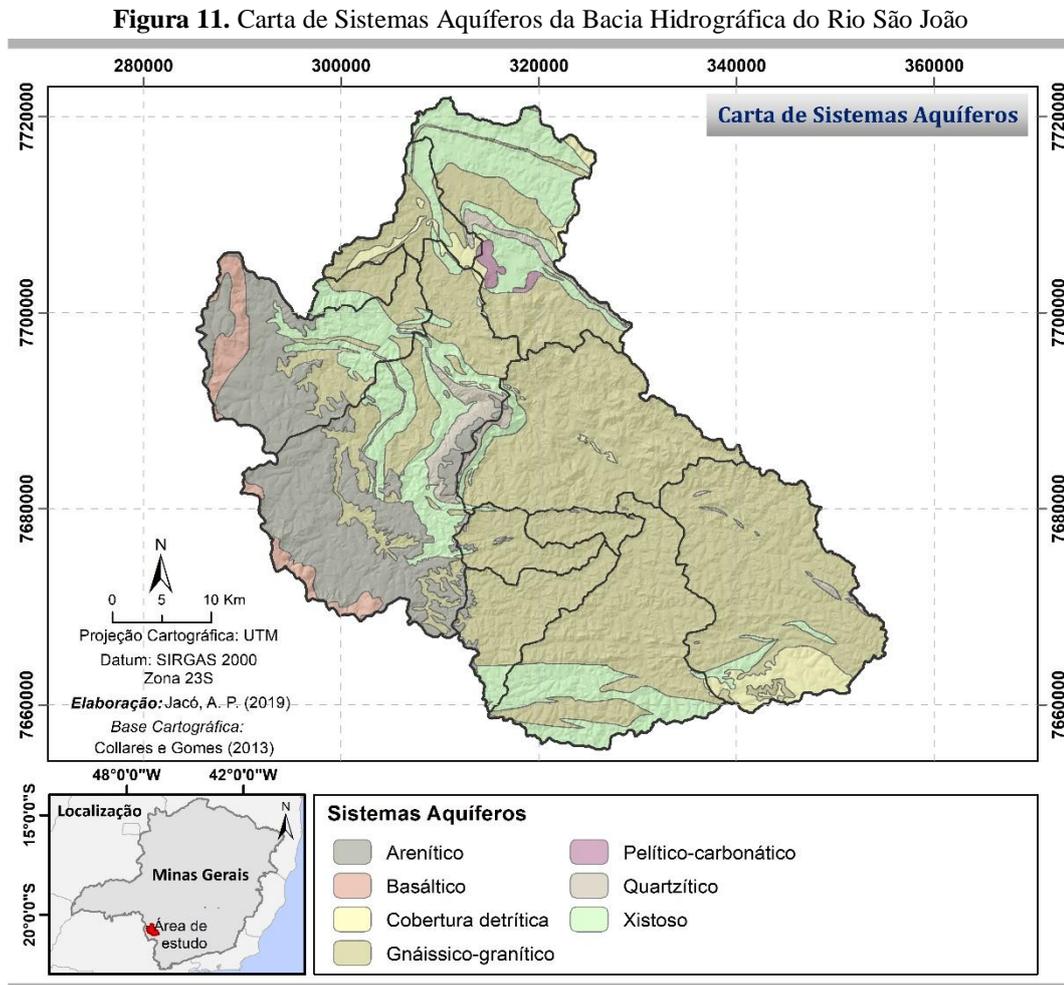
A Tabela 5 apresenta as classes dos Sistemas Aqüíferos que compõem a área de estudo e as respectivas unidades de substrato rochoso dominante que foram utilizadas como base para a classificação hidrogeológica da bacia.

Tabela 5. Unidades de Sistemas Aqüíferos e suas unidades de substrato rochoso dominante

Unidades de Sistemas Aqüíferos	Área de abrangência		Unidades de Substrato Rochoso dominante
	Km ²	%	
(1) <i>Arenítico</i>	359,76	14,88	Arenito
(2) <i>Basáltico</i>	51,32	2,12	Basalto e Diabásio
(3) <i>Cobertura Detrítica</i>	75,65	3,12	Coberturas Quaternárias
(4) <i>Gnáissico-granítico</i>	1402,56	58,03	Gnaiss
			Gnaiss / Rocha Ultramáfica
			Rochas Ultramáficas
(5) <i>Pelítico-carbonático</i>	9,67	0,40	Rochas Carbonáticas
(6) <i>Quartzítico</i>	56,16	2,33	Quartzito
			Milonito
(7) <i>Xistoso</i>	462,58	19,12	Xisto
			Xisto / Quartzito
			Gnaiss / Xisto

Fonte: adaptado de Collares e Gomes (2013).

A Figura 11 ilustra a Carta de Sistemas Aquíferos da BH-SJ. Como observado nas Tabelas 4 e 5, a unidade aquífera predominante é a Gnaissico-granítica (58,03%) e envolve os domínios hidrogeológicos do embasamento Cristalino e Metassedimentos-Metavulcânicas, ambos caracterizados como aquíferos fissurais, apresentando comportamento similar quanto à sua baixa favorabilidade hidrogeológica devido à sua baixa porosidade primária.



Fonte: Collares e Gomes (2013).

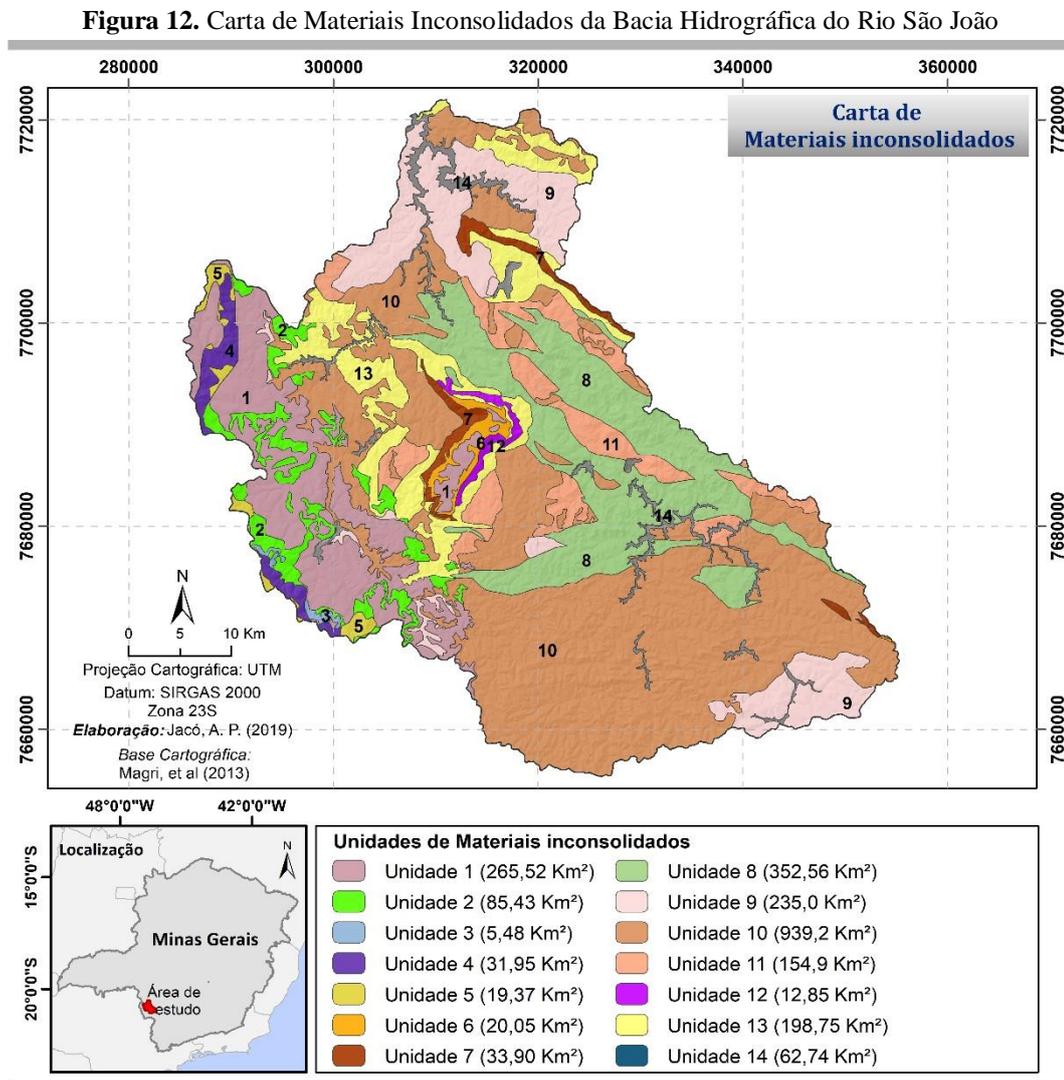
Os Sistemas Pelítico-carbonático, Quartzítico, Xistoso e parte das Coberturas Detríticas apresentam menor ocorrência, entretanto, também são representados pelos domínios Cristalino e Metassedimentos-Metavulcânicas, com comportamento de aquíferos fissurais.

O Sistema Arenítico ocorre no domínio Sedimentar da Bacia do Paraná, caracterizado como um aquífero poroso de alta favorabilidade hidrogeológica, com ocorrência de arenitos, folhelhos e siltitos das Formações Aquidauana e Botucatu. Quanto ao Sistema Basáltico, envolve o domínio de rochas Vulcânicas, com ocorrência de basaltos e diabásios da Formação Serra Geral e classifica-se como um aquífero fissural.

2.1.9 Materiais Inconsolidados

Os materiais inconsolidados podem ser caracterizados como sendo todos os materiais geológicos, residuais ou retrabalhados, sobrepostos ao substrato rochoso inalterado ou pouco alterado (COLLARES E LORANDI, 1995).

Os estudos e levantamento dos dados de materiais inconsolidados da bacia hidrográfica do Rio São João foram realizados por Magri et al. (2013) com base na metodologia proposta por Collares e Lorandi (1995). Foram mapeadas 14 unidades de materiais inconsolidados, onde cada uma delas é representada por um perfil de alteração típico. A Figura 12 representa o Mapa de Materiais Inconsolidados da BH-SJ e as características sobre o perfil de cada unidade mapeada são apresentadas na Tabela 6.



Fonte: Magri et al. (2013).

Tabela 6. Caracterização das Unidades de Materiais Inconsolidados quanto ao seu perfil de alteração

Materiais inconsolidados	Características do perfil de alteração	Área (%)
Unidade 1	Predominam os horizontes de solo laterítico e saprolítico, ambos com textura arenosa e grandes espessuras. Ocorrem sobrepostos a arenitos das Formações Aquidauana e Botucatu, associados a relevos colinosos, de morrotes, morros com encostas suavizadas e platôs.	11,0
Unidade 2	Predomínio dos horizontes saprolítico (textura areia) e saprolito (areia com pouco silte) e elevada presença de micas. Em alguns locais ocorre o solo laterítico com textura arenosa e espessura inferior a 10m. Estes materiais ocorrem sobrepostos a arenitos das Formações Aquidauana e Botucatu.	3,53
Unidade 3	Predominam os afloramentos de arenitos silicificados das Formações Botucatu e Aquidauana, que podem estar sotopostos a uma camada de solo laterítico com textura arenosa e espessura de no máximo 1m. Esta unidade ocorre nas escarpas com declividades maiores que 30%.	0,23
Unidade 4	Corresponde a afloramentos de basaltos e diabásios da Formação Serra Geral, estando sotopostos diretamente a um horizonte de solo laterítico com espessura de até 0,7m. São constituído por uma argila areno-siltosa.	1,32
Unidade 5	Compreende solos lateríticos, bem evoluídos, com cerca de 50% de fração argila e espessura mínima de 2m. Estão associados a basaltos e diabásios da Formação Serra Geral e ocorrem em quase todos os tipos de relevo da bacia.	0,82
Unidade 6	Predomina o saprolito com textura arenosa, sotoposto ao solo laterítico composto por uma areia com pouca argila e espessura inferior a dois metros. Ocorrem em relevos com declividades menores que 30%, associados a quartzitos dos Grupos Canastra e Araxá.	0,83
Unidade 7	Caracteriza-se por apresentar uma camada de solo laterítico composta por areia com pouca argila e espessura inferior a meio metro. Sotoposto a este material, estão os quartzitos dos Grupos Canastra e Araxá.	1,4
Unidade 8	Predomina o horizonte de saprolito constituído por um silte arenoso. Encontra-se sobreposto a este horizonte, o solo laterítico com textura argilo-arenosa e espessura inferior a 2m. Ocorre em relevos de morros e morrotes sustentados por gnaisses e rochas ultramáficas do Complexo de Barbacena.	14,6
Unidade 9	Corresponde ao horizonte de solo laterítico, possui espessura entre 1 e 15m e é constituído por uma areia argilosa. Sotoposto a este horizonte, ocorrem os solos saprolítico (argila areno-siltosa) e saprolito (silte arenoso). Esta unidade ocorre em relevos colinosos, sustentados por gnaisses e xistos com intercalações ocasionais de quartzito do Grupo Araxá.	9,72
Unidade 10	Possui horizonte de solo laterítico com textura argilo-silto-arenosa e espessura inferior a 10. Encontra-se sobreposto ao saprolítico areno-siltoso, com espessura máxima de 7m, seguido pelo saprolito, constituído por um silte arenoso. Associada a platôs, morrotes e morros com declividades menores que 15%, apresenta ocorrência rochosa análoga à Unidade 09.	38,8
Unidade 11	Predomínio do horizonte saprolítico (entre 0,5 e 4m) e textura areno-siltosa. Encontra-se sotoposto ao solo laterítico silto-argiloso e sobreposto ao saprolito silte arenoso. Ocorre em morros com declividades maiores que 15%, associados a gnaisses do Grupo Araxá e Complexo Barbacena.	6,4
Unidade 12	Corresponde aos afloramentos de xistos e mica-xisto com intercalações de quartzito, sotopostos a uma pequena camada de solo saprolito composto por silte com pouca areia. Ocorre em escarpas com declividades acima de 30%.	0,53
Unidade 13	Predominam os horizontes de solo saprolítico (silto-argiloso, espessura entre 1 e 3m) e saprolito (siltoso, espessura inferior a 6 metros), sobrepostos a xistos com intercalações ocasionais de quartzito. Acima destes, ocorre o solo laterítico (silte argiloso), com espessura inferior a 2 metros.	8,22
Unidade 14	Corresponde a depósitos aluvionares das áreas de inundação adjacentes aos canais de drenagem da área de estudo. Apresentam textura bastante variável devido aos processos de deposição fluvial.	2,6

Fonte: Magri et al. (2013).

2.1.10 Pedologia

Os estudos pedológicos geralmente são obtidos partir da avaliação dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do perfil que o representa, podendo incorporar aspectos ambientais como clima, vegetação, relevo, condições hídricas, dentre outros. Desta forma, a classificação adotada em todo território nacional é representada pelas seguintes classes: argissolos, cambissolos, chernossolos, espodosolos, gleissolos, latossolos, luvisolos, neossolos, nitossolos, organossolos, planossolos, plintossolos e vertissolos (EMBRAPA SOLOS, 2018).

O Mapeamento dos solos na bacia hidrográfica em estudo foi realizado por Andrade e Fonseca (2013), baseando-se no método de modelagem geomorfopedológica, proposto por Andrade et al. (1998), consistindo no cruzamento de informações entre a geologia e o relevo, levantamentos de campo, ensaios de laboratório e determinação das classes de solo seguindo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos proposto pela Embrapa Solos.

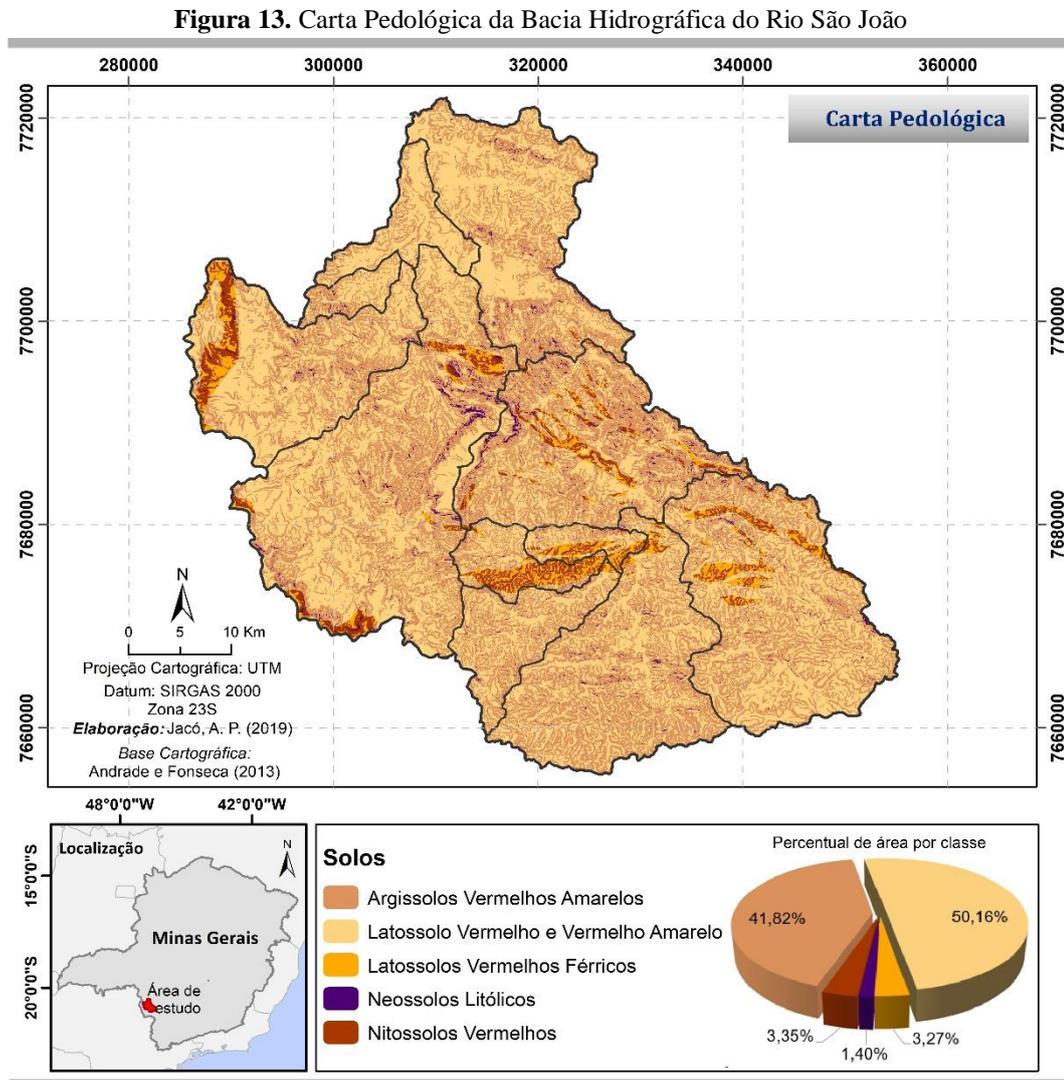
Com isto, foram mapeadas caracterizadas cinco classes de solos na BH-SJ, conforme descrito na Tabela 7.

Tabela 7. Caracterização pedológica da BH-SJ

Solos	Características pedológicas	Área
(1) <i>Argissolos Vermelho Amarelos</i>	Ocorrem em relevos ondulados a montanhosos. Apresentam propriedades químicas geralmente superiores aos latossolos, mas com sérias limitações ao uso agrícola devido à susceptibilidade a erosão e ao impedimento à mecanização por causa do relevo movimentado em que se encontram.	1011,2 km ² (41,82%)
(2) <i>Latossolo Vermelho e Vermelho Amarelo</i>	Os latossolos em geral situam-se nas partes mais suavizadas da paisagem. Estes, são originados de rochas ácidas e intermediárias, com propriedades químicas favoráveis para exploração agropecuária; os latossolos originados de rochas psamíticas, definidos dentro desta classe, possuem menores teores de argila (textura média).	1212,8 km ² (50,16%)
(3) <i>Latossolos Vermelhos Férricos</i>	Estes solos são originados de rochas básicas (Formação Serra Geral e intrusões nas rochas ácidas), os quais apresentam excelentes propriedades para exploração agropecuária.	79,2 km ² (3,27%)
(4) <i>Neossolos Litólicos</i>	Concentram-se nas áreas mais íngremes da paisagem, onde ocorrem relevos montanhosos e escarpados, conferindo-lhes limitações quanto ao uso agrícola.	33,7 km ² (1,4%)
(5) <i>Nitossolos Vermelhos</i>	Situam-se em ambiente semelhante ao dos argissolos. Suas características químicas são excelentes, entretanto, em função do relevo muito movimentado, apresentam sérias limitações ao uso agrícola.	80,8 km ² (3,35%)

Fonte: adaptado de Andrade e Fonseca (2013).

A Carta Pedológica da área de estudo é apresentada na Figura 13. Dentre as classes de solos que ocorrem na área de estudo, observa-se a predominância dos Latossolos Vermelho e Vermelho Amarelo (50,16%) e dos Argissolos Vermelho Amarelos (41,82%).



Fonte: Andrade e Fonseca (2013).

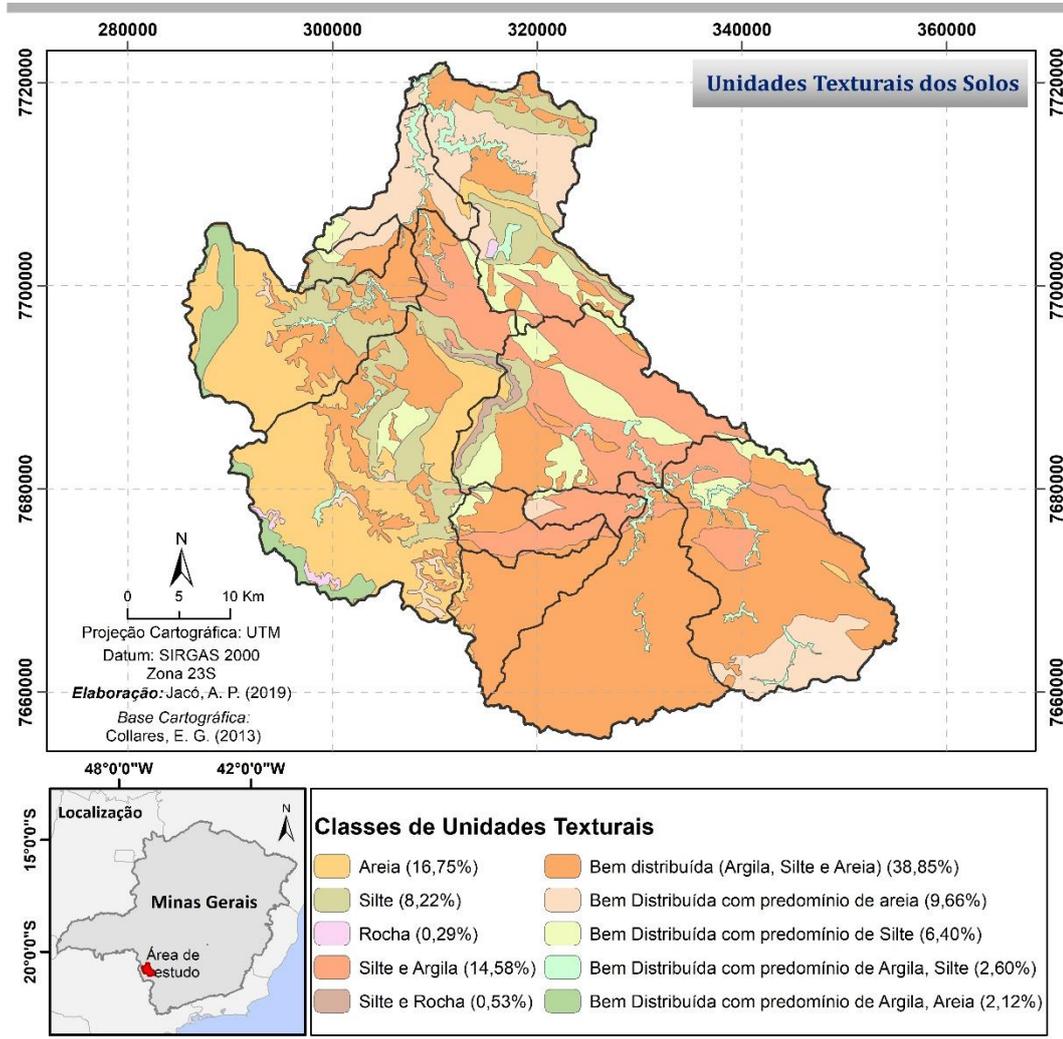
2.1.11 Unidades Texturais

Conforme descrito por Collares (2013b), a Carta de Unidades Texturais da área de estudo (Figura 14) foi elaborada tomando-se por base os perfis típicos das unidades de materiais inconsolidados e a classificação textural dos horizontes de solo mais representativos e apresenta as variações texturais típicas em suas unidades.

As classes foram definidas considerando-se o predomínio de uma única fração granulométrica (argila, silte ou areia) ou o não predomínio de uma única fração, caracterizando-

o como “bem distribuído” (COLLARES, 2013b). As unidades texturais predominantes na área de estudo são constituídas pelos solos de textura bem distribuída, com ocorrência de argila, silte e areia, ocupando cerca de 38,85% da área de estudo. Em seguida, predominam os solos de textura arenosa (16,75%) e os solos de Silte e Argila (14,58%). As demais classes ocorrem em menores proporções (< 10%) ao longo da área da bacia.

Figura 14. Carta de Unidades Texturais da Bacia Hidrográfica do Rio São João



Fonte: Collares (2013b).

2.2 CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DO CLIMA

2.2.1 Temperatura

De acordo com o sistema de classificação climática global proposto por Köppen-Geiger e Ströhler-Arthur (GALVANI, 2012), considerado em diversas pesquisas como referência até os dias atuais, o território nacional foi dividido em dois grandes grupos climáticos: um influenciado pelas massas de ar equatoriais e outro pelas massas de ar polares. Desta forma, o clima da região sul e sudoeste de Minas Gerais, onde localiza-se a área de estudo, se classifica como tropical de altitude influenciado por massas de ar polares, com características de clima temperado úmido de inverno seco e verão moderado.

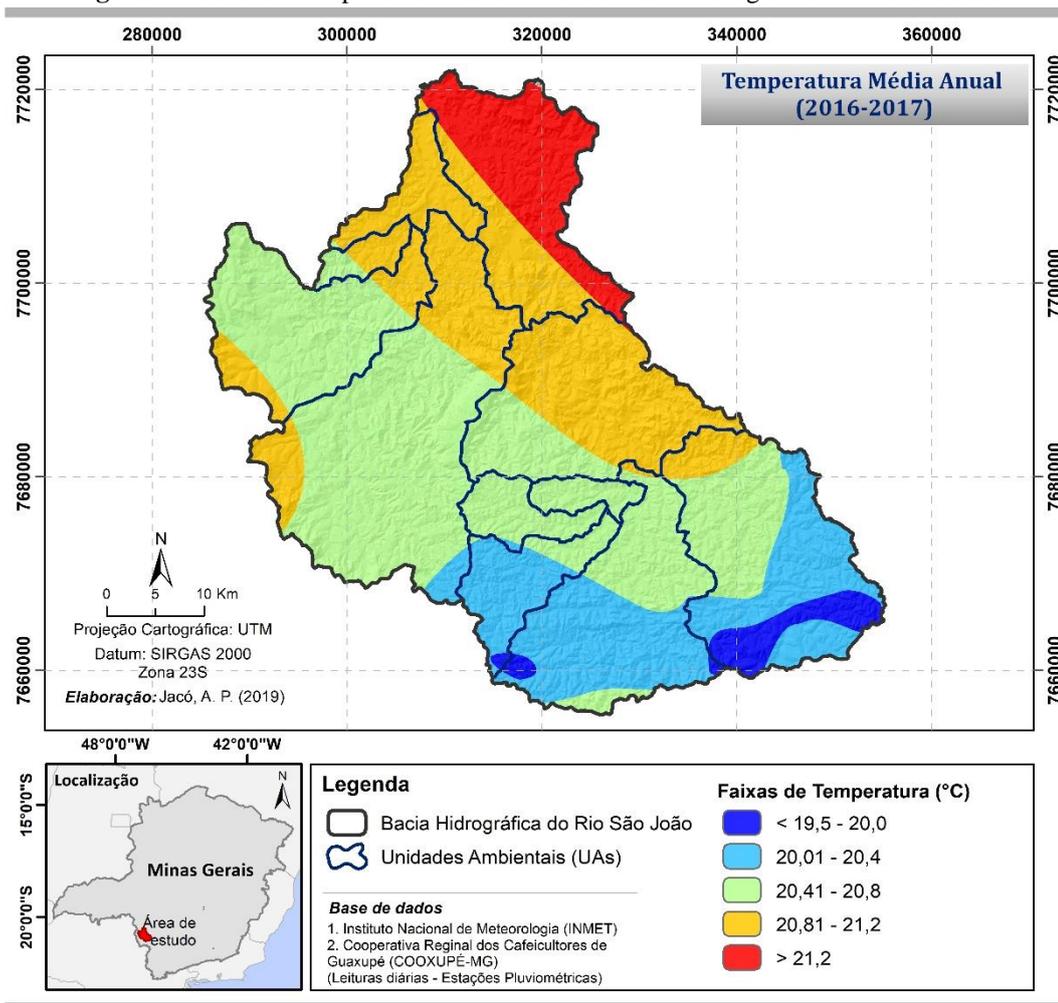
Segundo o IBGE (2002), no agrupamento das diferentes zonas climáticas da temperatura e umidade do território brasileiro (escala 1:5.000.000), a região em estudo se enquadra na Zona Tropical Brasil Central, compreendendo as seguintes faixas climáticas: subquente úmido, indo de norte a sul da bacia (3 meses secos, média entre 15 e 18°C em pelo menos 1 mês); subquente semi-úmido, ao extremo norte da bacia (4 a 5 meses secos, média entre 15 e 18°C em pelo menos 1 mês); mesotérmico brando úmido, em pequena faixa de oeste a sudoeste da bacia (média entre 10 e 15° C, 1 a 2 meses secos).

Em escala local, a análise dos estudos climáticos realizados por Dias et al. (2013a) na área de abrangência da bacia hidrográfica do Rio São João considera os seguintes aspectos: a temperatura média anual avaliada entre 2000 e 2009 apresentou média geral de 21°C, com variações de 19,4°C a 22,5°C, sendo as temperaturas mais baixas concentradas na porção sul, com aumento gradativo para a porção norte/noroeste da bacia.

Considerou-se relevante realizar um diagnóstico atual dos índices de temperatura na área de estudo. Desta forma, foi elaborada a Carta da Temperatura média anual da BH-SJ (Figura 15), compreendendo faixas médias de ocorrência entre os anos de 2016 e 2017. Os dados foram obtidos por estações pluviométricas presentes na área de estudo, disponibilizados pelas Plataformas digitais: INMET e SISMET COOXUPÉ-MG.

Verifica-se que no período de 2016 e 2017 a BH-SJ apresentou temperatura média de 20,6°C. Em sua porção sul, caracterizada pelas áreas de hipsometria mais elevada, encontram-se as faixas mais amenas de temperatura (19,5°C a 20,4) e no sentido a porção norte da bacia, nota-se um aumento gradativo de temperatura, compreendendo faixas que vão de 20,41 a 21,6°C.

Figura 15. Carta da Temperatura Média Anual da Bacia Hidrográfica do Rio São João



Fonte: autora.

2.2.2 Pluviosidade

Conforme apresentado por Dias et al. (2013a), a pluviosidade total anual da bacia do Rio São João apresenta variação de 1.425 mm a 1.670 mm (valores obtidos entre os anos de 1980 e 2009), sendo os menores valores concentrados na porção sudeste e vão se elevando em direção às porções noroeste e sudoeste da área de estudo. Em geral, o regime pluviométrico da área apresenta sazonalidade anual com períodos úmidos e secos bem definidos; o trimestre chuvoso corresponde aos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e o trimestre seco aos meses de junho, julho e agosto.

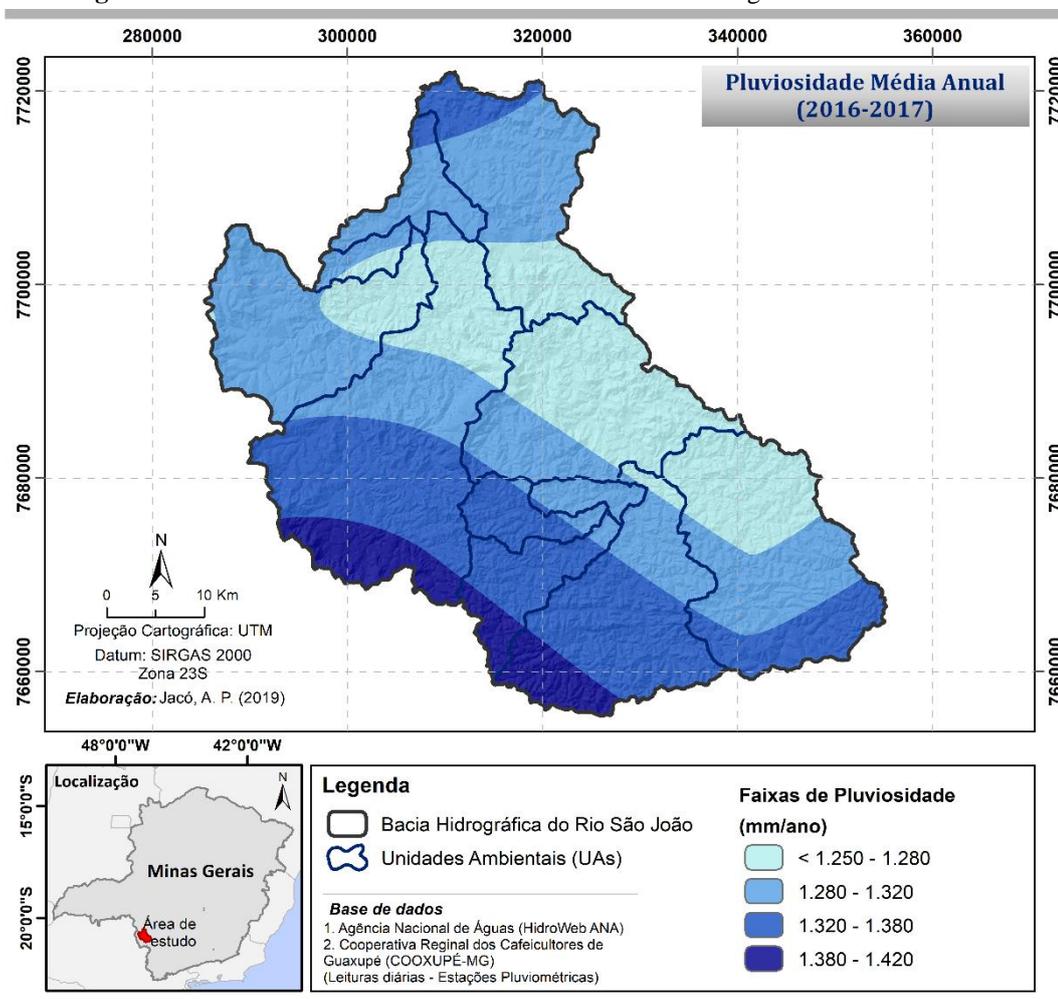
De acordo com o Relatório 2018 sobre a Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, o período de 2012 a 2017 foi caracterizado em todo território brasileiro por apresentar volumes totais de chuva nos períodos úmidos muito abaixo da média e variações atípicas de temperaturas mensais. Analisando os dados das estações pluviométricas em 2017, destaca-se que a Região

Hidrográfica do Paraná, em especial a região do sul de Minas Gerais e norte de São Paulo apresentaram elevados déficits de precipitação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018).

O diagnóstico atual dos índices pluviométricos foi realizado com base nos dados coletados por estações pluviométricas distribuídas na região da bacia e ao seu entorno, disponibilizados pelas Plataformas digitais: HidroWeb ANA e INMET.

A Figura 16 apresenta a Carta da Pluviosidade Média Anual, compreendendo faixas de ocorrência entre os anos de 2016 e 2017. As regiões sul e sudoeste da bacia apresentam os maiores valores de precipitação, que vão de 1.320 a 1.420 mm/ano, já na porção leste da bacia, são evidenciados valores abaixo de 1.280 mm/ano. Observa-se ainda que neste período as faixas de pluviosidade apresentaram valores abaixo dos registrados nos estudos de Dias et al. (2013a) e citados anteriormente.

Figura 16. Carta da Pluviosidade Média Anual da Bacia Hidrográfica do Rio São João

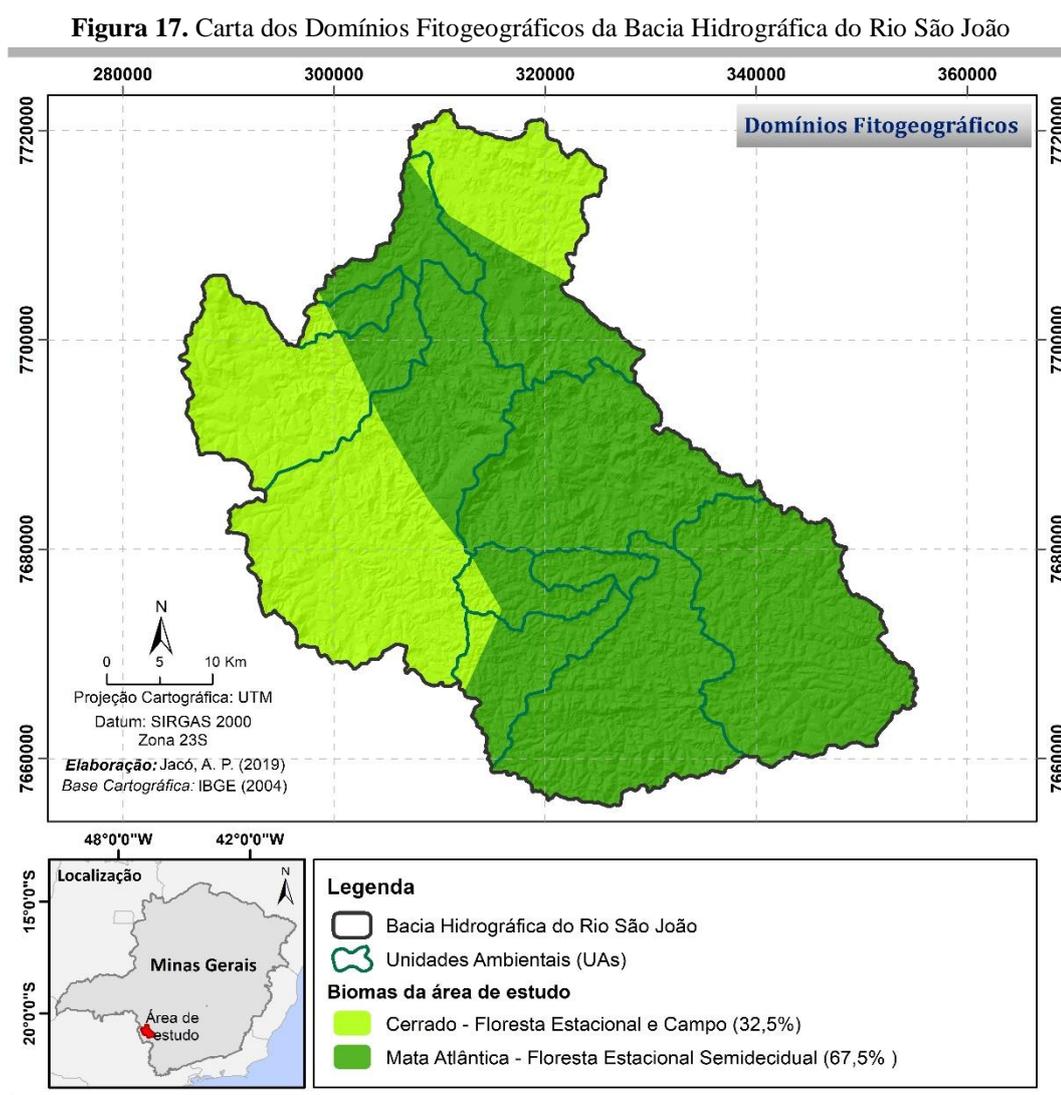


Fonte: autora.

2.3 CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DOS MEIOS BIÓTICO E ABIÓTICO

2.3.1 Domínios Fitogeográficos

O território da BH-SJ é composto por dois domínios fitogeográficos distintos: Mata Atlântica e Cerrado. De acordo com o IBGE (2004), o bioma predominante na área em estudo é a Mata Atlântica, ocupando 67,5% da área, sendo os outros 32,5% composto pelo bioma Cerrado (Figura 17).



Fonte: IBGE (2004).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL. MMA, 2018), a Mata Atlântica é evidenciada por formações florestais nativas (Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, ou Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional Decidual), e ecossistemas associados (manguezais, campos de altitude, vegetações de restingas, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste). Já o domínio do Cerrado, reconhecido pela sua elevada biodiversidade florestal, apresenta fragmentos florestais menos densos, com formações savânicas e campestres compostas por gramíneas, arbustos e espécies arbóreas esparsas.

2.3.2 Cobertura Florestal

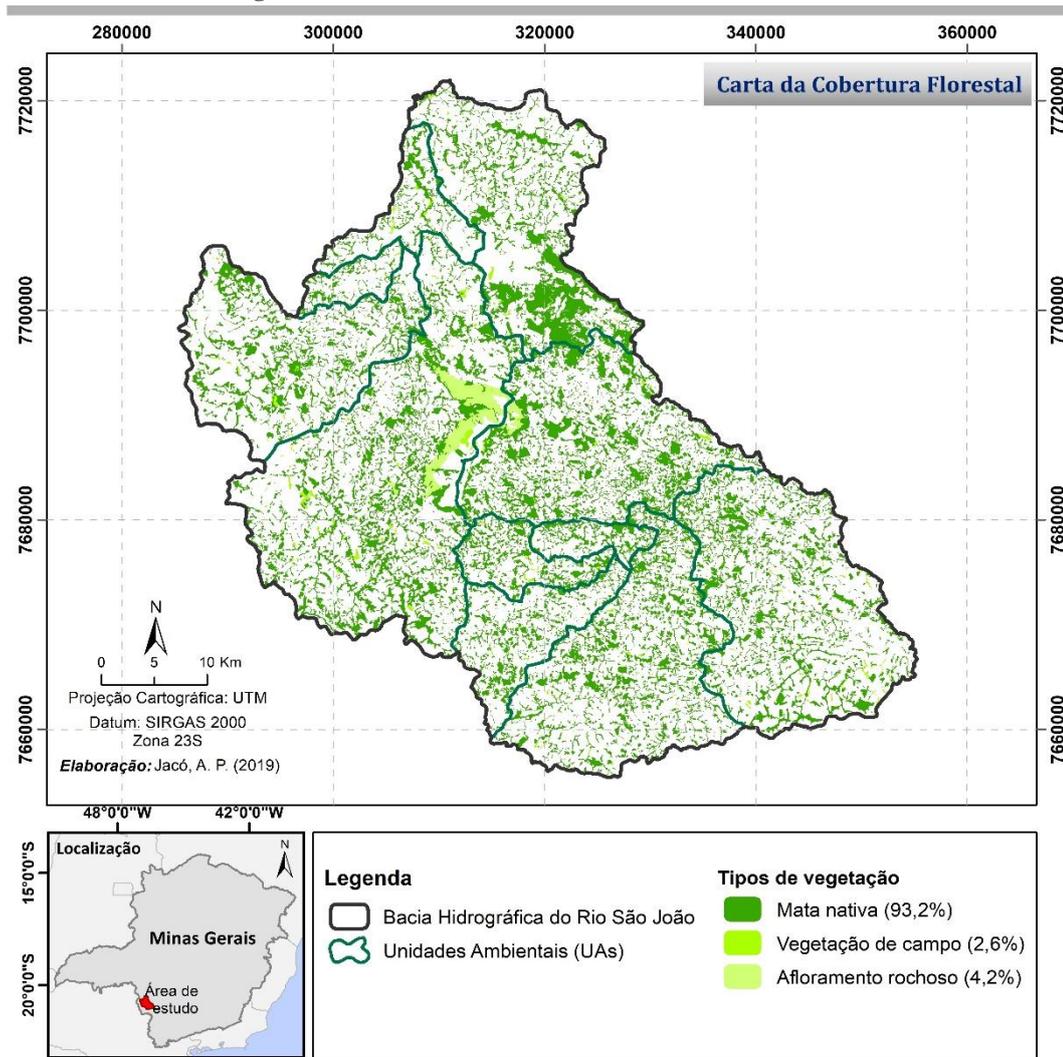
A cobertura florestal na região de estudo é composta por Floresta Estacional Semidecidual Montana e Floresta Estacional Cerrado com alguns fragmentos de Campo arbustivo e Reflorestamento com Eucalipto (CARVALHO & SCOLFORO, 2008).

Quanto à ocorrência de vegetação na BH-SJ, foi identificada por meio do mapeamento dos fragmentos florestais, utilizando como base cartográfica as imagens de satélite *RapidEye* de alta resolução espacial (5,0 metros) datadas de 2017 (PLANET Team, 2017). Desta forma, verificou-se que a bacia hidrográfica dispõe de aproximadamente 617,48 km² de vegetação nativa (cerca de 25,54% da área da bacia), conforme apresentado na Carta da Cobertura Florestal exposta pela Figura 18.

A cobertura florestal da bacia ocorre por todo seu território de maneira bastante fragmentada. Dentre os fragmentos mapeados, a vegetação predominante, com cerca de 575,32 km² (93,2%) é composta por mata nativa, evidenciando áreas de vegetação mais densa e campos de altitude característicos do bioma Mata Atlântica.

As áreas de Campo com ocorrência de vegetação rasteira ou arbustiva, predominantes do bioma Cerrado, compreendem 15,83 km² (2,6%) de extensão. Os outros 26,33 km² (4,2%) mapeados caracterizam-se por um afloramento rochoso de grande porte presente no território da bacia, que foi mapeado de forma distinta devido às suas características inerentes, entretanto, este fragmento encontra-se no domínio do bioma Mata Atlântica, observando-se nesta unidade geomorfológica uma significativa ocorrência de culturas permanentes e temporárias.

Figura 18. Carta da Cobertura Florestal da área de estudo



Fonte: autora.

2.3.2 Uso e Cobertura do Solo

Metodologia de mapeamento

O mapeamento do Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio São João foi realizado por meio do reconhecimento das classes e subclasses de uso e cobertura presentes na área de estudo. O processamento dos dados se deu por meio dos *Softwares* ENVI 4.7[®] e SIG ArcGis 10.5[®], considerando a escala de 1:50.000.

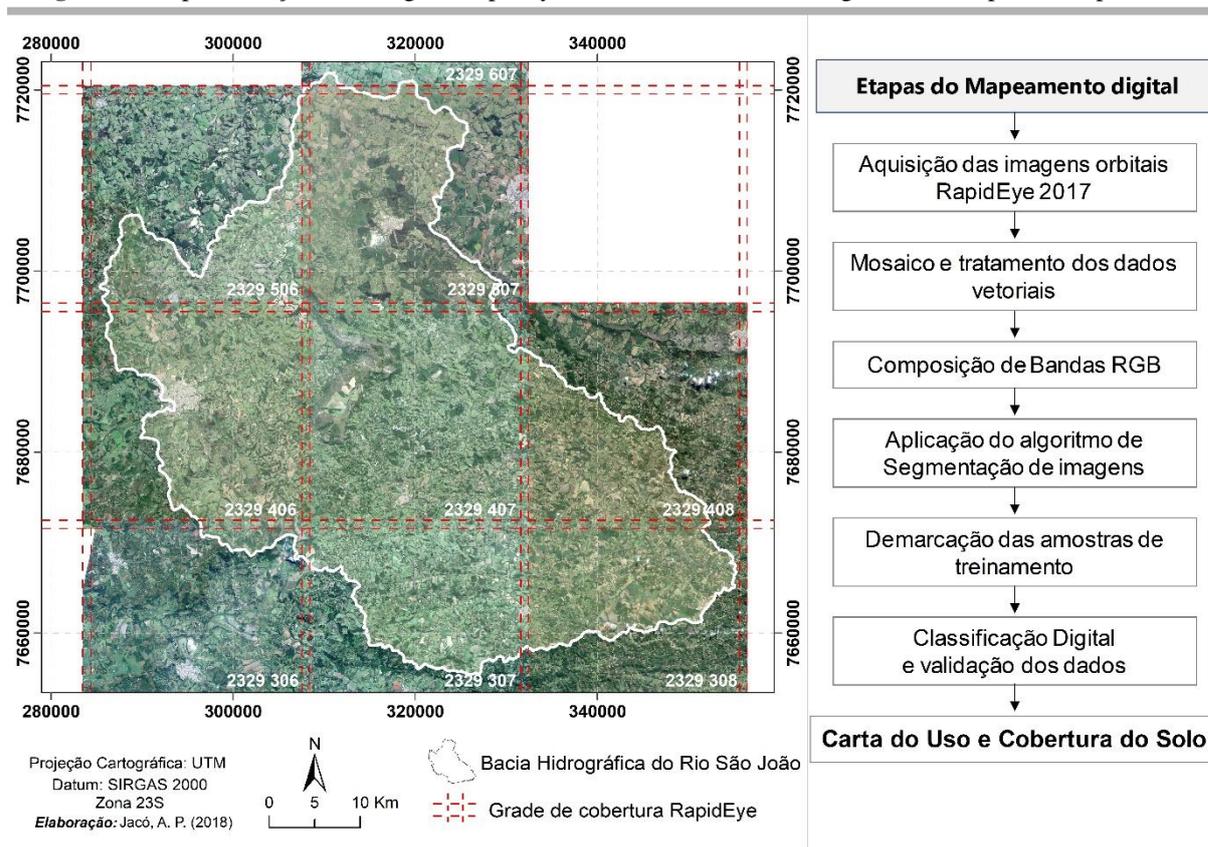
As imagens orbitais utilizadas como base para o mapeamento provêm da Constelação de Satélites RapidEye, do sensor *REIS (RapidEye Earth Imaging System)*, sendo multiespectrais e ortorretificadas, com resolução espacial de 5,0 metros e resolução radiométrica de 12 bits, adquiridas na plataforma de dados do Programa de Educação e Pesquisa do Planet Team (2017).

O sistema de imagens RapidEye se destaca no âmbito do geoprocessamento pela sua capacidade de adquirir dados de geoespaciais de grandes áreas em alta resolução espacial e espectral, com passagens diárias em suas faixas, considerando o fato de que os cinco satélites da Constelação RapidEye estão equipados com sensores idênticos e localizados no mesmo plano orbital. Além de disponibilizar as cenas do sensor *REIS* em tempo real, o pipeline de imagens do Planet corrige uma variedade de fatores, tais como a ortorretificação e correções radiométricas, fornecendo dados prontos para análise, sem pós-processamento ou intervenção manual (PLANET, 2018).

Na realização deste trabalho, foi necessária a aquisição de 09 imagens para contemplar todo o território da Bacia. Em análise visual aos dados da Plataforma Planet, foram selecionadas as ortoimagens da passagem do sensor *REIS* nas datas de 11 e 12 de maio de 2017, identificadas com melhor resolução espectral e cobertura de nuvens menor que 2,0%. A Figura 19 apresenta a espacialização das imagens multiespectrais e o fluxograma das etapas aplicadas no desenvolvimento do mapeamento.

As imagens obtidas foram importadas para o *Software* ENVI 4.7[®] para construir um Mosaico único das ortoimagens, utilizando a ferramenta *Toolbox – Mosaicking – Seamless Mosaic*. Para a equalização da tonalidade das imagens tomou-se como referência a imagem n^o 2329 506 do conjunto de imagens, inserindo-a como primeira imagem na ordem do mosaico. Em seguida, no SIG ArcGis 10.5[®], foram executados procedimentos básicos de processamento, como a redefinição do sistema de projeção cartográfica para SIRGAS 2000 e o *Clip* da área de interesse.

Figura 19. Espacialização das imagens RapidEye na área da BH-SJ e fluxograma das etapas do mapeamento

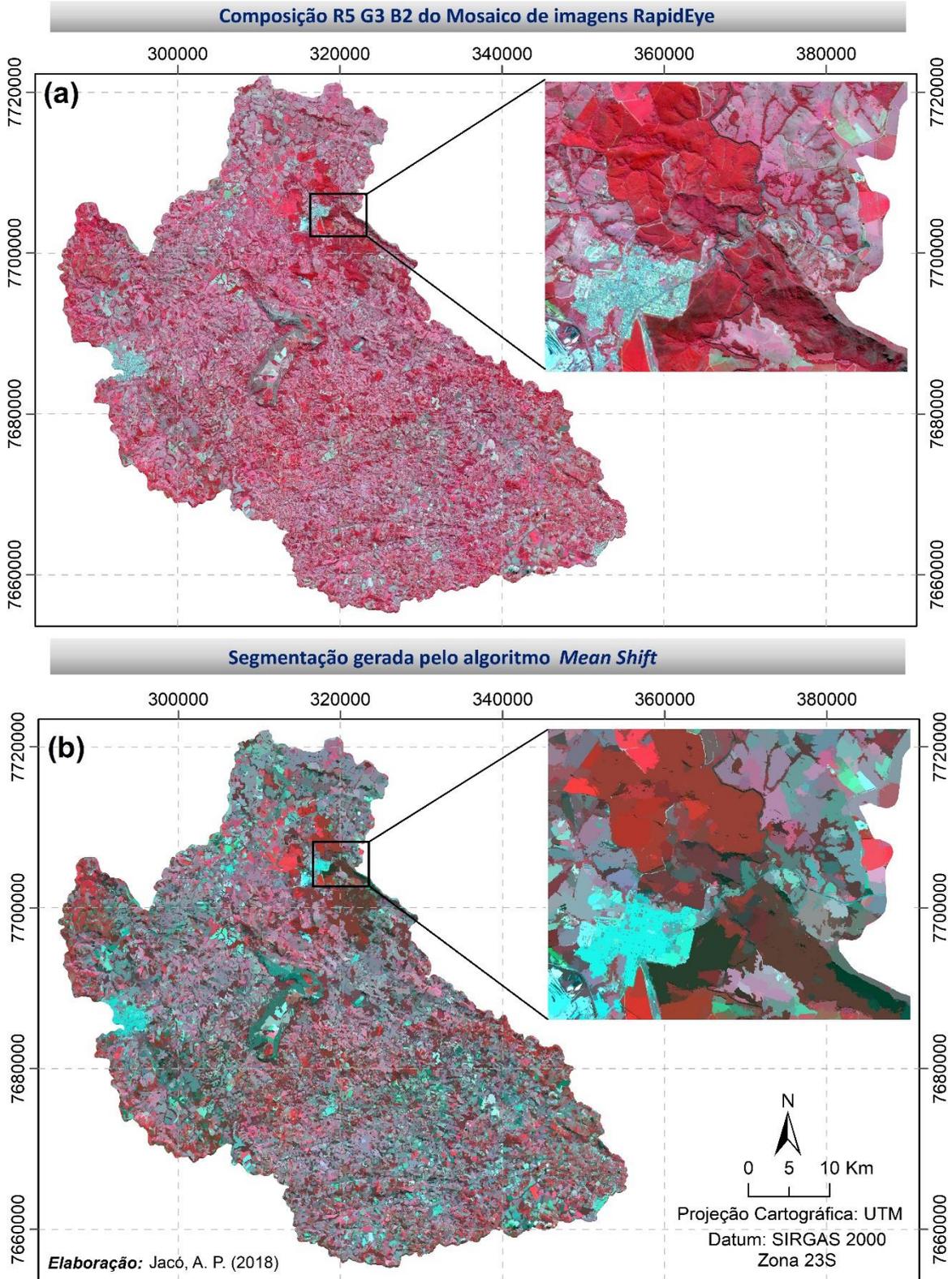


Fonte: autora.

Para realizar a segmentação do mosaico, fez-se necessário aplicar a composição de bandas que melhor definissem os segmentos de interesse, por meio do algoritmo *Composit Bands* da ferramenta *Data Management Tools – Raster – Raster Processing*. Vale ressaltar que, este procedimento é exequível nas imagens RapidEye por serem compostas por cinco Bandas espectrais: Blue (440 a 510 nm); Green (520 a 590 nm); Red (630 a 685 nm); Red Edge (690 a 730 nm) e, NIR - Infravermelho próximo (760 a 850 nm). Não sendo necessário realizar a computação das estatísticas espectrais.

Por meio de diversos testes, definiu-se como mais adequada na aplicação do processamento a Composição R5 G3 B2. A Segmentação da imagem foi realizada pelo algoritmo *Segment Mean Shift*, do SIG ArcGis 10.5[®]. A Figura 20 (a) ilustra a Composição RGB utilizada e (b) a segmentação gerada a partir do algoritmo *Mean Shift*, com uma perspectiva dos detalhes dos processamentos.

Figura 20. (A) Composição das bandas espectrais; (B) Segmentação da imagem RapidEye



Fonte: autora.

Após o processo de segmentação, foram selecionadas amostras de treinamento para identificar as classes de uso, por meio da ferramenta *Training Sample Manager*, do conjunto de ferramentas *Image Classification* do ArcGis 10.5[®]. Para a categorização dos segmentos e definição das classes de uso e cobertura do solo, utilizou-se como base a classificação do Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2013) e a metodologia aplicada por Dias et al. (2013b) na região de interesse do estudo, desta forma, foram definidas para este estudo 16 classes e 30 subclasses de uso e cobertura do solo.

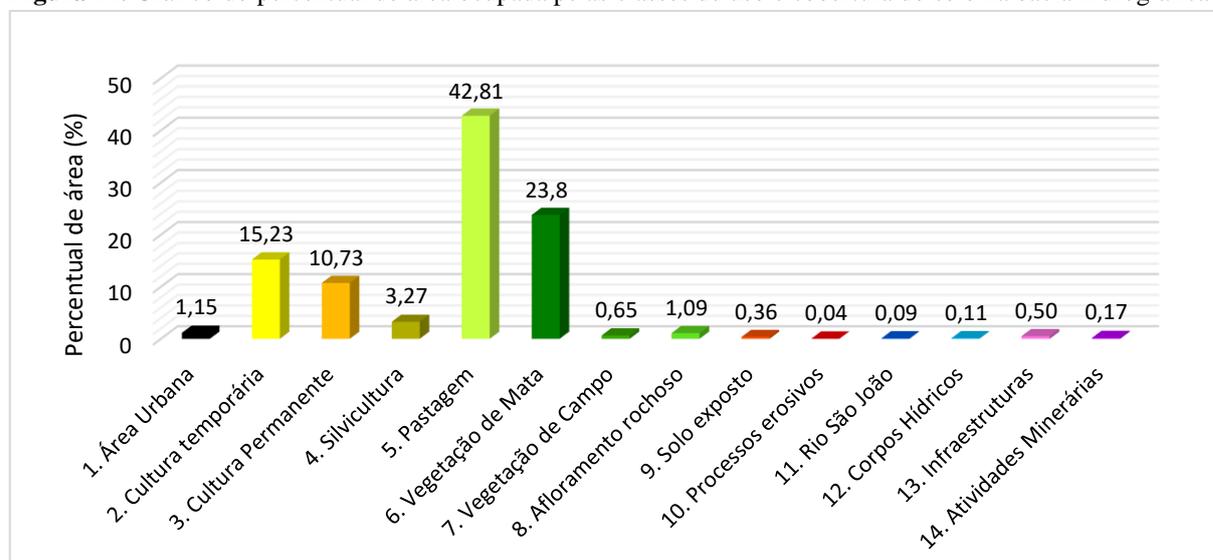
O processamento da classificação digital da imagem segmentada foi executado no *Software ENVI 4.7[®]*, onde foram geradas classes e subclasses a partir de dados pré-estabelecidos por meio da amostragem realizada e a classificação final foi definida aplicando-se o processo *Toolbox - Classification – Classification Workflow* no *Software ENVI*.

Por fim, realizou-se no SIG ArcGis o refinamento da classificação final, a quantificação dos resultados e a elaboração do Mapa de Uso e Cobertura do solo da bacia.

Resultados

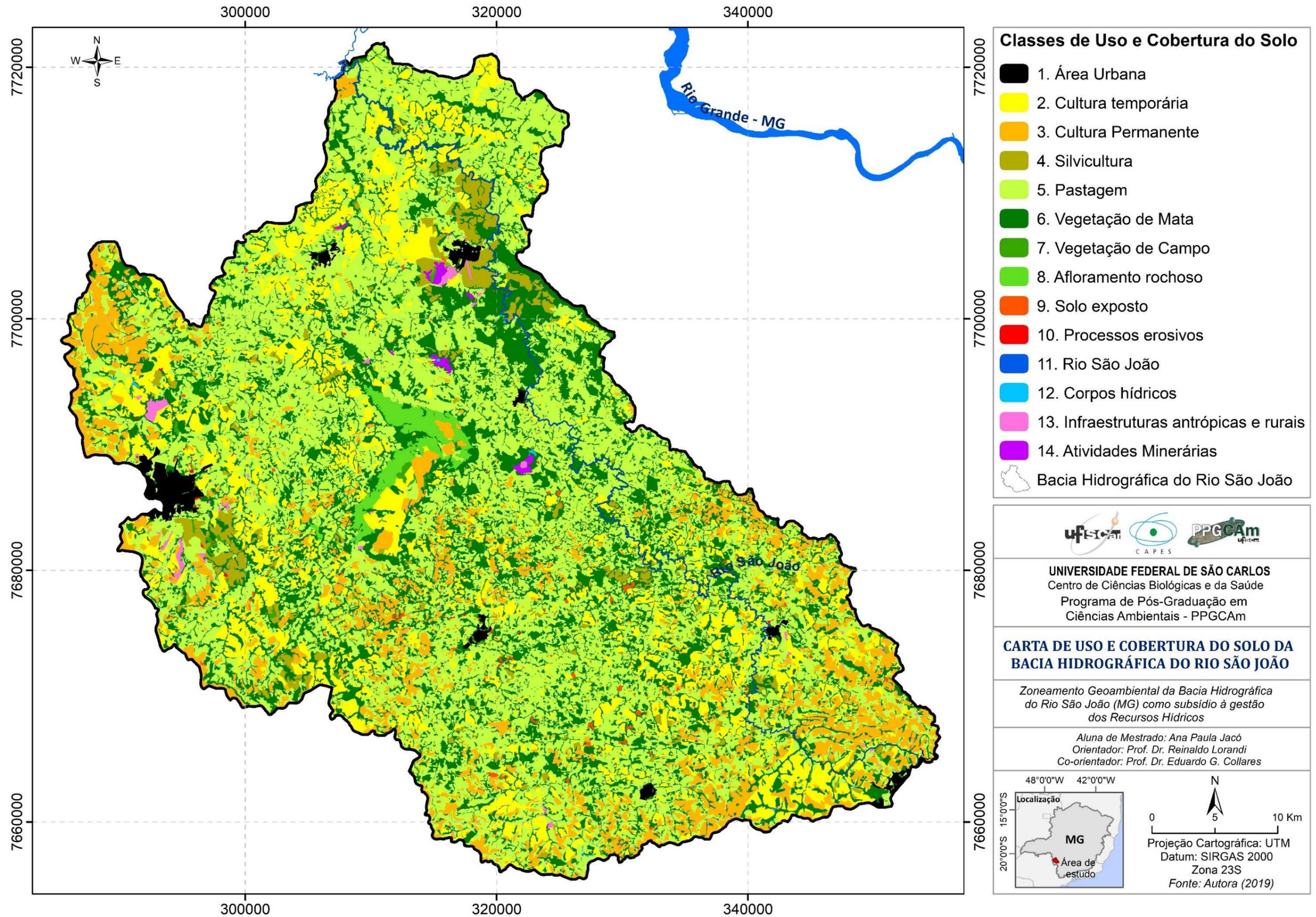
Como resultado ao mapeamento das classes de uso e cobertura do solo foram identificados e classificados 14 tipos de uso e cobertura. As classes determinadas, bem como seus percentuais de ocorrência são apresentados no gráfico exposto pela Figura 21 e a Carta de Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio São João é apresentado na Figura 22.

Figura 21. Gráfico do percentual de área ocupada pelas classes de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica



Fonte: autora.

Figura 22. Carta das Classes de Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio São João



Devido à sua extensa diversidade de uso e cobertura, a BH-SJ apresenta diversos fatores que afetam direta ou indiretamente o seu regime hídrico, como, o elevado nível de ocupações urbanas e rurais, suas intervenções antrópicas, incluindo o desenvolvimento de atividades agrícolas e industriais diversas e a exploração mineral.

Em termos de análise do uso e cobertura do solo, verificou-se que a pastagem é o tipo de uso que possui maior predominância, caracterizada por campos limpos, campos sujos e pastagens naturais, apresenta cerca de 1.035 km² de extensão, ou seja, 42,81% da área total da bacia. Consequentemente, foi possível identificar que as atividades pecuárias, bem como as ocupações rurais de pecuária intensiva, são praticadas por toda a área de estudo.

As culturas agrícolas (permanentes e temporárias) ocupam aproximadamente 25,96% do uso do solo, sendo a cultura temporária a que mais se destaca nesta categoria e refere-se, principalmente, ao cultivo de cana-de-açúcar, milho, soja e batata. As culturas permanentes referem-se, sobretudo, ao cultivo de cafés, os quais concentram-se nas regiões de relevo mais acentuado, compreendendo altitudes superiores a 980 metros.

Em menor proporção, ocupando 3,27% das classes, tem-se a silvicultura, com predomínio do plantio de eucalipto de forma fragmentada e distribuída pela área de estudo, sendo o ponto de maior concentração localizado ao norte da bacia, nas proximidades da área urbana do município de Itaú de Minas e ao entorno de uma fábrica de mineração.

A cobertura florestal, definida pelas classes de mata, campo e afloramento rochoso, ocorre de maneira fragmentada ao longo de seu território e compreende 25,54% da área da bacia.

Quanto ao mapeamento das áreas urbanas, estas foram subdivididas em centro urbano; expansão urbana; vazio urbano; e distrito industrial. Juntas, são compreendidas por oito municípios e somam cerca de 27,84 km², o que corresponde a 1,15% da área total da bacia. Apesar de os Municípios de São Sebastião do Paraíso e Nova Resende englobarem o domínio parcial de suas áreas urbanas no território da bacia, ambos estão entre os três que possuem maior perímetro urbana, com aproximadamente 14,27 km² e 2,82 km², respectivamente, ficando entre eles o município de Itaú de Minas com cerca de 3,62 km² de extensão.

Os solos expostos correspondem a 0,36% do território da bacia e envolvem áreas de solos descobertos pela retirada total de culturas temporárias ou por ocorrência de supressão de vegetação. Já a classe de processos erosivos (0,04%) envolve áreas com ocorrência de erosões de pequeno e médio portes, voçorocas, áreas de movimentos de massa e áreas descobertas por atividades de extração mineral inativas. Estas classes, apesar de sua pequena extensão, são

vistas como atividades de elevado potencial de degradação dos recursos hídricos devido às fragilidades de seu terreno quanto ao escoamento superficial, carreamento de sedimentos para os cursos d'água e a baixa ocorrência de infiltração de água no solo.

Devido à escala de trabalho, realizou-se de forma manual o mapeamento do Rio São João (principal afluente de drenagem da bacia em estudo) ao longo de todo seu percurso, desde à nascente até a sua foz, ocupando cerca de 0,09% da área da bacia (2,28 km²). Os corpos hídricos correspondem a todos barramentos com área de drenagem (lâmina d'água) superior à 850 m². No total, foram identificados 324 barramentos de grande porte ao longo de todo território da bacia, que juntos somam cerca de 2,64 km². Posteriormente, para fins de análise da demanda hídrica foram mapeados também todos os barramentos de pequeno e médio portes compreendidos na área de abrangência da bacia hidrográfica.

A classe de infraestruturas antrópicas e rurais identificadas na área em estudo correspondem a todos os tipos de atividade e/ou empreendimentos pontuais que estejam ligados à alguma ação modificadora do meio físico, desta forma, esta classe foi dividida conforme as seguintes subclasses: ocupações rurais; indústrias atacadistas, alimentícias, químicas, metalúrgicas e agroindústrias; aeroportos; PCHs; subestação de grande porte; estação elevatória de água; disposição de resíduos sólidos. O mapeamento das ocupações rurais levou em consideração os pontos de edificações rurais identificados ao longo de toda área de estudo, os chacreamentos e os galpões de pecuária intensiva localizados nas áreas rurais. Ao total, esta classe compreende 0,50% da área da bacia, cerca de 12,02 km².

Na mineração, a BH-SJ se destaca por sua elevada concentração de atividades de extração mineral e áreas de empréstimo, tais como, a extração de cascalho, areia, argila, xistos e rochas para a construção civil. Ao todo, foram identificados 30 locais com diferentes tipos de atividades minerárias em funcionamento atual, destacando-se as áreas de dragagem de areia e argila. Destacam-se ainda, três jazidas de extração mineral de grande porte que compreendem a área de estudo, as quais podem ser observadas na Figura 23 (Quadros a, b e c).

(a) Mineradora localizada na Rodovia MG 050, a menos de 1km da área urbana do município de Itaú de Minas, composta por jazidas de calcário e argila utilizados, principalmente, para a produção de cimento *Portland*, cal, argamassas e calcário agrícola;

(b) Mineradora situada na zona rural do município de Pratápolis - MG, à cerca de 3km a leste da Rodovia MG 050 no trecho entre os municípios de São Sebastião do Paraíso e Itaú de Minas, atuando na extração mineral para produção de Termo fosfatos, Ferro Níquel, Silicato

de Magnésio e Pedra Brita direcionados para as áreas agrícolas, metalúrgicas e Construção Civil;

(c) Jazida de Minério de Níquel localizada a cerca de 5,0 km da sede municipal de Fortaleza de Minas. Considerada até o ano de 2013 como uma das maiores unidades de extração e produção de níquel do Brasil, além da produção de ácido sulfúrico a partir de enxofre elementar, entretanto, atualmente encontra-se com parte de sua operação temporariamente suspensa.

Figura 23. Imagens das maiores jazidas de mineração da área de estudo



(a) Mineradora composta por jazidas de calcário e argila, Itaú de Minas-MG; (b) Mineradora de matéria prima para Termo fosfatos, Ferro Níquel, Silicato de Magnésio e Pedra Brita, Pratápolis-MG; (c) Mineradora Minério de Níquel, Fortaleza de Minas-MG. **Fonte:** Imagem Digital Goble. GOOGLE. Google Earth Pro®, 2018.

2.4 REFERÊNCIAS

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2018. 88 p. Disponível em: < <http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em: jan. 2019.

ANDRADE, H.; FONSECA, L. D. Capítulo 7: PEDOLOGIA. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico**; Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. (Pág. 165 - 170) 273 p.

ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; RESENDE, R. J. T. P.; ESTEVES, D. R.; BRASIL, J. P. K.; ROSA, E.R. **Diagnóstico ambiental do município de Lavras com base em dados georreferenciados do meio físico: IV-principais grupamentos de solos**. In: XXXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Poços de Caldas, v.4, 1998.

BOMFIM, L. F. C. **Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: concepção e metodologia**. In. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Luís. Anais... São Luís: [s.n.], 2010, 18 p. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/922>>. Acesso em: jul. 2018.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 08 jan. 1997.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Biomás Brasileiros**. 2018. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/biomass.html>>. Acesso em: jul. 2018.

CARVALHO, M.T., SCOLFARO, J.R.S. **Inventário Florestal de Minas Gerais: Monitoramento da Flora Nativa 2005-2007**. Lavras, Editora: UFLA, 2008. 357 p. Disponível em: <<http://www.inventarioflorestal.mg.gov.br/>>. Acesso em: jun. 2018.

COLLARES, E. G (a). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos Metodológicos**; Vol. 1. Passos, MG: Edifesp, 2013. 287 p.

COLLARES, E. G (b). Capítulo 9: Mapa de Unidades Texturais. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico**; Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. 273 p.

COLLARES, E. G.; GOMES, D. M. Capítulo 6. GEOLOGIA. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico**; Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. (pág. 154 – 164) 273 p.

COLLARES, E. G.; GOMES, D. M.; SANTOS, B. M. dos. Capítulo 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS: Compartimentação em macrounidades e unidades ambientais. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos Metodológicos**; Vol. 1. Passos, MG: Edifesp, 2013. (Pág. 49 - 62) 287 p.

COLLARES, E. G.; LORANDI, R. A Caracterização dos Materiais Inconsolidados na Compartimentação Geotécnica da Região de Bragança Paulista – SP. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 1. São Paulo, 1995. **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, v. especial, p. 115-120.

_____ Conjunto de dados: ASF DAAC Earth Data 2018, ALOS PALSAR, Fine-Beam Dual-polarization (FBD) 2010; Includes Material © JAXA / METI 2010. Disponível em: <<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>>. Acesso em: ago. 2018.

_____ Conjunto de dados. HidroWeb ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Rede Hidrometeorológica Nacional: Séries Históricas de Estações (Séries 2016 e 2017)**. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb>>. Acesso em: set. 2018.

_____ Conjunto de dados. INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações e dados: Dados Meteorológicos (Séries 2016 e 2017)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: set. 2018.

_____ Conjunto de dados. SISMET COOXUPÉ. Sistema Meteorológico - Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé Ltda. **Dados Históricos: Estações Meteorológicas e Pontos Pluviométricos (Séries 2016 e 2017)**. Disponível em: <<http://sismet.cooxupe.com.br:9000/>>. Acesso em: set. 2018.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Folha SF 23 – Rio de Janeiro**. 2004. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb>>. Acesso em: ago. 2018.

_____ CPRM. Mapas Hidrogeológicos. **Mapa de Domínios/Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil**. 2007. Escala 1:2.500.000. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br>>. Acesso em: ago. 2018.

_____ CPRM. Mapas Hidrogeológicos. **Carta Hidrogeológica do Brasil ao Milionésimo, Folha SF 23 – Rio de Janeiro**. 2015. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br>>. Acesso em: ago. 2018.

DIAS, C. C. (a); PEJON, O. J.; SILVA, J. A.; COLLARES, A. C. Z. B.; COLLARES, E. G. Capítulo 1: CLIMA. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico**; Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. (Pág. 31 - 81) 273 p.

DIAS, C. C (b); VILLELA, F. R; SANTOS. B. M. dos; COLLARES, E. G.; PEJON, O. J. Capítulo 6: ASPECTOS METODOLÓGICOS: Diagnóstico do uso e ocupação do solo. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos Metodológicos**; Vol. 1. Passos, MG: Edifesp, 2013 (Pág. 68 - 83), 287 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Solos: **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília-DF, 2018, 5ª ed. 590p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos>>. Acesso em: jan. 2019.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3ª ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro. CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

FOLHARINI, Saulo de Oliveira; OLIVEIRA, Regina Célia de. Proposta de zoneamento ambiental para o município de São José do Rio Pardo-SP. **Geografia**, Londrina, v. 22, n. 1, p.95-116, 2013.

GALVANI, Emerson. **Climatologia I: Unidades Climáticas Brasileiras**. USP. Departamento de Geografia. 8 p. 2012.

GRECCHI, R. C. **Zoneamento Geoambiental da Região de Piracicaba-SP, com auxílio de Geoprocessamento**. 1998. 132f. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

GOOGLE. Google Earth Pro®. Versão 7.3, 2018. **Image Digital Goble**. Nota: imagem digital (a) Itaú de Minas, MG; (b) Pratápolis, MG; (c) Fortaleza de Minas, MG. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: out. 2018.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades: Censo Demográfico - Informações Estatísticas**, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: ago. 2018.

_____. **IBGE Cidades: Censo Demográfico - Informações Estatísticas**, 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: ago. 2018.

_____. **IBGE. Manual Técnico de Uso da Terra**. Manuais técnicos em geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 3ª edição. 2013. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/>>. Acesso em: jun. 2018.

_____. **IBGE. Mapa de Clima do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 1 mapa. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html?=&t=downloads>>. Acesso em: ago. 2018.

_____. **IBGE. Mapa de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 3ª ed. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: ago. 2018.

_____. **IBGE. Mapa de Biomas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: jul. 2018.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - TOPODATA, Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. **Forma de Terreno**. 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: out. 2018.

LEAL, Antônio Cezar. Gestão Urbana e regional em bacias hidrográficas: interfaces com o gerenciamento de recursos hídricos. In: BRAGA, Roberto; CARVALHO, Pompeu Figueiredo de. **Recursos Hídricos e planejamento urbano e regional**. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal – Deplana – UNESP – IGCE, 2003. p. 65-85.

LORANDI, Reinaldo; CANÇADO, Cláudio Jorge. Parâmetros físicos para Gerenciamentos de Bacias Hidrográficas. In: SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antônio F. M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus – BA: Editus, 2008. p. 37-65.

MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio Pereira. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência Francesa**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 688 p.

MAGRI, R. A. F.; PEJON, O. J.; COLLARES, E. G. Capítulo 5: CARACTERIZAÇÃO DO RELEVO. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico**; Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. (Pág. 118 – 153) 273 p.

MAGRI, R. A. F.; PEJON, O. J.; FONSECA, L. D.; ALMEIDA, A. F.; COLLARES, E. G. Capítulo 8: MATERIAIS INCONSOLIDADOS. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico**; Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. (Pág. 118 – 153) 273 p.

MATOS, B. A.; TEIXEIRA, A. L. F.; BURNETT, J. A.; ZOBY, J. L. G.; FREITAS, M. A. S. F. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos nas 12 Regiões Hidrográficas do Brasil**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007. São Paulo, SP. 2007. 20 p. 2007. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=3&ID=19>>. Acesso em: ago. 2018.

NAGHETTINI, M.; VON SPERLING, M. Capítulo 2: Características hidrológicas de rios. In: VON SPERLING, Marcos (Org.). **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias). Vol. 7. 2007. 588 p.

PLANET Team. **PLANET APPLICATION PROGRAM INTERFACE: In Space for Life on Earth**. San Francisco, CA. 2017. Disponível em: <<https://www.planet.com/markets/education-and-research/>>. Acesso em: mar. 2018.

PLANET, Labs Inc. **PLANET IMAGERY: Product Specifications**. Last updated January 2018. 57 p. Disponível em: <https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_December2017.pdf>. Acesso em: jun. 2018.

PLANET. **RAPIDEYE™ IMAGERY: Product Specifications**. Version 6.1, updated January 2016. 50 p. Disponível em: <<https://www.planet.com/products/satellite-imagery/files/160625-RapidEye%20Image-Product-Specifications.pdf>>. Acesso em: jun. 2018.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. dos; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de Bacia Hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antônio F. M.. **Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus – BA: Editus, 2008. p. 17-35.

ROSA, Tobias Marangon. **Reaproveitamento de águas pluviais: custo de implantação deste sistema no presídio central de Porto Alegre**. 2012. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SANTIN, Janaína Rigo; GOELLNER, Emanuelle. A Gestão dos Recursos Hídricos e a Cobrança pelo seu Uso. **Sequência**, Florianópolis, v. 34, n. 67, p.199-221, dez. 2013.

SANTOS, Sinval Neve. **Águas transfronteiriças superficiais: o caso da bacia do rio Danúbio**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

SCHMITZ, Arno Paulo. **Economia Regional: Ensaios aplicados em economia dos recursos hídricos**. 2014. 164 f. Tese (Doutorado) - Curso de Desenvolvimento Econômico, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Haven: Transacion. **American Geophysical Union**, volume 38, p. 913-920, 1957.

_____. *Software*. ESRI (Environmental Systems Research Institute). **ArcGIS® for the desktop**: ArcMap, version 10.5, 2017.

_____. *Software*. ENVI (Environment for Visualizing Images) **ENVI® for the desktop**, version 4.7, 2009.

TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS. Coleção ABRH de Recursos Hídricos; Vol.4. 2009. 943 p.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-15318-RPE/818). 2008 (Boletim), 75p.

WWAP. UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME - UN-Water. **The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water**. 154 p. Paris: UNESCO, 2018. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/pt/brasil/natural-sciences/environment/wwdr/>>. Acesso em: nov. 2018.

ZUQUETTE, Lázaro V.; GANDOLFI, Nilson. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, (2004). 190 p.

3. ZONEAMENTO DOS ATRIBUTOS GEOAMBIENTAIS ASSOCIADOS AO POTENCIAL DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO - MG

3.1 RESUMO

O conceito de disponibilidade hídrica consiste na estimativa da quantidade de água ofertável aos mais diversos usos e caracteriza-se como um instrumento de fundamental importância ao subsídio à gestão dos recursos hídricos e ordenamento territorial de bacias hidrográficas. Notavelmente, os atributos geoambientais relacionados aos meios físico, biótico e abiótico de uma bacia hidrográfica estão diretamente associados ao seu potencial hídrico. Desta forma, o objetivo da pesquisa foi de elaborar a Carta da Disponibilidade Hídrica Superficial da Bacia Hidrográfica do Rio São João, MG. Esta bacia compreende uma área de drenagem de 2.417,70 km² de extensão e constitui-se uma importante unidade de gerenciamento da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande (GD7), a qual é amplamente utilizada como fonte de abastecimento hídrico de seus municípios de abrangência. O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas, que constaram de um diagnóstico dos componentes geoambientais e seus atributos associados à estimativa da disponibilidade hídrica, determinação de pesos aos atributos utilizando-se do método de análise multicriterial AHP (*Analytic Hierarchy Process*), sobreposição dos planos de informação no SIG ArcGis 10.5[®] e o Zoneamento Geoambiental (ZG) quanto ao potencial de disponibilidade hídrica das unidades ambientais da bacia. Como resultado final, obteve-se a Carta da Disponibilidade Hídrica Superficial, que evidencia de forma qualitativa as áreas com maiores e menores potenciais com base no fator de influência de cada atributo geoambiental e apresenta as seguintes classes de disponibilidade hídrica e seus respectivos percentuais de área: Muito Baixa (20,13%); Baixa (28,41%); Regular (26,10%); Alta (17,61%); Muito Alta (7,75%). As regiões sul e sudoeste da bacia, onde localizam-se as áreas de cabeceira, concentram-se áreas de melhor favorabilidade hídrica. No sentido à sua jusante (norte), a disponibilidade hídrica apresentou valores que vão de regulares à muito baixos, representando as áreas com menor disponibilidade hídrica. Os resultados obtidos refletem um mecanismo de suporte à decisão e direcionamento de ações de planejamento, visando a regulação e gestão dos recursos hídricos nesta bacia hidrográfica.

Palavras chave: Gestão; Recursos Hídricos; Geoprocessamento; Álgebra de Mapas; AHP.

3.2 INTRODUÇÃO

A água se caracteriza como um recurso natural renovável por meio do ciclo hidrológico e apresenta importância fundamental tanto para a manutenção e sobrevivência da vida no planeta quanto para o desenvolvimento humano. Entretanto, o uso indiscriminado deste recurso, associado à baixa eficácia de sua gestão, vem aumentando a competição e gerando conflitos entre os diferentes usuários (SALIS et al., 2017; OLIVEIRA, 2018) sendo, portanto essencial a necessidade de se estabelecer um processo adequado de gestão aos diversos usos dos recursos hídricos disponíveis.

A disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas tem sido amplamente discutida em vários países do mundo, sobretudo no Brasil (SALIS et al., 2017), mesmo sendo considerado um país privilegiado em termos de disponibilidade hídrica, pois conta com cerca de 28% da disponibilidade sul-americana e 12% dos recursos disponíveis no mundo (VICTORINO, 2007).

Visando esta problemática, a Agência Nacional das Águas (ANA, 2017) aponta em seu Relatório sobre a Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil que a estimativa da disponibilidade hídrica pode se caracterizar como uma importante ferramenta de subsídio à gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, sendo que, por meio deste diagnóstico é possível entender os elementos que afetam a sua dinâmica e determinar um nível de garantia para seus usuários. Além disso, a bacia hidrográfica é vista como a unidade de gestão mais apropriada para aplicação de estudos qualitativos e quantitativos dentro da perspectiva hidrológica (PIRES, SANTOS E DEL PRETTE, 2008).

Considera-se como disponibilidade hídrica superficial, o acúmulo de água disponível nos mananciais associados à uma probabilidade de ocorrência, sendo representada principalmente pelas vazões de cursos d'água e pelo potencial ao acúmulo subsuperficial de água na interface solo-vegetação (ANA, 2010; 2017; WWAP, 2018), associando-se respectivamente aos componentes climáticos, hidrológicos e dos meios físico, biótico e abiótico.

Nos últimos anos, tem-se aplicado diversos métodos para simular processos hídricos no recorte aos estudos em bacias hidrográficas (DESSU et al., 2014; PEREIRA et al., 2016; FARAMARZI et al., 2017; WANG e FU, 2018), sendo muito comum a utilização de equipamentos para a obtenção de dados hidrológicos diretamente no corpo hídrico. Entretanto, determinar a disponibilidade de água no solo em termos quantitativos nem sempre é factível quando se deseja realizar um estudo em escalas pormenorizadas, devido à inconsistência de

dados regionais ou inviabilidade econômica na implementação de equipamentos na abrangência de uma unidade territorial, levando a resultados generalizados a partir de observações pontuais.

Para a realização da estimativa da disponibilidade hídrica, deve-se dispor de uma base de informações que contenha dados relacionados às características físicas da bacia, dados hidrológicos como séries de precipitação, vazão e dados climáticos (BARBAROTTO JR., 2014). Desta forma, a análise e integração dos atributos relacionados à disponibilidade hídrica de uma bacia podem ser determinados por meio de um diagnóstico geoambiental da área em estudo, sendo o zoneamento geoambiental (ZG) considerado uma ferramenta eficiente neste processo.

O ZG tem por finalidade o levantamento, avaliação e análise dos atributos relacionados ao meio físico (ZUQUETTE, 1987) e apresenta-se em diversos estudos como o método mais apropriado para a aplicação de um diagnóstico integrado em uma bacia hidrográfica (MENEZES e ZUQUETTE, 2004; TRENTIN e ROBAINA, 2005; RIGHI e ROBAINA, 2008; DE NARDIN e ROBAINA, 2010; DIAS, TRENTIN e SCCOTI, 2015). Além disso, Zuquette (1987) aponta que os atributos escolhidos devem relacionar entre si, desta forma, quanto maior o número de elementos representados para um determinado atributo, maior será a importância de sua representação.

Para determinar a importância dos atributos avaliados devem-se combinar classificações relativas à pesos e prioridades de relevância. O uso de matrizes de decisões é uma das soluções mais comuns na classificação dos atributos e redução de subjetividade entre os mesmos, sendo elaboradas por meio de Análise de Decisão Multicriterial (ADMC) (COSTA et al., 2019).

O Processo Hierárquico Analítico (AHP), desenvolvido por Saaty (1980), é considerado como um dos métodos de análise multicriterial mais eficientes e amplamente utilizado em diversas áreas do conhecimento, o qual consiste na criação de uma hierarquia de decisão que envolve comparação de pares e ponderação de critérios quantitativos e qualitativos, possibilitando atribuir valores distintos de acordo com a importância da classe do atributo avaliado.

Em ambiente SIG, a ADMC representa um avanço em relação ao cruzamento de Planos de Informação (PI's) e os critérios, normalmente, são integrados com a utilização de pesos de importância, obtidos com o apoio de ferramentas de suporte à decisão (TRAFICANTE et al., 2017).

Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo realizar o Zoneamento dos atributos associados à disponibilidade hídrica superficial da bacia hidrográfica do Rio São João por meio

da elaboração de um documento cartográfico interpretativo de auxílio à gestão dos recursos hídricos, por meio de uma metodologia passível de ser replicada em outras unidades ambientais.

O método de análise multicriterial AHP foi escolhido visando sua efetividade na hierarquização de importância dos dados, que associados a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permite realizar o cruzamento e integração dos atributos geoambientais, resultando em um documento cartográfico final de zoneamento em escala de 1:50.000.

A área em estudo é amplamente utilizada como fonte de abastecimento hídrico de seus municípios de abrangência, portanto, o estudo sobre a disponibilidade hídrica da bacia representa um mecanismo de suporte à decisão e direcionamento de ações de planejamento, visando, por meio de um diagnóstico integrado, a regulação e gestão dos recursos hídricos nesta bacia hidrográfica.

3.3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

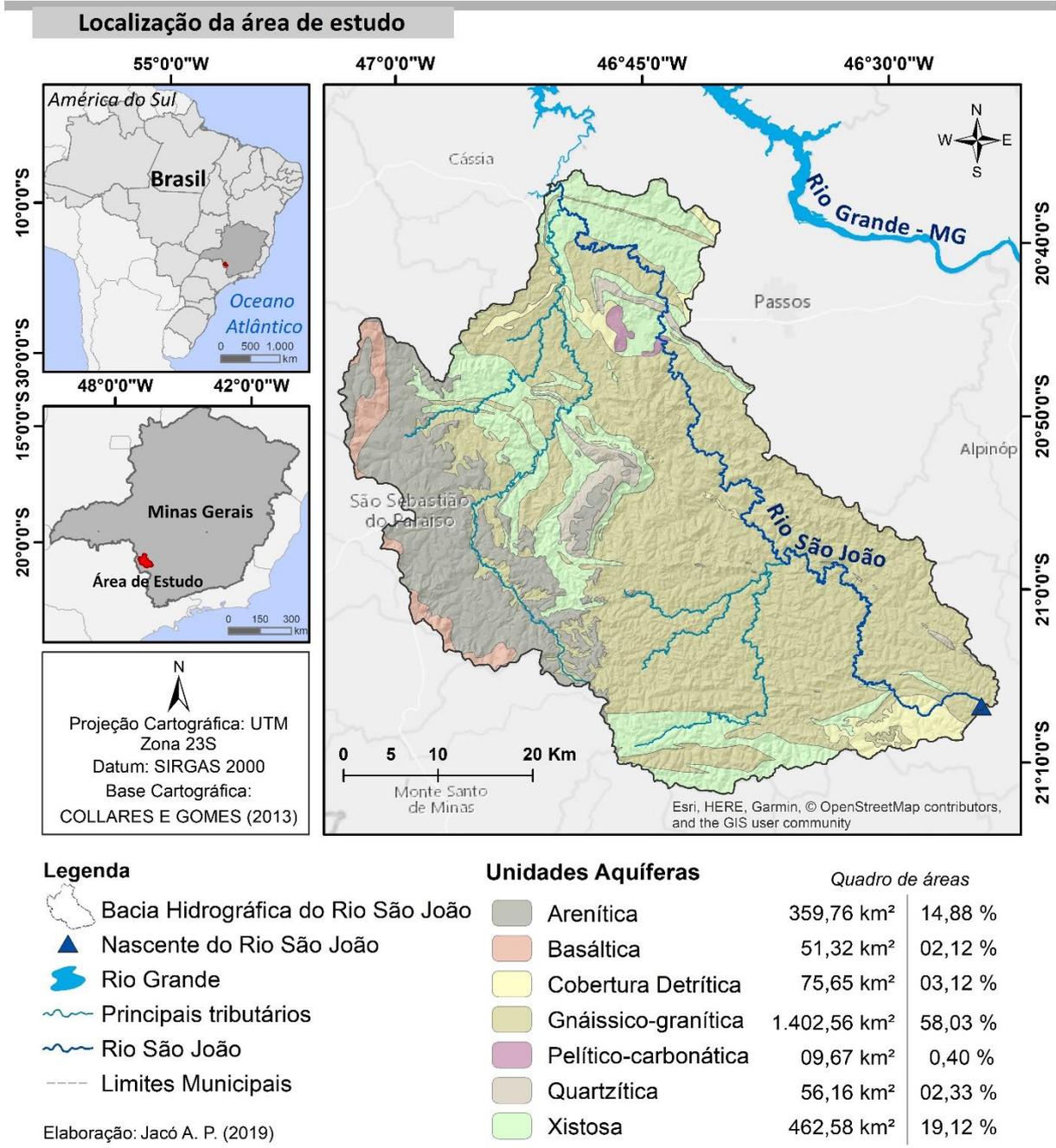
A Bacia Hidrográfica do Rio São João (BH-SJ), com área de drenagem de 2.417,7 km² está localizada à sudoeste do estado de Minas Gerais, Brasil, entre as coordenadas geográficas 21°12'26,9" e 20°35'25,15" de latitude Sul e 47°03'18" e 46°23'30" de longitude Oeste. Se caracteriza como a mais extensa das 34 Sub-bacias que compreendem a GD7, ocupando cerca de 24,75% de sua área total. A GD7 por sua vez, é representada como uma das Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH's) da porção mineira da bacia hidrográfica do Rio Grande (IGAM, 2018).

Conforme dados censitários quanto à densidade demográfica (IBGE, 2010), calcula-se que a área da bacia apresenta uma população estimada de 116.053 habitantes envolvendo totalmente cinco municípios (Bom Jesus da Penha, Fortaleza de Minas, Itaú de Minas, Jacuí e Pratápolis) e parcialmente seis municípios (Cássia, Nova Resende, Passos, São Pedro da União, São Sebastião do Paraíso e São Tomás de Aquino) de Minas Gerais, sendo que destes onze, oito apresentam suas sedes municipais localizadas área de abrangência da bacia.

Com relação à Geologia e Hidrogeologia, seu território envolve duas províncias geológicas distintas: em sua porção oeste é caracterizada por terrenos sedimentares das formações Botucatu e Aquidauana, apresentando pequenas ocorrências litológicas ígneas vulcânicas da formação Serra Geral, ambas da idade Fanerozóica. Em sua maior parte, na porção que vai de norte/nordeste a sul, apresenta terrenos metamórficos composto por rochas cristalinas metamorfizadas do Proterozóico (CPRM, 2015). Na Figura 24 é apresentada a

localização geográfica da área de estudo e o Mapa das Unidades Aquíferas que compreendem a bacia. A Tabela 8 apresenta sua caracterização hidrogeológica compreendendo suas respectivas litologias.

Figura 24. Localização geográfica e Mapa das Unidades Aquíferas da área de estudo



Fonte: Collares e Gomes (2013).

Tabela 8. Caracterização hidrogeológica da área de estudo

Unidades Aquíferas	Litologia/ (Domínios Hidrogeológicos)	Era e Período	Descrição litológica	Área	
				Km ²	%
Arenítica	Bacia do Paraná (1)	Paleozoica; Carbonífero	Arenito, conglomerado, folhelho e siltito (Formação Aquidauana)	342,06	14,15
			Arenito (Formação Botucatu)	17,7	0,73
Basáltica	Bacia do Paraná (5)		Basalto e Diabásio (Formação Serra Geral)	51,32	2,12
Cobertura Detrítica	Aluvionares (2)	Neoproterozóica Toniano	Coberturas Aluvionares	46,5	1,92
	Cenozóicas (3;4)		Coberturas Cenozóicas Indiferenciadas	29,15	1,2
Gnáissico-Granítica	Complexo da Barbacena e Sequência Greenstone Morro de Ferro (2; 4)	Mesoarqueana; Arqueano	Migmatitos e granitóides gnaissificados, graníticos a granodioríticos, localmente com lentes dioríticas, anfíbolíticas e ultramáficas	243,83	10,1
			Anfíbolitos e gnaiss dioríticos	2,35	0,10
			Gnaiss e migmatitos com intercalações de anfíbolitos ultramáficas e metassedimentos	252,23	10,43
			Rochas ultramáficas com intercalações de gnaiss e metassedimentos	50,15	2,07
	Grupo Araxá (2; 4)	Neoproterozóica Toniano	Gnaiss com intercalações de xisto, quartzo-xisto, quartzito e anfíbolito	64,96	2,7
			Gnaiss com intercalações de xisto, quartzito e anfíbolito	707,49	29,26
			Gnaiss migmatítico	13,2	0,55
Rochas ultramáficas	68,35	2,82			
Pelítico-carbonática	Grupo Bambuí (2; 4)		Rochas calcissilicáticas	9,67	0,40
Quartzítica	Grupo Araxá (2)	Neoproterozóica Toniano	Quartzito com intercalações de mica-xisto	51,92	2,15
	Grupo Canastra (4)		Quartzito com intercalações ocasionais de mica-xisto e filito	4,24	0,18
Xistosa	Grupo Araxá (4)	Neoproterozóica Toniano	Gnaiss e xisto com intercalações de quartzito, anfíbolito e rochas calcissilicáticas	114	4,71
			Mica-xisto com intercalações de quartzo-xisto, quartzito, anfíbolito e gnaiss	220,94	9,13
			Mica-xisto com intercalações comuns de quartzito	67,63	2,80
			Mica-xisto com ocorrências ocasionais de quartzito e lentes de mármore	39,75	1,65
	Grupo Bambuí (2)	Mesoarqueana; Arqueano	Xisto e filito com ocorrência local de gnaiss e mármore	20,26	0,83

***Domínio Hidrogeológico:** (1) Bacias Sedimentares, Aquífero Poroso; (2) Embasamento Cristalino, Aquífero Fissural; (3) Formações Cenozóicas, Aquífero Poroso; (4) Metassedimentos-Metavulcânicas; Aquífero Fissural; (5) Vulcânicas; Aquífero Fissural. **Fonte:** Collares e Gomes (2013); CPRM (2015).

O Rio São João, classificado pelo sistema de Strahler (1957) como um canal de 8ª ordem, constitui-se o curso d'água principal e tem sua nascente localizada à Sudeste da Bacia, próximo ao perímetro urbano do município de Nova Resende-MG, percorrendo cerca de 177 km de sua nascente até a foz, no município de Cássia-MG. Seus principais tributários, se classificam como canais de 5ª, 6ª e 7ª ordens, no entanto, a rede de drenagem da bacia também envolve canais que variam de 1ª à 4ª ordens de ramificação e compreende cerca de 5.400 km de extensão (COLLARES, 2013a).

Considerando a economia da região, destacam-se os setores de pecuária, de agricultura, com cultivo de cafés, cana-de-açúcar, milho, soja e batata, e o setor minerário, que se apresenta de forma bastante expressiva na área de estudo, compreendendo além de diversas atividades de extração de cascalho, areia, argila e rochas para a construção civil, três jazidas de mineração de grande porte, localizadas nos municípios de Itaú de Minas (minérios de calcário e argila), Pratápolis (mineração de ferro níquel, silicato de magnésio e pedra brita) e Fortaleza de Minas (extração de níquel e enxofre elementar).

O clima da área de estudo, é classificado como tropical de altitude influenciado por massas de ar polares, com características de clima temperado úmido de inverno seco e verão moderado (KÖPPEN G. e STRAHLER A., 1900 apud GALVANI, 2012), apresentando temperatura média anual de 20,6°C. A formação florestal é composta por dois domínios fitogeográficos distintos, sendo eles a Mata Atlântica (67,5%) e o Cerrado (32,5%) (IBGE, 2004).

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

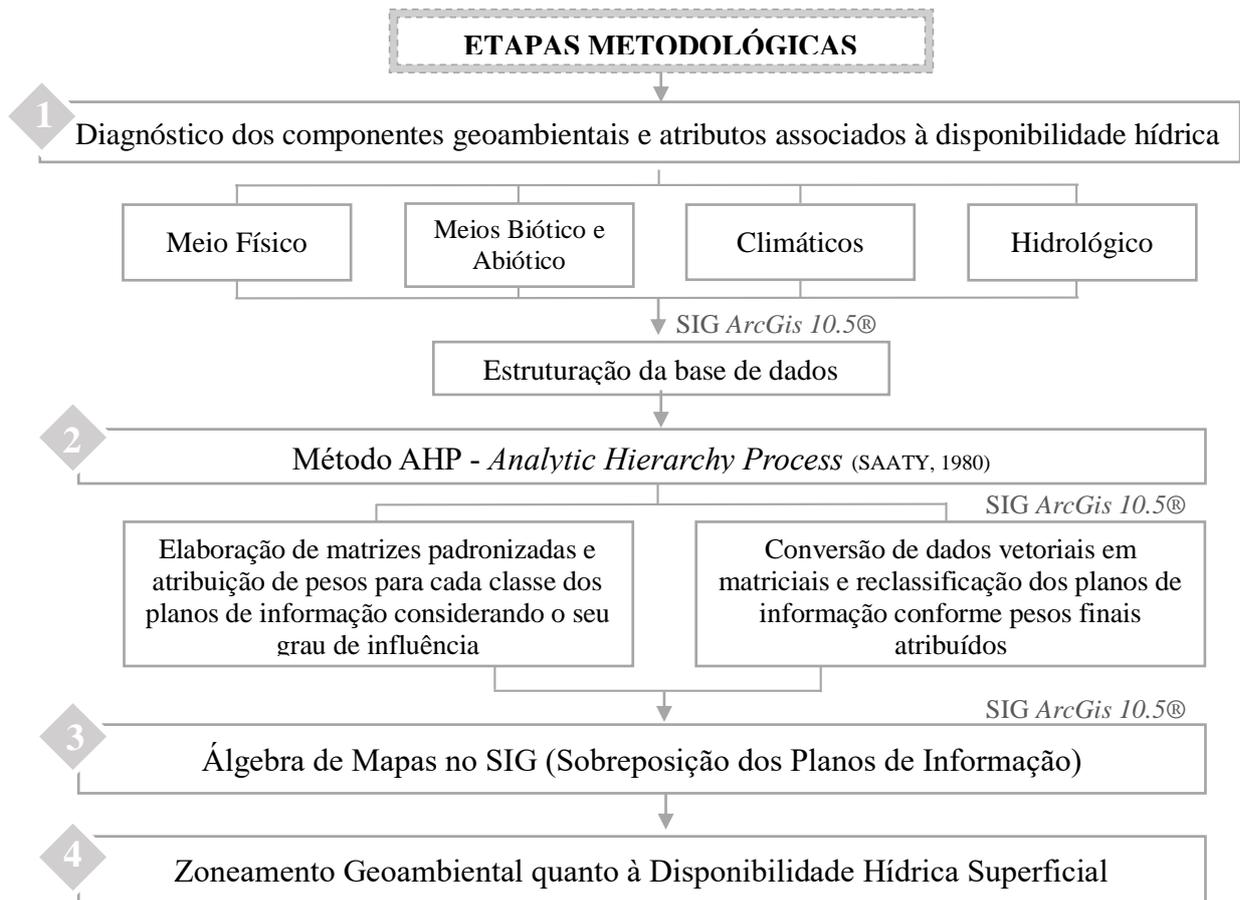
A metodologia foi dividida em quatro etapas, a saber: (1) diagnóstico dos componentes geoambientais e atributos associados à disponibilidade hídrica; (2) determinação de pesos aos atributos pelo método AHP; (3) sobreposição dos Planos de Informação no SIG; (4) ZG da bacia quanto à disponibilidade hídrica superficial, conforme apresentado na esquematização da Figura 25.

Os materiais incluem documentos cartográficos elaborados e obtidos por meio do processamento de dados pré-existentes, disponibilizados pelo *Projeto Grande Minas – União Pelas Águas* (COLLARES, 2013a; c), que subsidiou a elaboração do Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande (ZA-GD7).

Ressalta-se que os resultados desta pesquisa visam integrar a base de dados deste Comitê de Bacia (CBH-GD7), de forma a agregar informações relevantes à base de dados já existente.

O processamento dos dados se deu por meio do *Software ArcGis 10.5*[®] (ESRI, 2017). Como projeção cartográfica utilizou-se a UTM (Universal Transversa de Mercator) no Fuso 23S e como superfície de referência o Datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) e os documentos apresentados na escala de 1:50.000.

Figura 25. Fluxograma das etapas metodológicas desenvolvidas



Fonte: autora.

Para a realização do Zoneamento Geoambiental quanto à disponibilidade hídrica superficial e análise dos resultados de maneira pormenorizada, optou-se por utilizar a compartimentação da área de estudo composta por onze sub-bacias hidrográficas, que são denominadas aqui de Unidades Ambientais (UAs). A compartimentação destas UAs seguiu o sistema de classificação de Strahler (1957), tomando-se por base a rede de drenagem ligada aos afluentes de macrodrenagem do Rio São João, classificados por canais de 5^a, 6^a, 7^a e 8^a ordens.

3.4.1 Diagnóstico dos componentes geoambientais e seus atributos

A aplicação deste estudo tomou como base a metodologia proposta por Zuquette (1987) e Menezes e Zuquette (2004) que envolve a avaliação de diversos componentes para a realização de um zoneamento geoambiental, tais como: águas superficiais e subterrâneas; geomorfologia; geologia; condições climáticas; feições do tecnógeno e processos antrópicos superficiais recentes. Desta forma, para a realização do zoneamento quanto à disponibilidade hídrica foram considerados componentes geoambientais relacionados ao clima, hidrologia e meios físico, biótico e abiótico.

Mediante ao aporte de um grupo multidisciplinar de especialistas acadêmicos e profissionais ligados às áreas de Ciências Ambientais, Geologia, Geografia, Biologia, Ecologia, Engenharia Ambiental e da Geotecnia, realizou-se um diagnóstico dos atributos (representados na forma de planos de informação georreferenciados) que possuem maiores potenciais de influência na disponibilidade hídrica superficial de terrenos delimitados por bacias hidrográficas.

Na Tabela 9 são apresentados os componentes geoambientais e seus respectivos atributos associados à estimativa da disponibilidade hídrica. A definição dos atributos tomou por base seu fator de influência considerando a contribuição direta e/ou indireta na disponibilidade hídrica superficial da BH-SJ.

Tabela 9. Planos de informação utilizados na estimativa da Disponibilidade Hídrica e fonte dos dados

Componentes geoambientais	Atributos (Planos de informação)	Fontes (Escala 1:50.000)
Meio Físico	(A) Hipsometria	Autora
	(B) Declividades	
	(C) Sistemas Aquíferos	Collares e Gomes (2013)
	(D) Unidades Texturais (Solos)	Collares (2013d)
	(E) Formas de Terreno (Geomorfologia)	TOPODATA INPE (2015)
Climáticos	(F) Pluviosidade	Autora
	(G) Temperatura	
Hidrológico	(H) Vazão Regionalizada	Autora
Meios Biótico e Abiótico	(I) Uso e Cobertura do Solo	Autora

A representação cartográfica dos planos de informação classificados de (A) a (I) são apresentados nos quadros das Figuras 26 e 27.

Figura 26. Atributos do Meio Físico definidos para a estimativa da disponibilidade hídrica superficial da BH-SJ

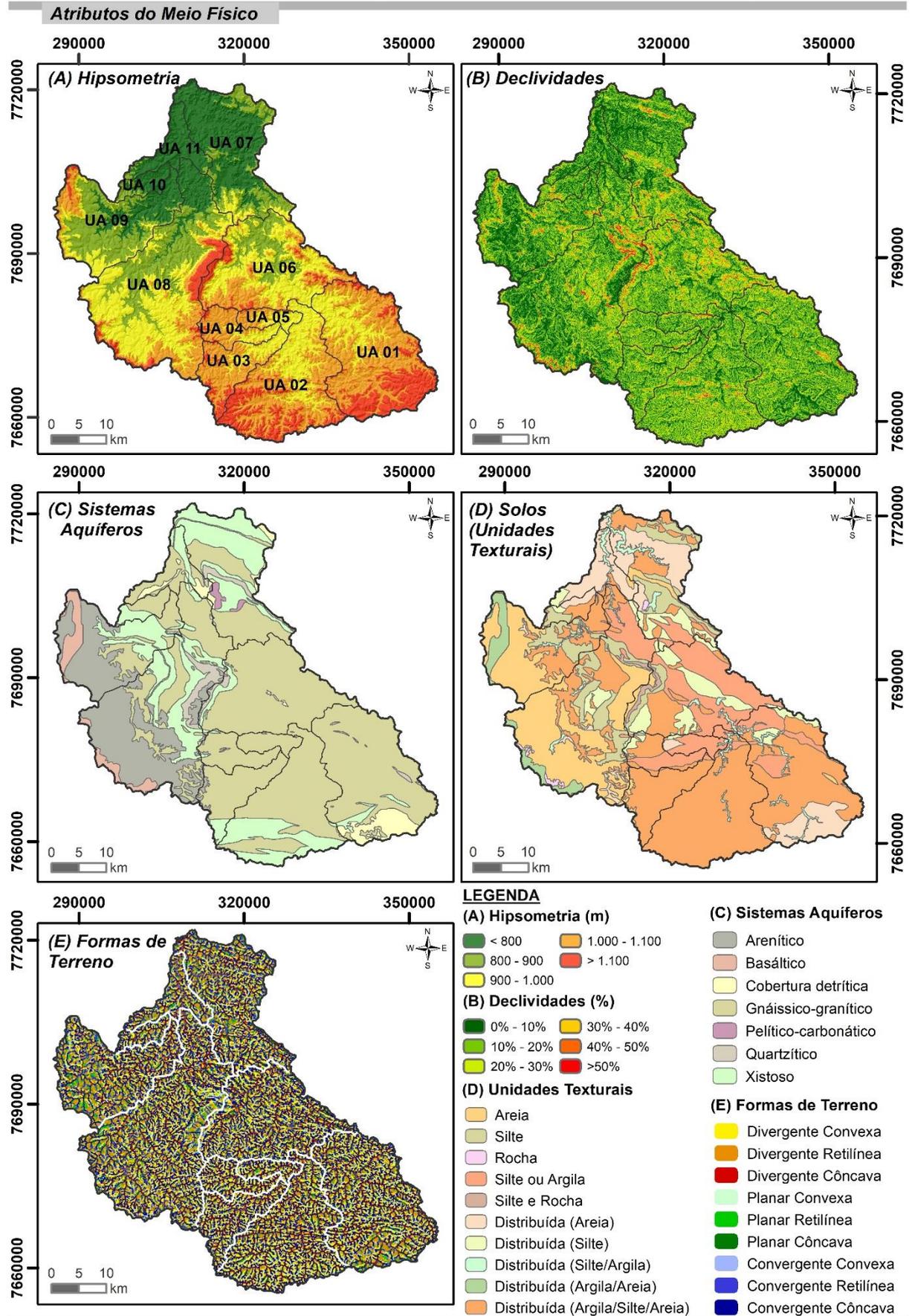
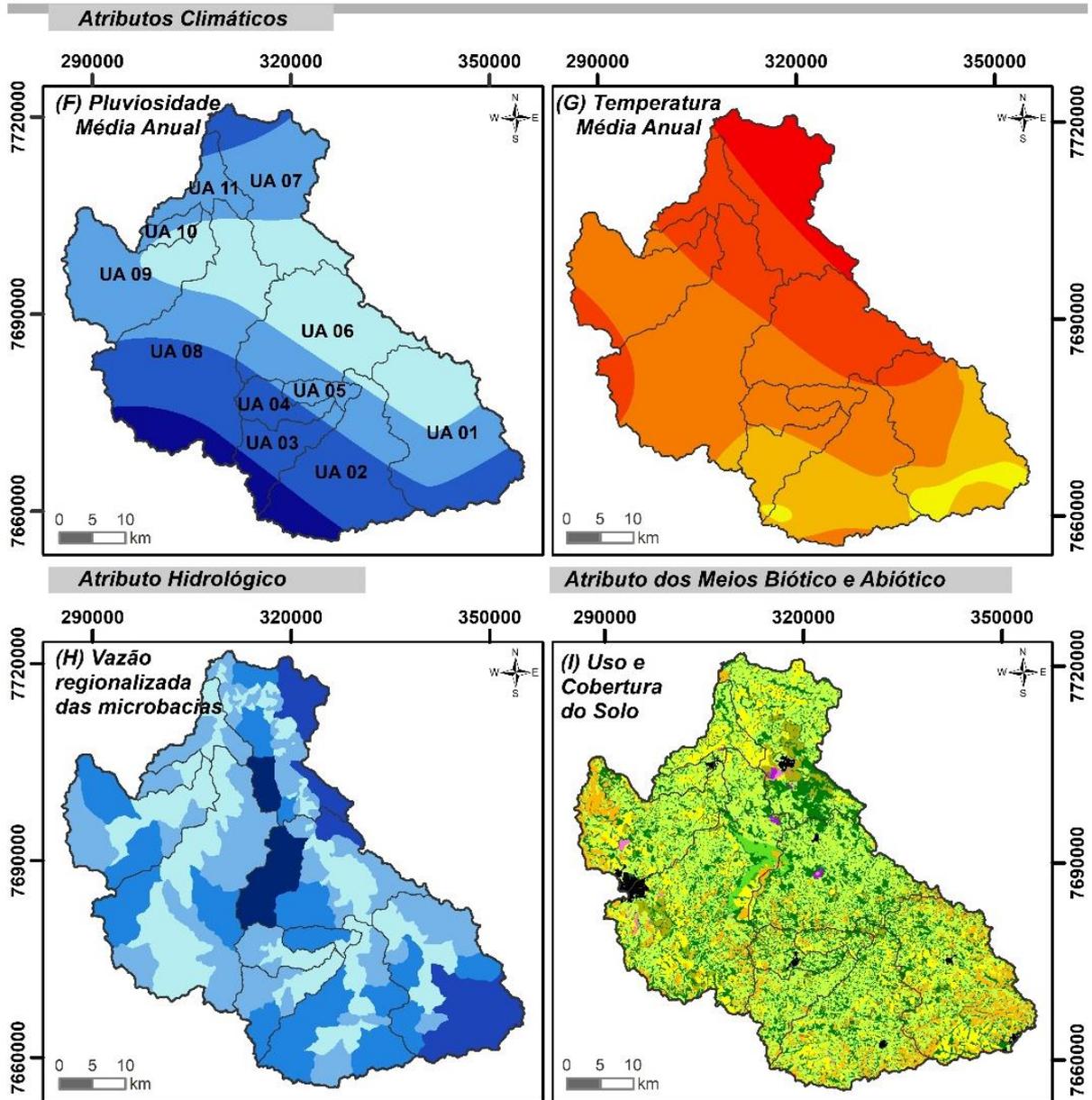


Figura 27. Atributos Climáticos, Hidrológico, Bióticos e Abióticos definidos para a estimativa da disponibilidade hídrica superficial da BH-SJ



LEGENDA

(F) Pluviosidade (mm/ano)

< 1.280	1.320 - 1.380
1.280 - 1.320	1.380 - 1.420

(G) Temperatura (°C)

< 20	20,81 - 21,2
20,01 - 20,4	> 21,2
20,41 - 20,8	

(H) Vazão regionalizada (m³/s)

< 0,05	0,50 - 0,95
0,05 - 0,20	> 0,95
0,20 - 0,50	

(I) Uso e Cobertura do Solo

1. Área Urbana	6. Vegetação de Mata	11. Rio São João
2. Cultura temporária	7. Vegetação de Campo	12. Corpos hídricos
3. Cultura Permanente	8. Afloramento rochoso	13. Infraestruturas antrópicas e rurais
4. Silvicultura	9. Solo exposto	14. Atividades Minerárias
5. Pastagem	10. Processos erosivos	Unidades Ambientais da Bacia Hidrográfica

3.4.2 Método AHP

Para atribuir os pesos aos atributos, aplicou-se o Método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), definido por Saaty (1980), o qual consiste na adoção de níveis de importância de forma hierárquica por meio de matrizes de comparação, discriminando valores distintos para cada classe de informação.

Desta forma, foram atribuídos pesos para as classes de informação, bem como, a comparação entre os planos de informação, atribuindo pesos com base no seu nível de importância e contribuição para a disponibilidade hídrica, tomando-se por base a escala de valores exposta na Tabela 10. Ressalta-se que para a adoção de pesos adequados aos PI's e suas respectivas classes é importante obter o conhecimento prévio das características intrínsecas à área de estudo.

Após a adoção da escala de valores, foram calculados os pesos finais (auto vetores) para as classes por meio de uma matriz normalizada, que consiste na divisão de cada elemento pela soma dos elementos da coluna a que se referem. Os auto vetores foram obtidos a partir da média aritmética dos valores resultantes em cada linha da matriz normalizada.

Por fim, realizou-se a análise de consistência dos auto vetores, que são definidos pelas equações de Razão de Consistência (RC) e de Índice de Consistência (IC), onde os pesos finais podem ser considerados coerentes se a RC for menor ou igual a 0,1 ou 10% (SAATY 1980) como apresentado na Tabela 11. As equações foram aplicadas à todas as matrizes de avaliação e a RC de todos os atributos foi considerada satisfatória, apresentando valores menores que 10% em todas as matrizes.

Os valores padrões aplicados no Índice de Consistência Randômica (IR) para aplicação dos cálculos de RC, IC e $\lambda_{\text{máx}}$ (autovalor máximo), são determinados com base no número de classes constantes no atributo (n) como exposto na Tabela 12.

Tabela 10. Escala de valores hierárquicos aplicados nas Matrizes AHP

Escala de valores			
Valor	Importância	Valor	Importância
1/9	Extremamente menos importante	3	Moderadamente mais importante
1/7	Muito menos fortemente importante	5	Fortemente mais importante
1/5	Fortemente menos importante	7	Muito mais fortemente importante
1/3	Moderadamente menos importante	9	Extremamente mais importante
1	Igualmente importante	2, 4, 6 e 8	Valores intermediários

Fonte: Saaty (1980).

Tabela 11. Equações aplicadas para análise dos pesos atribuídos

<i>Equações</i>	<i>Descrição das Variáveis</i>
$RC = IC \div IR$	RC = Razão de Consistência IC = Índice de Consistência IR = Índice de Consistência Randômico
$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) \div (n-1)$	n = número que representa a ordem da raiz $\lambda_{\text{máx}}$ = autovalor máximo
$\lambda_{\text{máx}} = T \times W$	T = auto vetor normalizado W = soma das colunas da matriz de comparação para cada atributo

Fonte: Saaty (1980).

Tabela 12. Índice de consistência randômica atribuído em função da ordem da matriz

<i>*(n)</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>** (IR)</i>	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57

*n: ordem da matriz; **IR: Valores de Consistência Randômica.

Neste método, os auto vetores (pesos finais) atribuídos às classes somam um total máximo de peso 10, sendo que, os menores valores referem-se às classes que menos contribuem para a disponibilidade hídrica da bacia e os valores mais elevados correspondem às classes que possuem maiores perspectivas de contribuição. A Figura 28 apresenta os pesos finais atribuídos na matriz normalizada do método AHP às classes de cada atributo avaliado e os valores resultantes das equações de Autovalor Máximo ($\lambda_{\text{máx}}$), Índice de Consistência (IC) e Razão de Consistência (RC).

Figura 28. Atribuição de pesos pelo método AHP às classes dos atributos geoambientais

(A) Hipsometria		(B) Declividade	
Classes (m)	Auto Vetor	Classes (%)	Auto Vetor
< 800	0,40	> 50	0,31
800 - 900	0,65	50 - 40	0,46
900 - 1.000	1,48	40 - 30	0,69
1.000 - 1.100	3,00	30 - 20	1,38
> 1.100	4,47	20 - 10	2,54
		< 10	4,62
$\lambda_{\text{máx}}$: 5,207 IC: 0,051 RC: 0,046		$\lambda_{\text{máx}}$: 6,453 IC: 0,090 RC: 0,073	

Figura 28. (Continuação)

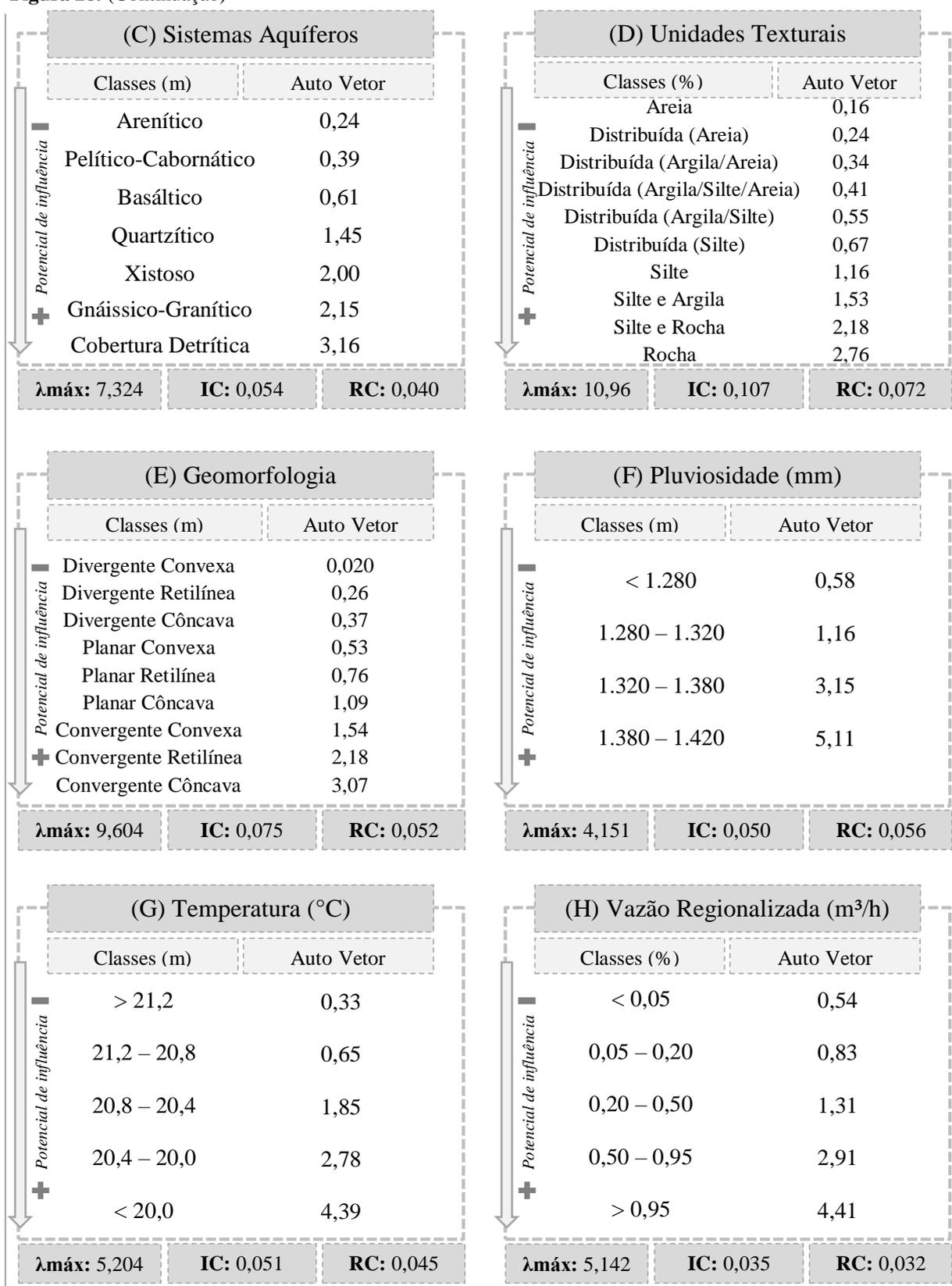


Figura 28. (Continuação)

(I) Uso de Cobertura do Solo		
Classes	Auto Vetor	
—	Infraestruturas Antrópicas / Mineração	0,28
	Cultura Temporária / Solo exposto	0,40
	Silvicultura	0,61
	Cultura Permanente	0,91
	Pastagem	1,35
+	Afloramento Rochoso	1,95
	Vegetação Nativa	4,5

λmáx: 7,324 IC: 0,054 RC: 0,040

Fonte: autora.

3.4.3 Álgebra de mapas no SIG

Nesta etapa, os planos de informação foram convertidos para arquivos matriciais e reclassificados atribuindo-se os pesos dados às suas classes. Para a sobreposição dos dados, foi aplicado o algoritmo *Weighted Sum*, do SIG ArcGis 10.5[®], que consiste em realizar a multiplicação da importância relativa de cada classe dos planos de informação com base nos auto vetores atribuídos por meio de uma soma ponderada de suas classes.

Desta forma, foi gerado um arquivo matricial de saída compreendendo a integração de todos os atributos geoambientais selecionados como componentes de influência na disponibilidade hídrica.

3.4.4 Zoneamento Geoambiental quanto à disponibilidade hídrica superficial

O documento cartográfico elaborado a partir da álgebra aplicada aos planos de informação, apresenta cinco classes de estimativa da disponibilidade hídrica: Muito Baixa, Baixa, Regular, Alta e Muito Alta.

Dentre os diversos métodos de classificação dispostos pela ferramenta *Symbology* do SIG ArcGis, optou-se por representar o resultado pela classificação *Natural Breaks*, que baseia-se em agrupamentos naturais inerentes aos dados identificando grupos de valores semelhantes, permitindo assim maximizar as diferenças entre as classes geradas e uma melhor distinção entre as classes.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados em dois tópicos principais, destacando-se num primeiro momento o potencial de cada atributo geoambiental na contribuição para o acúmulo e provisão de água no solo e mananciais e posteriormente os resultados do zoneamento das unidades ambientais da área de estudo quanto à estimativa de sua disponibilidade hídrica superficial.

3.5.1 Influência dos atributos geoambientais na disponibilidade hídrica

Meio Físico

Os atributos do Meio Físico apresentam características que contribuem ou afetam diretamente o tempo de viagem ou concentração da água ao longo da bacia, tais como as características de armazenamento, infiltrabilidade e escoamento superficial.

A hipsometria da área estudada possui variação de 1.335 metros do seu ponto mais alto à 660 metros no seu ponto mais baixo. Considerou-se na análise que as áreas mais elevadas possuem maior potencial de infiltração, contribuindo para o acúmulo de água no solo que resultam no surgimento de nascentes. Além disso, verificou-se que nas altimetrias mais elevadas constituem-se as áreas de temperaturas mais amenas e com maiores ocorrências de precipitação.

As características da declividade têm influência direta no fluxo das águas superficiais, visto que, o escoamento superficial gerado nas áreas de vertentes com declives acentuados se caracteriza como rápido e muito rápido e tem como destino imediato a rede de drenagem, cujos cursos d'água se concentram em áreas com declives mais amenos. Desta forma, considerou-se que as áreas com menores declividades possuem maior potencial de infiltração e acúmulo de água superficial devido à sua menor velocidade de escoamento, constituindo áreas com maior disponibilidade hídrica.

Quanto aos Sistemas Aquíferos, por ser considerado um atributo da disponibilidade hídrica subterrânea, este foi integrado ao estudo levando-se em consideração o aspecto das unidades aquíferas quanto à infiltrabilidade. Bomfim (2010) classifica os domínios hidrogeológicos quanto à sua favorabilidade hidrogeológica, sendo as Bacias Sedimentares classificadas como as mais favoráveis; seguidas pelas Formações Vulcânicas e Cenozóicas. Sendo assim, as unidades aquíferas areníticas, pelítico-carbonáticas e basálticas, pertencentes a estes domínios hidrogeológicos classificaram-se como as que possuem maior potencial de

armazenamento de água subterrânea e, conseqüentemente, menor potencial de disponibilidade hídrica de superfície. As bacias do embasamento Cristalino classificam-se como baixa/muito baixa favorabilidade hidrogeológica devido sua falta de porosidade primária, seguidas pelas Metassedimentares-Metavulcânicas, sendo caracterizadas como as que mais contribuem para a disponibilidade hídrica superficial.

Considerou-se as Unidades Texturais dos solos com base no potencial de armazenamento hídrico ou capacidade de infiltração em sua zona não saturada, tomando-se por base a composição das partículas dos solos, as quais são determinadas basicamente por três classes de tamanho decrescente: areia, silte e argila. A quantidade de água contida no solo depende de sua porosidade e considerando que as partículas de argila sejam menores do que as de areia, o coeficiente de permeabilidade nos solos argilosos e siltosos normalmente são menores do que a dos solos arenosos, e isso favorece o escoamento em detrimento da infiltração. Desta forma, os solos argilosos e siltosos foram considerados mais favoráveis do que os arenosos na estimativa da disponibilidade hídrica superficial devido à sua maior capacidade de retenção de água no solo por apresentarem menores partículas e conseqüentemente maior área de contato e absorção hídrica.

A geomorfologia foi analisada pelas Formas de Terreno quanto ao seu potencial de escoamento e infiltração. Conforme descrito por Valeriano (2008), os casos extremos de combinações de curvatura do terreno são representados pela forma convergente-côncava (máxima concentração e acúmulo do escoamento) e pela forma divergente-convexa (máxima dispersão do escoamento) e as combinações intermediárias têm características hidrológicas mais dependentes das relações entre a intensidade dos efeitos individuais. Desta forma, as classes consideradas como as menos favoráveis para a disponibilidade hídrica são as de curvatura horizontal divergentes, pois estas são caracterizadas por possuírem vertentes mais estreitas que sua base, aumentando conseqüentemente a dispersão da água do solo. As planares foram classificadas como medianamente favoráveis e as convergentes como as mais favoráveis na disponibilidade hídrica, visto que, estas possuem o topo de suas vertentes maiores que sua base, fazendo com que haja uma maior concentração e acúmulo de água devido à sua curvatura com características de afunilamento de base.

Climáticos

Na análise dos componentes climáticos, foram consideradas as faixas das médias de pluviosidade e temperatura da bacia ocorridas entre os anos de 2016 e 2017, considerando que

dentre os anos de 2012 e 2015 a área estudada passou por um período climático atípico, que consequentemente resultou em uma crise hídrica na região. Após este período de crise hídrica, as médias anuais de precipitação e temperatura obtiveram uma tendência à normalização e suas faixas apresentaram-se compatíveis com os resultados da série histórica dos últimos 30 anos (1980 a 2009) (DIAS et al., 2013a). De acordo com Collischonn e Dornelles (2015), a precipitação é a principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica, já a temperatura é o principal fator de influência da evaporação e evapotranspiração, que envolvem a retirada de água do solo e das plantas. Desta forma, foram atribuídos como mais favoráveis à disponibilidade hídrica as classes de pluviosidades mais elevadas e as faixas de temperaturas mais amenas.

Hidrológico

Conforme descrito por Tucci (2009), por meio da determinação da vazão média, é possível caracterizar a capacidade de disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica e descreve que, para estudos de vazões é necessário subdividir a região de estudo em sub-bacias que sigam de modo geral o relevo e forma da bacia.

Para definição do componente hidrológico, aplicou-se o método de cálculo de vazão regionalizada (NAGHETTINI e VON SPERLING, 2007; TUCCI, 2009) determinando a vazão média do ano de 2017 para as sub-bacias com ramificação dos cursos d'água de 1ª a 4ª ordem de drenagem da BH-SJ, conforme descrito no tópico 2.1.3 deste trabalho. As microbacias classificadas com baixos índices de vazão foram ponderadas com menor influência na disponibilidade hídrica e as microbacias com os maiores índices de vazão, classificadas como as de maior contribuição.

Meios Biótico e Abiótico

Diversos fatores podem propiciar maiores taxas de escoamento superficial e diminuição da infiltrabilidade, dentre eles destacam-se as atividades que propiciam um alto grau de compactação do solo ou a retirada de cobertura vegetal. Collischonn e Dornelles (2015) observam que as modificações e variabilidade do padrão de uso da terra podem resultar em alterações substanciais do regime hidrológico das bacias hidrográficas e ressaltam que as intervenções antrópicas e a alteração da vegetação são os fatores com maiores impactos no seu comportamento hidrológico.

Foram considerados como piores fatores as atividades minerárias e as infraestruturas antrópicas e rurais (atividades pecuárias, edificações rurais, chacreamentos, indústrias, aeroportos, PCHs, área de disposição de resíduos sólidos), pois embora ocupem um baixo percentual na área de estudo (< 3%), podem influenciar negativamente no regime hídrico natural da Bacia. As culturas temporárias e a classe de solo exposto foram consideradas como a segunda pior classe, devido à alta rotatividade anual, a compactação do solo, a demanda de água para manutenção das culturas e o maior escoamento superficial, em solos expostos por período de pousio/entressafras.

A Silvicultura é caracterizada pelo seu rápido crescimento e elevada absorção e consumo de água, além da compactação do solo pelo uso de máquinas agrícolas, deste modo, essa classe foi enquadrada como a terceira pior quanto à influência na disponibilidade hídrica. Durante a análise dos dados, observou-se ainda que os índices de vazão apresentam menores valores na região sul da bacia (UA 07), conseqüentemente, esta área possui a maior concentração de ocorrência da Silvicultura.

As culturas permanentes na área de estudo são compostas basicamente pelo plantio de cafezais. Considerando sua relação com as outras culturas, o café possui uma menor demanda de água, inclusive, sua ocorrência é predominante em áreas mais elevadas e com menores temperaturas, desta forma, foi determinado um peso de influência mediana para esta classe.

Na classe de Pastagem atribuiu-se o terceiro melhor peso de contribuição na disponibilidade hídrica, considerando que a pastagem contribui para uma menor velocidade de escoamento superficial e aumento do acúmulo de água da subsuperfície do solo. A segunda melhor classe é caracterizada pelo afloramento rochoso da área de estudo, que foi analisado de forma distinta devido à sua extensão e características singulares, sendo que, em termos de uso e cobertura é ocupado parcialmente por vegetação nativa. Já a vegetação nativa foi atribuída como a classe de maior influência na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica, uma vez que as áreas de vegetação são consideradas como fundamentais no comportamento do ciclo hidrológico de bacias, além da capacidade de armazenamento e retenção de água para manutenção dos mananciais.

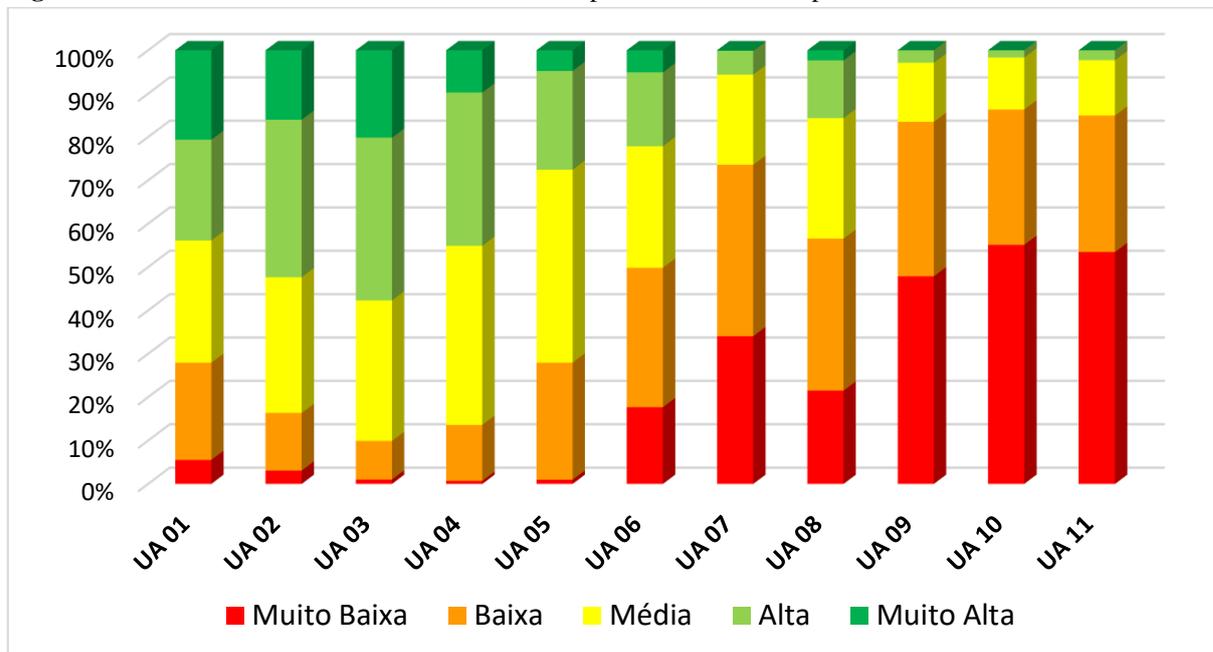
Ressalta-se que, na realização desta análise, foram desconsiderados os dados pontuais classificados como corpos hídricos, processos erosivos e áreas urbanas, visto que não foi possível ponderar valores específicos destes fatores na influência da disponibilidade hídrica ou por representarem potenciais reconhecidamente distintos.

3.5.2 Zoneamento das UAs quanto à disponibilidade hídrica superficial

A Carta da Disponibilidade Hídrica Superficial da Bacia Hidrográfica do Rio São João evidencia as áreas que possuem maiores e menores potenciais de disponibilidade hídrica com base no fator de influência de cada atributo geoambiental e apresenta-se em cinco classes distintas, com seus respectivos percentuais de ocorrência de disponibilidade hídrica: Muito baixa (20,13%), Baixa (28,41%), Regular (26,10%), Alta (17,61%), Muito alta (7,75%).

O Zoneamento Geoambiental foi realizado tomando-se por base a compartimentação da bacia em Unidades Ambientais (UAs). O gráfico da Figura 29 ilustra o percentual de ocorrência das classes de disponibilidade hídrica em cada UA da bacia.

Figura 29. Percentual de ocorrência das classes de disponibilidade hídrica por Unidade Ambiental



Fonte: autora.

Desconsiderando-se as classes de processos erosivos, corpos hídricos (4,53 km²) e áreas urbanas (27,8 km²), o mapeamento realizado compreendeu a área de 2.385,37 km², sendo a área total da bacia composta por 2.417,7 km² de abrangência, desta forma, a quantificação das classes em cada UA tem por base o valor da área útil mapeada.

Na Figura 30 é apresentada a Carta da Disponibilidade Hídrica Superficial da Bacia Hidrográfica do Rio São João e a compartimentação das UAs com o detalhamento quanto à ocorrência das classes de disponibilidade hídrica em área (Km²) e percentual (%) são ilustrados pela Figura 31.

Figura 30. Carta da Disponibilidade Hídrica Superficial da Bacia Hidrográfica do Rio São João

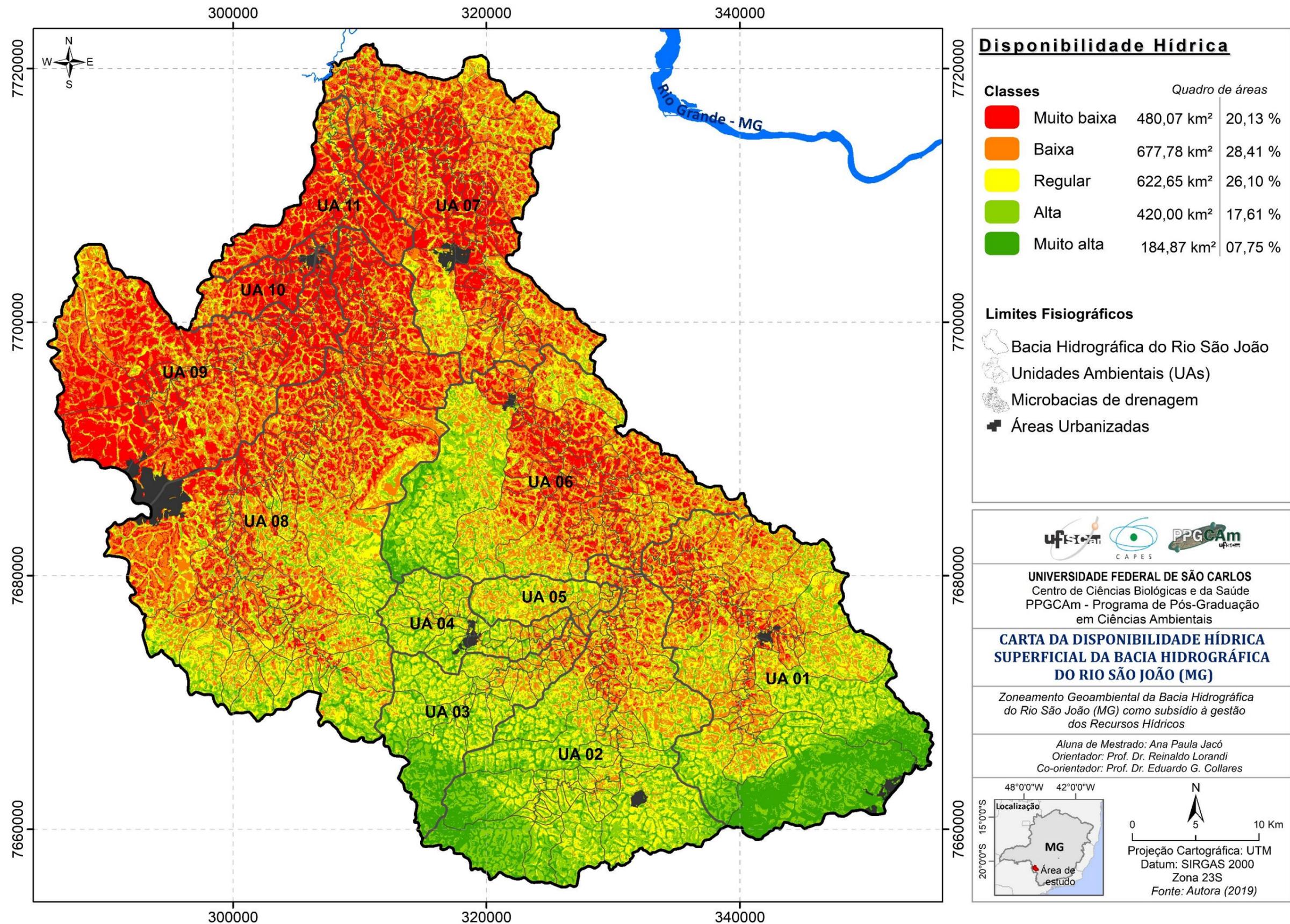


Figura 31. Detalhamento da ocorrência das classes disponibilidade hídrica nas UAs da BH-SJ

UNIDADES AMBIENTAIS								
UA 01 - Alto São João			UA 02 - Ribeirão São João			UA 03 - Ribeirão Tabuão		
Muito baixa	20,54 km ²	05,54 %	Muito baixa	09,55 km ²	03,06 %	Muito baixa	01,11 km ²	01,01 %
Baixa	83,04 km ²	22,40 %	Baixa	41,40 km ²	13,30 %	Baixa	09,73 km ²	08,90 %
Regular	104,45 km ²	28,18 %	Regular	97,45 km ²	31,30 %	Regular	35,38 km ²	32,37 %
Alta	86,17 km ²	23,25 %	Alta	113,1 km ²	36,32 %	Alta	41,05 km ²	37,56 %
Muito alta	76,50 km ²	20,63 %	Muito alta	49,90 km ²	16,02 %	Muito alta	22,03 km ²	20,16 %
UA 04- Ribeirão São Pedro			UA 05- Ribeirão do Mamote			UA 06- Médio São João		
Muito baixa	0,43 km ²	0,70 %	Muito baixa	0,35 km ²	0,98 %	Muito baixa	55,25 km ²	17,68 %
Baixa	07,95 km ²	12,9 %	Baixa	09,65 km ²	27,0 %	Baixa	100,52km ²	32,16 %
Regular	25,41 km ²	41,3 %	Regular	15,91 km ²	44,52 %	Regular	87,60 km ²	28,03 %
Alta	21,75 km ²	35,35 %	Alta	08,15 km ²	22,80 %	Alta	53,26 km ²	17,04 %
Muito alta	06,00 km ²	09,75 %	Muito alta	01,68 km ²	04,77 %	Muito alta	15,92 km ²	05,09 %
UA 07- Baixo São João			UA 08- Alto Santana			UA 09- Rio das Palmeiras		
Muito baixa	97,45 km ²	34,05 %	Muito baixa	114,97km ²	21,51 %	Muito baixa	122,7 km ²	47,86 %
Baixa	113,18 km ²	39,54 %	Baixa	187,35km ²	35,04 %	Baixa	91,36 km ²	35,63 %
Regular	59,57 km ²	20,81 %	Regular	148,58km ²	27,79 %	Regular	34,93 km ²	13,62 %
Alta	15,6 km ²	05,45 %	Alta	71,3 km ²	13,34 %	Alta	07,38 km ²	02,88 %
Muito alta	0,43 km ²	0,15 %	Muito alta	12,4 km ²	02,32 %	Muito alta	0,01 km ²	0,005 %
UA 10- Córrego da Prata			UA 11- Baixo Santana					
Muito baixa	18,5 km ²	55,12 %	Muito baixa	39,22 km ²	53,46 %			
Baixa	10,48 km ²	31,23 %	Baixa	23,12 km ²	31,51 %			
Regular	4,02 km ²	11,98 %	Regular	9,35 km ²	12,74 %			
Alta	0,56 km ²	01,67 %	Alta	1,68 km ²	02,29 %			
Muito alta	0,00 km ²	0,00 %	Muito alta	0,00 km ²	0,00 %			

Fonte. autora.

Em análise à Carta, é possível notar uma relevante distinção entre as áreas mapeadas, sendo as regiões sul e sudoeste da bacia caracterizadas com maior favorabilidade hídrica. No sentido à sua jusante (norte), a disponibilidade hídrica tende a apresentar valores que vão de regulares à muito baixos. Frente ao resultado, realizou-se um diagnóstico quanto às características de disponibilidade hídrica de cada UA da bacia, como descrito a seguir:

UA 01 - Sub-bacia do Alto São João (370,7 km²): esta unidade é formada a partir da nascente do Rio São João. Em geral, apresenta alta favorabilidade hídrica, contemplando em sua porção sul classes de alta (23,25%) e muito alta (20,63%) disponibilidade hídrica. Dentre os atributos que apresentaram maior relevância favorável, destacam-se as maiores altitudes, os maiores índices de Pluviosidade, as temperaturas mais amenas, as formas de terreno convergentes e as declividades menos acentuadas. Os solos se caracterizam como bem distribuídos nesta região, constituindo partículas de silte, argila e areia. Já em sua porção norte, nota-se uma maior ocorrência das classes regular e baixa, onde destacam-se no uso e cobertura do solo as classes de pastagem e culturas temporárias, além das formas de terreno divergentes convexas e retilíneas e faixa com menores índices de pluviosidade, com valores abaixo de 1.280mm/ano.

UA 02 - Sub-bacia do Ribeirão São João (311,40 km²): classificada como a unidade de segunda melhor disponibilidade hídrica da BH-SJ, pois 52,34% de sua área apresentou classes de alta e muito alta disponibilidade. Nesta UA, o comportamento fisiográfico e os atributos que contribuem para uma elevada favorabilidade hídrica são análogos aos identificados na UA 01, entretanto, destaca-se a influência positiva de praticamente todos os atributos analisados.

UA 03 - Sub-bacia do Ribeirão Tabuão (109,30 km²): apresenta a maior favorabilidade hídrica da bacia em estudo, sendo 57,72% de sua área classificada com alta e muito alta disponibilidade. Nesta UA nota-se a integração de todos os atributos de forma bem distribuída e os principais aspectos de influência positiva que ocorrem na área caracterizam-se pelas faixas de temperatura e pluviosidade, os índices de vazão, a textura homogênea do solo, a unidade aquífera Gnáissico-Granítica e as faixas hipsométricas.

UA 04 - Sub-bacia do Ribeirão São Pedro (61,54 km²): nesta unidade sobressaem-se as classes de disponibilidade regular (41,30%) e alta (35,35%), apresentando favorabilidade satisfatória quanto à disponibilidade hídrica, visto que as classes muito baixa ou muito alta apresentam ocorrências irrisórias. Quanto aos atributos analisados nesta área, todos possuem ocorrência relativamente uniforme, resultando em uma classificação bem distribuída ao longo do território.

UA 05 - Sub-bacia do Ribeirão do Mamote (35,74 km²): apresenta predominância da classe de disponibilidade regular (44,52%) e as demais classe ocorrem em menor intensidade e de forma bem distribuída ao longo de toda UA, compondo um cenário de disponibilidade hídrica relativamente favorável para esta unidade. Quanto aos atributos geoambientais que compõem esta área, considerando suas características e pesos atribuídos, todas as classes analisadas apresentaram contribuição mediana.

UA 06 - Sub-bacia do Médio São João (312,55 km²): nesta unidade as classes de disponibilidade ocorrem de forma distribuída, com predomínio da classe de baixa disponibilidade (32,16%), entretanto, nota-se uma distinção de ocorrência entre as porções leste e oeste, apresentando à oeste uma maior concentração de alta e muito alta disponibilidade, possivelmente pela influência favorável de declives amenos, das faixas pluviosidade (1.280 - 1.320 mm/ano), temperatura (20,8 - 21,2 °C), elevado índice de vazão (> 95,0 m³/s). As áreas de disponibilidade regular são caracterizadas pela classe de pastagem, a qual apresenta elevada concentração nesta UA.

Na região leste e estendendo-se para norte, é possível observar um declínio da hipsometria, o aumento da faixa de temperatura, a diminuição da pluviosidade média, índices menores de vazão e a influência de declividades, textura dos solos variadas e formas de terreno menos favoráveis, configurando, conseqüentemente um perfil de baixa disponibilidade hídrica.

UA 07 – Sub-bacia do Baixo São João (286,23): é caracterizada por sua zona de confluência dos afluentes de macrodrenagem da BH-SJ, contudo, o zoneamento retrata que esta UA possui um dos menores índices de disponibilidade hídrica, com 73,6% da área enquadrados nas classes de baixa e muito baixa disponibilidade. É possível observar a ocorrência de diversos tipos de solos, predominantemente, os de textura arenosa distribuída, declividades acentuadas, encostas divergentes e, menores altitudes (<800m).

Além disso, apresenta influência acentuada do uso e cobertura do solo, compreendendo uma grande concentração de culturas temporárias, silvicultura e infraestruturas pontuais, como ocupação urbana e minerações. Tal deficiência hídrica, associada ao uso do solo de maneira excessiva, acarretam em impactos negativos no regime hídrico da bacia. Ressalta-se que na realização do estudo da vazão regionalizada, foi observado, por meio dos dados das estações fluviométricas, uma perda significativa de vazão na UA 07, comparados aos valores medidos à sua montante, e considerando que no percurso onde ocorrem estas perdas tem-se uma das maiores concentrações de Silvicultura e a instalação da maior mineradora da bacia, constata-se que estas atividades vêm alterando de maneira desregada o regime hídrico desta área, podendo acarretar em uma situação de déficit hídrico ou até mesmo, escassez hídrica devido suas características baixa disponibilidade hídrica.

UA 08 – Sub-bacia do Alto Santana (534,6): constitui-se a maior UA da área em estudo e sua área de drenagem contempla o Rio Santana, principal tributário do Rio São João. Possui características bem distintas ao longo de sua área, apresentando em geral, o predomínio das classes de baixa e média disponibilidade hídrica, sendo apenas 15,66% classificado como alta e muito alta disponibilidade e concentram-se nas regiões dos extremos oeste, sul e leste da UA. Embora esta área de cabeceira apresente maiores altitudes, índices favoráveis de vazão e pluviosidade e temperaturas medianas, ocorrem solos com textura arenosa e abrange os sistemas aquíferos arenítico e basáltico, sendo caracterizados como os menos favoráveis para a disponibilidade hídrica de superfície devido à elevada porosidade e capacidade de armazenamento de água subterrânea, favorecendo a infiltração de água nas regiões de cimeira desta unidade. Observa-se ainda que as classes de baixa e muito baixa disponibilidade ocorrem

de forma mais acentuada na porção do centro ao norte desta UA (área de desemboque dos cursos d'água), compreendendo ainda características de menores índices de vazões, aumento gradativo da temperatura e diminuição da média de pluviosidade, além de menores classes hipsométricas.

UA 09 - Sub-bacia do Rio das Palmeiras (256,38 km²): é classificada com 35,63% de baixa disponibilidade e 47,86% de muito baixa disponibilidade e apresenta apenas 2,88% de sua área classificada com alta disponibilidade hídrica. Contudo, dentre os aspectos mais relevantes que remetem a esta condição, destaca-se o elevado índice de intervenções antrópicas, com o predomínio de pastagens, culturas temporárias e permanentes ao longo de toda a UA, que associados às características de solos arenosos e distribuídos, formas de terreno divergentes, índices de vazão medianamente baixos e maiores temperaturas, remetem a um cenário de baixa favorabilidade hídrica, desta forma, esta unidade necessita de um estado de atenção e regulação de seus usos de água superficiais.

UA 10 - Sub-bacia do Córrego da Prata (33,56 km²): esta unidade é classificada como a menor da BH-SJ e apresenta 86,35% de seu território caracterizado com baixa e muito baixa disponibilidade hídrica; 11,98% como regular e apenas 1,67% da área com alta disponibilidade. Observa-se nesta área, uma alta concentração de pastagens e culturas temporárias, associados à terrenos com textura mista (arenosos, siltosos, argilosos) de baixa hipsometria, menores índices de vazão e predomínio das formas de terreno divergentes.

UA 11 – Sub-bacia do Baixo Santana (73,37 km²): apresenta a segunda menor disponibilidade hídrica da área em estudo. Sendo que, 53,46% de sua área se enquadra na classe de muito baixa disponibilidade, 31,51% de baixa disponibilidade e somente 2,29% com alta disponibilidade. As características dos principais atributos de influência desta UA são similares aos descritos para a UA 10, entretanto, ocorre um predomínio absoluto de solos com textura arenosa e ocorrência de pastagem e culturas temporárias em toda sua extensão. Nesta UA ocorrem também atividades de extração mineral e áreas de empréstimo, sobretudo a extração de areia. Claramente, esta unidade, bem como a UA 10, necessitam de medidas de gestão e planejamento quanto ao uso dos seus recursos hídricos, principalmente considerando o estado de criticidade quanto à disponibilidade hídrica superficial.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se por meio do ZG que as regiões sul e sudoeste, onde localizam-se as áreas de cabeceiras da bacia, e respectivamente, as maiores concentrações de zonas de surgência hídrica (formação de nascentes), concentram-se áreas de melhor favorabilidade hídrica (UAs 01, 02, 03 e 04). Isto justifica-se pelo fato de estas áreas apresentarem uma integração de classes favoráveis à todos os atributos analisados: altitudes superiores à 1.000 metros; terrenos com menores variações de declives; influência de menor infiltrabilidade subterrânea pelas unidades aquíferas gnáissico-granítica e xistosa, compreendendo solos com textura bem distribuída de silte, argila e areia; maior ocorrência das formas de terreno caracterizadas de planares à convergentes; maiores faixas pluviométricas (acima de 1.300mm/ano) e conseqüentemente, faixas mais amenas de temperatura e melhores índices de vazão nas microbacias. Apresenta ainda maior ocorrência de culturas permanentes, pastagens e vegetação nativa, considerados fatores de menor demanda hídrica, comparados às outras classes mapeadas no uso e cobertura do solo. As UAs 05, 06 e 08 classificam-se com predominância de disponibilidade hídrica.

Já os piores cenários foram indentificados nas UAs 07, 09, 10 e 11. As regiões onde ocorrem as menores estimativas, notavelmente estão associadas às classes dos atributos que menos contribuem para que haja uma maior disponibilidade hídrica, sendo o uso do solo de maneira desregrada nessas áreas um fator agravante para este cenário. As culturas temporárias e a Silvicultura compõem de maneira expressiva as áreas com menores disponibilidades, isso justifica-se pelo seu rápido crescimento e elevada absorção hídrica, além da elevada compactação do solo causada por diversos fatores. Durante a análise dos dados, observou-se ainda que os índices de vazão apresentam menores valores na região sul da bacia, conseqüentemente, esta área possui a maior concentração de Silvicultura da bacia, localizada à montante da UA 07.

Desta forma, as áreas classificadas com menores potenciais à disponibilidade hídrica necessitam claramente de medidas de planejamento e gestão quanto ao uso dos seus recursos hídricos superficiais e o documento cartográfico elaborado neste ZG reflete um mecanismo eficiente de suporte à decisão e direcionamento de ações de planejamento e ordenamento territorial, visando a regulação e gestão dos recursos hídricos nesta bacia hidrográfica.

Vale destacar que a metodologia aplicada é passível de ser utilizada em outras bacias hidrográficas com características geoambientais similares, em especial na região Sudeste do Brasil.

3.7 AGRADECIMENTOS

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

Agradecemos à CAPES pelo auxílio concedido e aos pesquisadores envolvidos no desenvolvimento deste Capítulo.

3.8 REFERÊNCIAS

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água. PANORAMA NACIONAL.** Volume 1, 72 p. Brasília: ANA, Engecorps/ Cobrape, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br>>. Acesso em: ago. 2018.

_____. ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: Relatório Pleno.** Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em: out. 2018.

BARBAROTTO JUNIOR, J. L. **Análise da disponibilidade hídrica da bacia do rio Jundiá por meio de simulações hidrológicas de cenários prováveis.** 2014. 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, 2014.

BOMFIM, L. F. C. **Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: concepção e metodologia.** In. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. 2010. 18 p., 2010, São Luís. Anais... São Luís: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/922>>. Acesso em: jul. 2018.

COLLARES, E. G. (a). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos Metodológicos.** Vol. 1. Passos, MG: Edifesp, 2013. 287 p.

COLLARES, E. G. (c). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico.** Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. 273 p.

COLLARES, E. G.; GOMES, D. M. Capítulo 6: Geologia. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico;** Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. (Pág. 154 – 164) 273 p.

COLLARES, E. G (d). Capítulo 9: Mapa de Unidades Texturais. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico;** Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. 273 p.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013. 336p.

COSTA, C. W.; LORANDI, R.; LOLLO, J. A.; & SANTOS, V. S. Potential for aquifer contamination of anthropogenic activity in the recharge area of the Guarani Aquifer System, southeast of Brazil. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 8, p. 10–23, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.08.007>>. Acesso em: jan. 2019.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Mapas Hidrogeológicos. **Carta Hidrogeológica do Brasil ao Milionésimo, Folha SF 23 – Rio de Janeiro**. 2015. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb>>. Acesso em: ago. 2018.

DE NARDIN, D.; ROBAINA, L. E. de S. Zoneamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul: Um Estudo em Bacias Hidrográficas em Processo de Arenização. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n. 3, p. 487 – 502, 2010.

DESSU, S. B.; MELESSE, A. M.; BHAT, M. G.; McCLAIN, M. E. Assessment of water resources availability and demand in the Mara River Basin. **Catena**, v. 115, p. 104 – 114, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.017>>. Acesso em: nov. 2018.

DIAS, C. C. (a); PEJON, O. J.; SILVA, J. A.; COLLARES, A. C. Z. B.; COLLARES, E. G. Capítulo 1: CLIMA. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico**; Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. (Pág. 31 - 81) 273 p.

DIAS, D. F.; TRENTIN, R.; SCCOTI, A. A. V. Zoneamento Geoambiental para o Município de Mata/RS: Síntese das Potencialidades e Fragilidades. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, v. 30, p. 132 - 148, 2015.

FARAMARZI, M.; ABBASPOUR, K. C.; ADAMOWICZ, W. L. V.; LU, W.; FENNELL, J.; ZEHNDER, A. J. B.; GOSS, G. G. Uncertainty based assessment of dynamic freshwater scarcity in semi-arid watersheds of Alberta, Canada. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 9, p. 48 - 68, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.11.003>>. Acesso em: nov. 2018.

GALVANI, Emerson. **Climatologia I: Unidades Climáticas Brasileiras**. USP. Departamento de Geografia. 8 p. 2012.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades: Censo Demográfico - Informações Estatísticas**, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: mar. 2018.

_____. **Mapa de Biomas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: ago. 2018.

IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Portal dos Comitês**. Página da web. 2018. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/>>. Acesso em: out. 2018.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - TOPODATA, Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. **Forma de Terreno**. 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: out. 2018.

MENEZES, D. B.; ZUQUETTE, L. V. Avaliações metodológicas em estudos geoambientais de bacias hidrográficas: a bacia do rio Pardo. **Anais...** São Carlos: Suprema Gráfica Editora, 2004.

NAGHETTINI, M.; VON SPERLING, M. Capítulo 2: Características hidrológicas de rios. In: VON SPERLING, Marcos (Org.). **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias). Vol. 7. 2007. 588 p.

OLIVEIRA, Laís Thomazini. **Método para identificar áreas prioritárias à recomposição florestal visando aumentar a disponibilidade hídrica**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro. Espírito Santo, 2018.

PEREIRA, D. dos R.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; & DA SILVA, D. D. Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT model part I: Calibration and validation tests. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 7, p. 14–37, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.05.002>>. Acesso em: nov. 2018.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. dos; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de Bacia Hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antônio F. M. **Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus – BA: Editus, 2008. p. 17-35.

RIGHI, E.; ROBAINA, L. E. de S. Estudos Geoambientais: mapeamento de Bacias Hidrográficas no Oeste do Rio Grande do Sul. **Revista Geografia**. Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências. Londrina, 2008. v. 17, n. 1, p. 25 – 42, jan. /jun. 2008.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: McGraw-Hill International, 1980.

SALIS, H. H. C. de; EVANGELISTA, L. P.; COSTA, A. M. da; HORTA, I. M. F. Diagnóstico da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Rio Manso-MG. **Caminhos da Geografia**, [S.l.], v. 18, n. 64, p. 91-102, dez. 2017. ISSN 1678-6343. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14393/RCG186408>>. Acesso em: jan. 2019.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Halen: Transacion. **American Geophysical Union**, 1957. v. 38, p. 913-920.

_____. *Software*. ESRI (Environmental Systems Research Institute). **ArcGIS® for the desktop**: ArcMap, version 10.5, 2017.

TRAFICANTE, D. P.; CAMPOS, S.; MANZIONE, R. L.; TIMÓTEO, B. (2017). Fragilidade Ambiental Da Bacia Hidrográfica Do Rio Capivari, Botucatu-SP. **Energia na Agricultura**, v. 32, n. 1, p. 88–95, jan/mar, 2017.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L.E. de S. Metodologia para Mapeamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. In.: XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2005. p. 3606 - 3615.

TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS. Coleção ABRH de Recursos Hídricos; Vol.4. 2009. 943 p.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-15318-RPE/818). 2008 (Boletim), 75p.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água Morrendo de Sede- Uma visão analítica na metodologiad uso e abuso dos recursos hídricos**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. p. 21. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/edipucrs/online/planetaagua.pdf>> Acesso em: dez. 2018.

WANG, W.; FU, J. Global assessment of predictability of water availability: A bivariate probabilistic Budyko analysis. **Journal of Hydrology**, v. 557, p. 643–650, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.068>>. Acesso em: nov. 2018.

WWAP. UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME - UN-Water. 2018. **The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water**. 154 p. Paris: UNESCO, 2018. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/pt/brasil/natural-sciences/environment/wwdr/>>. Acesso em: nov. 2018.

ZUQUETTE, Lázaro V. **Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para Condições Brasileiras**. 1987. V. 1. Tese (Doutorado) – Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 1987.

4. ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA FRENTE AS AÇÕES ANTRÓPICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO, MG

4.1 RESUMO

Junto ao acelerado desenvolvimento econômico, o uso dos recursos hídricos tem se intensificado, tanto em questões de quantidade demandada, quanto pela diversidade de seus usos. A demanda hídrica, definida como a vazão de retirada para atender os diversos usos consuntivos de recursos hídricos, tem se apresentado como um fator agravante no regime hidrológico de bacias hidrográficas que apresentam intensas vazões de consumo. A bacia hidrográfica do Rio São João, com 2.417,70 km² de extensão, se caracteriza por sua diversidade de uso do solo e de atividades antrópicas urbanas e rurais, apresentando um excessivo uso de seus recursos hídricos, tanto superficiais, quanto subterrâneos. Desta forma, adotou-se como objetivo realizar a estimativa da demanda hídrica nas microbacias da área de estudo e um diagnóstico quanto à ocorrência destas demandas, sendo elaboradas as Cartas de Demanda Hídrica Superficial e de Demanda Hídrica Subterrânea. O desenvolvimento do estudo tomou-se como base a implementação da metodologia ZAP (Zoneamento Ambiental Produtivo), considerada como a metodologia oficial de subsídio e aprimoramento da gestão ambiental das sub-bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais, envolvendo três etapas: I) definição de unidades de ambientais e microbacias; II) cálculo das demandas pelos usuários regularizados e não regularizados da bacia e estimativa da demanda hídrica; III) estudo e mapeamento das ações antrópicas pontuais da bacia. Foram identificados 688 pontos de captação de água superficial (511 regularizados e 177 não regularizados) e 244 pontos de captação subterrânea (162 regularizados e 82 não regularizados), apresentando demanda superficial total de 589,54m³/h e subterrânea de 1.243,77 m³/h, associadas à 13 finalidades de uso distintas, sendo as principais: mineração, industrial, irrigação, consumo humano e dessedentação de animais. Dentre as 581 microbacias mapeadas, 26 se enquadraram nas classes de demanda Alta (2,01 a 5,0m³/h/km²) e Muito Alta (>5,0m³/h/km²) superficial e/ou subterrânea e apresentam-se em estado de alerta, no entanto, a maior parte das microbacias apresentou algum tipo de intervenção em seus recursos hídricos. Notavelmente, as microbacias com elevado índice de intervenções requerem a aplicação de planos de ação que visem aprimorar a gestão e regulação de uso dos recursos hídricos, com isto, pode-se considerar que os resultados desta pesquisa representam uma ferramenta de suporte à decisão, frente à viabilidade de análise integrada do território desta bacia, visando a prevenção de potenciais conflitos de uso nas regiões que apresentam elevados índices de demanda hídrica.

Palavras chave: Zoneamento Ambiental Produtivo; Mapeamento geoambiental; SIG; Usuários de Recursos Hídricos; Uso e Cobertura do Solo.

4.2 INTRODUÇÃO

No passado, a água era usada apenas para finalidades básicas, como usos domésticos, criação de animais e uso agrícola a partir das chuvas. À medida que a civilização foi se desenvolvendo, foram surgindo outras finalidades de uso da água e, conseqüentemente, a disputa e conflito entre seus usuários (LANNA, 2009).

Diante deste acelerado desenvolvimento da sociedade, o consumo de água (especialmente de água doce) tem aumentado dramaticamente (WANG et al, 2018) e embora o Brasil seja um dos países com maior disponibilidade hídrica *per capita* no mundo (SILVA et al, 2016) seus recursos hídricos estão distribuídos de forma desigual nas 12 Regiões Hidrográficas brasileiras e, conseqüentemente, nos estados.

Estima-se que a disponibilidade hídrica superficial no Brasil seja em torno de 78.600 m³/s. Cerca de 80% deste valor encontra-se disponível na Região Hidrográfica Amazônica que, no entanto, possui baixa densidade demográfica e pouca demanda hídrica. Por outro lado, a Região Hidrográfica do Paraná, com cerca de 5,6% da disponibilidade hídrica (4.390 m³/s) apresenta os maiores índices de retirada e consumo de água do país, destacando-se a área de abrangência dos estados de Minas Gerais e São Paulo, devido ao uso intensivo dos recursos hídricos e intervenções antrópicas em larga escala (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

Atentando-se aos elevados índices de demanda nesta região, nota-se que a manutenção da distribuição de água vem sendo afetada por fatores como a variabilidade climática, o desperdício pelos seus usuários e por problemas ambientais (DUARTE e MIOLA, 2016). Tais problemas, associados ao uso indiscriminado deste recurso e à baixa eficácia da sua gestão, podem resultar em alterações substanciais do regime hidrológico das bacias hidrográficas.

Em geral, a demanda hídrica está relacionada à diversos fatores, como população, preço da água, clima, meio ambiente e economia (WANG et al, 2018). Normalmente, os usos da água são classificados em consuntivos e não consuntivos, sendo os consuntivos caracterizados por alterar substancialmente a quantidade de água disponível para outros usuários e os não-consuntivos alteram pouco a quantidade de água, mas podem modificar sua qualidade (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015). Desta forma, a demanda hídrica pode ser definida como a vazão de retirada, ou água captada, para atender os diversos usos consuntivos de recursos hídricos (MATOS et al., 2007).

Os principais usos consuntivos da água no Brasil são para irrigação; abastecimento humano urbano e rural; atividades industriais; mineração; dessedentação de animais e geração de energia por termelétricas. De acordo com o Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos de 2018 (WWAP, 2018) a demanda mundial por água tem aumentado a uma taxa de aproximadamente 1% por ano e as captações de água para irrigação foram identificadas como a principal causa da redução dos níveis de água em todo o mundo, além disso, prevê-se que demanda por água das indústrias e das residências aumentará de forma significativa durante as próximas duas décadas, principalmente em países com economias emergentes ou em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433 de 1997), tem como um de seus objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de águas, em qualidade adequada aos seus respectivos usuários e dentre os cinco instrumentos de gestão de recursos hídricos, vale destacar seu terceiro instrumento: “a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos” (BRASIL, 1997).

Sendo de competência estadual, a outorga de uso dos recursos hídricos tem a função de autorizar, determinar e regular a quantidade e o prazo de retirada de água pelo usuário, podendo ser de origem superficial ou subterrânea, assegurando assim, o acesso de maneira regulada a todos os usuários. No estado de Minas Gerais, a outorga de recursos hídricos é concedida por meio do IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas), órgão integrado ao SISEMA (Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos) (MINAS GERAIS, 2016; 2018).

No entanto, para que este instrumento seja replicado em escala local, torna-se necessário compreender a dinâmica fluvial e as características das demandas dos usuários de água da região (SALIS et al., 2017) e considerando a bacia hidrográfica como unidade territorial básica para o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos (BRASIL, 1997), a estimativa da demanda de água é o primeiro passo para a alocação dos recursos hídricos de maneira eficaz, podendo inferir um cenário futuro de acordo com situação atual da demanda hídrica (WANG et al, 2018).

Recentemente, o estado de Minas Gerais adotou como metodologia oficial de subsídio e aprimoramento da gestão ambiental das sub-bacias hidrográficas a “Metodologia Mineira de Caracterização Socioeconômica e Ambiental de Sub-bacias Hidrográficas”, denominada Zoneamento Ambiental Produtivo - ZAP, desenvolvida pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD – e pela Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SEAPA (SEMAD/SEAPA, 2016).

Conforme o Decreto Estadual nº 46.650 de 19 de novembro de 2014 (MINAS GERAIS, 2014), esta metodologia tem como objetivo a disponibilização de base de dados e informações referente às outorgas dos recursos hídricos da bacia em estudo, que subsidiarão a formulação, a implantação e o monitoramento de planos, programas, projetos e ações que busquem o aprimoramento do planejamento e da gestão ambiental por território no estado de Minas Gerais.

Em diversos estudos ambientais, as técnicas de zoneamento visam estabelecer estratégias de desenvolvimento regional, viabilizando a inserção da questão ambiental nos processos de tomada de decisão (ROSA e FERREIRA, 2018) e integrando-se a esta técnica o levantamento de dados secundários e a aplicação de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) podem ser levantados o uso múltiplo da água e a sua efetiva distribuição no espaço (COSTA et al., 2018).

Frente à importância do estudo de usos da água em escala regional (USSAMI e GUILHOTO, 2018), um diagnóstico detalhado quanto à demanda hídrica em bacias hidrográficas é digno de ser elaborado. Desta forma, definiu-se para aplicação deste trabalho a Bacia Hidrográfica do Rio São João (BH-SJ), a qual se caracteriza como uma sub-bacia da UPGRH-GD7 (Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande), tendo como objetivo principal realizar a estimativa da demanda hídrica nas microbacias de drenagem desta unidade territorial e elaborar as Cartas da Demanda Hídrica Superficial e da Demanda Hídrica Subterrânea, utilizando-se como base os dados relacionados às outorgas cadastradas no banco de dados do IGAM e o mapeamento da dinâmica de ocupação destes usuários na bacia.

Assim, o estudo da demanda hídrica na BH-SJ realizado por meio da implementação da metodologia ZAP busca subsidiar planos de ações que visem o aprimoramento da gestão dos recursos hídricos para controlar ou prevenir potenciais conflitos de uso nesta unidade de planejamento e gestão de recursos hídricos, podendo contribuir significativamente para as diretrizes de ordenamento do uso do solo no âmbito da bacia hidrográfica.

4.3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio São João (BH-SJ), localizada à Sudoeste do estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas 21°12'26,9" e 20°35'25,15" de latitude Sul e 47°03'18" e 46°23'30" de longitude Oeste, se caracteriza como a mais extensa das 34 unidades ambientais (sub-bacias) da bacia hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande, MG (UPGRH-GD7), ocupando cerca de 24,75% (2.417,7 km²) da área da GD7.

A área em estudo integra totalmente cinco municípios e parcialmente seis municípios mineiros, dentre os quais, oito apresentam suas sedes municipais no território da bacia e apresenta uma densidade populacional de aproximadamente 42,14 hab./km² (IBGE, 2010).

O Rio São João, com aproximadamente 177 km de extensão tem sua nascente localizada próximo ao perímetro urbano do município de Nova Resende-MG e foz no município de Cássia-MG, ao norte da bacia, onde, desemboca no trecho do Rio Grande localizado entre as represas de Furnas e Peixoto. Seus principais afluentes de macrodrenagem, com suas respectivas extensões são: Ribeirão São João (64 km); Ribeirão Tabuão (16 km); Ribeirão do Mamote (14km); Córrego Lenhoso (07km); Ribeirão São Pedro (13km); Ribeirão Santana (37km); Rio Santana (73km); Ribeirão do Cantagalo (08km); Rio das Palmeiras (37km); e Córrego da Prata (06km).

O clima da região se classifica como tropical de altitude influenciado por massas de ar polares, com características de clima temperado úmido de inverno seco e verão moderado (KÖPPEN G. e STRAHLER A., 1900 apud GALVANI, 2012), com temperaturas médias anuais de 20,6°C. O regime pluviométrico apresenta sazonalidade anual com períodos úmidos e secos bem definidos e suas médias anuais variam entre 1.280 mm e 1.420 mm nas faixas que vão de nordeste à sudoeste da bacia, respectivamente.

A geologia é composta por formações rochosas datadas do Pré-Cambriano, representadas por rochas do embasamento cristalino e metassedimentares, bem como, por formações Fanerozóicas com ocorrência de depósitos vulcânicos e sedimentares representados por rochas da Bacia do Paraná, sendo a maior porção da BH-SJ composta por substratos rochosos metamórficos, com predomínio de gnaisses com intercalações de xisto, quartzito, anfíbolito e mica-xisto do Grupo Araxá; gnaisses e migmatitos do Complexo da Barbacena; e, os arenitos da Bacia do Paraná (COLLARES e GOMES, 2013).

Ainda com relação as suas características físicas, a hipsometria da BH-SJ possui variação de 1.335 metros do seu ponto mais alto (sul e sudoeste) à 660 metros no seu ponto

mais baixo, sentido à sua jusante (norte) e a pedologia (ANDRADE e FONSECA, 2013) se caracteriza por Latossolos Vermelhos Vermelho-amarelos (50,16%); Argissolos Vermelhos Amarelos (41,82%); Latossolos Vermelhos Férricos (3,27%); Nitossolos Vermelhos (3,35%); e, Neossolos Litólicos (1,4%).

Caracterizada como o principal afluyente de macrodrenagem de sua região e fundamental para o desenvolvimento social e econômico, a bacia evidencia um uso intensivo de seus recursos hídricos devido seu elevado índice de ocupação e intervenções antrópicas. Almeida et al. (2013) destaca em seu diagnóstico do uso dos recursos hídricos que a agricultura, pecuária e as atividades minerárias se classificam como os maiores usuários desses recursos na região em estudo, seguido pelas atividades industriais e estabelecimentos comerciais.

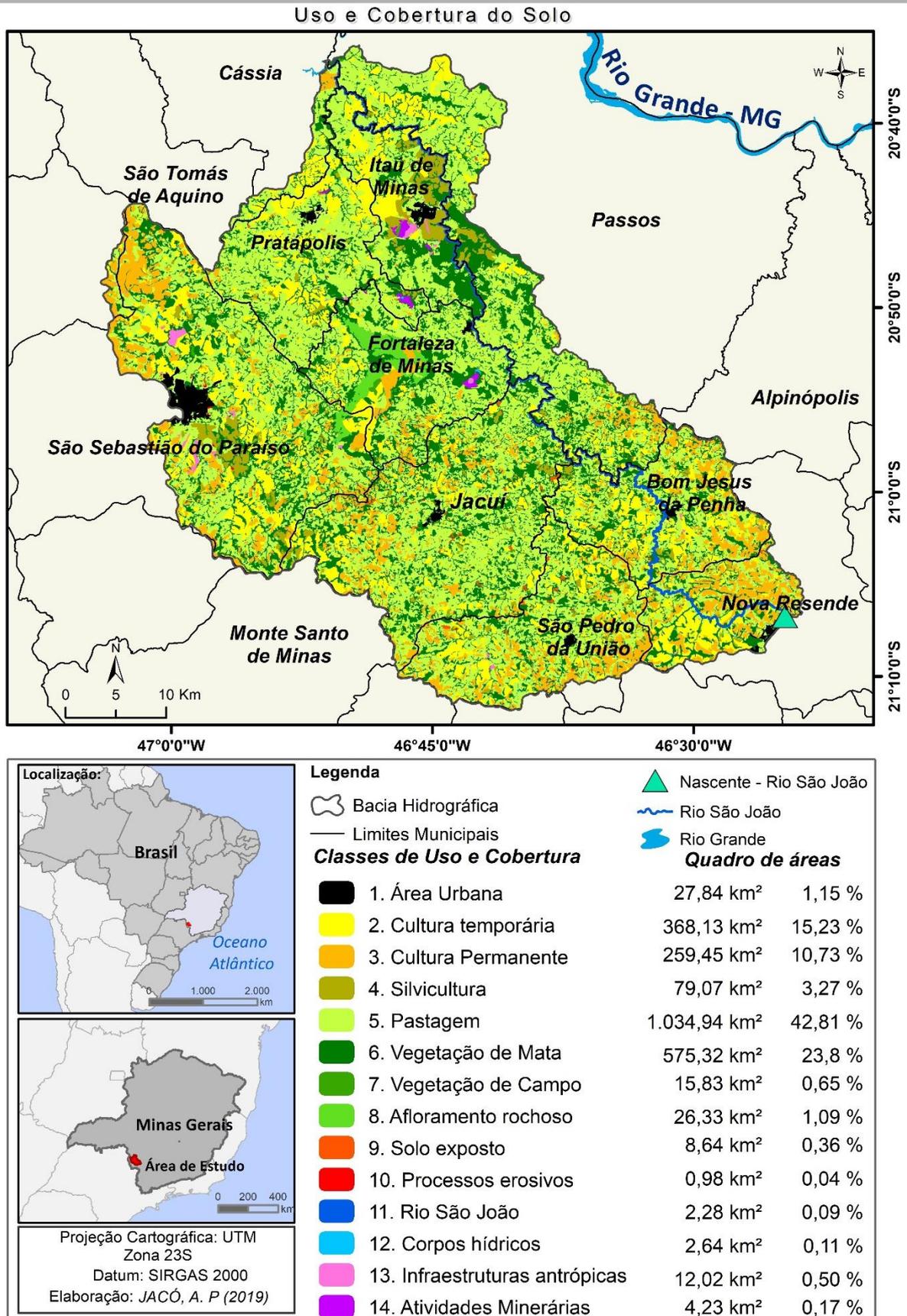
Quanto ao cenário de uso do solo, a bacia apresenta predominância de campos limpos, campos sujos e pastagens naturais, ocupando 42,8% de sua área total. Com segundo maior índice de uso e cobertura, cerca de 29,2%, destacam-se os setores das agriculturas permanentes e temporárias, compreendendo principalmente o cultivo de cafés, cana de açúcar, milho, feijão, soja e batata.

A cobertura florestal da bacia hidrográfica ocorre por todo seu território de maneira fragmentada, sendo 23,8% de sua área coberta por fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual Montana do bioma Mata Atlântica e 0,65% por vegetação de campo com predominância arbustiva do bioma de Cerrado.

No setor industrial, destaca-se a concentração atividades industriais diversas, tais como, atacadistas, alimentícias, químicas, metalúrgicas e agroindústrias. Além disso, esta bacia suporta a exploração mineral em grande escala, destacando-se dentre as diversas áreas de extração de cascalho, areia, argila e rochas para a construção civil, a presença de três jazidas de mineração de grande porte, localizadas nos municípios de Itaú de Minas (minérios de calcário e argila), Pratápolis (mineração de ferro níquel, silicato de magnésio e pedra brita) e Fortaleza de Minas (extração de níquel e enxofre elementar).

Na Figura 32 é apresentada a localização geográfica da BH-SJ com seus limites administrativos e o Mapa de Uso e Cobertura do Solo com as classes de uso e suas respectivas áreas de abrangência.

Figura 32. Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio São João e sua localização geográfica



Fonte: autora.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho incluem o mapeamento das atividades antrópicas pontuais da área de estudo, em especial às que se referem a captações hídricas superficiais e subterrâneas. As informações cartográficas foram estruturadas em um banco de dados digital georreferenciado, conforme descrito na Tabela 13.

Tabela 13. Planos de informação cartográfica utilizados

Atributos	Descrição	Fonte
Pontos de captação dos usuários de recursos hídricos	Outorgas e usos insignificantes superficiais	IGAM (2016)*
	Outorgas e usos insignificantes subterrâneos	
	Captações superficiais não regularizadas	Almeida et al. (2013)
	Captações subterrâneas não regularizadas	
Atividades antrópicas pontuais	Áreas Urbanas e Chacreamentos	Autora
	Barramentos artificiais	
	Edificações rurais	
	Infraestruturas de pecuária	Autora / Collares et al. (2013)
	Atividades industriais e minerárias	

*IGAM: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, órgão integrado ao Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (MINAS GERAIS, 2016).

A manipulação dos dados foi realizada utilizando o SIG ArcGis 10.5[®] (ESRI, 2017), sistema de projeção cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator), Zona 23 Sul e Datum SIRGAS 2000.

4.4.1 Metodologia

A Metodologia Mineira de Caracterização Socioeconômica e Ambiental de Sub-bacias Hidrográficas, denominada Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP), instituída pelo Decreto Estadual nº 46.650/2014 (MINAS GERAIS, 2014), tem como objetivo disponibilizar uma base de dados e informações para subsidiar o aprimoramento da gestão ambiental em sub-bacias hidrográficas, que envolve a elaboração de planos, pactos e ações e a definição de indicadores para acompanhamento e avaliação (SEMAD/SEAPA, 2016).

Este método consiste em três grandes etapas: I) definição de unidades de paisagem e delimitação de microbacias; II) estudo da disponibilidade hídrica, utilizando-se da base de dados de usuários de água do IGAM; III) estudo do uso e cobertura do solo.

Com base na metodologia do ZAP e atentando-se aos objetivos deste trabalho, as etapas propostas foram adaptadas e desenvolvidas em três partes principais: I) definição de unidades ambientais e delimitação de microbacias; II) estimativa da demanda hídrica das microbacias de drenagem da BH-SJ, utilizando-se das bases de dados de usuários de água do IGAM e ZA-GD7 (Collares, 2013b); III) estudo e mapeamento das ações antrópicas pontuais.

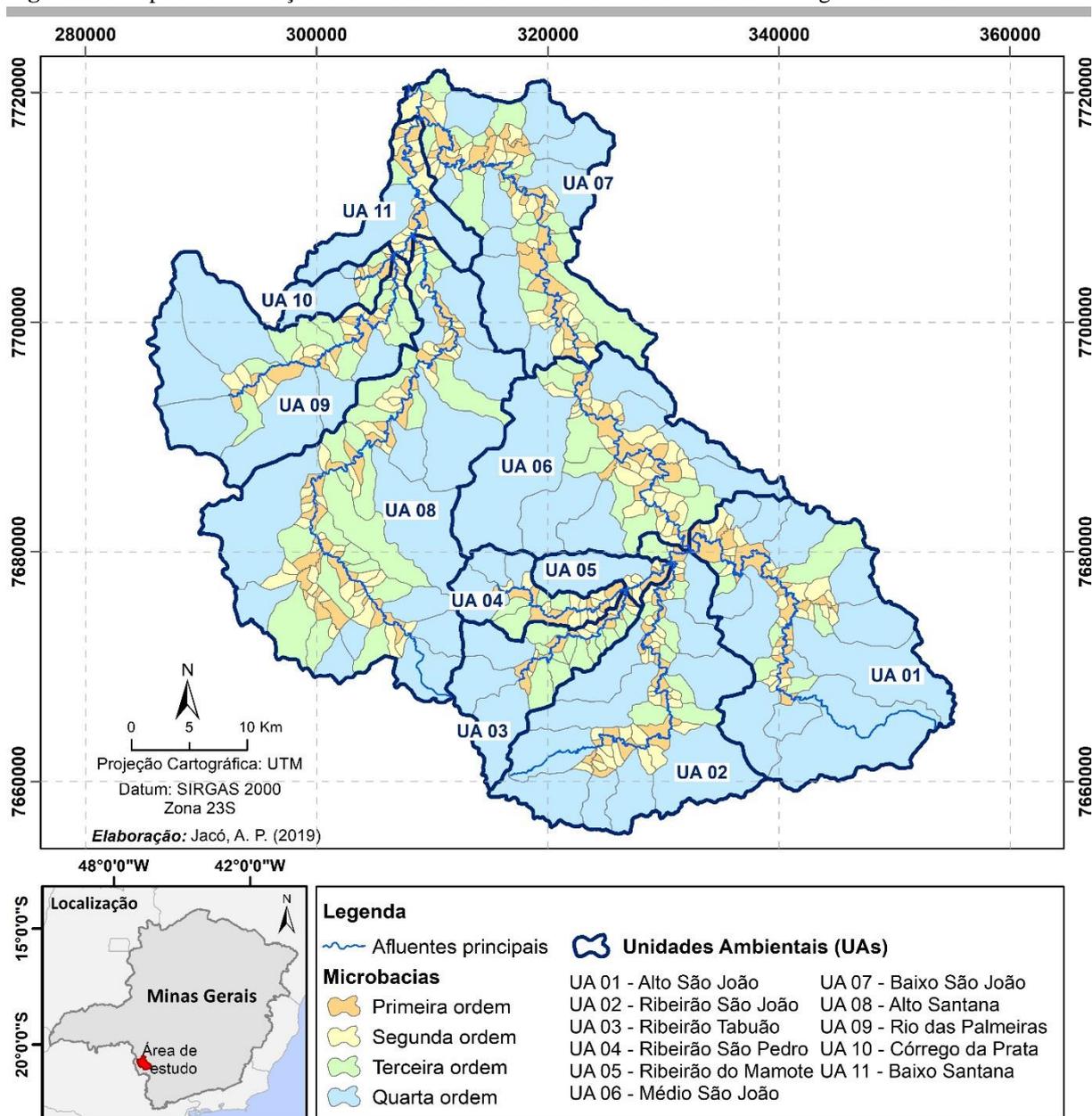
Vale destacar que o estudo do uso e cobertura do solo da BH-SJ foi realizado em etapa antecedente à esta e a síntese de seus resultados são apresentados na caracterização da área de estudo (tópico 4.3).

I) Definição de unidades ambientais e delimitação das microbacias

Para o zoneamento da área de estudo e estruturação dos resultados de maneira pormenorizada, a bacia foi compartimentada em dois níveis de detalhamento: a primeira, realizada por Collares, Gomes e Santos (2013) definindo microbacias com base nos canais de drenagem de primeira à quarta ordens, seguindo o sistema de classificação quanto à hierarquia fluvial dos corpos d'água (STRAHLER, 1957); posteriormente, o método de definição de unidades da paisagem foi modificado para unidades ambientais (UAs), delimitando-se sub-bacias com base nos canais de quinta à oitava ordens, referente aos principais afluentes de drenagem da bacia hidrográfica.

A compartimentação é composta por 581 microbacias (Mbs), sendo 207 de 1ª ordem; 214 de 2ª ordem; 91 de 3ª ordem; 69 de 4ª ordem, e onze unidades ambientais (UAs) de 5ª a 8ª ordens. A Figura 33 apresenta o Mapa da delimitação das UAs e de suas respectivas microbacias.

Figura 33. Mapa de delimitação das unidades ambientais e das microbacias de drenagem da BH-SJ



Fonte: Collares, Gomes e Santos (2013); autora (2019).

II) Estimativa da demanda hídrica nas microbacias de drenagem da BH-SJ

Para estimar os valores de demanda hídrica em termos quantitativos, esta etapa considerou os dados de vazão de retirada total de água dos usuários passíveis de outorga de direito de uso dos recursos hídricos.

Conforme descrito na metodologia do ZAP, nesta etapa foi solicitado ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), junto à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e

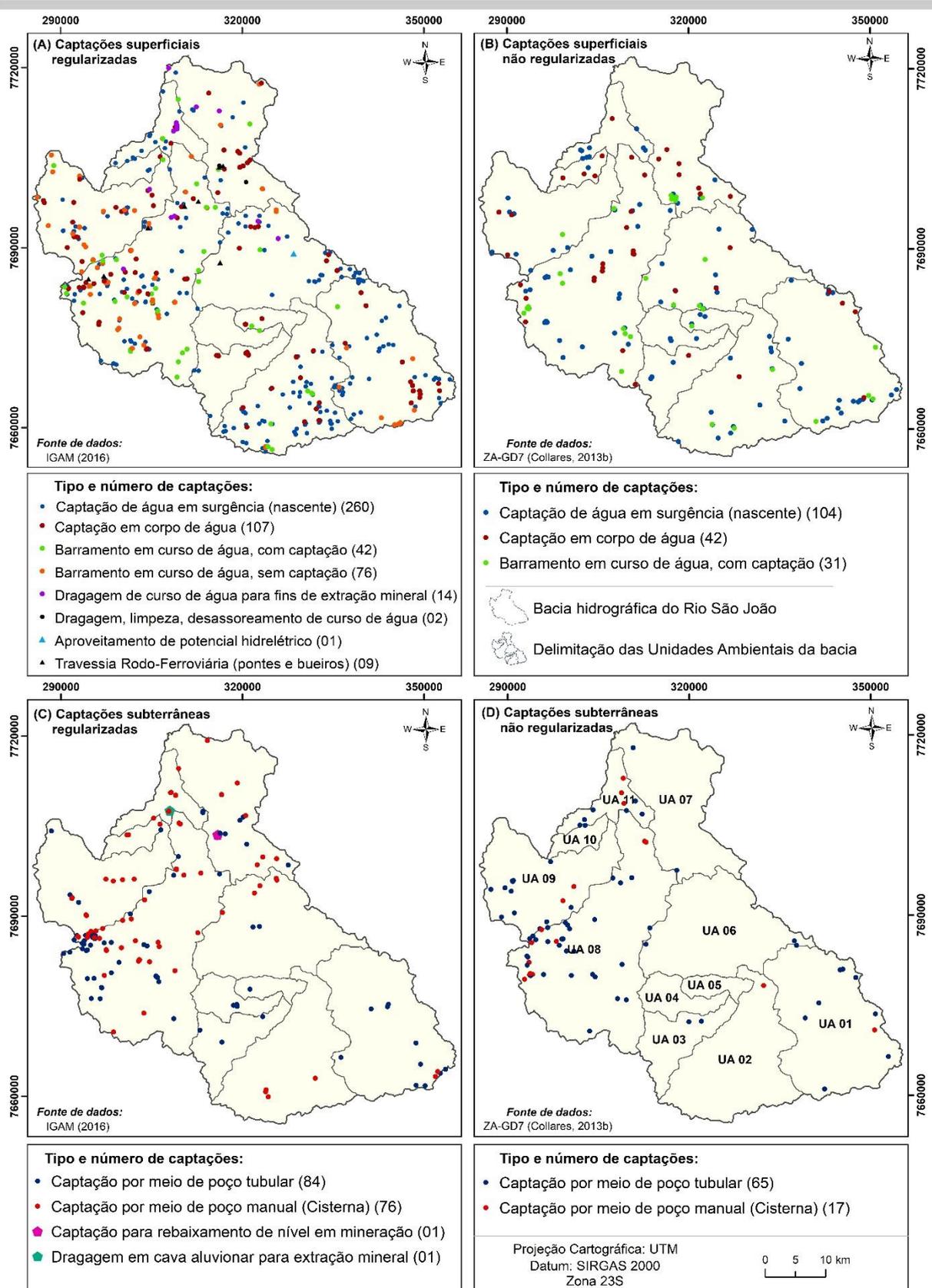
Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), os dados dos processos de outorga e uso insignificante da bacia em estudo. Os dados obtidos referem-se aos processos cadastrados até o ano de 2016 e incluem informações quanto ao número do Processo, Coordenadas Geográficas, Portaria, Ano da portaria, Vazão de captação, Curso d'água, UPGRH de domínio, Finalidade, Modo de uso, Tipo, Data de Publicação e Validade. Estes dados foram filtrados e as vazões foram convertidas para a unidade de medida metros cúbicos por hora (m³/h) e transpostos para o SIG, possibilitando realizar o mapeamento dos usuários e o levantamento da demanda de água de cada trecho dos cursos d'água da BH-SJ. Os processos sem informação de vazão foram discriminados da análise.

Considerando a parcela de usuários dos recursos hídricos não regularizados, que são passíveis de cadastro, utilizou-se os dados levantados pelo ZA-GD7 (Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande) referente aos pontos de captação não regularizados da área de estudo, que apresentam informações quanto ao empreendimento, tipo de captação, finalidade, modo de uso e vazão estimada de consumo diário, em m³/h. Esta pesquisa envolveu um profundo estudo e localização das principais intervenções efetivadas nos corpos d'água, envolvendo sensoriamento remoto, trabalhos de campo com visitas a empreendimentos industriais e agropecuários, análise de dados existentes nos sistemas de informações do estado para desconsiderar os usuários já regularizados (ALMEIDA, et. al., 2013).

A base de dados foi estruturada considerando as captações superficiais e subterrâneas, discriminadas em intervenções regularizadas e não regularizadas. Os modos de uso superficiais (captação em curso de água, captação em barramento, barramento em curso de água sem captação, canalização de curso de água, dragagem para fins de extração mineral, travessia rodoferroviária) e subterrâneos (captação em nascente, poço tubular, poço manual ou cisterna, dragagem em cava aluvionar, rebaixamento de nível de água) foram reagrupados considerando as captações em nascentes como intervenções superficiais, visto que estas apresentam influência no regime hídrico superficial da bacia, alterando o volume à jusante de seu curso d'água.

A Figura 34 apresenta os planos de informação estruturados na base de dados, subdivididos em captações superficiais regularizadas; captações superficiais não regularizadas; captações subterrâneas regularizadas; captações subterrâneas não regularizadas, conforme exposto nos quadros A, B, C e D da referida Figura.

Figura 34. Pontos de captação dos usuários de recursos hídricos regularizados e não regularizados na BH-SJ



Fonte: autora.

A estimativa da demanda hídrica da bacia foi elaborada com base nas vazões de retirada de cada trecho da bacia, por meio da intersecção entre os dados de vazão e a delimitação da microbacia de abrangência do ponto de captação. Considerando a distinção de área entre as microbacias, foi realizada a equalização dos cálculos de demanda aplicando-se a equação de densidade, podendo estimar vazão de retirada de água em cada microbacia de drenagem considerando sua área de abrangência, sendo determinada da seguinte forma:

$$(1) \quad \text{DH na microbacia} = \Sigma Q_{\text{Total}} (\text{m}^3/\text{h}) \div \text{Área} (\text{km}^2)$$

Onde:

DH na microbacia: representa a demanda hídrica estimada em $\text{m}^3/\text{h}/\text{km}^2$;

ΣQ_{Total} : somatória das vazões totais de retirada nos pontos de captação;

Área: área abrangência da microbacia em km^2 .

O método foi aplicado para calcular tanto os valores de demanda superficial, quanto as demandas subterrâneas e para a representação cartográfica de sua ocorrência de maneira pormenorizada, foram elaboradas as Cartas da Demanda Hídrica Superficial e da Demanda Hídrica Subterrânea das microbacias de drenagem da BH-SJ, compreendendo cinco classes de demanda: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta.

Baseando-se nas classes de demanda hídrica total determinadas em escala nacional pelo Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas (SNIRH-ANA) (BRASIL, 2018), os intervalos de valores foram redefinidos com base na escala de mapeamento adotada para este trabalho (1:50.000), sendo admitidas cinco classes de demanda hídrica, tanto para as estimativas superficiais, quanto para as subterrâneas, como apresentado na Tabela 14.

Tabela 14. Classes de demanda hídrica das microbacias da BH-SJ

Classes de Demanda Hídrica	Vazão total de retirada de água na microbacia ($\text{m}^3/\text{h}/\text{km}^2$)
Muito Baixa	< 0,001
Baixa	0,001 a 0,5
Média	0,51 a 2,0
Alta	2,01 a 5,0
Muito Alta	> 5,0

Fonte: adaptado e modificado de SNIRH-ANA (2018).

Ao final, obteve-se um diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos na área de estudo, identificado suas áreas de maior comprometimento. O perfil dos usuários foi avaliado conforme classificação adotada pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), que determina como principais tipos de usos consuntivos o abastecimento urbano, demanda rural (consumo humano e dessedentação animal), industrial e agroindustrial, irrigação, aquicultura, lavagem de veículos e mineração.

Outros usos como turismo e lazer, geração de energia e navegação não foram considerados neste estudo pois não apresentaram ocorrência na área de estudo.

III) Estudo e mapeamento das ações antrópicas pontuais

Esta etapa consistiu em representar de maneira quali-quantitativa a espacialização geográfica e dinâmica de ocupação das ações antrópicas consideradas como fontes de demanda hídrica consuntiva que contribuem para com a alteração do regime hídrico das unidades ambientais da bacia em estudo.

As imagens utilizadas como base para o mapeamento provêm da Constelação de Satélites RapidEye, do sensor *REIS (RapidEye Earth Imaging System)*, com passagem na data de 12/05/2017, sendo multiespectrais e ortorretificadas, com resolução espacial de 5,0 metros e resolução radiométrica de 12 bits (PLANET TEAM, 2017), onde foram mapeadas áreas urbanas, chacreamentos, edificações rurais, barramentos artificiais, atividades industriais e minerárias e, infraestruturas pecuárias (galpões de criação de bovinos, suínos ou aves). Considerou-se neste mapeamento a escala de 1:10.000.

Para realizar o refinamento quanto à classificação destas atividades, os dados foram confrontados com a base de dados das Atividades Modificadoras do Meio Físico do ZA-GD7, disponibilizada pelo *Projeto Grande Minas – União Pelas Águas* (COLLARES, 2013b). Com base nos dados, foram identificadas as principais atividades industriais e minerárias, separadas quanto ao seu tipo e potencial de degradação (baixo, médio e alto) as indústrias classificam-se em comércio atacadista, alimentícias, químicas, metalúrgicas e postos de combustível (COLLARES et al., 2013).

Foram estimados para algumas das atividades o percentual de área ocupada em cada UA e para outras, calculou-se a densidade de ocorrência nas UAs da bacia, que consistiu em duas equações básicas, relacionando o percentual de área de ocorrência e a densidade de ocorrência das atividades pontuais, conforme descrito na Tabela 15.

Tabela 15. Equações aplicadas para análise das ocorrências das ações antrópicas avaliadas

	Equações	Atividades avaliadas
(2)	Percentual de ocupação = (área da atividade*100) ÷ área da UA (%)	Área Urbana Chacreamentos Barramentos artificiais
(3)	Densidade de ocorrência = ocorrência da atividade ÷ área da UA (n° de pontos/Km ²)	Edificações rurais Infraestruturas de pecuária Atividades industriais Atividades minerárias

Fonte: autora.

Por fim, gerou-se a Carta das Ações Antrópicas Pontuais da Bacia Hidrográfica do Rio São João e o diagnóstico de ocorrência dos usuários dos recursos hídricos por unidade ambiental, afim de manter um controle maior na implementação de futuras instalações nas áreas que já apresentam elevada densidade de ocupação.

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Estimativa da demanda hídrica nas microbacias de drenagem da BH-SJ

O levantamento dos dados de demanda hídrica para a BH-SJ, apontou a existência de 688 pontos de captação de água superficial (511 regularizados e 177 não regularizados) e 244 pontos de captação subterrânea (162 regularizados e 82 não regularizados). Dentre as principais finalidades de uso consuntivo, constam o consumo humano, a dessedentação de animais, consumo industrial e agroindustrial, irrigação, mineração e lavagem de veículos. A Tabela 16 apresenta um panorama sobre a quantidade e finalidade de uso dos recursos hídricos na bacia em estudo, considerando de maneira distinta as captações superficiais e subterrâneas.

Tabela 16. Demanda total de consumo (m³/h) por finalidade de uso dos recursos hídricos na BH-SJ

Finalidade de uso	Vazão total de consumo Superficial (m³/h)	Vazão total de consumo Subterrâneo (m³/h)
1 - Consumo humano (urbano)	92,31	68,11
2 - Consumo humano (rural)	176,16	112,87
3 - Consumo agroindustrial	20,00	40,35
4 - Dessedentação de animais	65,92	119,52
5 - Industrial	63,13	309,18
6 - Irrigação	165,55	33,02
7 - Lavagem de veículos	1,01	49,20
8 - Mineração	1,31	511,52
9 - Outros*	4,15	0
Demanda hídrica total	589,54 m³/h	1.243,77 m³/h

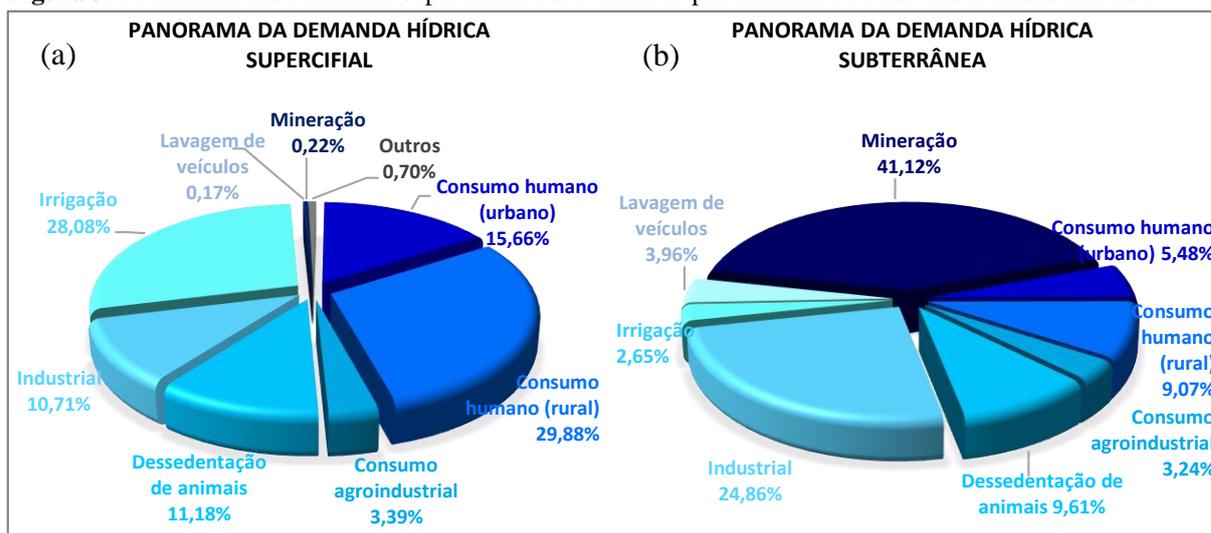
*Outros: Aquicultura; turismo; lazer; finalidade não declarada. Fonte dos dados: IGAM, 2016.

Os gráficos (a) e (b), ilustrados na Figura 35 apresentam o panorama geral das proporções de demanda hídrica superficiais e subterrâneas por finalidade de uso dos recursos hídricos na bacia do Rio São João.

Dentre as finalidades de uso superficiais, nota-se que o consumo humano rural e a irrigação apresentam-se como os mais relevantes, ocupando juntos aproximadamente 60% do consumo superficial total na bacia, seguidos pelo consumo urbano e a dessedentação de animais. Os que apresentaram as menores proporções de uso foram as captações para lavagem de veículos (0,17%) e mineração (0,22%).

Quanto aos usuários dos recursos hídricos subterrâneos, cabe destacar a proeminência do percentual de consumo pelas atividades de mineração, ocupando 41,12% da demanda, seguida pelo setor industrial, que, apresentando 24,86% da demanda subterrânea, também se destaca por sua ocorrência. Os demais usos apresentaram proporções mais homogêneas, entretanto o consumo de finalidade rural como, consumo humano, dessedentação de animais e consumo agroindustrial ainda se sobressai na área de estudo por sua densidade de ocorrência.

Figura 35. Panorama das demandas superficiais e subterrâneas por finalidade de uso dos recursos hídricos



Fonte: autora.

Com base na especialização dos dados de demanda dos usuários dos recursos hídricos, foram elaboradas as Cartas da Demanda Hídrica Superficial e da Demanda Hídrica Subterrânea, utilizando-se como base a delimitação das microbacias de drenagem da BH-SJ, representando de forma pormenorizada a ocorrência da demanda hídrica na bacia.

A apresentação destes documentos cartográficos de forma similar permite representar de maneira distinta a dinâmica de ocorrência das demandas superficiais e subterrâneas, podendo

assim considerar que as alterações geradas no regime hídrico da bacia hidrográfica podem ser ocasionadas tanto pela influência de uso dos recursos hídricos superficiais quanto subterrâneos.

Demanda Hídrica Superficial

A Carta da Demanda Hídrica Superficial das microbacias de drenagem da bacia hidrográfica do Rio São João, apresentada na Figura 36, esboça uma perspectiva relativamente variada em suas Microbacias (Mbs):

Em geral, o estudo apontou que 30,8% da área da bacia não apresenta vazões de retirada que possam ser consideradas como modificadoras do regime hidrológico dos mananciais (abaixo de $0,001 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$), envolvendo ao todo 435 microbacias, sendo representadas em sua maioria por Mbs de 1ª e 2ª ordens e classificadas com demanda hídrica muito baixa.

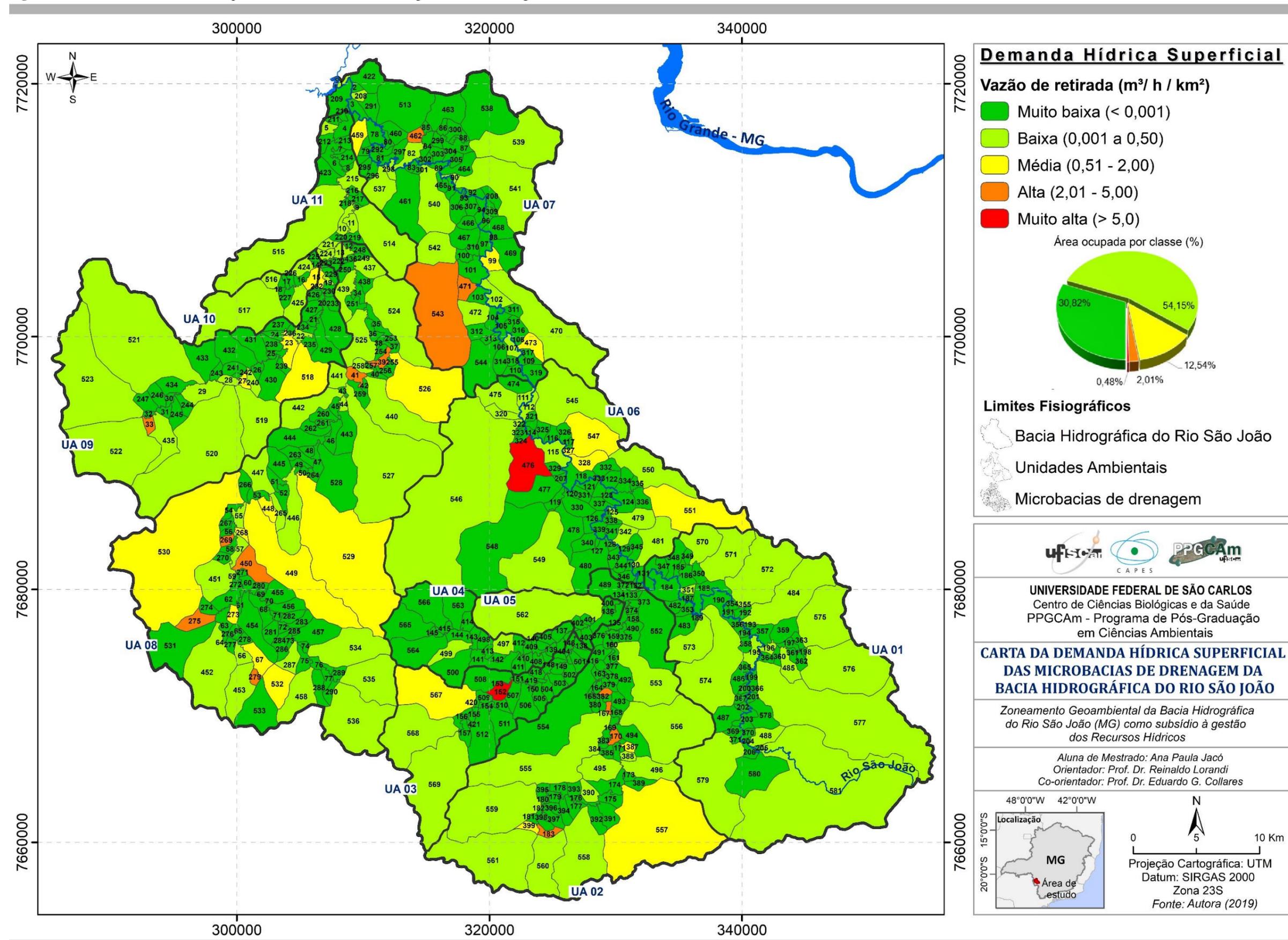
A classe de baixa demanda hídrica representa 54,15% da área total da bacia e foram identificadas em 106 Mbs com vazões de retirada entre $0,001$ e $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$, no entanto, esta classe ocorre ao longo de toda área de estudo, com predomínio nas Mbs de 3ª e 4ª ordens.

As 23 Mbs classificadas com médio índice de demanda ($0,51$ a $2,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$) ocupam 12,54% da área da BH-SJ e caracterizam-se por apresentar ocorrência relevante de atividades modificadoras como: consumo humano urbano e rural (Mbs 15, 67, 99, 387, 473, 547 e 551); irrigação (Mbs 27, 268, 273, 518 e 567); dessedentação de animais (Mbs 399, 459 e 532); atividades industriais e agroindustriais (Mbs 328 e 448); mineração (Mbs 23 e 526). Destacam-se em particular as Mbs 449, 529, 530 e 567 pela ocorrência de todas as atividades.

A classe de demanda hídrica alta ($2,01$ a $5,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$) corresponde à microbacias com área relativamente pequena e com elevado índice de captações para finalidades diversas e correspondem às Mbs 33, 39, 41, 167, 170, 183, 269, 275, 279, 381, 450, 462, 471 e a Mb543, que apresenta alto índice captações para consumo humano e sobretudo para extração mineral. Estas microbacias apresentam um estado de alerta quanto ao índice de captação e necessitam de controle e regulação, visando a prevenção de potenciais conflitos de uso nestas regiões.

Dentre as microbacias classificadas com demanda hídrica muito alta ($> 5,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$), as Mbs 152 e 153 destacaram-se por apresentar a maior densidade de demanda superficial ($9,72$ e $5,01 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$) e correspondem unicamente à finalidade de irrigação. Na Mb 476 destacam-se as vazões de retirada para a finalidade de extração mineral, sendo alocada nesta unidade uma das maiores mineradoras presentes na área de estudo. Notavelmente, estas microbacias apresentam um excessivo uso de seus recursos hídricos superficiais e requerem a aplicação de planos de ação que visem aprimorar a gestão de uso nestes locais.

Figura 36. Carta da Demanda Hídrica Superficial das Microbacias de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio São João



Demanda Hídrica Subterrânea

Quanto aos usos subterrâneos, a Carta da Demanda Hídrica Subterrânea das Microbacias da BH-SJ (Figura 37) demonstra ocorrências mais concentradas de suas classes:

Dentre as 581 Microbacias (Mbs) compreendidas na área de estudo, 496 se enquadraram na classe de demanda hídrica muito baixa, que corresponde à 47,5% da área total da BH-SJ e referem-se em grande parte à Mbs de 1ª, 2ª e 3ª ordem de drenagem. Considerando que não foram identificadas vazões de retirada cadastradas nessas Mbs, todas apresentaram densidade de demanda nula, podendo ser consideradas como preservadas, ou, sem ocorrência de demanda hídrica subterrânea conhecida.

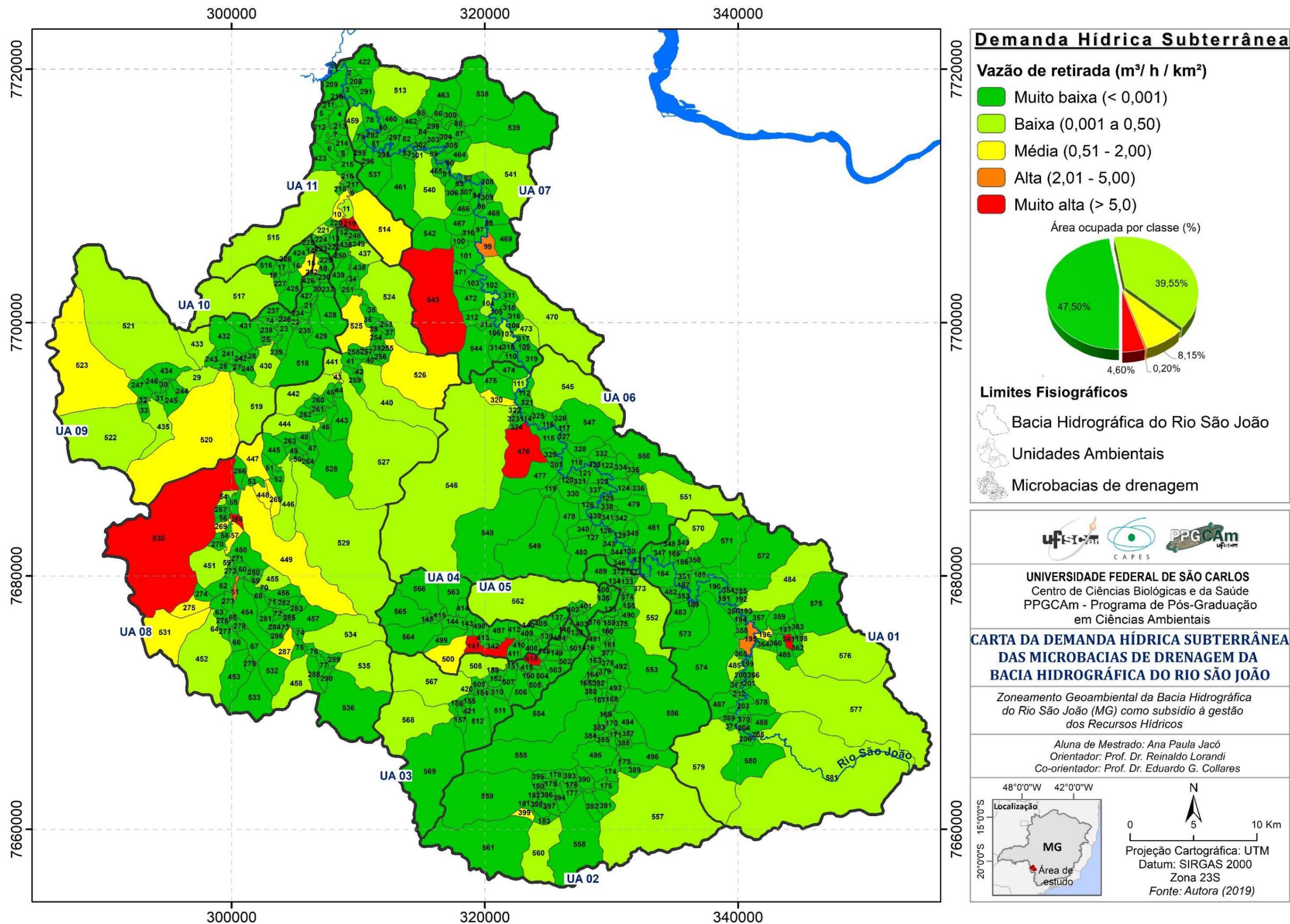
A classe de baixa demanda subterrânea (0,001 a 0,5 m³/h/km²) foi identificada em 53 Mbs e representam 39,55% da área de estudo. Dentre as finalidades de uso, as captações predominantes referem-se ao consumo humano e a dessedentação de animais.

A classe de média demanda hídrica (0,51 a 2,0 m³/h/km²) ocupa 8,15% da área da bacia e ocorre em 21 Mbs. Verificando sua ocorrência quanto à finalidade de uso, se sobressaem nesta classe os consumos de finalidade industriais e agroindustriais (Mbs 196, 265, 275, 320, 447, 448, 449, 520 e 523), mineração (Mbs 15, 43 e 526), a dessedentação de animais (Mbs 10, 57, 269, 514, 525 e 531), o consumo humano (Mbs 500, 399) e a irrigação (Mb287).

As três microbacias que apresentaram demanda hídrica subterrânea alta (2,01 a 5,0 m³/h/km²) correspondem à uma pequena porção da bacia (0,2%) e constituem Mbs de 1ª ordem, entretanto, considerando a área de drenagem, estas microbacias sofrem elevado impacto em seus recursos hídricos subterrâneos, devido ao uso intensivo. Na Mb 61 a finalidade de uso classifica-se como industrial, na Mb 99, agroindustrial e dessedentação de animais e na Mb 195 a finalidade é representa por captação para abastecimento público urbano.

A classe de demanda muito alta (> 5,0 m³/h/km²) foi identificada em 8 Mbs e merecem destaque devido à intensidade de ocorrência de captações com volumes significativos. As Mbs 476 e 543 apresentam usos diretamente ligados às atividades minerárias, sendo esta segunda responsável por suportar cerca de 80% da vazão total de consumo subterrâneo das atividades de extração mineral em toda bacia. Destaca-se também a Mb 530 por seu elevado índice de intervenções antrópicas diversas, compreendendo ao longo de sua área diversos pontos de captação subterrânea, em especial para usos industriais. As Mbs 361 e 418 compreendem demandas para abastecimento público urbano e as Mbs 141, 219 e 268 apresentam demanda para a finalidade de lavagem de veículos, consumo industrial e irrigação, respectivamente.

Figura 37. Carta da Demanda Hídrica Subterrânea das Microbacias de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio São João



4.5.2 Estudo e mapeamento das ações antrópicas pontuais da BH-SJ

A BH-SJ se caracteriza por sua intensa diversidade de ocupação, desta forma, o estudo das atividades pontuais e o mapeamento dos usuários dos recursos hídricos foram elaborados com o intuito de retratar a dinâmica de ocupação das ações pontuais consideradas como fontes de demanda hídrica na bacia.

Considerando os resultados do mapeamento realizado na etapa anterior, onde foram determinadas em termos quantitativos as estimativas de demanda hídrica na bacia, é possível observar a existência de diversos usuários na bacia que não puderam ser integrados ao estudo devido à falta de cadastro ou à inconsistência de informações. Estima-se que a maior parte dos usos dos recursos hídricos não regularizados na bacia se refiram à barramentos, atividades de pecuária (galpões de confinamento de bovinos, suínos ou aves) e propriedades rurais, as quais podem ser classificadas como usuários insignificantes.

Quanto ao diagnóstico de ocorrência das ações antrópicas pontuais nas UAs da BH-SJ, destacam-se as seguintes considerações:

A bacia em estudo é composta por oito áreas urbanas, que ocupam juntas cerca de 27,84 km² (1,15% da área da bacia) e ocorrem em maiores proporções nas UAs 04, 09 e 10. Os chacreamentos rurais somam juntos 4,68 km² e concentram-se em apenas cinco das onze UAs da bacia, apresentando maior percentual de ocorrência na UA 09.

Os pontos de barramento dos recursos hídricos ocorrem de maneira distribuída ao longo de toda a bacia, entretanto, considerando a área da lâmina d'água de cada barramento, nota-se que a UA 09 apresentou o maior percentual de área ocupada por barramentos. Ao todo, foram identificados na área de estudo 478 barramentos, os quais foram classificados de acordo com sua área de abrangência: 303 de pequeno porte (390 a 5.000m²); 161 de médio porte (5.000 a 30.000m²); 14 de grande porte (30.000 a 150.000m²).

As edificações rurais apresentam elevada densidade de ocorrência por toda extensão da bacia. Ao total foram identificadas 8.902 edificações e considerando sua densidade de ocorrência em cada UA da bacia, as que apresentaram maiores valores foram as UAs 10 e 04, com densidade de ocorrência de 5,21 e 4,91 edificações por km², respectivamente.

As infraestruturas de pecuária, caracterizadas como galpões de pecuária bovina, suína ou avicultura também ocorrem de forma expressiva por toda área de estudo, compreendendo ao todo, 622 galpões, classificados quanto ao seu porte, sendo: 104 de pequeno porte (250 a 1.000m²); 412 de médio porte (1.000 – 5.000m²); 106 de grande porte (> 5.000m²).

Considerando a ocorrência total destas atividades, apresentam maior densidade nas UAs 04 e 11 (0,49 e 0,48 galpões por km²) contudo, destaca-se também a UA 05 por apresentar a maior densidade de ocorrência de infraestruturas de pecuária de grande porte (0,11 galpões por km²).

Quanto às atividades industriais, foram identificadas no mapeamento 161 indústrias e sua classificação foi determinada considerando os critérios estabelecidos por Collares et al., (2013), caracterizadas nesta análise quanto ao seu potencial de degradação dos recursos hídricos, sendo: baixo (55 indústrias), médio (46 indústrias) e alto potencial (60 indústrias). Considera-se ainda que a UA 04 apresenta a maior densidade de ocorrência de atividades industriais, tanto de baixo, quanto de alto potencial.

Outra atividade que apresenta destaque relevante à área de estudo, são as minerações. Desconsiderando-se as áreas de empréstimos e os pontos de mineração que já encerraram suas atividades, foram identificados 30 pontos de extração mineral ativas na bacia e foram classificadas de acordo com seu porte, sendo: pequeno porte (13); médio porte (14); grande porte (03). As minerações de grande porte estão compreendidas nas UAs 06, 07 e 08 e as de pequeno e médio porte ocorrem em maior proporção nas UAs 01, 07, 08, 09 e 11.

Nota-se que a área em estudo apresenta uma intensa pressão antrópica sob o uso de seus recursos hídricos. Desta forma, é importante destacar que os cursos de água superficiais são vistos como os mais impactados, pois, quando apresentam um cenário de elevada demanda, além de sofrer com um estresse hidrológico devido à intensidade de captações, ainda são considerados o destino final das águas de retorno aos mananciais, as quais regressam com diversos tipos de alterações, tanto em termos de quantidade quanto em termos de qualidade.

No Apêndice II desta dissertação é apresentada a Carta das Ações Antrópicas Pontuais da Bacia Hidrográfica do Rio São João e o detalhamento da ocorrência destas atividades em cada UA estão exemplificados nos gráficos numerados de 1 a 7 em conjunto com a Carta.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da demanda hídrica apontou valores absolutos de consumo superficial de 589,54 m³/h e subterrâneo 1.243,77 m³/h na BH-SJ. Dentre as finalidades de uso, as que mais demandam de água superficial são a irrigação e o consumo humano (urbano e rural), seguidos pelo consumo industrial e a dessedentação de animais; já nas demandas subterrâneas, destaca-se o consumo de água para mineração e atividades industriais diversas.

A estimativa das demandas nas microbacias mostrou efetiva importância ao retratar de maneira pormenorizada a densidade de demanda por quilômetro quadrado, demonstrando assim a influência ou pressão exercida nos recursos hídricos disponíveis frente às vazões de retirada na área de drenagem de cada Mb. Identificou-se que a maior parte destas áreas apresentam baixa demanda hídrica, tanto superficial quanto subterrânea, entretanto, notou-se que as intervenções nos recursos hídricos ocorrem ao longo de toda área de estudo. As Mbs classificadas com demanda hídrica média apontam um estado de atenção quanto aos seus usos, uma vez que não sendo adotadas medidas controle, estas poderão apresentar potencial para consumo além do suportado pela microbacia.

Dentre as 26 microbacias que apresentaram densidade de demanda alta e muito alta, merecem destaque as Mbs 476 e 543, pois claramente sofrem uma extensa sobrecarga em seu sistema fluvial, sendo ocasionada diretamente pela influência de duas indústrias de mineração que estão alocadas nestas microbacias e demandam de vazões significativamente elevadas. A Mb 530 também se destacou pela intensidade de captações presentes em sua área, sendo caracterizada por abranger parte da maior área urbana da bacia, e pela presença de atividades industriais diversas. Desta forma, esta e a demais microbacias apresentam um nível crítico de atenção aos seus recursos hídricos devido à pressão antrópica exercida pelos seus usuários.

No mapeamento dos usuários dos recursos hídricos constatou-se a diversidade e intensidade de intervenções antrópicas, sendo estas consideradas como fontes potenciais de demanda hídrica. Isto pode ser entendido como um fator indicativo de que as vazões de consumo nas microbacias vão muito além do estimado, servindo de alerta para os órgãos responsáveis pelo cadastro dos usuários dos recursos hídricos, os quais devem aprimorar seus planos de ações e a fiscalização dos usos consuntivos, tanto dos usos insignificantes, quanto dos grandes usuários.

Notavelmente, a implantação de planos de ação que visem aprimorar a gestão e regulação de uso dos recursos hídricos em bacias hidrográficas são de fundamental importância para a preservação e uso sustentável de seus recursos disponíveis. Desta forma, pode-se considerar que os resultados desta pesquisa representam uma ferramenta de gestão para o direcionamento de ações de planejamento e suporte à decisão, frente à viabilidade de análise integrada da influência das demandas hídricas no território desta bacia, visando com isto, a prevenção de potenciais conflitos de uso da água nas regiões que apresentam elevados índices de demanda hídrica nesta bacia hidrográfica.

4.7 AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos à CAPES pelo auxílio concedido à esta pesquisa.

4.8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. N. R.; CARVALHO, R. M. CHAGAS, E. M.; COLLARES, A. C. Z. B.; COLLARES, E. G. Capítulo 7: Diagnóstico do uso dos Recursos Hídricos (pág. 229-274). In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos Socioeconômicos e de Uso e Ocupação do Solo**; Vol. 2. Passos, MG: Edifesp, 2013. 305 p.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: Relatório Pleno**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em: out. 2018.

_____. ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: Informe Anual**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2018. 88 p. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em: jan. 2019.

ANDRADE, H.; FONSECA, L. D. Capítulo 7: PEDOLOGIA. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico**; Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. (Pág. 165 - 170) 273 p.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - Agência Nacional de Águas. SNIRH-ANA. **Usos da Água: Demandas**. Portal de dados, 2018. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/>>. Acesso em: nov. 2018.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 08 jan. 1997.

COLLARES, Eduardo Goulart (b). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos Socioeconômicos e de Uso e Ocupação do Solo**; Vol. 2. Passos, MG: Edifesp, 2013. 305 p.

COLLARES, E. G.; CHAGAS, E. V.; CARVALHO, R. M.; DANÚBILA, L. A.; KRAÜSS-PEREIRA, T. C. de F. Capítulo 6: Diagnóstico das intervenções antrópicas, pontuais e lineares (pág. 199-228). In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos Socioeconômicos e de Uso e Ocupação do Solo**; Vol. 2. Passos, MG: Edifesp, 2013. 305 p.

COLLARES, E. G.; GOMES, D. M. Capítulo 6: Geologia. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande**: Aspectos dos Meios Físico e Biótico; Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. (pág. 154 – 164) 273 p.

COLLARES, E. G.; GOMES, D. M.; SANTOS, B. M. dos. Capítulo 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS: Compartimentação em macrounidades e unidades ambientais (pág. 49 - 62). In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande**: Aspectos Metodológicos; Vol. 1. Passos, MG: Edifesp, 2013. 287 p.

COSTA, A. M.; FERREIRA, J. M. L.; SALIS, H. H. C; RIBEIRO, A. H. N. Instrumentos para a gestão territorial: indicadores de Sustentabilidade em agroecossistemas, o Zoneamento Ambiental e Produtivo e a priorização de otobacias para implementação de intervenções conservacionistas (p. 110 – 126). In.: SANTOS, N. A. P.; GUIMARÃES, A. F. T.; MELO, M. C. (Org.). **Gestão de Bacias Hidrográficas: Critérios para definição de áreas prioritárias para revitalização**. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2018. 152 p.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013. 336p.

DUARTE, V. A.; MIOLA, D. T. B. Análise de disponibilidade hídrica na microbacia do ribeirão paciência: relação entre a oferta e o volume de água outorgado em Pará de Minas. **SynThesis Revista Digital FAPAM**, Pará de Minas, v.7, n.7, p. 32-54, dez. 2016. Disponível em: <<http://periodicos.fapam.edu.br/index.php/synthesis/article/view/127>>. Acesso em: jan. 2019.

GALVANI, Emerson. **Climatologia I: Unidades Climáticas Brasileiras**. USP. Departamento de Geografia. 8 p. 2012.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**: Censo Demográfico - Informações Estatísticas, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: mar. 2018.

IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUA. **Cadastros dos usuários dos Recursos Hídricos da UPGRH-GD7**. *Nota: Trata-se da disponibilização da base de dados referente ao cadastro dos processos de Outorgas e usos insignificantes superficiais e, Outorgas e usos insignificantes subterrâneos vigentes. Minas Gerais, 2016. Disponível em: Mídia Eletrônica. Acesso em maio de 2016.

LANNA, A. E. Capítulo 19: Gestão dos Recursos Hídricos. In.: TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS. Coleção ABRH de Recursos Hídricos; Vol.4. 2009. 943 p.

MATOS, B. A.; TEIXEIRA, A. L. F.; BURNETT, J. A.; ZOBY, J. L. G.; FREITAS, M. A. S. F. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos nas 12 Regiões Hidrográficas do Brasil**. In.: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007. São Paulo, SP. 2007. 20 p. 2007. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=3&ID=19>>. Acesso em: ago. 2018.

MINAS GERAIS. Lei Estadual nº 21.972, de 21 de janeiro de 2016. Dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Sisema – e dá outras providências. **Assembleia Legislativa de Minas Gerais, Diário do Executivo**, Belo Horizonte, MG. 22 jan. 2016.

MINAS GERAIS. Decreto Estadual nº 46.650, de 19 de novembro de 2014. Aprova a Metodologia Mineira de Caracterização Socioeconômica e Ambiental de Sub-bacias Hidrográficas, denominada Zoneamento Ambiental Produtivo – ZAP – e dá outras providências. **Assembleia Legislativa de Minas Gerais, Diário do Executivo**, Belo Horizonte, MG. 19 nov. 2014.

MINAS GERAIS. Decreto Estadual nº 47.343, de 23 de janeiro de 2018. Estabelece o Regulamento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. **Assembleia Legislativa de Minas Gerais, Diário do Executivo**, Belo Horizonte, MG. 23 jan. 2018.

PLANET Team. **PLANET APPLICATION PROGRAM INTERFACE: In Space for Life on Earth**. San Francisco, CA. 2017. Disponível em: <<https://www.planet.com/markets/education-and-research/>>. Acesso em: mar. 2018.

ROSA, R. M.; FERREIRA, V. O. Análise da paisagem e proposição de zoneamento ambiental da bacia do rio Uberabinha, Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v. 28, n. 53, p. 404 – 427, 2018. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/17563>>. Acesso em: jan. 2019.

SALIS, H. H. C. de; EVANGELISTA, L. P.; COSTA, A. M. da; HORTA, I. M. F. Diagnóstico da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Rio Manso-MG. **Caminhos da Geografia**, [S.l.], v. 18, n. 64, p. 91-102, dez. 2017. ISSN 1678-6343. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14393/RCG186408>>. Acesso em: jan. 2019.

SEMAD. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais; SEAPA. Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais. **Metodologia para elaboração do Zoneamento Ambiental Produtivo: ZAP de sub-bacias hidrográficas**. Minas Gerais. 2ª ed. 2016.

SILVA, E. R. A.C; MIRANDA, R. Q.; FERREIRA, P. dos S.; GOMES, V. P.; GALVÍNCIO, J. D. Estimativa do Estresse Hidrológico na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal-PE. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 47, p. 884 – 861, 2016. Disponível em: <<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/issue/view/711>>. Acesso em: out. 2018.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Halen: Transacion. **American Geophysical Union**, 1957. v. 38, p. 913-920.

_____. *Software*. ESRI (Environmental Systems Research Institute). **ArcGIS® for the desktop**: ArcMap, version 10.5, 2017.

USSAMI, K. A.; GUILHOTO, J. J. M. Economic and water dependence among regions: The case of Alto Tiete, São Paulo State, Brazil. **Economia**, v. 19, ed. 3, p. 350 – 376, set-dez 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.econ.2018.06.001>>. Acesso em: jan. 2019.

WANG, H.; WANG, W.; CUI, Z.; ZHOU, X.; ZHA, J.; LI, Y. A new dynamic firefly algorithm for demand estimation of water resources. **Information Sciences**, v. 438, p. 95 – 106, abr. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.01.041>>. Acesso em: jan. 2019.

WWAP. UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME - UN-Water. 2018. **The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water**. 154 p. Paris: UNESCO, 2018. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/pt/brasil/natural-sciences/environment/wwdr/>>. Acesso em: nov. 2018.

5. ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL QUANTO AO POTENCIAL DE ESTRESSE HÍDRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO

5.1 RESUMO

Considerando o conceito de estresse hídrico como sendo a relação entre a capacidade de disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica frente ao índice de vazões demandadas em sua área de drenagem, este trabalho buscou realizar a integração destes dois componentes para determinar o potencial de estresse hídrico das microrregiões da Bacia Hidrográfica do Rio São João (BH-SJ). Esta localiza-se à sudoeste do estado de Minas Gerais, ocupa uma área de abrangência de 2.417,70 km² e se caracteriza pela intensidade de intervenções antrópicas pontuais distribuídas ao longo de seu território. O estudo tomou como base a integração de dois documentos cartográficos: a Carta de Disponibilidade Hídrica Superficial e a Carta de Demanda Hídrica Superficial da bacia, que apresentam termos semelhantes para a classificação da ocorrência de suas classes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. A metodologia adotada para a estimativa do potencial ao estresse hídrico, consistiu em quatro etapas: I) aquisição dos planos de informação; II) atribuição de pesos às classes de influência no potencial ao estresse hídrico; III) álgebra de mapas no SIG; IV) Zoneamento Geoambiental (ZG) quanto ao potencial de estresse hídrico das microbacias. O critério de Análise de Decisão Multicriterial (ADMC) foi adotado para atribuição dos pesos, pelo método AHP. Posteriormente realizou-se a álgebra de mapas em ambiente SIG, obtendo a Carta do Zoneamento Geoambiental quanto ao potencial de Estresse Hídrico da BH-SJ. As classes resultantes apresentaram as seguintes ocorrências: Muito baixa (11,06%); Baixa (45,57%); Média (25,07%); Alta (17,06%); Muito Alta (0,7%). As microbacias classificadas com alto e muito alto estresse hídrico são caracterizadas pelas áreas que sofrem maiores pressões antrópicas em seus recursos hídricos disponíveis e se enquadram na classe de alta prioridade para medidas que visem aprimorar a gestão dos usos consuntivos nestes locais, tendo a Carta do ZG como uma ferramenta de suporte no direcionamento de medidas de gestão nas possíveis tomadas de decisão pelos órgãos gestores dos recursos hídricos.

Palavras chave: Atributos Geoambientais; Disponibilidade hídrica; Demanda hídrica; Microbacia; ADMC; AHP.

5.2 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos constituem bens de relevante valor para a promoção do bem-estar da sociedade e a água pode ser considerada como o bem de consumo final ou intermediário na maioria absoluta das atividades humanas, no entanto, com o aumento da intensidade e variedade desses usos, ocorrem diversos conflitos entre seus usuários (LANNA, 2009).

Nos últimos anos o Brasil tem evidenciado situações de mudanças substanciais no clima e conseqüentemente do regime hidrológico de seus mananciais. Entre 2012 e 2017, os volumes totais de chuva nos períodos úmidos foram muito abaixo da média, resultando em reduzidas recargas dos reservatórios existentes e, conseqüentemente, esses reservatórios foram deplecionados drasticamente para atendimento às demandas de água dos diversos usos, encontrando-se em níveis extremamente baixos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018).

Segundo o Relatório do World Water Assessment Programme (WWAP, 2015), a capacidade do planeta de sustentar a crescente demanda por água doce vem sendo questionada e o desenvolvimento sustentável, considerado como o ponto-chave nesta questão, ocorrerá somente se a relação entre demanda e oferta estiverem em equilíbrio.

A bacia hidrográfica representa uma unidade fundamental de planejamento e gestão de um determinado território e evidenciando o uso intensivo dos recursos hídricos pelos múltiplos setores da sociedade, como a indústria, a agricultura e o abastecimento público, é possível constatar a ocorrência de diversas alterações ambientais no âmbito de uma bacia, sobretudo pelas atividades humanas, que resultam em impactos de grande magnitude, podendo ocasionar um fenômeno denominado de “Estresse Hídrico”.

O estresse hídrico pode ser caracterizado como sendo a relação entre a utilização e provisão dos recursos hídricos (SANTOS, 2005), sendo que uma demanda crescente do recurso hídrico limitado durante um determinado período hidrológico pode sinalizar situações de estresse ou até mesmo de escassez hídrica, no entanto, enquanto a demanda total for menor do que o recurso hídrico disponível, a estimativa e o gerenciamento adequados da quantidade demandada podem garantir um processo eficiente de gestão e um desperdício mínimo de recursos (DESSU et al., 2014).

Diversos instrumentos de políticas públicas ou privadas constituem-se importantes subsídios para as tomadas de decisão e, desde que efetivamente implementados, possuem potencial de suporte à gestão ambiental e dos recursos hídricos, possibilitando desta forma a conservação e recuperação dos recursos naturais (BRAGA, 2009).

O mapeamento geoambiental tem sido amplamente utilizado como ferramenta de auxílio na definição da ocupação e fragilidade quanto ao uso do solo na bacia hidrográfica, ajudando a definir e fiscalizar a ocupação territorial e regional, de maneira tecnicamente adequada e respeitando as áreas de diferentes aptidões ambientais (TRENTIN e ROBAINA, 2005). Neste contexto, o Zoneamento Geoambiental se caracteriza como um instrumento eficiente para a formulação de políticas de uso do solo em bacias hidrográficas e também na estruturação de medidas de planejamento, propondo a formulação de zonas de expansão e conservação, podendo assim, minimizar as intervenções causadas pela atuação do homem na natureza, destacando uma nova organização dos espaços que estrutura a paisagem (SILVA NETO, 2013).

Zuquette e Gandolfi (2004) ressaltam que o mapeamento geotécnico e geoambiental têm sido utilizados nos mais diferentes países como ferramentas que ajudam a definir e fiscalizar a ocupação territorial das regiões, de maneira tecnicamente adequada e respeitando as áreas de interesse ambiental, fornecendo informações para o planejamento territorial, tanto no âmbito regional quanto no urbano.

Para Napoleão e Mattos (2011), quando se realiza o planejamento ambiental integrado à gestão em uma bacia hidrográfica é possível propor soluções para os principais problemas, dentre eles, o uso inadequado do solo e a escassez da água. Assim, os documentos cartográficos produzidos por meio de técnicas de ZG podem auxiliar no subsídio ao planejamento e gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica e a ferramenta de SIG (Sistema de Informações Geográficas) se apresenta como essencial neste processo.

Este trabalho tem como objetivo principal realizar o Zoneamento Geoambiental quanto ao potencial de estresse hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio São João (MG), por meio da integração de componentes relacionados à disponibilidade e demanda hídrica. Essa avaliação permite indicar se os recursos hídricos disponíveis apresentam capacidade de suporte frente as demandas estimadas e com isso, subsidiar o direcionamento de medidas de controle e planejamento que visem o desenvolvimento sustentável e a gestão dos recursos hídricos.

5.3 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

A localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio São João (BH-SJ) insere-se entre as coordenadas 21°12'26,9" e 20°35'25,15" de latitude Sul e 47°03'18" e 46°23'30" de longitude Oeste. A bacia apresenta área de 2.417,7 km² e se caracteriza como a principal fonte de abastecimento hídrico para grande parte de seus municípios de abrangência, envolvendo totalmente as cidades de Bom Jesus da Penha, Fortaleza de Minas, Itaú de Minas, Jacuí e Pratápolis e parcialmente as cidades de Cássia, Nova Resende, Passos, São Pedro da União, São Sebastião do Paraíso e São Tomás de Aquino.

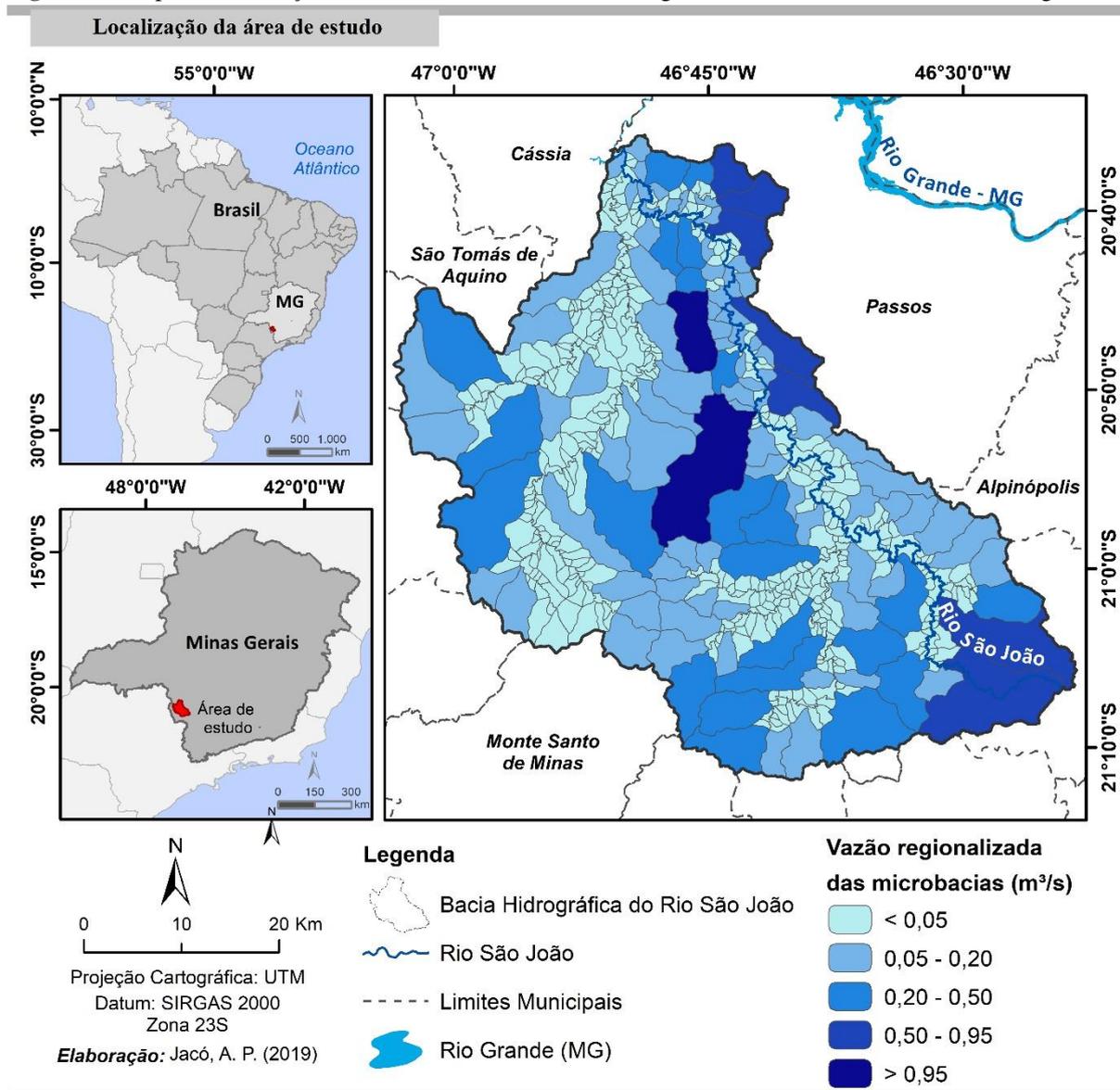
A principal via de acesso é a Rodovia Estadual MG-050 (Rodovia Newton Penido), que se inicia na Capital mineira de Belo Horizonte e tem seu ponto final no município de São Sebastião do Paraíso, próximo à divisa com o estado de São Paulo.

O Rio São João, caracterizado como o afluente principal, tem sua nascente localizada à Sudeste da bacia, próximo ao perímetro urbano do município de Nova Resende e percorre cerca de 177 km de extensão no sentido norte até desembocar no Rio Grande, o qual pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Grande.

Conforme a metodologia de classificação definida por Strahler (1957), o Rio São João se classifica como um canal de 8ª ordem de ramificação e seus principais afluentes de macrodrenagem, com suas respectivas extensões são: Ribeirão São João (64,0 km); Ribeirão Tabuão (16,0 km); Ribeirão do Mamote (14,0 km); Córrego Lenhoso (7,0 km); Ribeirão São Pedro (13,0 km); Ribeirão Santana (37,0 km); Rio Santana (73,0 km); Ribeirão do Cantagalo (8,0 km); Rio das Palmeiras (37,0 km); Córrego da Prata (06,0 km) e classificam-se como canais de 5ª, 6ª e 7ª ordem.

A rede de drenagem apresenta uma elevada densidade hidrográfica e abrange cerca de 5.400 km de extensão, constituindo cursos d'água classificados de 1ª a 4ª ordens de drenagem. Por meio desta classificação, a área de estudo foi compartimentada em microbacias conforme sua hierarquização fluvial, dando origem a 581 microbacias hidrográficas, sendo: 207 de 1ª ordem; 214 de 2ª ordem; 91 de 3ª ordem; 69 de 4ª ordem (COLLARES, GOMES e SANTOS, 2013). A Figura 38 apresenta a localização da área de estudo, juntamente com o Mapa das Vazões regionalizadas calculadas para as microbacias de drenagem da bacia hidrográfica do Rio São João.

Figura 38. Mapa da localização da área de estudo e das vazões regionalizadas das microbacias de drenagem



Fonte: autora.

A bacia compreende os domínios de Mata Atlântica (67,5%) e de Cerrado (32,5%). Apresenta temperatura média anual de 20,6°C e regime pluviométrico com faixas variando entre 1.280 mm e 1.420 mm/ano. A variação altimétrica apresenta valores de 1.335 metros do seu ponto mais alto (sul) à 660 metros em seu ponto mais baixo, no sentido à sua jusante (norte). O relevo é caracterizado pelo predomínio de encostas onduladas com declividades variando entre 10 e 45% na maior parte de sua área.

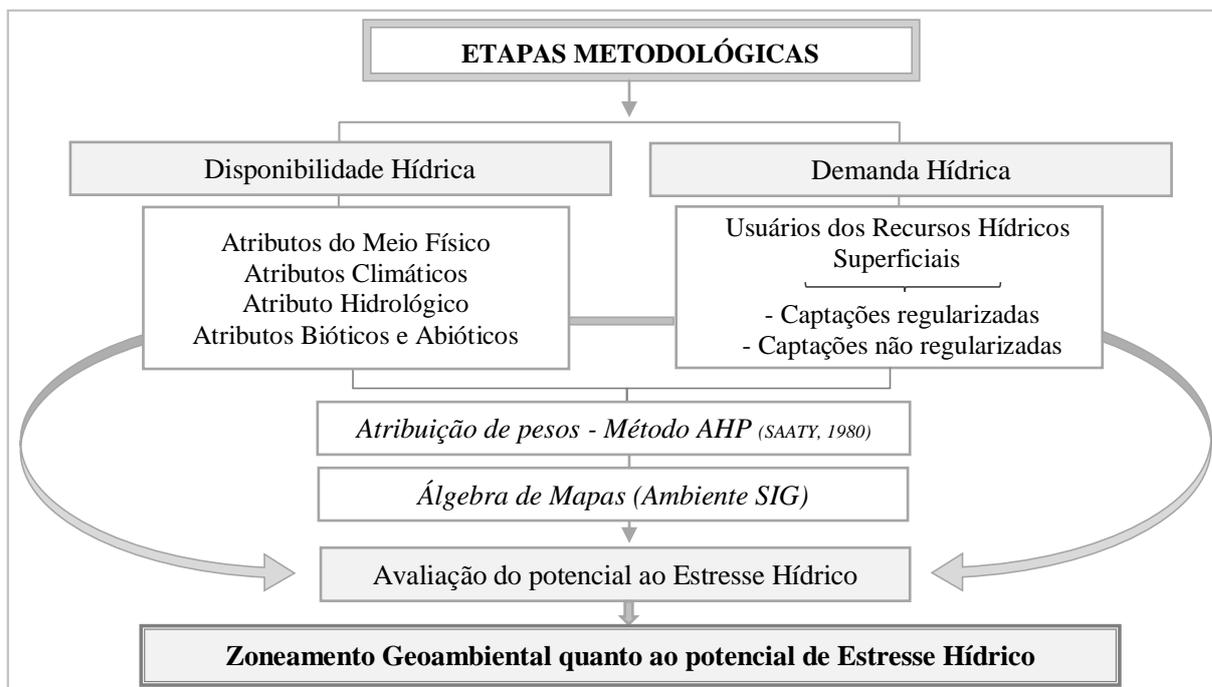
A pedologia se caracteriza pela ocorrência de Argissolos Vermelho Amarelos (41,82%), Latossolo Vermelho e Vermelho Amarelo (50,16%), Latossolos Vermelho Férricos (3,27%), Neossolos Litólicos (1,4%) e Nitossolos Vermelhos (3,35%) (ANDRADE e FONSECA, 2013).

Quanto ao uso do solo, a área de estudo apresenta elevado índice de infraestruturas urbanas e rurais, atividades agrícolas e industriais diversas e atividades minerárias. No setor agrícola, destacam-se o cultivo de cafés, cana-de-açúcar, milho, feijão, soja e batata e no setor industrial, destacam-se as indústrias atacadistas, alimentícias, químicas, metalúrgicas e agroindústrias.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho envolveu as variáveis de disponibilidade e de demanda hídrica, por meio da integração de dois documentos cartográficos: a Carta da Disponibilidade Hídrica Superficial e a Carta da Demanda Hídrica Superficial das Microbacias de drenagem da bacia hidrográfica do Rio São João. O desenvolvimento do trabalho foi realizado conforme apresentado no fluxograma da Figura 39.

Figura 39. Fluxograma das etapas metodológicas desenvolvidas no trabalho



Fonte: autora.

O software de geoprocessamento ArcGis 10.5® (ESRI, 2017), foi utilizado para a o processamento e estruturação do banco de dados digital, no Sistema de Projeção Cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator), na Zona 23 Sul e Datum SIRGAS 2000.

5.4.1 Estimativa da Disponibilidade Hídrica

A estimativa da disponibilidade hídrica da BH-SJ foi determinada em quatro etapas principais: 1) diagnóstico dos atributos geoambientais associados à disponibilidade hídrica; 2) atribuição de pesos às classes de atributos pelo método AHP; 3) álgebra de mapas no ambiente SIG; 4) Zoneamento Geoambiental quanto à disponibilidade hídrica superficial da bacia.

Zuquette (1987) aponta que para a realização de um zoneamento geoambiental, os atributos escolhidos devem relacionar entre si, desta forma, quanto maior o número de elementos representados para um determinado atributo, maior será a importância de sua representação. Com isto, foram determinados para integrar o estudo os atributos que possuem maiores potenciais de influência no potencial de disponibilidade hídrica superficial (Tabela 17).

Tabela 17. Planos de informação utilizados na estimativa da disponibilidade hídrica da BH-SJ

Componentes geoambientais	Atributos (Planos de Informação)	Fontes (Escala 1:50.000)
Meio Físico	(A) Hipsometria	Autora
	(B) Declividades	
	(C) Sistemas Aquíferos	Collares e Gomes (2013)
	(D) Unidades Texturais (Solos)	Collares (2013)
	(E) Formas de Terreno (Geomorfologia)	TOPODATA INPE (2015)
Climáticos	(F) Pluviosidade	Autora
	(G) Temperatura	
Hidrológico	(H) Vazão Regionalizada	Autora
Meios Biótico e Abiótico	(I) Uso e Cobertura do Solo	Autora

A partir da estruturação da base de dados, foram atribuídos pesos às classes de cada atributo avaliado, adotando os critérios estabelecidos pelo Método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), definido por Saaty (1980), o qual consiste na adoção de níveis de importância de forma hierárquica por meio de matrizes de comparação, discriminando valores distintos para cada classe de informação. Em cada atributo avaliado, foram aplicados pesos com valores de 1 a 9, sendo que as classes de menor influência levaram os menores pesos e as de maior influência receberam os maiores pesos.

A álgebra dos mapas foi realizada no SIG ArcGis 10.5®, por meio da ferramenta *Weighted Sum*. O arquivo matricial de saída compreendendo a integração de todos os atributos geoambientais deu origem à Carta do Zoneamento Geoambiental quanto à disponibilidade hídrica superficial da BH-SJ, apresentando cinco classes de disponibilidade. A descrição metodológica completa desta etapa, bem como o detalhamento dos atributos geoambientais e seus respectivos pesos atribuídos são apresentados no Capítulo 3 deste trabalho.

5.4.2 Estimativa da Demanda Hídrica

Os dados utilizados para o cálculo da demanda hídrica superficial incluem todos os pontos de captações dos usuários de recursos hídricos identificados na área de estudo, com seus respectivos valores de vazão de retirada, medidas em metros cúbicos por hora (m³/h).

As captações regularizadas foram obtidas por meio dos dados de Outorgas e usos insignificantes superficiais, disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2016). Os dados referentes às captações não regularizadas foram obtidos do cadastro realizado pelo ZA-GD7 (Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande) referente aos pontos de captação não regularizados da área de estudo e suas vazões estimadas de consumo (ALMEIDA et al., 2013). Ressalta-se que as captações em nascentes foram incorporadas à esta pesquisa como intervenções superficiais, visto que estas apresentam influência no regime hídrico superficial da bacia, alterando o volume à jusante de seu curso d'água.

A estimativa da demanda hídrica elaborada com base nas vazões de retirada em cada microbacia de drenagem da BH-SJ. Considerando a distinção de área entre as microbacias, foi realizada a equalização dos cálculos de demanda aplicando-se a equação de densidade, podendo estimar vazão de retirada de água nas microbacia considerando sua área de abrangência, sendo determinada pela seguinte equação:

$$(1) \quad DH \text{ na microbacia} = \Sigma Q_{\text{Total}} \text{ (m}^3\text{/h)} \div \text{Área (km}^2\text{)}$$

Onde:

DH na microbacia: representa a demanda hídrica estimada em m³/h/km²;

ΣQ_{Total} : somatória das vazões totais de retirada nos pontos de captação em m³/h;

Área: área abrangência da microbacia em km².

Desta forma, foi elaborada a Carta da Demanda Hídrica Superficial das Microbacias de drenagem da BH-SJ, apresentando cinco classes de demanda hídrica: Muito Baixa (< 0,001 m³/h/km²); Baixa (0,001 a 0,5 m³/h/km²); Média (0,51 a 2,0 m³/h/km²); Alta (2,01 a 5,0 m³/h/km²); Muito Alta (> 5,0 m³/h/km²).

Os fundamentos metodológicos aplicados, bem como o detalhamento dos atributos utilizados e os resultados obtidos nesta etapa são apresentados no Capítulo 4 da Dissertação.

5.4.3 Zoneamento Geoambiental quanto ao potencial de estresse hídrico

Considerando o conceito de estresse hídrico como sendo a relação entre a capacidade de disponibilidade hídrica frente ao índice de vazões demandadas, esta etapa considerou que a inter-relação entre os atributos disponibilidade e demanda constituem a maneira mais eficaz de determinar e representar as áreas com maiores ou menores potenciais de estresse hídrico, utilizando-se da técnica de sobreposição cartográfica. Assim, para estimativa do potencial ao estresse hídrico, foram definidos os seguintes procedimentos:

I) Aquisição dos planos de informação

Foram utilizados como planos de informação os documentos cartográficos resultantes dos estudos de disponibilidade e de demanda hídrica. As Cartas elaboradas são apresentadas pela Figura 40 (A e B) e retratam de maneira efetiva o cenário atual em que as microbacias da BH-SJ se encontram.

II) Atribuição de pesos – Método AHP

Por meio da análise das classes estabelecidas neste trabalho para as Cartas de Disponibilidade e Demanda Hídrica foram atribuídos pesos de influência para cada classe de informação considerando a contribuição direta ou indireta para a composição do estudo.

O critério de Análise de Decisão Multicriterial (ADMC) foi adotado para atribuição dos pesos e priorizações de relevância das classes dos atributos avaliados. Optou-se por utilizar o método do Processo Hierárquico Analítico (AHP), desenvolvido por Saaty (1980), considerando sua efetividade na definição de uma hierarquia de decisão que envolve comparação de pares e ponderação de critérios quantitativos e qualitativos, possibilitando atribuir valores distintos de acordo com a importância da classe do atributo avaliado.

A matriz AHP foi elaborada para a atribuição de pesos às classes de disponibilidade e de demanda hídrica, sendo adotado o mesmo critério de atribuição de peso aos dois atributos (Tabela 18). Posteriormente, por meio de uma matriz normalizada, calculou-se os pesos finais (auto vetores) das classes, sendo obtidos a partir da média aritmética dos valores resultantes em cada linha da matriz normalizada (Tabela 19).

Neste método, os auto vetores (pesos finais) atribuídos às classes somam um total máximo de peso 10, sendo que, os menores valores referem-se às classes que apresentam

maiores probabilidades de apresentar estresse hídrico e os valores mais elevados correspondem às classes com os menores riscos de apresentar uma perspectiva de estresse hídrico.

Para constatar a efetividade dos auto vetores, foi aplicada a análise de consistência dos pesos resultantes, por meio das equações de Razão de Consistência (RC) e de Índice de Consistência (IC), onde os pesos finais podem ser considerados coerentes se a RC for menor ou igual a 0,1 (ou 10%) conforme proposto por Saaty (1980). A análise de consistência realizada foi considerada satisfatória, conforme descrito nas equações da Tabela 20.

III) Álgebra dos planos de informação no SIG

Após a determinação dos pesos, os planos de informação foram convertidos em arquivos matriciais no SIG ArcGis 10.5® e as classes de cada atributo foram reclassificadas conforme os valores atribuídos no auto vetor da Matriz AHP.

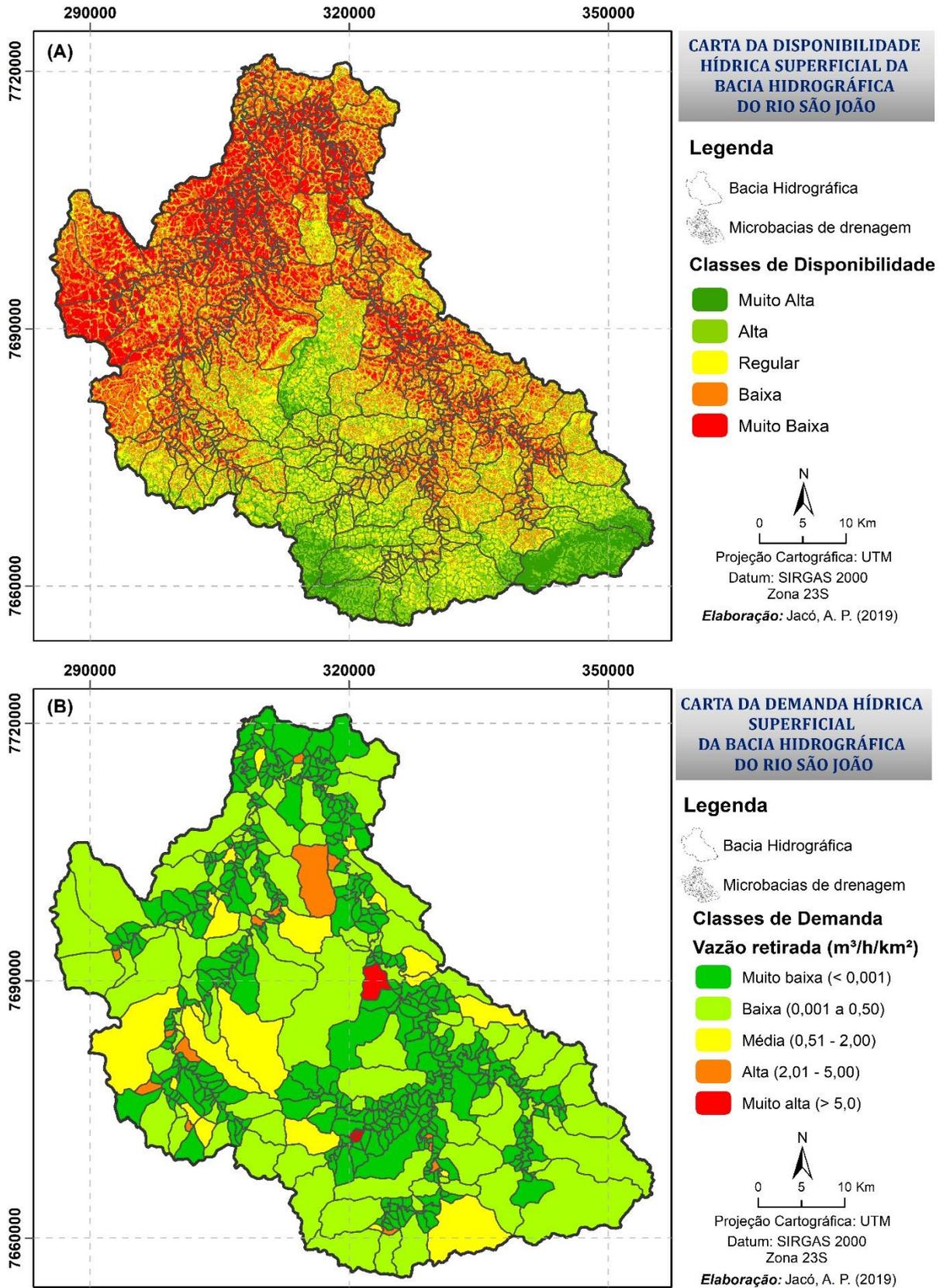
Na sequência, realizou-se a álgebra de mapas aos planos de informação, por meio da ferramenta *Weighted Sum*, do SIG ArcGis. Esta ferramenta consiste em realizar a multiplicação da importância relativa de cada classe dos planos de informação com base no auto vetor atribuído, dando origem a um arquivo matricial de saída compreendendo a integração dos dados relacionados aos planos de informação.

IV) Zoneamento Geoambiental quanto ao potencial de estresse hídrico

O documento cartográfico final é representado pela Carta do Zoneamento Geoambiental quanto ao potencial de Estresse Hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio São João, apresentada em cinco classes: Muito Baixa, Baixa, Regular, Alta e Muito Alta. Representa de maneira qualitativa a distribuição espacial do cenário atual em que a bacia se encontra, demonstrando as áreas com maiores ou menores probabilidades ocorrência de estresse hídrico.

Considerando a importância da realização de mapeamentos em escala regional, a compartimentação da área de estudo em Unidades Ambientais (UAs) e em Microbacias (Mbs) foi utilizada como base para avaliação dos dados, representando de maneira pormenorizada os resultados de acordo com os limites fisiográficos da área de estudo, possibilitando realizar um diagnóstico detalhado do potencial ao estresse hídrico em cada microbacia da BH-SJ.

Figura 40. Planos de Informação utilizados no zoneamento quanto ao potencial de estresse hídrico



Fonte: autora.

Tabela 18. Matriz AHP de atribuição de pesos para as classes de disponibilidade e demanda

Matriz AHP						
Classes dos Atributos		A	B	C	D	E
A	<i>Disponibilidade Muito Baixa Demanda Muito Alta</i>	1	1/2	1/5	1/7	1/8
B	<i>Disponibilidade Baixa Demanda Alta</i>	2	1	1/2	1/4	1/5
C	<i>Disponibilidade Regular Demanda Média</i>	5	2	1	1/3	1/4
D	<i>Disponibilidade Alta Demanda Baixa</i>	7	4	3	1	1/2
E	<i>Disponibilidade Muito Alta Demanda Muito Baixa</i>	8	5	4	2	1
SOMA		23,00	12,50	8,70	3,73	2,08

Fonte: autora.

Tabela 19. Matriz AHP de normalização para atribuição dos pesos finais às classes dos atributos

Matriz Normalizada							Alto Vetor (Peso Final)
Classes dos Atributos		A	B	C	D	E	
A	<i>Disponibilidade Muito Baixa Demanda Muito Alta</i>	0,04	0,04	0,02	0,04	0,06	4,10%
B	<i>Disponibilidade Baixa Demanda Alta</i>	0,09	0,08	0,06	0,07	0,10	7,75%
C	<i>Disponibilidade Regular Demanda Média</i>	0,22	0,16	0,11	0,09	0,12	14,05%
D	<i>Disponibilidade Alta Demanda Baixa</i>	0,30	0,32	0,34	0,27	0,24	29,57%
E	<i>Disponibilidade Muito Alta Demanda Muito Baixa</i>	0,35	0,40	0,46	0,54	0,48	44,53%

Fonte: autora.

Tabela 20. Resultado das equações aplicadas para análise de consistência dos pesos finais

Equações (Saaty, 1980)	Descrição das Variáveis	Resultados obtidos
$\lambda_{\text{máx}} = T \times W$	T = auto vetor normalizado W = soma das colunas da matriz de comparação para cada classe	$\lambda_{\text{máx}} = 5,16$
$IC = (\lambda_{\text{máx}} - n) \div (n-1)$	n = n° que representa a ordem da raiz $\lambda_{\text{máx}}$ = autovalor máximo	IC = 0,04
$RC = IC \div IR$	RC = Razão de consistência IC = Índice de Consistência IR = Índice de Consistência Randômico	RC = 0,036 (3,6%)

Fonte: autora.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Carta do Zoneamento Geoambiental quanto ao potencial de Estresse Hídrico (Figura 41) esboça um estudo detalhado do perfil fisiográfico da bacia do Rio São João quanto ao seu potencial de disponibilidade hídrica frente aos índices de demanda atual que ocorrem em seu terreno, possibilitando identificar as regiões onde ocorrem ou estão suscetíveis à ocorrência de estresse hídrico frente à pressão exercida pelo uso excessivo dos recursos hídricos disponíveis.

Ao todo, o mapeamento apontou o predomínio das áreas classificadas com baixo potencial ao estresse hídrico, compreendendo 45,57% da área total da bacia (1.101,75 km²). No entanto, as classes de médio e alto potencial ao estresse hídrico se destacaram pela sua ocorrência, compreendendo 25,07% (606,12 km²) e 17,6% (425,51 km²) de área, respectivamente. A classe de potencial muito baixo ocupa 11,06% (267,40 km²) e representa as regiões com maiores favorabilidades hídricas e conseqüentemente as áreas mais preservadas. A classe que apresentou menor ocorrência (0,7%), mas que merece o maior nível de atenção foi a de potencial ao estresse hídrico muito alto, por consistirem em porções da bacia onde as demandas pelos recursos hídricos estão sendo maiores do que a capacidade de suporte disponibilizada pelos mananciais, ocasionando o que denominamos aqui de estresse hídrico.

O zoneamento realizado a partir da compartimentação da bacia em Unidades Ambientais (UAs) e microbacias (Mbs) demonstra de forma detalhada as características geoambientais de cada porção da área de estudo, possibilitando distinguir as áreas que apresentam maiores ou menores probabilidades de ocorrência de estresse hídrico.

Considerando a análise da área de estudo em macroescala (UAs), é possível observar que as regiões caracterizadas com os menores potenciais de ocorrência de estresse hídrico correspondem às UAs 01, 02, 03, 04 e 05 e se destacam por apresentar maiores disponibilidades hídricas e predomínio das classes de demanda hídrica baixa e muito baixa. Já nas UAs 06, 07 e 08 predominam as classes de baixo e médio potencial e as UAs 09, 10 e 11 constituem as áreas com maiores potenciais de ocorrência, sendo caracterizadas pelas áreas que apresentam elevada densidade de demanda e índices de disponibilidade hídrica baixos a muito baixos.

O detalhamento dos percentuais de ocorrência do potencial ao estresse hídrico em cada UA são apresentados no gráfico da Figura 42 e na Tabela 21, respectivamente. A Carta do Zoneamento Geoambiental é apresentada com maiores detalhes no Apêndice I deste trabalho.

Figura 41. Carta do Zoneamento Geoambiental quanto ao potencial de Estresse Hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio São João

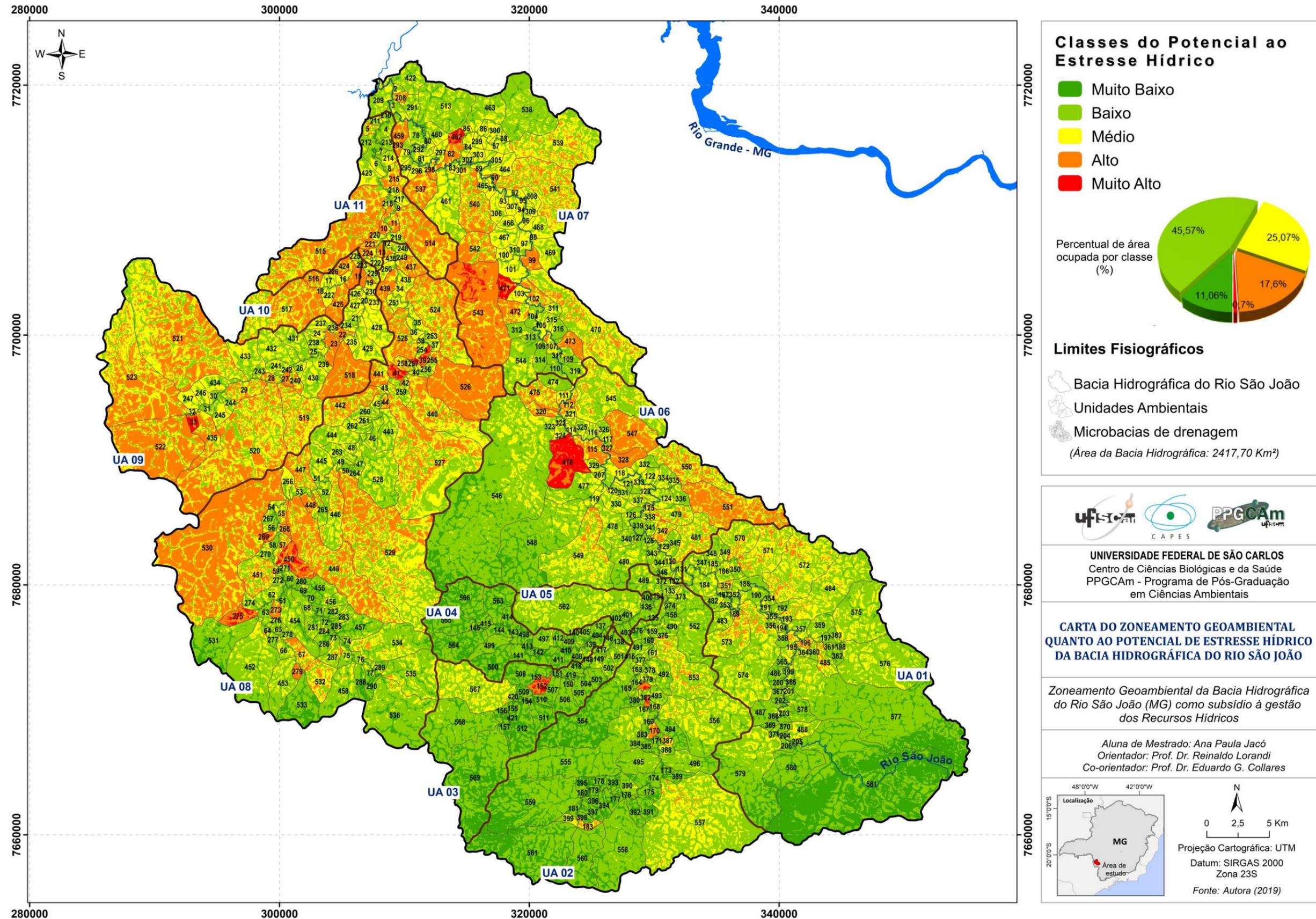
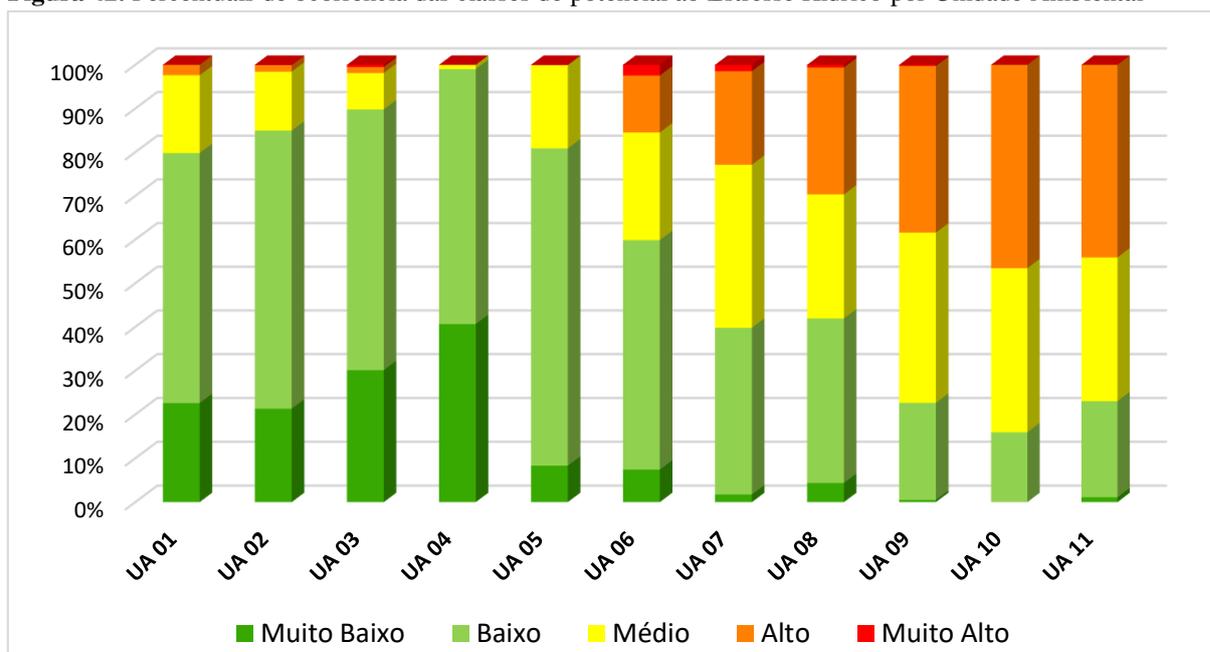


Figura 42. Percentuais de ocorrência das classes de potencial ao Estresse Hídrico por Unidade Ambiental



Fonte: autora.

Tabela 21. Detalhamento dos percentuais de ocorrência do potencial ao estresse hídrico por UA

POTENCIAL	UA 01	UA 02	UA 03	UA 04	UA 05	UA 06	UA 07	UA 08	UA 09	UA 10	UA 11
Muito Baixo	22,60%	21,32%	30,11%	40,65%	8,30%	7,42%	1,74%	4,35%	0,49%	0,00%	1,11%
Baixo	57,20%	63,62%	59,67%	58,36%	72,57%	52,46%	38,06%	37,58%	22,16%	15,94%	21,91%
Médio	17,82%	13,50%	8,36%	0,99%	19,01%	24,63%	37,32%	28,40%	38,96%	37,49%	32,88%
Alto	2,38%	1,50%	1,36%	0,00%	0,12%	13,04%	21,42%	29,06%	38,13%	46,57%	44,09%
Muito Alto	0,00%	0,06%	0,50%	0,00%	0,00%	2,45%	1,46%	0,61%	0,26%	0,00%	0,01%

Fonte: autora.

O zoneamento das 581 Microbacias (Mbs) envolveu um estudo integrado dos componentes, atributos e fatores relacionados a disponibilidade e a demanda dos recursos hídricos, possibilitando realizar um diagnóstico detalhado sobre os níveis de prioridade de cada Mb frente ao cenário de estresse hídrico apresentado em suas áreas de abrangência, permitindo indicar a situação em relação ao nível de comprometimento dos recursos hídricos de sua área de drenagem. Esta análise foi realizada tomando-se por base a delimitação das UAs, com o propósito de descrever de maneira sintetizada as características geoambientais de cada zona da bacia de forma a identificar as regiões ou Mbs que demandam de maior nível de prioridade quanto à sua gestão, como descrito a seguir:

UA 01 - Sub-bacia do Alto São João (375,25 km²)

Esta unidade apresenta o predomínio das classes de baixo e muito baixo potencial ao estresse hídrico, sendo os melhores resultados encontrados em sua porção sul, especialmente nas Mbs 577, 580 e 581, localizadas nas áreas de cabeceira da bacia, onde se forma a nascente do Rio São João. Esta porção evidencia características geoambientais favoráveis ao potencial de disponibilidade hídrica, compreendendo maiores altitudes e temperaturas amenas, índices pluviométricos elevados, declives medianos e altos índices de vazões nas microbacias. Os solos de textura bem distribuída entre argila, silte e areia; as formas de terreno convergentes e as unidades aquíferas de cobertura detrítica e gnáissico-granítica também contribuem para uma melhor disponibilidade hídrica superficial nestes locais.

As áreas classificadas de baixo à médio potencial ao estresse hídrico ocorrem nas regiões norte e nordeste e apresentam disponibilidade hídrica mediana devidos aos seus aspectos do meio físico e climáticos. Além disso, o uso e cobertura do solo é composto em grande parte por pastagens, culturas temporárias e atividades rurais.

A classe de potencial ao estresse hídrico muito alto não apresentou ocorrência nesta UA.

Em todas as Mbs desta UA, a demanda hídrica foi classificada com valores de baixa e muito baixa vazão de retirada, o que contribui para que as chances de ocorrência de estresse hídrico nas Mbs desta UA sejam ainda menores, desde que não ocorra o uso em excesso de seus recursos hídricos disponíveis.

UA 02 - Sub-bacia do Ribeirão São João (312,90 km²)

A UA 02 apresenta características geoambientais dos meios físico, biótico e abiótico muito semelhantes à UA 01, desta forma as classes predominantes quanto ao estresse hídrico são as de baixo e muito baixo potencial. No entanto, as áreas classificadas com médio e alto potencial apresentam características variadas: as Mbs 387, 399 e 557 compreendem demanda hídrica mediana (0,51 a 2,0m³/h/km²), permanecendo com médio potencial de estresse hídrico; as Mbs 167, 170, 183 e 381 apresentam áreas muito pequenas e alta demanda hídrica, resultando em alto potencial a um estresse hídrico. As Mbs 553 e 556 são caracterizadas com baixa demanda, porém com baixa disponibilidade hídrica também, desta forma obtiveram variação entre as classes de baixo a médio potencial ao estresse hídrico. A Mb 557, também com predomínio das classes de baixo e médio potencial ao estresse hídrico apresenta valores médios de demanda e com elevado índice de ações antrópicas diversas mapeadas, dentre elas,

edificações rurais, infraestruturas de pecuária, barramentos e atividades industriais no perímetro urbano localizado nesta Mb.

UA 03 - Sub-bacia do Ribeirão Tabuão (109,52 km²)

Esta UA é caracterizada por apresentar elevado potencial disponibilidade hídrica, com cerca de 57,7% de sua área classificada com disponibilidade alta e muito alta. Os atributos do meio físico, climáticos, hidrológico e dos meios biótico e abiótico ocorrem de maneira distribuída em seu território resultando em uma boa favorabilidade hídrica. Além disso, apresenta demanda hídrica baixa e muito baixa em grande parte de suas Mbs e com resultados de baixo e muito baixo potencial ao estresse hídrico na maior parte de sua área.

Dentre as Mbs analisadas, as Mbs 152 e 153 se classificaram com demanda hídrica muito alta e conseqüentemente, alto potencial ao estresse hídrico e a finalidade de uso dos recursos hídricos nestas Mbs são compostas por agropecuária e dessedentação de animais. A Mb 567 apresenta demanda hídrica média e compreende um elevado índice de intervenções antrópicas rurais e infraestruturas de pecuária, se classifica entre as classes de baixo e médio potencial ao estresse hídrico e considerando sua extensão dentro da UA, necessita de medidas de controle quanto ao seu uso e cobertura do solo.

UA 04 - Sub-bacia do Ribeirão São Pedro (63,5 km²)

Apresentando 99,01% de sua área classificada com baixo e muito baixo potencial de sofrer estresse hídrico, a UA 04 foi considerada a unidade mais preservada da bacia, sendo que não foram identificadas vazões de consumo significativas que pudessem alterar seu regime hídrico superficial. As classes de potencial ao estresse hídrico alto e muito alto não apresentaram ocorrência nesta UA.

Seus aspectos geoambientais compreendem classes que favorecem a disponibilidade hídrica e se sobressaem as classes de disponibilidade regular e alta, que ocorrem de maneira distribuída ao longo desta unidade. Já as classes baixa e muito baixa disponibilidade compreendem ocorrências irrisórias. Quanto ao uso e cobertura do solo, embora esta UA não apresente vazões de consumo hídrico significativas, foram identificados diversos tipos de ações antrópicas urbanas e rurais, envolvendo ainda o perímetro urbano de um de seus municípios de abrangência, o que pode acarretar em um possível aumento dos usos superficiais nesta unidade.

UA 05 - Sub-bacia do Ribeirão do Mamote (35,80 km²)

Esta UA caracteriza-se com o predomínio da classe de baixo potencial ao estresse hídrico (58,36%). A classe de potencial muito alto não apresentou ocorrência e as demais ocorrem em menor proporção e de forma distribuída ao longo do território das Mbs.

A disponibilidade hídrica é caracterizada como regular, sendo que os atributos associados a este componente envolvem classes de favorabilidade mediana, tais como: os índices de vazões, temperatura e pluviosidade com valores médios em suas classes; hipsometria de 900m a 1.100m; declividades com variação de 20% a 30%; solos com predomínio de textura siltosa e argilosa. Quanto aos índices de demanda, as Mbs se classificam com vazões de retirada baixas e muito baixas, sendo identificadas a ocorrências de ações antrópicas caracterizadas como usos insignificantes, tais como: edificações rurais, infraestruturas de pecuária e barramentos.

UA 06 - Sub-bacia do Médio São João (313,63 km²)

Sua caracterização quando ao potencial ao estresse hídrico é representada em sua porção oeste pelo baixo potencial e de norte à sudeste uma maior ocorrência do médio e alto potencial, sendo a maior parte de suas Mbs com características variadas quanto ao estresse hídrico.

Considerando seus aspectos relacionados à disponibilidade, esta unidade apresentou alta variabilidade em seus atributos analisados, compreendendo classes mais favoráveis aos atributos do meio físico, biótico e abiótico (hipsometria, declividades, sistemas aquíferos, solos, formas de terreno e uso e cobertura do solo) e menos favoráveis aos climáticos (pluviosidade e temperatura) e hidrológico (vazão). Quanto à demanda hídrica, prenomina as classes de baixa e muito baixa na maior parte das Mbs, no entanto as Mbs 328, 547 e 551 apresentam demanda média e a Mb 476 apresentou demanda muito alta (5,1 m³/h/km²), consequentemente, maiores potenciais ao estresse hídrico.

Após a integração dos componentes, destacaram-se com alto potencial ao estresse hídrico as Mbs 112, 115, 320, 328, 475, 547 e 551 e considerando o índice de ações antrópicas destas Mbs, sugere-se que sejam implantadas diretrizes que visem o controle na implantação de novas atividades ou instalações antrópicas pontuais e intensificar os critérios de fiscalização do uso dos recursos hídricos. Na Mb 476, constatou-se que dentre todas as áreas mapeadas na bacia, esta é a que se classifica por sofrer a maior pressão em seus recursos hídricos. Apresenta potencial muito alto ao estresse hídrico, com características de baixa disponibilidade hídrica e

densidade de demanda hídrica muito alta. Isto justifica-se pelo fato de que a área envolve uma, das três, maiores mineradoras presentes na área de estudo e a finalidade de uso dos recursos hídricos superficiais nesta Mb ocorre sobretudo para a extração mineral. Desta forma, é imprescindível que haja um controle ambiental mais rígido nesta Mb, visando a minimização de impactos em seus recursos hídricos.

UA 07 – Sub-bacia do Baixo São João (291,40 km²)

A UA 07 retrata um dos menores índices de disponibilidade hídrica da BH-SJ, com 73,6% de sua área composta por baixa e muito baixa disponibilidade devido à desfavorabilidade de seus atributos de influência. No entanto, considerando que a maior parte da unidade apresenta índices de demanda baixos e muito baixos, após o cruzamento dos planos cartográficos, obteve-se uma significativa melhora no perfil fisiográfico desta UA e muitas de suas áreas resultaram em baixo potencial ao estresse hídrico, especialmente em suas porções sul e norte. Algumas Mbs apesar de terem seu perfil melhorado, ainda apresentaram médio potencial devido à baixa disponibilidade hídrica frente à acentuada influência antrópica quanto ao uso e cobertura do solo.

A classe de alto potencial foi identificada em 13 Mbs, sendo algumas delas com este resultado pela disponibilidade hídrica baixa (Mbs 82, 90, 102, 208, 298, 472, 537, 540 e 542) e outras (99, 459 e 473) devido à baixa disponibilidade e média demanda hídrica. Considera-se nestas Mbs o incentivo de práticas de auxílio à disponibilidade hídrica, tais como, a ampliação ou implantação de áreas florestadas.

Já a Mb 543, também classificada com alto potencial, apresenta disponibilidade hídrica satisfatória, porém demanda hídrica elevada. Se caracteriza por suportar uma mineradora de grande porte e a maior cava de mineração da Bacia do Rio São João, além do elevado índice de intervenções antrópicas, inclusive de atividades rurais e industriais diversas, envolvendo parte do perímetro urbano do município de Itaú de Minas. Sugere-se para esta Mb a elaboração de um plano de gestão integrado que vise a preservação e recuperação dos impactos em seus recursos hídricos.

As Mbs 462 e 471, resultaram em potencial ao estresse hídrico muito alto devido à disponibilidade hídrica muito baixa e alta densidade de demanda para consumo humano, atividades agrossilvipastoris e extração mineral. Com isto, deve-se controlar a autorização de novas outorgas de uso dos recursos hídricos e implantar medidas que visem o aumento da disponibilidade hídrica local.

UA 08 – Sub-bacia do Alto Santana (540,95 km²)

Considerando os atributos relacionados à disponibilidade hídrica, a UA 08 é caracterizada por apresentar a maior diversidade em seus aspectos, com um declínio gradativo de contribuição (do sentido sudoeste para nordeste) de suas classes de hipsometria, pluviosidade, temperatura, vazões e declividades, além de maior ocorrência das formas de terreno divergentes, predomínio das unidades aquíferas arenítica e basáltica e dos solos arenosos, considerados desfavoráveis para a disponibilidade de água superficial.

Além disso, o uso e cobertura do solo envolve áreas de culturas temporárias, silviculturas, pastagens e elevada densidade de infraestruturas antrópicas urbanas e rurais, apresentando conseqüentemente, altos índices de demanda hídrica em sua área de drenagem.

Apesar de constituir em sua porção sul e sudoeste a classe de baixo potencial ao estresse hídrico, grande parte das Mbs desta unidade apresentam resultados de médio à alto potenciais ao estresse hídrico. Dentre elas, as Mbs 39, 41, 268, 269, 273, 275, 279, 448 e 450 são classificadas com alto potencial por apresentarem elevados valores de demanda (2,0 a 5,0 m³/h/km²) e baixa disponibilidade frente às suas pequenas áreas de drenagem. Outras que apresentam potenciais de estresse hídrico médio à alto devido à baixa disponibilidade hídrica são as Mbs 437, 439, 440, 441, 442, 447, 448, 449, 524, 525, 527, 529.

Destacam-se ainda duas Mbs com alto potencial e nível de atenção: a Mb 526 que compreende diversas infraestruturas antrópicas pontuais, barramentos e uma cava de extração mineral de grande porte e a Mb 530, que apresenta alta densidade de intervenções em seus recursos hídricos devido ao seu elevado índice de ocupações, envolvendo parte da área urbana do município de São Sebastião do Paraíso, além de chacreamentos, atividades industriais de médio e grande portes, infraestruturas de pecuária intensiva, barramentos, dentre outros. Sugere-se para esta UA que haja um maior controle na autorização de novas outorgas de uso dos recursos hídricos; a implantação de medidas de controle e regulação das intervenções em seus mananciais; boas práticas de manejo e uso dos solos arenosos presentes neste local; práticas que auxiliam no aumento da disponibilidade hídrica superficial, bem como a recomposição de vegetação das áreas de preservação permanente e de reserva legal.

UA 09 - Sub-bacia do Rio das Palmeiras (265,48 km²)

Essa unidade é composta por 35,63% de sua área com baixa disponibilidade e 47,86% com a classe de muito baixa disponibilidade e apenas 2,88% de sua área classificada com alta

disponibilidade hídrica. Os aspectos mais relevantes que remetem a esta condição são os solos de textura arenosa e Sistema Aquífero arenítico com alta suscetibilidade à processos erosivos, os baixos índices de vazão dos cursos d'água e o predomínio no uso e cobertura do solo de pastagens, atividades pecuárias, culturas temporárias irrigadas e culturas permanentes ao longo de toda a UA, remetendo a um cenário de baixa favorabilidade hídrica.

Mesmo apresentando demanda hídrica baixa e muito baixa em grande parte de suas Mbs, muitas delas se caracterizam com predomínio das classes de médio e alto potencial ao estresse hídrico, devendo ser regularizadas quando ao uso excessivo de seus recursos hídricos.

Considerando que nesta unidade os fatores relacionados ao potencial de estresse hídrico estão diretamente relacionados aos aspectos do meio físico, é imprescindível a aplicação de diretrizes específicas de subsídio à gestão, como: estimular no local e adjacências o uso de práticas conservacionistas de uso do solo; controlar a implantação de atividades agropecuárias extensivas e de atividades de infraestrutura que possam direcionar ou aumentar a velocidade de escoamento das águas de chuva; criar medidas para incentivar a ampliação de áreas florestadas, evitando a permanência de solo descoberto ou sem vegetação e ampliar o controle de implantação de futuras instalações em lugares impróprios, visando a prioridade de preservação das áreas com maiores fragilidades ambientais e hídricas.

UA 10 - Sub-bacia do Córrego da Prata (33,82 km²)

É classificada como a menor UA da bacia em estudo e dentre suas 13 Mbs, 8 apresentam o predomínio de médio potencial ao estresse hídrico e 5 de alto potencial. As classes de potencial ao estresse hídrico muito baixo e muito alto não apresentaram ocorrência nesta UA.

Apesar de suas Mbs terem apresentado predomínio de demanda hídrica baixa e muito baixa, cerca de 86,35% de seu território é caracterizado com baixa e muito baixa disponibilidade hídrica, 11,98% como regular e apenas 1,67% da área com alta disponibilidade. Dentre os atributos associados à disponibilidade hídrica avaliados, destacam-se como desfavoráveis a elevada concentração de pastagens e culturas temporárias, associados à terrenos com textura distribuída (arenosos, siltosos, argilosos), formas de terreno divergentes convexas e retilíneas, declives variados, baixa hipsometria e baixos índices de vazão.

Além disso, frente à sua pequena área de drenagem, esta unidade apresenta extensa densidade de intervenções antrópicas, compreendendo alta densidade de edificações rurais, barramentos de água e infraestruturas de pecuária, além compreender uma das áreas urbanas da bacia na extremidade de sua porção leste. Sendo importante a regulação de usos dos recursos

hídricos disponíveis para evitar possíveis conflitos de uso da água a seus usuários, tais como: controlar a implantação de novos barramentos e intensificar a fiscalização para a regularização ambiental e limitar o avanço das ocupações urbanas e rurais para as áreas com maiores potenciais ao estresse hídrico, buscando implementar medidas de planejamento e gestão para subsidiar a implantação de futuras instalações de forma a gerar o mínimo possível de impactos aos recursos hídricos.

UA 11 – Sub-bacia do Baixo Santana (75,45 km²)

A UA 11 é composta pela segunda menor disponibilidade hídrica da área em estudo, sendo 53,46% de sua área com muito baixa disponibilidade, 31,51% com baixa disponibilidade e somente 2,29% com alta disponibilidade. Mesmo compreendendo a região de confluência dos mananciais das sub-bacias a seu montante, apresenta características geoambientais de baixa favorabilidade hídrica similares às descritas para a UA 10.

Embora esta UA não apresente índices de demanda significativos, suas porções sudoeste, sul e sudeste obtiveram o predomínio de alto potencial ao estresse hídrico devido à baixa disponibilidade hídrica da região. Entretanto, seus resultados quando ao estresse hídrico mostraram-se favoráveis em sua porção norte, compreendendo a classe de baixo potencial ao estresse hídrico, tendo em vista que esta região não apresenta vazões de consumo que possam alterar o regime hídrico nesta porção da UA.

Além disso, nota-se que nas Mbs 10, 11, 220 e 221 são desenvolvidas atividades minerárias como dragagem de areia e extração de materiais de empréstimo e nas Mbs 215, 514 e 515 ocorrem alta densidade de edificações rurais, barramentos de água e infraestruturas de pecuária. Considerando a baixa disponibilidade hídrica desta UA e conseqüentemente o alto potencial à ocorrência de estresse hídrico em caso de uso excessivo de seus recursos disponíveis, uma importante medida de subsídio à gestão dos recursos hídricos desta unidade constitui-se em priorizar projetos de implantação e recuperação de áreas florestadas e promover práticas conservacionistas de uso do solo e de uso sustentável dos recursos hídricos.

Frente ao diagnóstico do zoneamento geoambiental quanto ao potencial ao estresse hídrico das microbacias de drenagem da BH-SJ, foi elaborada uma tabela síntese que apresenta a classificação predominante do potencial de estresse hídrico das 581 Mbs da área de estudo, como apresentado na Tabela 22.

Tabela 22. Tabela síntese do Zoneamento Geoambiental da microbacias da BH-SJ

<i>Síntese do Zoneamento Geoambiental das microbacias da BH-SJ</i>	
Classificação quanto ao Estresse Hídrico	Microbacias classificadas quanto ao nível predominante de Estresse Hídrico
Muito baixo (17 Mbs)	[142] [154] [157] [178] [179] [393] [395] [396] [410] [413] [420] [421] [500] [512] [561] [564] [581]
Baixo (344 Mbs)	[1] [2] [3] [4] [6] [7] [21] [25] [26] [30] [31] [40] [42] [46] [47] [49] [50] [51] [52] [53] [54] [56] [58] [59] [60] [61] [62] [63] [64] [65] [66] [68] [69] [70] [71] [72] [73] [74] [75] [76] [77] [78] [80] [81] [104] [105] [106] [108] [109] [110] [119] [121] [122] [123] [124] [126] [127] [128] [129] [130] [131] [132] [133] [134] [135] [136] [137] [138] [139] [140] [141] [143] [144] [145] [146] [147] [148] [149] [150] [151] [155] [156] [158] [159] [160] [161] [162] [163] [164] [165] [166] [168] [169] [171] [172] [173] [174] [175] [176] [177] [180] [181] [182] [184] [185] [186] [187] [188] [189] [190] [191] [192] [193] [194] [197] [198] [199] [200] [201] [202] [203] [204] [205] [206] [209] [210] [211] [212] [213] [236] [238] [239] [241] [242] [243] [244] [255] [256] [259] [260] [261] [262] [263] [264] [265] [267] [270] [271] [272] [274] [276] [277] [278] [280] [281] [282] [283] [284] [285] [286] [287] [288] [289] [290] [291] [292] [293] [310] [311] [312] [313] [314] [316] [317] [318] [319] [322] [325] [326] [327] [331] [332] [333] [334] [335] [336] [337] [339] [340] [341] [343] [344] [345] [346] [347] [348] [349] [350] [352] [353] [354] [355] [356] [357] [358] [359] [360] [361] [362] [363] [364] [365] [366] [367] [368] [369] [370] [371] [373] [374] [375] [376] [377] [378] [379] [380] [382] [383] [384] [385] [386] [388] [389] [390] [391] [392] [394] [397] [398] [399] [400] [401] [402] [403] [404] [405] [406] [407] [408] [409] [411] [412] [414] [415] [416] [417] [418] [419] [422] [430] [431] [432] [443] [444] [445] [452] [453] [454] [455] [456] [457] [458] [460] [463] [474] [477] [478] [480] [482] [483] [484] [486] [487] [488] [489] [490] [491] [492] [493] [494] [495] [496] [497] [498] [499] [501] [502] [503] [504] [505] [506] [507] [508] [509] [510] [511] [513] [528] [531] [533] [534] [535] [536] [538] [544] [545] [546] [548] [549] [552] [553] [554] [555] [556] [557] [558] [559] [560] [562] [563] [565] [566] [567] [568] [569] [573] [574] [575] [576] [577] [578] [579] [580]
Médio (146 Mbs)	[5] [8] [9] [12] [14] [16] [17] [18] [20] [24] [29] [32] [34] [35] [36] [37] [38] [43] [45] [48] [55] [57] [67] [79] [83] [84] [85] [86] [87] [88] [89] [91] [92] [93] [94] [95] [96] [97] [98] [100] [101] [103] [107] [111] [113] [114] [116] [117] [118] [120] [125] [195] [207] [214] [216] [217] [218] [219] [220] [222] [223] [225] [226] [227] [228] [229] [230] [231] [232] [233] [234] [235] [237] [240] [245] [246] [247] [248] [249] [250] [251] [252] [253] [254] [257] [258] [266] [294] [295] [296] [297] [299] [300] [301] [302] [303] [304] [305] [306] [307] [308] [309] [315] [321] [323] [324] [329] [330] [338] [342] [351] [387] [423] [426] [427] [428] [429] [433] [434] [436] [438] [440] [446] [451] [461] [464] [465] [466] [467] [468] [469] [470] [479] [481] [485] [519] [521] [527] [529] [532] [539] [541] [550] [570] [571] [572]
Alto (70 Mbs)	[10] [11] [13] [15] [19] [22] [23] [27] [28] [39] [41] [44] [82] [90] [99] [102] [112] [115] [152] [153] [167] [170] [183] [196] [208] [215] [221] [224] [268] [269] [273] [275] [279] [298] [320] [328] [381] [424] [425] [435] [437] [439] [441] [442] [447] [448] [449] [450] [459] [472] [473] [475] [514] [515] [516] [517] [518] [520] [522] [523] [524] [525] [526] [530] [537] [540] [542] [543] [547] [551]
Muito Alto (4 Mbs)	[33] [462] [471] [476]

Fonte: autora.

5.6 CONCLUSÃO

O ZG realizado quanto ao Potencial de Estresse Hídrico das Microbacias (Mbs) da Bacia Hidrográfica do Rio São João envolveu a integração entre os componentes de disponibilidade e demanda hídrica e o diagnóstico de ocorrência dos resultados nas 581 Mbs apontou que 17 Mbs apresentam muito baixo potencial; 344 Mbs com baixo potencial; 146 Mbs com médio potencial; 70 Mbs com alto potencial e 4 Mbs com muito alto potencial ao estresse hídrico.

A Carta do Zoneamento Geoambiental quanto ao Potencial de Estresse Hídrico evidencia de maneira circunstancial as áreas com maiores e menores suscetibilidades frente ao cenário em que se encontram seus recursos hídricos superficiais. A análise em macroescala, definida pelas Unidades Ambientais (UAs) demonstra que as UAs 01, 02, 03, 04 e 05 apresentaram as maiores concentrações de baixo e muito baixo potencial, conseqüentemente, se classificam pelas áreas com maiores estimativas de disponibilidade e menores ocorrências de demanda. Por outro lado, nas UAs 08, 09, 10 e 11 caracterizam o predomínio das classes de médio e alto potencial e maiores densidades de demanda hídrica.

Algumas regiões da BH-SJ apresentaram significativa mudança em seu aspecto após a integração dos componentes avaliados, como exemplo, as áreas que apresentaram baixos índices de disponibilidade hídrica e no entanto, sem ocorrências circunstanciais de demanda hídrica, obtiveram uma favorabilidade de seu aspecto geoambiental. Ou ainda, as áreas classificadas com alta disponibilidade hídrica, mas com densidades de demanda altas ou muito altas, atribuíram-se as classes de maior potencial ao estresse hídrico.

O ZG realizado a partir da compartimentação da área de estudo em microbacias foi de fundamental importância, pois, possibilitou realizar um refinamento preciso no diagnóstico de ocorrência do estresse hídrico na área de estudo, tomando-se por base os limites fisiográficos pormenorizados da bacia, configurando uma ferramenta de suporte no direcionamento de medidas de gestão e possíveis tomadas de decisão pelos órgãos gestores dos recursos hídricos.

Desta forma, reitera-se a importância da implementação de diretrizes e ações que visem o subsídio à gestão dos recursos hídricos, as quais devem ser direcionadas prioritariamente às microbacias que apresentaram potenciais Alto e Muito Alto quanto à ocorrência do estresse hídrico.

5.7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos à CAPES pelo auxílio concedido à esta pesquisa.

5.8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. N. R.; CARVALHO, R. M. CHAGAS, E. M.; COLLARES, A. C. Z. B.; COLLARES, E. G. Capítulo 7: Diagnóstico do uso dos Recursos Hídricos (pág. 229-274). In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos Socioeconômicos e de Uso e Ocupação do Solo**; Vol. 2. Passos, MG: Edifesp, 2013. 305 p.

_____. ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2018. 88 p. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em: jan. 2019.

ANDRADE, H.; FONSECA, L. D. Capítulo 7: PEDOLOGIA. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico**; Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. (Pág. 165 - 170) 273 p.

BRAGA, Ricardo. **Instrumentos para a gestão ambiental e de recursos hídricos**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2009. 134 p. (Tópicos especiais em Recursos Hídricos).

COLLARES, E. G. Capítulo 9: Mapa de Unidades Texturais. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico**; Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. 273 p.

COLLARES, E. G.; GOMES, D. M. Capítulo 6: Geologia. In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos dos Meios Físico e Biótico**; Vol. 3. Passos, MG: Edifesp, 2013. (Pág. 154 – 164) 273 p.

COLLARES, E. G.; GOMES, D. M.; SANTOS, B. M. dos. Capítulo 4. ASPECTOS METODOLÓGICOS: Compartimentação em macrounidades e unidades ambientais (pág. 49 - 62). In: COLLARES, Eduardo Goulart (Org.). **Zoneamento Ambiental das sub-bacias hidrográficas dos Afluentes Mineiros do Médio Rio Grande: Aspectos Metodológicos**; Vol. 1. Passos, MG: Edifesp, 2013. 287 p.

DESSU, S. B.; MELESSE, A. M.; BHAT, M. G.; McCLAIN, M. E. Assessment of water resources availability and demand in the Mara River Basin. **Catena**, v. 115, p. 104 – 114, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.017>>. Acesso em: nov. 2018.

IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUA. **Cadastrros dos usuários dos Recursos Hídricos da UPGRH-GD7**. *Nota: Trata-se da disponibilização da base de dados

referente ao cadastro dos processos de Outorgas e usos insignificantes superficiais e, Outorgas e usos insignificantes subterrâneos vigentes. Minas Gerais, 2016. Disponível em: Mídia Eletrônica. Acesso em maio de 2016.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - TOPODATA, Banco de dados Geomorfométricos do Brasil. **Forma de Terreno**. 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: out. 2018.

LANNA, A. E. Capítulo 19: Gestão dos Recursos Hídricos. In.: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS. Coleção ABRH de Recursos Hídricos; Vol.4. 2009. 943 p.

NAPOLEÃO, Ricardo Pacheco; MATTOS, Juércio Tavares de. O uso de geotecnologias como subsídio à gestão dos recursos hídricos: o zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Capivari (SP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Inpe, 2011. p. 4744 - 4751.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill International, 1980.

SANTOS, Sinval Neve. **Águas transfronteiriças superficiais: o caso da bacia do rio Danúbio**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

SILVA NETO, J. C. A. **Zoneamento ambiental como subsidio para o ordenamento territorial da bacia hidrográfica do Rio Salobra, Serra da Bodoquena – MS**. 2013. 291 f. Tese – Universidade Estadual Paulista, UNESP, Presidente Prudente, 2013.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Halen: Transacion. **American Geophysical Union**, 1957. v. 38, p. 913-920.

_____. *Software*. ESRI (Environmental Systems Research Institute). **ArcGIS® for the desktop**: ArcMap, version 10.5, 2017.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L.E. de S. Metodologia para Mapeamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. In.: XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2005. p. 3606 - 3615.

WWAP. UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME - The United Nations. **World Water Development Report**: Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO. 122p. 2015.

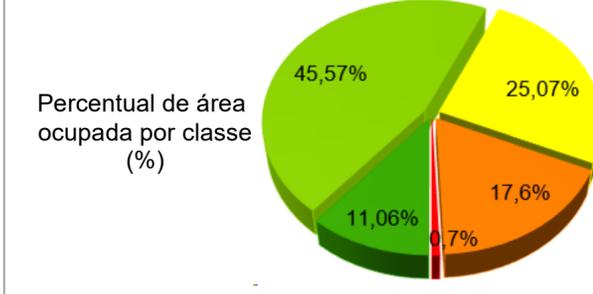
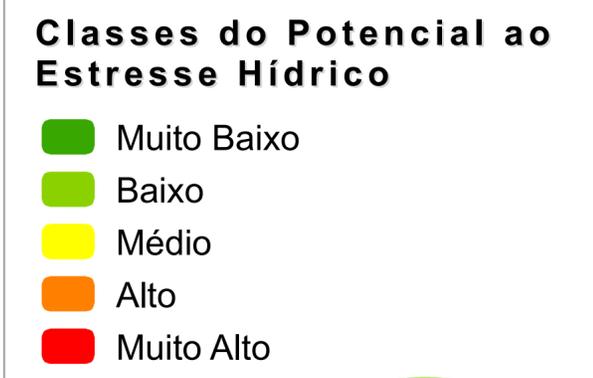
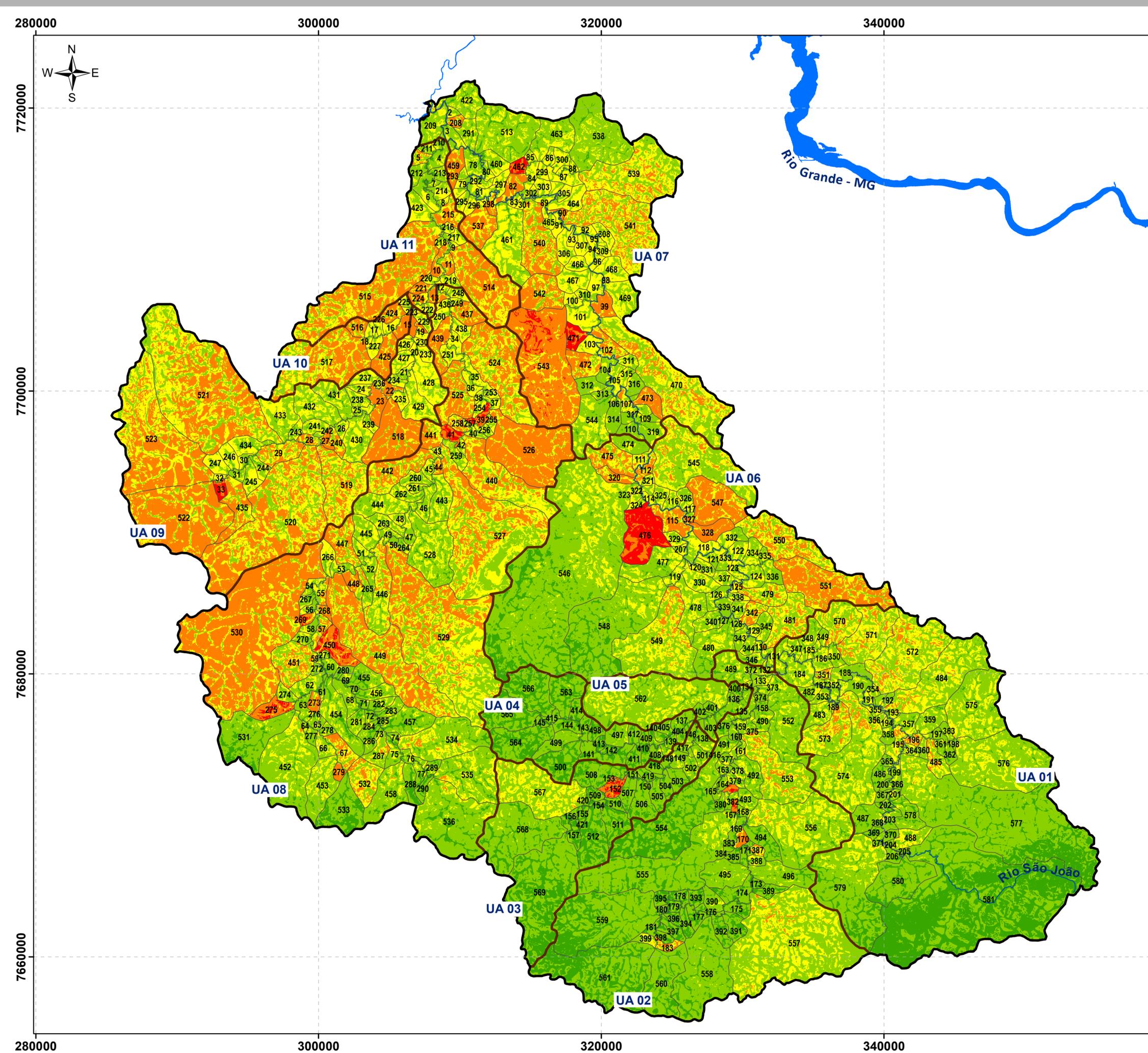
ZUQUETTE, Lázaro V. **Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para Condições Brasileiras**. 1987. V. 1. Tese (Doutorado) – Curso de Geotecnia, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE, Lázaro V.; GANDOLFI, Nilson. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2004, 190 p.

APÊNDICES

I. Carta do Zoneamento Geoambiental quanto ao potencial de Estresse Hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio São João

II. Carta das Ações Antrópicas Pontuais da Bacia Hidrográfica do Rio São João



Limites Fisiográficos

- Bacia Hidrográfica do Rio São João
- Unidades Ambientais
- Microbacias de drenagem

(Área da Bacia Hidrográfica: 2417,70 Km²)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
PPGCAM - Programa de Pós-Graduação
em Ciências Ambientais

APÊNDICE 1

CARTA DO ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL QUANTO AO POTENCIAL DE ESTRESSE HÍDRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO

Zoneamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São João (MG) como subsídio à gestão dos Recursos Hídricos

Aluna de Mestrado: Ana Paula Jacó
Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi
Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo G. Collares

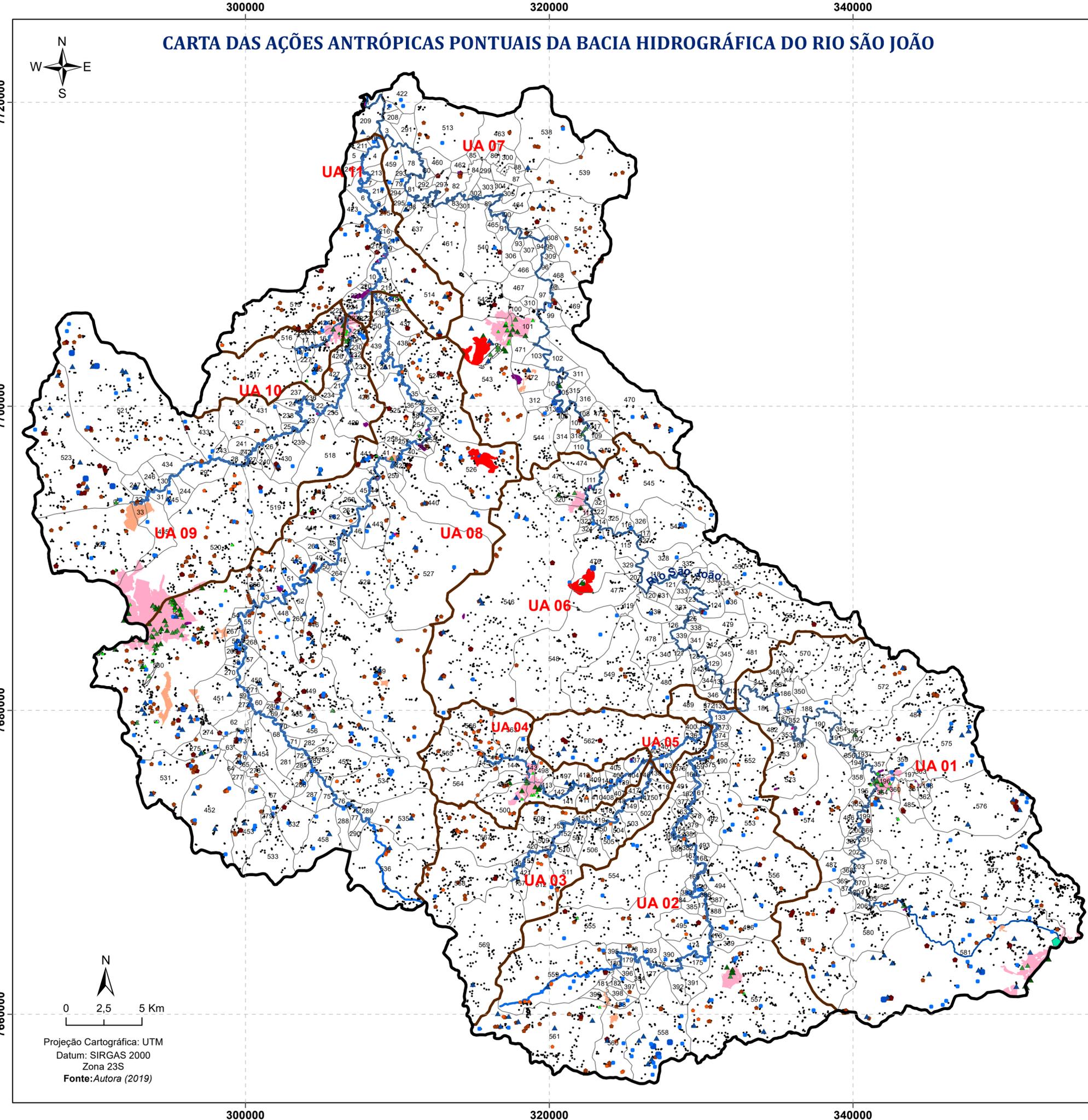
Localização

N

0 2,5 5 Km

Projeção Cartográfica: UTM
Datum: SIRGAS 2000
Zona 23S

Fonte: Autora (2019)



- ### Legendas
- Bacia Hidrográfica
 - Unidades Ambientais
 - Microbacias
 - Nascente do Rio São João
 - Afluentes
 - Rio São João
 - 2. Chacreamentos
 - 1. Área Urbana
 - 3. Barramentos**
 - Pequeno porte (390 - 5.000m²)
 - Médio porte (5.000 - 30.000m²)
 - Grande porte (30.000 - 150.000m²)
 - 4. Edificações Rurais**
 - Pequeno porte (250 a 1.000m²)
 - Médio porte (1.000 - 5.000m²)
 - Grande porte (5.000 - 40.000m²)
 - 6. Atividades industriais**
 - Baixo (55 indústrias)
 - Médio (46 indústrias)
 - Alto (60 indústrias)
 - Área de influência das principais atividades industriais
 - 7. Atividades minerárias**
 - Pequeno porte (13 locais)
 - Médio porte (14 locais)
 - Grande porte (03 locais)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
PPGC-AM - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

APÊNDICE 2
CARTA DAS AÇÕES ANTRÓPICAS PONTUAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO

Zoneamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São João (MG) como subsídio à gestão dos Recursos Hídricos

Aluna de Mestrado: Ana Paula Jacó
Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Lorandi
Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo G. Collares

