



ProfÁgua



**MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**A INTEGRAÇÃO ENTRE GESTÃO DAS ÁGUAS E USO DO SOLO:
O ZONEAMENTO AMBIENTAL COMO INSTRUMENTO DE
INTERFACE NO PLANEJAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

SANDRA LIMA DOS SANTOS

Dissertação de Mestrado

**Salvador
2020**

SANDRA LIMA DOS SANTOS

**A INTEGRAÇÃO ENTRE GESTÃO DAS ÁGUAS E USO DO SOLO:
O ZONEAMENTO AMBIENTAL COMO INSTRUMENTO DE
INTERFACE NO PLANEJAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

**INTEGRATION BETWEEN WATER MANAGEMENT AND LAND USE:
ENVIRONMENTAL ZONING AS AN INTERFACE INSTRUMENT IN
HYDROGRAPHIC BASIN PLANNING**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua) por meio da Universidade Federal da Bahia – UFBA, como parte dos requisitos avaliativos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Projeto CAPES/ANA AUXPE n° 2717/2015.

Prof^ª. Dr^ª. Vivian de Oliveira Fernandes
Orientador

Prof^ª. Dr^ª. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros
Coorientador

**Salvador
2020**

S237 Santos, Sandra Lima dos.

A integração entre gestão das águas e uso do solo: o zoneamento ambiental como instrumento de interface no planejamento de bacias hidrográficas / Sandra Lima dos Santos. – Salvador, 2020.

162 f.: il. color.

Orientadora: Profa. Dra. Vivian de Oliveira Fernandes.

Coorientadora: Profa. Dra. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2020.

1. Recursos hídricos. 2. Zoneamento ambiental. 3. Planejamento integrado. I. Fernandes, Vivian de Oliveira. II. Medeiros, Yvonilde Dantas Pinto. III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

CDD: 628



ProfÁgua



MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Sandra Lima dos Santos

“A integração entre Gestão das Águas e uso do Solo: O zoneamento Ambiental como instrumento de interface no planejamento de bacias Hidrográficas”

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Vivian de Oliveira Fernandes
Universidade Federal da Bahia (Orientadora)

Prof. Dra. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros
Universidade Federal da Bahia (Coorientadora)

Prof. Dr. José Augusto Costa Gonçalves
Universidade Federal de Itajubá (Examinador Interno)

Prof. Dr. Mauro José Alixandrini Jr
Universidade Federal da Bahia (Examinador Externo)

Salvador,
04 de dezembro de 2020

Dedico este trabalho a todos que me ajudaram a construir cada etapa deste projeto de vida. Em especial aos meus pais, minha irmã, minha sobrinha, meu noivo, por estarem sempre presente me incentivando a todo instante a prosseguir rumo aos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

A Deus a quem dedico confiança e busco orientação nas decisões da minha vida; aos meus pais Janete e Severino, à minha irmã Saionara, sobrinha Mariana e amigos pelo amor, apoio e força nos momentos difíceis; ao meu noivo Moisés que sempre me apoiou e com paciência compreendeu os momentos que eu necessitava dedicar-me ao estudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro, com a concessão de viagens e hospedagens para a apresentação do projeto de pesquisa no III Seminário Nacional ProfÁgua em Brasília e no XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos da ABRHidro em Foz do Iguaçu (PR);

Ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), Projeto CAPES/ANA AUXPE nº 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento;

À Prof^a. Dr^a Vivian de Oliveira Fernandes, orientadora, e Prof^a. Dr^a. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros, coorientadora e Coordenadora do Polo ProfÁgua UFBA, que me deram a oportunidade de trabalhar ao seu lado e me auxiliaram em muitos momentos. Muito Obrigada pela paciência, compreensão, incentivo e sabedoria.

Ao Prof. Dr. José Augusto Costa Gonçalves, Coordenador do Polo ProfÁgua UNIFEI, pela orientação no estudo de caso e pelas contribuições e o respeito na banca de qualificação, que fizeram o trabalho evoluir, juntamente com o Prof. Dr. Mauro José Alixandrini Jr. que me ajudaram e orientaram em atividades práticas desta pesquisa.

Aos demais professores e funcionários do Programa ProfÁgua do curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, com o excelente trabalho desenvolvido mantém um curso de excelência, em especial ao Prof. Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira, Coordenador Geral do ProfÁgua;

À Prefeitura Municipal de Camaçari pela experiência profissional e pelo fornecimento dos materiais bibliográficos e cartográficos necessários, especialmente ao Eduardo, Milai, Ana Carolina e João que me ajudaram com conhecimentos específicos.

Aos meus colegas e companheiros de sala pela força e determinação de cada um nos objetivos pretendidos;

À UFBA pelo empenho em melhorias educacionais.

Muito obrigada a todos!

A INTEGRAÇÃO ENTRE GESTÃO DAS ÁGUAS E USO DO SOLO: O ZONEAMENTO AMBIENTAL COMO INSTRUMENTO DE INTERFACE NO PLANEJAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

RESUMO

Na atualidade, um dos efeitos marcantes do processo de urbanização é o aumento da ocupação do solo em áreas de potencialidades hídricas. Neste sentido, o trabalho destaca a proteção das águas como elemento essencial ao planejamento territorial, tendo como diretriz de ação a necessidade de *articulação da gestão de recursos hídricos com a gestão do uso do solo* prevista na Lei Federal nº 9.433 de 1997. No planejamento urbano, o Plano Diretor é o principal instrumento de planejamento da política de desenvolvimento e de expansão urbana de um território, conforme orientado pela Lei Federal nº 10.257 de 2001. Desta forma, a proposta teve como objetivo analisar a integração entre a gestão das águas e de uso do solo no planejamento territorial, para inserção do zoneamento ambiental como instrumento de planejamento e gerenciamento do território em âmbito local e capaz de complementar os Planos de Recursos Hídricos, em especial o plano de bacias hidrográficas. Neste contexto, inicialmente, foi realizada uma discussão evidenciando as políticas sobre planejamento integrado, apontando o zoneamento ambiental como mecanismo sistêmico de interface entre os instrumentos das políticas das águas, urbana e ambiental e, indicando o Plano de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas como instrumento adequado que promove a gestão integrada de recursos hídricos. Em seguida, a análise da paisagem visando a proposição de um zoneamento baseado no mapeamento das áreas de potencialidades hídricas ou recarga de aquíferos do município de Camaçari. Para tanto, foi utilizada como abordagem metodológica, a análise multicritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH) e, como ferramentas, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e as técnicas do Sensoriamento Remoto (SR). No mapeamento, foi possível observar que 39,31% do município de Camaçari apresentam índices de potencialidade muito alto a alto, 49,16% moderado e baixo a muito baixo de 11,53%, devido principalmente, as diversas características da região que propiciam a infiltração e recarga de aquíferos. A partir dos resultados observados, o zoneamento ambiental foi proposto em quatro categorias para o alcance do cenário ambiental ideal na região: a) proteção integral; b) uso sustentável; c) manejos adequados e; d) recomposição da vegetação em áreas protegidas nos espaços urbanos. Como conclusão, o zoneamento ambiental definido nas áreas de potencialidades hídricas pode ser considerado um mecanismo satisfatório para o ordenamento do território, indicado para ser inserido nos Planos Diretores de Cidades e capaz de complementar o Plano de Recursos Hídricos em nível de bacias hidrográficas, assegurando a proteção dos recursos hídricos, caracterizando-se por ser uma ferramenta para o planejamento territorial com enfoque integrado.

Palavras-chave: Recursos Hídricos; Zoneamento Ambiental, Planejamento Integrado.

INTEGRATION BETWEEN WATER MANAGEMENT AND LAND USE: ENVIRONMENTAL ZONING AS AN INTERFACE INSTRUMENT IN HYDROGRAPHIC BASIN PLANNING

ABSTRACT

Currently, one of the striking effects of the urbanization process is the increase in land use in areas of water potential. In this sense, the work highlights the protection of water as an essential element in territorial planning, having as a guideline for action the need to articulate the management of water resources with the management of land use provided for in Federal Law No. 9,433 of 1997. In planning the Master Plan is the main instrument for planning the policy of urban development and expansion of a territory, as guided by Federal Law No. 10,257 of 2001. Thus, the proposal aimed to analyze the integration between water management and land use in territorial planning, for the insertion of environmental zoning as an instrument for planning and managing the territory at the local level and capable of complementing the Water Resources Plans, in particular the river basin plan. In this context, initially, a discussion was held evidencing the policies on integrated planning, pointing out the environmental zoning as a systemic mechanism of interface between the instruments of the water policies, urban and environmental, and indicating the Water Resources Plan of Hydrographic Basins as an appropriate instrument that promotes the integrated management of water resources. Then, the analysis of the landscape aiming at proposing a zoning based on the mapping of areas of water potential or aquifer recharge in the municipality of Camaçari. For that, it was used as methodological approach, the multicriterial analysis of the Hierarchical Analytical Process (PAH) and, as tools, the Geographic Information System (GIS) and the Remote Sensing techniques (SR). In the mapping, it was possible to observe that 39.31% of the municipality of Camaçari have very high to high potential indexes, 49.16% moderate and low to very low of 11.53%, mainly due to the diverse characteristics of the region that provide infiltration and recharge of aquifers. Based on the observed results, environmental zoning was proposed in four categories to achieve the ideal environmental scenario in the region: a) comprehensive protection; b) sustainable use; c) adequate management and; d) recomposition of vegetation in protected areas in urban spaces. As a conclusion, the environmental zoning defined in the areas of water potential can be considered a satisfactory mechanism for spatial planning, indicated to be inserted in the City Master Plans and capable of complementing the Water Resources Plan at the level of hydrographic basins, ensuring the protection of water resources, characterized by being a tool for territorial planning with an integrated focus.

Keywords: Water Resources; Environmental Zoning; Integrated Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.....	63
Figura 2.	Localização do município de Camaçari, Bahia, Brasil.....	64
Figura 3.	Variação das altitudes do município de Camaçari.....	70
Figura 4.	Unidades hidrográficas da RPGA XI que abrangem o município de Camaçari, Bahia.....	75
Figura 5.	Etapas para o mapeamento das áreas de recarga de aquíferos.....	77
Figura 6.	Variáveis e características selecionadas para aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH).....	82
Figura 7.	Princípio de operação da análise geográfica da ferramenta <i>Weighted Overlay</i> do ArcGIS.....	86
Figura 8.	Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável geológica.....	92
Figura 9.	Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável geomorfológica.....	96
Figura 10.	Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável declividade.....	99
Figura 11.	Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável pedológica.....	104
Figura 12.	Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável vegetação.....	108
Figura 13.	Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável uso do solo.....	112
Figura 14.	Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável densidade de lineamento.....	116
Figura 15.	Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável densidade de drenagem.....	120
Figura 16.	Mapeamento das áreas de recarga de aquíferos do município de Camaçari, Bahia, Brasil.....	127
Figura 17.	Distribuição (%) do potencial recarga de aquíferos na UH do rio Joanes, Bacia Hidrográfica do rio Joanes, RPGA XI, Bahia.....	128
Figura 18.	Distribuição (%) do potencial recarga de aquíferos na UH do rio Capivara Grande, SB Hidrográfica do rio C. Grande, RPGA XI, Bahia.....	129
Figura 19.	Distribuição (%) do potencial recarga de aquíferos na UH do rio Jacuípe, Bacia Hidrográfica do rio Jacuípe, RPGA XI, Bahia.....	130
Figura 20.	Distribuição (%) do potencial recarga de aquíferos na UH do rio Itapecerica, SB Hidrográfica do rio Itapecerica, RPGA XI, Bahia.....	131
Figura 21.	Distribuição (%) do potencial recarga de aquíferos na UH do rio Pojuca, Bacia Hidrográfica do rio Pojuca, RPGA XI, Bahia.....	132
Figura 22.	Distribuição (%) do potencial recarga de aquíferos na UH do rio Taipu, Sub-Bacia Hidrográfica do rio Taipu, RPGA XI, Bahia.....	133
Figura 23.	Áreas protegidas do zoneamento municipal no mapeamento das áreas de recarga de aquíferos.....	137
Figura 24.	Áreas protegidas do zoneamento estadual no mapeamento das áreas de recarga de aquíferos.....	138
Figura 25.	Proposta de zoneamento ambiental das áreas de potencialidades hídricas do município de Camaçari, Bahia, Brasil.....	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Escala de ponderação fundamental do Processo Analítico Hierárquico (PAH).....	81
Tabela 2.	Quantificação e ponderação das unidades geológicas na aplicação do PAH.....	87
Tabela 3.	Matriz de comparação pareada para unidades geológicas.....	90
Tabela 4.	Quantificação e ponderação das unidades geomorfológicas na aplicação do PAH.....	93
Tabela 5.	Matriz de comparação pareada para unidades geomorfológicas.....	95
Tabela 6.	Quantificação e ponderação das unidades de declividade na aplicação do PAH.....	97
Tabela 7.	Matriz de comparação pareada para unidades de declividade.....	98
Tabela 8.	Quantificação e ponderação das unidades pedológicas na aplicação do PAH.....	100
Tabela 9.	Matriz de comparação pareada para unidades pedológicas.....	103
Tabela 10.	Quantificação e ponderação das unidades vegetacionais na aplicação do PAH.....	105
Tabela 11.	Matriz de comparação pareada para unidades vegetacionais.....	107
Tabela 12.	Quantificação e ponderação das unidades de uso do solo na aplicação do PAH.....	109
Tabela 13.	Matriz de comparação pareada para unidades de uso do solo.....	110
Tabela 14.	Quantificação e ponderação das unidades densidade de lineamentos na aplicação do PAH.....	113
Tabela 15.	Matriz de comparação pareada para as unidades de densidade de lineamentos.....	114
Tabela 16.	Quantificação e ponderação das unidades de densidade de drenagem na aplicação do PAH.....	117
Tabela 17.	Matriz de comparação pareada para unidade de densidade de drenagem.....	118
Tabela 18.	Ponderação das variáveis temáticas e das suas características na aplicação do PAH.....	123
Tabela 19.	Classe e percentual das áreas de potencial recarga de aquífero do município de Camaçari	125
Tabela 20.	Área (km ²) ocupada por cada unidade hidrográfica no mapeamento de áreas de potencial recarga de aquíferos do município de Camaçari.....	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.	Funções do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) conforme a escala de representação.....	43
Quadro 2.	Principais aspectos abordados na integração da gestão de recursos hídricos com a gestão de uso do solo.....	47
Quadro 3.	Descrição dos aspectos do meio físico e antrópico em cada cenário da paisagem.....	125
Quadro 4.	Cenários ambientais para cada unidade hidrográfica do município de Camaçari.....	140

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
APA	Áreas de Proteção Ambiental
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CEPRAM	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DQA	Diretiva-Quadro da Água
DGI	Divisão de Geração de Imagens
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MDE	Modelo Digital de Elevação
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PDDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNU	Política Nacional Urbana
PIC	Polo Industrial de Camaçari
PAH	Processo Analítico Hierárquico
RPGA	Região de Planejamento e Gestão das Águas
RMS	Região Metropolitana de Salvador
SR	Sensoriamento Remoto
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
<i>SRTM</i>	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	15
1.1 OBJETIVOS	21
1.1.1 Objetivo Geral	21
1.1.2 Objetivos Específicos	21
CAPÍTULO 2. BASES TEÓRICAS E PLANOS JURÍDICOS	22
2.1 A Gestão de Recursos Hídricos e a Gestão Urbana no Planejamento Territorial	22
2.1.1 Gestão de Recursos Hídricos no Brasil	22
2.1.1.1 Política Nacional de Recursos Hídricos	23
2.1.1.2 Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento Regional	25
2.1.1.3 Municípios e a Gestão das Águas	27
2.1.2 Gestão Urbana no Brasil	29
2.1.2.1 Política Nacional Urbana	30
2.1.2.2 Município como Unidade de Planejamento Local	31
2.1.2.3 Recursos Hídricos no Planejamento Urbano	32
2.1.3 Instrumentos da Gestão de Recursos Hídricos e da Gestão Urbana	35
2.1.3.1 Instrumentos de Planejamento	35
2.1.3.1.1 Plano de Recursos Hídricos	35
2.1.3.1.2 Plano Diretor Municipal	38
2.1.3.2 Instrumentos Regulatórios	39
2.1.3.2.1 Enquadramento e Outorga	40
2.1.3.2.2 Zoneamento Ambiental	43
2.1.3.3 Zoneamento Ambiental como Mecanismo de Interface	44
2.1.3.4 Planos de Bacias Hidrográficas e Áreas de Restrição de Uso	48
CAPÍTULO 3. ESTUDO DE CASO	54
3.1 Análise da Paisagem e o Uso das Geotecnologias	54
3.2 Aquífero, Área de Recarga e Análise Multicritério	57
3.3 Procedimentos Metodológicos	61
3.3.1 Caracterização da Área de Estudo	63
3.3.1.1 Aspectos gerais	63
3.3.1.2 Clima	66
3.3.1.3 Geologia	67
3.3.1.4 Geomorfologia	69
3.3.1.5 Pedologia	70

3.3.1.6 Vegetação	71
3.3.1.7 Hidrografia	72
3.3.1.8 Hidrogeologia	75
3.3.2 Identificação de Áreas de Recarga de Aquíferos	76
3.3.2.1 Aquisição e Processamento dos Dados	78
3.3.2.2 Aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH)	80
3.3.2.3 Integração no Sistema de Informações Geográficas (SIG)	85
3.4 Resultados e Discussões	87
3.4.1 Avaliação das Características das Variáveis Físico-Geográficas	87
3.4.1.1 Características Geológica	87
3.4.1.2 Características Geomorfológica	93
3.4.1.3 Características da Declividade	97
3.4.1.4 Características Pedológica	100
3.4.1.5 Características Vegetacionais	105
3.4.1.6 Características do Uso do Solo	109
3.4.1.7 Características da Densidade de Lineamento	113
3.4.1.8 Características da Densidade de Drenagem	117
3.4.2 Avaliação das Variáveis Físico-Geográficas	121
3.4.2.1 Mapas das Áreas de Recarga de Aquíferos	124
3.4.3 Áreas de Recarga por Unidade Hidrográfica	128
3.4.3.1 Unidade Hidrográfica do Rio Joanes	128
3.4.3.2 Unidade Hidrográfica do Rio Capivara Grande	129
3.4.3.3 Unidade Hidrográfica do Rio Jacuípe	130
3.4.3.4 Unidade Hidrográfica do Rio Itapecerica	131
3.4.3.5 Unidade Hidrográfica do Rio Pojuca	132
3.4.3.6 Unidade Hidrográfica do Rio Taipu	133
3.4.4 Áreas de Recarga e Zoneamentos Existentes	134
3.4.5 Cenários e Proposições para o Zoneamento Ambiental	139
3.4.6 Zoneamento Ambiental Local e o Plano de Bacias Hidrográficas	146
CAPÍTULO 4. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	151
REFERÊNCIAS	153
APÊNDICE 1	162

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A água é um recurso vital, limitado, sujeito a demandas conflitantes e exposto a múltiplas fontes de poluição. A gestão de recursos hídricos em regiões densamente habitadas tem sido um dos principais campos de desenvolvimento do enfoque integrado do planejamento territorial. A integração entre a gestão das águas e do uso do solo tem sido vista como essencial para reduzir os impactos da urbanização sobre os recursos hídricos, fundamental para garantir a sustentabilidade e a resiliência das cidades. Sendo necessário um planejamento integrado e a aplicação dos aspectos legais nos processos urbanos, incluindo a dimensão ambiental e dos recursos hídricos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) por meio da Lei Federal nº 9.433 de 1997, também denominada Lei das Águas, estabelece diretrizes de ações para sua implementação, dentre elas, promover a articulação da gestão de recursos hídricos com a gestão de uso do solo. Esta normativa complementa que as cidades têm a competência precípua de possibilitar a integração das políticas locais de uso, ocupação e conservação do solo e de meio ambiente com as políticas federal e estaduais de recursos hídricos. Desta forma, os objetivos propostos na política hídrica têm como finalidade assegurar o uso racional, integrado e sustentável dos recursos hídricos, bem como, a participação dos municípios no sistema de gestão.

A Política Nacional Urbana, orientada pela Lei Federal nº 10.257 de 2001, também denominada Estatuto das Cidades, estabelece diretrizes gerais da política urbana, onde o Plano Diretor, a disciplina do uso do solo e o zoneamento ambiental, são instrumentos definidos para o planejamento municipal que devem ser utilizados na política de desenvolvimento do território, como elementos importantes no âmbito da organização territorial. Sendo um dos seus principais paradigmas a adoção de expansão urbana compatível com os limites da sustentabilidade ambiental, social e econômica e a proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído.

Na Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), Lei Federal nº 6938 de 1981, o zoneamento ambiental e a criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo Poder Público federal, estadual e municipal, estão definidos como instrumentos. O zoneamento ambiental é regulamentado pelo Decreto Federal nº 4297 de 2002, pelo qual o Poder Público objetiva propiciar o desenvolvimento sustentável, a partir da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico e da proteção ambiental. É um instrumento de organização do território, que estabelece medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a

qualidade ambiental, dos recursos hídricos, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população.

Conforme estabelecido nos fundamentos da Lei das Águas, as bacias hidrográficas são reconhecidas como unidades territoriais para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituídas como uma unidade geográfica para o planejamento dos recursos hídricos. Dentre seus instrumentos tem os Planos de Recursos Hídricos, considerados Planos Diretores que visam fundamentar, orientar e constituir um Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), conforme expresso na Lei Federal nº 9.433 de 1997. Os planos são elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País, e estabelecem metas e soluções negociadas entre os atores, de curto, médio e longo prazos, para os problemas da bacia relacionados à água.

No Estatuto das Cidades, os municípios detêm o privilégio de legislar sobre assuntos de interesse local, ou seja, o município é a unidade geográfica local responsável por legislar em matéria de planejamento urbano, tendo o Plano Diretor de Cidades como principal instrumento de planejamento da política de desenvolvimento e de expansão urbana. É obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, em regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, integrantes de áreas de especial interesse turístico, inseridas na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional e, incluídas no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos (BRASIL, 2001).

Neste contexto, a possibilidade de construção de uma gestão integrada deve necessariamente passar por uma articulação clara entre os objetivos, diretrizes e instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e da Política Nacional Urbana (PNU). Sendo o Plano de Recursos Hídricos um instrumento de planejamento, elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País, que pode promover a articulação com as demais políticas públicas que interagem na busca da gestão integrada dos recursos hídricos. O zoneamento ambiental uma ferramenta adequada de ordenamento territorial, onde viabiliza que o planejamento seja um processo que proporciona impactos positivos no meio ambiente, pelo qual o Poder Público objetiva propiciar o desenvolvimento sustentável. E o Plano Diretor de Cidades uma normatização de uso do solo com vistas a conservação ambiental, com a inserção dos recursos hídricos, capaz de complementar o Plano de Recursos Hídricos. (SANTOS et al., 2019).

As cidades têm o potencial de experimentar novos projetos para a sustentabilidade, pois a cidade inteligente tem sido uma abordagem eficaz para alcançar uma melhor gestão do planejamento territorial. Neste aspecto, a integração dos serviços municipais e outros subsistemas devem ser realizados por meio de ações-chave, incluindo o planejamento racional das infraestruturas municipais e o estabelecimento e a melhoria do mecanismo de ação prolongada, mediante o desempenho efetivo da função gerencial da cidade. O próprio planejamento urbano deve se tornar um novo aparato para a governança ambiental, devendo as cidades atuar como unidades empreendedoras quase autônomas, em que os governos locais e os principais interessados com incentivos robustos podem acoplar as ações ambientais aliadas à competitividade econômica (BROMBAL; MORIGGI, 2017; WU et al., 2018).

O objetivo primordial dentro do conceito de cidades sustentáveis é tornar as cidades lugares mais verdes e saudáveis para seus habitantes, com sustentabilidade e viabilidade econômica, estabilidade social e o uso inteligente dos recursos, protegendo o meio ambiente natural. As cidades evoluem de maneiras complexas, exibindo diversos padrões, aglomeração e intensa competição por espaço. Mais da metade da população mundial vive em áreas urbanas, e essa fração urbana tende a aumentar para quase 60% até 2030 e 70% até 2050. Devido à rápida urbanização e ao aumento dos padrões de vida, a sustentabilidade ambiental das cidades torna-se cada vez mais relevante, exigindo que a integração do gerenciamento de recursos hídricos no planejamento urbano seja o fator chave para o desenvolvimento urbano em bases sustentáveis (AGUDELO-VERA et al., 2011; ULIAN et al., 2017).

Como consequência, os planejadores precisam de ferramentas para entender cidades e regiões como sistemas ambientais que são parte de redes locais e regionais. Tais ferramentas devem ser usadas por partes interessadas durante processos de planejamento territorial e traduzidas em tomadas de decisão efetivas. É importante avaliar tendências de desenvolvimento para prever cenários futuros, por meio de indicadores, ou seja, de metodologia de avaliação do gerenciamento hídrico no planejamento urbano como ferramenta prática e capaz de transmitir as informações necessárias para a tomada de decisão (SERRAO-NEUMANN et al., 2017).

A identificação de mecanismos de planejamento e gerenciamento mais satisfatórios e mudanças necessárias na governança e nos arranjos institucionais conducentes à integração é a base para o alcance de melhores resultados que visem a redução dos problemas relacionados aos impactos do desenvolvimento urbano sobre os recursos hídricos. Modelos que consideraram as cidades e sua infraestrutura hídrica como sistemas interligados, constituem ferramentas integradas de planejamento de apoio à decisão que permitem às partes

interessadas testar possíveis estratégias e medidas para planejar contra incertezas do futuro. Tais ferramentas devem ser usadas por partes interessadas durante processos de planejamento urbano e traduzidas em tomadas de decisão efetivas (VISESCU et al., 2017; RAUCH et al., 2017).

Desta forma, tornam-se necessários estudos e metodologias que possam acrescentar e atualizar o conhecimento sobre planejamento integrado de políticas públicas, em especial, quanto à implementação de um instrumento/ferramenta que subsidie o planejamento e gerenciamento do território em escala local. Dentre as várias metodologias existentes, a análise multicritério por meio do Processo Analítico Hierárquico (PAH), aliado aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), têm sido identificados como ferramentas úteis de avaliação das potencialidades hídricas de um território, servindo de auxílio na projeção de cenários ambientais para a proposição de zoneamentos.

Neste panorama, no âmbito da temática que engloba a gestão de recursos hídricos e de uso do solo, foi definido o seguinte: os Planos Diretores de Política Urbana vinculados/articulados diretamente com a gestão de recursos hídricos constituem referenciais para a aplicação dos objetivos, diretrizes e instrumentos da política de recursos hídricos, em especial os Planos de Recursos Hídricos. Desta forma, no geral, buscou-se responder à seguinte pergunta: De que forma a diretriz de ação da política de recursos hídricos referente a articulação da gestão de recursos hídricos com a gestão do uso do solo pode ser implementada no planejamento urbano através dos Planos Diretores de Cidades?

Desta forma, pretende-se defender a seguinte hipótese: O zoneamento ambiental como um instrumento sistêmico de gestão integrada, que mantém interfaces de planejamento e gerenciamento do território na escala cidade/região hidrográfica, capaz de complementar os Planos de Recursos Hídricos e assegurar a proteção dos recursos hídricos, constituindo-se em uma ferramenta de planejamento territorial com enfoque integrado.

Neste aspecto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a integração entre a gestão das águas e de uso do solo no planejamento territorial para inserção do zoneamento ambiental como instrumento de planejamento e gerenciamento do território em âmbito local e capaz de complementar os Planos de Recursos Hídricos, destinado à proteção dos sistemas hídricos e ao aumento da sustentabilidade dos sistemas urbanos.

Os objetivos específicos propostos para o estudo envolvem: Evidenciar a relação entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de uso do solo para o planejamento territorial; Apontar o zoneamento ambiental como instrumento de interface entre o planejamento das águas e uso do solo identificando-o como capaz de complementar o Plano de Recursos

Hídricos; Identificar as variáveis físico-geográficas necessárias para o mapeamento das áreas de potencialidades hídricas de uma região; Identificar as áreas com potencial recarga de aquíferos por meio de análise multicritério como proposta para o zoneamento ambiental; Apresentar os resultados do mapeamento das áreas de recarga de aquíferos mediante a classificação do território por unidade hidrográfica existente em um território.

Resumidamente, a pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas: 1) fase planejamento, com levantamentos bibliográficos e cartográficos, pesquisa de campo e consultas de ferramentas e metodologias de análises; 2) fase investigação, pautada no embasamento teórico dos planos jurídicos sobre o enfoque integrado do planejamento das águas e uso do solo e, referente a temática áreas de recarga de aquíferos e métodos de identificação; 3) fase validação, por meio de um estudo de caso visando a elaboração e integração de mapas temáticos das variáveis físico-geográficas por meio do Processo Analítico Hierárquico (PAH) e de Sistemas de Informações Geográficas (SIG); 4) fase implementação, propostas para o planejamento do zoneamento ambiental das áreas de potencialidades hídricas.

A área objeto do estudo de caso compreende o município de Camaçari, estado da Bahia. Para a formulação da proposta de estudo, levou-se em consideração que já se observa na realidade do contexto de estudo a inexistência de uma gestão integrada de planejamento do território considerando uma abrangência local (município) e regional (bacias hidrográficas) referente ao gerenciamento dos recursos hídricos. A desarticulação entre a gestão de recursos hídricos e a gestão urbana, reflete uma deslegitimação do planejamento e da legislação urbanística, marcados pela ilegalidade e informalidade da ocupação do solo e em impactos da urbanização nos sistemas hídricos.

A análise proposta, adicionalmente, visa uma harmonização/compatibilização do escopo dos instrumentos legais no contexto do planejamento territorial, mantendo a essência da legislação federal e estaduais pertinentes à proteção do meio ambiente e recursos hídricos. Desse modo, a compatibilização se fará em âmbito da legislação local. É observado que o Poder Público desenvolve as suas ações visando ao cumprimento das legislações vigentes, desta forma faz-se necessário um instrumento ao planejamento e gerenciamento do território dentro de uma perspectiva integrada com a gestão de recursos hídricos para a melhoria da qualidade ambiental.

A pesquisa é apresentada em três capítulos que exploram as frentes de trabalho relacionadas: O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura referente as bases teóricas e planos jurídicos sobre enfoque integrado do planejamento territorial evidenciando a importância da articulação entre a gestão das águas e de uso do solo. Desta forma foram

abordados temas relativos à gestão das águas e gestão urbana no Brasil, um descritivo sobre o histórico do início da gestão, a política de recursos hídricos, a política de planejamento urbano, as categorias geográficas de planejamento local e regional e os instrumentos técnicos de planejamento e de comando e controle, planos de recursos hídricos e áreas de restrição de usos.

O Capítulo 3 apresenta uma revisão teórico-conceitual referente às temáticas áreas de recarga de aquíferos e mapeamento das potencialidades hídricas, abordando como metodologia a análise multicritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH) aliado aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Em seguida, o Capítulo 3 apresenta um **estudo de caso**, neste sentido, esta etapa do trabalho englobou: a projeção de cenários representativos dos elementos que compõe a paisagem, visando a delimitação de unidades da paisagem com identificação de áreas de recarga de aquíferos com a finalidade de subsidiar a proposição de um zoneamento ambiental. E, por fim, são apresentadas as propostas para o zoneamento ambiental em âmbito local definido com base na elaboração de cenários ambientais de cada unidade hidrográfica.

O Capítulo 4 traz as considerações finais e conclusões. Contudo, espera-se que os resultados obtidos subsidiem o planejamento territorial do município de Camaçari pelos órgãos gestores e contribuam com o desenvolvimento de propostas de melhoria da qualidade ambiental e dos recursos hídricos da região estudada.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Geral

Analisar a integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de uso do solo no planejamento territorial, para inserção do zoneamento ambiental como instrumento de planejamento e gerenciamento do território em âmbito local e capaz de complementar o Plano de Recursos Hídricos, destinado à proteção dos sistemas hídricos e ao aumento da sustentabilidade dos sistemas urbanos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a. Evidenciar a relação entre a gestão das águas e a gestão de uso do solo para o planejamento territorial, destacando a importância da articulação entre a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e a Política Nacional Urbana (PNU);
- b. Apontar o zoneamento ambiental como instrumento sistêmico de gestão integrada que mantém interface entre o planejamento das águas e uso do solo, identificando-o como capaz de complementar o Plano de Recursos Hídrico, em especial para Bacias Hidrográficas;
- c. Identificar as variáveis físico-geográficas necessárias para elaboração de um zoneamento com foco na delimitação das áreas de potencialidades hídricas de um território;
- d. Aplicar, como metodologia, a análise multicritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH) para a identificação das zonas de potencialidades hídricas ou áreas com potencial recarga de aquíferos a partir das variáveis selecionadas para a região de estudo;
- e. Apresentar os resultados do mapeamento das áreas de recarga de aquíferos mediante a classificação do território por unidade hidrográfica existente no território;
- f. Propor um zoneamento ambiental em âmbito local por meio da elaboração de cenários ambientais em cada unidade hidrográfica: o que temos, o que teremos e o que queremos para o município de Camaçari.

CAPÍTULO 2. BASES TEÓRICAS E PLANOS JURÍDICOS

2.1 A Gestão de Recursos Hídricos e a Gestão Urbana no Planejamento Territorial

2.1.1 Gestão de Recursos Hídricos no Brasil

O Código das Águas, promulgado em 1934 por meio do Decreto 24.643, foi o primeiro marco normativo relativo aos recursos hídricos no Brasil. O regulamento tinha como objetivo dotar o país de uma legislação adequada considerando as necessidades e interesse da coletividade nacional, onde ao poder público fosse permitido controlar e incentivar o aproveitamento industrial das águas. Em decorrência da industrialização e do crescimento populacional após a década de 1960, essas competências são direcionadas para o setor elétrico, o Ministério de Minas e Energia, por meio do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). E a partir da década de 80, com os conflitos entre os múltiplos usuários, o Poder Executivo elaborou uma proposta para constituir um Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), promulgada em 1997 com a Lei Federal nº 9.433 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

Em 1988, a Constituição da República Federativa do Brasil definiu que todas as águas localizadas em território nacional são consideradas de domínio público. E estabeleceu que a competência de legislar sobre os recursos hídricos passa a ser privativa da União e complementar do Estado e a competência em acompanhar e fiscalizar sua exploração passa a ser comum entre União, Estados e Municípios. Ademais, a Constituição do Brasil incumbiu ao Poder Público, de um modo geral, o dever de defender e preservar o meio ambiente e para assegurar a efetividade do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, no Capítulo VI, artigo 225 da Constituição Federal (1988), aos três entes da federação (União, Estados e Municípios) foi atribuído uma série de obrigações que estão diretamente relacionadas à gestão das águas. Sendo assim, seguindo uma tendência descentralizadora, os três entes possuem atribuições legais e de fiscalização em caráter complementar ou suplementar, sendo competência comum proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas (PIZELLA, 2015; CARNEIRO et al., 2010).

Anteriormente à Constituição Federal de 1988, uma exigência por políticas ambientais preventivas já havia sido estabelecida por meio da Lei Federal 6.938 de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), estabelecendo diretrizes e definindo instrumentos inovadores para a gestão ambiental. Desta forma, fundamentado no

paradigma da sustentabilidade, os Princípios de Dublin, acordados na reunião preparatória para a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, conhecida como Eco-92, explicitou em seus princípios orientadores que a gestão eficaz dos recursos hídricos requer um enfoque integrado, pois a gestão integrada oferece oportunidades de preservação ao meio ambiente e a disponibilização de seus benefícios de forma sustentável, ressaltando que a gestão pública deve avaliar suas capacidades de forma a implementar a gestão integrada de recursos hídricos (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 1992).

Neste contexto, a atual gestão de recursos hídricos no Brasil, definida na Lei Federal nº 9.433 de 1997, também chamada Lei das Águas, surgiu com o princípio da integração – além da descentralização e participação, estruturando, orientando e modernizando a gestão dos recursos hídricos. Historicamente, pode ser destacada que a gestão das águas no Brasil ocorria de forma fragmentada e centralizada, pois cada setor (agricultura, energia elétrica, meio ambiente) realizava seu próprio planejamento e propunha medidas correlatas e o governo federal e estaduais definiam suas políticas das águas sem que houvesse a participação dos governos municipais, dos usuários da água e da sociedade civil. Neste sentido, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) representa uma tentativa de integrar as ações relacionadas à gestão das águas, que conta com ampla participação das diferentes partes interessadas com objetivo de gerir os conflitos de usos da água (CAMPOS; FRACALANZA, 2010; JOURAVLEV, 2003).

2.1.1.1 Política Nacional de Recursos Hídricos

A Lei Federal nº 9.433 de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), foi elaborada com o objetivo de regulamentar o artigo 21, inciso XIX, da Constituição Federal. A PNRH é implementada pela atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH) através dos seus instrumentos de gestão. As instituições do SINGREH possuem diferentes naturezas jurídicas e têm funções distintas, podendo ser deliberativas (Conselhos de Recursos Hídricos e Comitês de Bacias) ou operacionais (Órgãos Gestores e Agências de Água). O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) é um colegiado consultivo, normativo e deliberativo que ocupa a instância mais alta na hierarquia. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) é uma autarquia a fim de promover o desenvolvimento da gestão de recursos hídricos e fortalecer a integração do sistema. Em alguns estados e no Distrito Federal, existem órgãos e entidades que desempenham competências específicas para a gestão dos recursos hídricos, similares às

da ANA. Em outros, a responsabilidade pela implementação das políticas estaduais de recursos hídricos está vinculada ao órgão de meio ambiente (BRASIL, 1997; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019).

Os instrumentos de gestão foram estabelecidos para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), visando organizá-la por meio de ações de planejamento, regulação, fiscalização e divulgação de informações. Desta forma, são instrumentos da PNRH, conforme estabelecido no artigo 5º da Lei: os Planos de Recursos Hídricos (inciso I); o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água (inciso II); a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos (inciso III); a cobrança pelo uso de recursos hídricos (inciso IV); o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (inciso VI). Os instrumentos da política de águas também visam promover a gestão integrada, participativa e descentralizada das águas (BRASIL, 1997).

Deste modo, os principais paradigmas da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), conforme expresso na Lei Federal nº 9.433 de 1997, destinados ao alcance da sustentabilidade e da gestão integrada são: a conceituação da água como bem de domínio público, o uso múltiplo das águas, a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento, a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, a integração com a gestão ambiental, a articulação com a gestão de uso do solo e a combinação/integração de instrumentos técnicos (planos diretores), jurídicos (outorga), político-institucionais (comitês) e econômico-financeiros (cobrança). Além disso, nos seus fundamentos preconiza que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019).

Neste sentido, a Lei das Águas pode ser considerada referência legal que trata da organização político-institucional dos setores de recursos hídricos, considerando o enfoque integrado que esta delineou para o gerenciamento hídrico. Como gestão integrada¹ dos recursos hídricos se entende as políticas, planos, programas e atividades que levem em conta as inter-relações entre o crescente desenvolvimento econômico e a disponibilidade das águas. Cada vez mais é preciso aumentar a capacidade governativa, criando estímulos ou incentivos para que os governos locais assumam maiores responsabilidades no processo de implementação da política de gestão das águas (ULIAN et al., 2017; RUFINO, 2009).

¹ O gerenciamento integrado como reconhecer “processos não-lineares e conectividade entre problemas” em um contexto gerencial. Desta forma, a gestão integrada de recursos hídricos pode ser definida como abrangendo a “direção efetiva de cada aspecto de uma ação, de modo que as necessidades e expectativas de todas as partes interessadas sejam equitativamente satisfeitas pelo melhor uso de todos os recursos” (DICKIE et al., 2010, p. 23).

2.1.1.2 Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento Regional

Conforme estabelecido nos fundamentos da Lei Federal nº 9.433 de 1997, as bacias hidrográficas são reconhecidas como unidades territoriais para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, foram instituídas como uma unidade geográfica para o planejamento dos recursos hídricos, e servem de elementos motivadores e indutores da gestão descentralizada. Internacionalmente, uma das principais referências que tem como característica central o uso de bacias hidrográficas é a normativa do Parlamento Europeu, por meio da Diretiva Quadro da Água (DQA) de 2000, que estabelece um quadro de ação comunitária na política da água visando a melhoria da qualidade ecológica dos recursos hídricos (BRASIL, 1997; UNIÃO EUROPEIA, 2000).

A normativa do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia por meio da Diretiva Quadro da Água (DQA) de 2000, tem a seguinte definição para bacias hidrográficas:

A área terrestre a partir da qual todas as águas fluem, através de uma sequência de ribeiros, rios e eventualmente lagos para o mar, desembocando numa única foz, estuário ou delta. Sendo a sub-bacia hidrográfica, a área terrestre a partir da qual todas as águas fluem, através de uma sequência de ribeiros, rios e eventualmente lagos para um determinado ponto de um curso de água (geralmente um lago ou uma confluência de rios) (UNIÃO EUROPEIA, 2000, art. 2).

A Instrução Normativa nº 4 de 2000, do Ministério do Meio Ambiente (MMA), em seu artigo 2º, inciso IV, define bacia hidrográfica sucintamente como a “área de drenagem de um curso d’água ou lago”. A Resolução nº 32 de 2003, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que institui a divisão hidrográfica nacional, conformada por 12 regiões hidrográficas, as define como: “o espaço territorial brasileiro compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos” (art. 1º, parágrafo único). Neste aspecto, a bacia hidrográfica corresponde a uma unidade física que pode se estender por várias escalas espaciais, local, regional, nacional ou transfronteiriça (TUNDISI, 2008).

Em relação ao recorte geográfico das bacias hidrográficas, a planificação dos recursos hídricos é realizada pelo Ministério do Meio Ambiente em âmbito federal, pelas secretarias estaduais de recursos hídricos em âmbito estadual e pelos Comitês de Bacia.

Como órgãos colegiados com estrutura tripartite (poder público, usuários dos recursos hídricos e da sociedade civil organizada) tomam decisões a respeito de atividades e políticas públicas e possuem como atribuições: promover e coordenar as entidades que atuam na gestão da água; arbitrar os conflitos sobre os recursos hídricos; aprovar e acompanhar a execução dos planos por bacia hidrográfica e; estabelecer mecanismos de cobrança pelo uso água, assim como a aplicação dos recursos arrecadados (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

Considerando o enfoque integrado da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a escolha da bacia hidrográfica como unidade territorial² para nortear as políticas de recursos hídricos pode ser considerada, em primeira análise, a mais apropriada para a gestão das águas. A bacia hidrográfica constitui uma unidade espacial de claro reconhecimento e caracterização, no qual qualquer elemento do ambiente consegue interagir com a bacia, por ser um sistema natural de delimitação geográfica em que os fenômenos e interações podem ser integrados de forma facilitada. Pode ser então considerada um ente sistêmico, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos, e o seu exutório é onde estão representados os processos que fazem parte do seu sistema, pois o resultado das suas características é consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem (LIMA et al., 2016; PORTO; PORTO, 2008).

Entretanto, apesar da divisão territorial por bacia hidrográfica dar direcionamento à gestão da água como também na gestão urbana e regional, a possibilidade de organizar a sociedade por divisão hidrográficas ainda constitui um grande desafio a ser enfrentado para a implantação do sistema de gestão. A adoção da bacia hidrográfica como recorte físico-territorial para o gerenciamento das águas apresenta limitações por outros recortes espaciais, tais como: aquíferos, unidades de preservação, regiões administrativas, municípios etc. Desta forma, a bacia hidrográfica não constitui o único recorte físico-territorial, uma vez que os aspectos físicos podem divergir, e normalmente os limites municipais, regionais e estaduais não são correspondentes aos divisores topográficos da bacia, consequentemente, a divisão espacial de algumas relações causa-efeito não tem seus impactos causados no local de origem (PERES; SILVA, 2013).

Desta forma, faz-se necessário a compatibilização das informações sobre os diversos recortes espaciais existentes, pois a adoção da bacia hidrográfica como a unidade geográfica é

² A escolha da bacia hidrográfica como unidade territorial é uma metodologia que mostra-se bastante promissora, pois propicia por vezes, a recuperação de microbacias, a proteção das matas ciliares e da biodiversidade. Jouravlev (2003) corrobora ao dizer que a bacia hidrográfica foi considerada a melhor unidade territorial para o planejamento e a gestão ambiental por ser um sistema onde todas as ações antrópicas e naturais que ocorrem em seu espaço se refletem na qualidade e quantidade da malha hídrica que nela se faz presente (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2013).

pertinente para atender aos objetivos da gestão integrada, não apenas no reconhecimento da dimensão ecológica, mas também das dimensões sociais, culturais e políticas na compreensão da complexidade dos processos ambientais. Como um dos fundamentos proposto do sistema de gestão é executável a delimitação e reconhecimento do ambiente físico natural, a aplicabilidade do conjunto de leis específicas compatível a realidade local, e a análise integrada entre os aspectos naturais e antrópicos (CARVALHO, 2014; LIMA et al., 2016).

2.1.1.3 Municípios e a Gestão das Águas

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) dispõe nas diretrizes gerais de ação que sua implementação é constituída, dentre outros, por meio da integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, bem como, da articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo. No capítulo VI estabelece que compete aos Poderes Executivos Federal, Estaduais e do Distrito Federal, na sua esfera de competência, promover a integração com a gestão ambiental. Complementando que cabe aos municípios a competência de possibilitar a integração das políticas locais de saneamento básico, de uso, ocupação e conservação do solo e de meio ambiente com as políticas federal e estaduais de recursos hídricos (BRASIL, 1997).

A Constituição Federal (1988), em seu artigo 30, incisos I a IX, define a competência exclusiva dos municípios. No caso específico das águas, se destaca o inciso VIII, que atribui esse ente da federação a responsabilidade de promover o adequado ordenamento territorial, e diante do planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano. O planejamento municipal ao disciplinar ou determinar a configuração do uso e ocupação do solo impacta diretamente na vulnerabilidade dos recursos hídricos. Por exemplo, a falta de controle do ordenamento territorial permite a ocupação de áreas protegidas legalmente, gerando sua degradação.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) através do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) instituiu os Conselhos de Recursos Hídricos, o Comitê de Bacias, os Órgãos Gestores e as Agências de Água. O Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH), instância privilegiada de decisão colegiada, reúne as entidades organizadas da sociedade, os usuários e o poder público para tomadas de decisões relacionadas ao território da bacia hidrográfica. Neste espaço participativo estão incorporados atores no modelo de gestão de águas: usuários, organizações civis e municípios (VASCONCELOS; SILVA, 2013; AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2019).

Neste sentido, em texto regulamentares da Lei das Águas, é assegurada a participação dos municípios no sistema de gestão dos recursos hídricos. O apoio municipal é fundamental para integrar a gestão territorial e hídrica em nível de bacia hidrográfica, têm grande responsabilidade no uso e proteção dos recursos hídricos e são responsáveis por disciplinar o uso e ocupação do solo. Em organismos de bacia tem sido a principal forma de interação com outros atores públicos e privados relacionados com a água. Esta tem sido uma das alternativas onde as conexões e ampliações da articulação urbano local regional é bastante evidente (VASCONCELOS; SILVA, 2013; CARNEIRO et al., 2010).

Uma gestão integrada das águas consiste em um novo paradigma para a gestão hídrica, na medida em que considera a inter-relação entre os recursos hídricos e os usos múltiplos que os humanos fazem deles. Os municípios possuem uma grande responsabilidade na proteção dos recursos hídricos, e somente por meio de sistemas de planejamento integrado é possível se fazer uma gestão sustentável das águas que possibilite sua utilização em longo prazo. A identificação dos mecanismos de planejamento mais adequados e mudanças necessárias na governança e nos arranjos institucionais conducentes à integração é a base para o alcance de melhores resultados que visem a redução dos impactos da urbanização nos sistemas hidrológicos (VASCONCELOS; SILVA, 2013; SERRAO-NEUMANN et al., 2017).

Conforme Lei Federal nº 11.445 de 2007, que dispõe sobre a Política Nacional de Saneamento Básico, muitas das competências municipais têm uma forte ligação sobre as águas. Os serviços de saneamento que compreende abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais, podem ser prestados pelos estados ou municípios. Desta forma, os municípios desempenham um papel duplo, ou seja, por um lado são grandes usuários institucionais das águas, e por outro, são promotores, orientadores e administradores do desenvolvimento socioeconômico em nível local, cujas decisões afetam significativamente os sistemas naturais e sociais e, por conseqüências, sobre os usos das águas. Do ponto de vista da gestão da água, as mais importantes das competências municipais são aquelas relacionadas à prestação de serviços públicos baseados no planejamento do uso da terra e da água³ (JOURAVLEV, 2003).

³ Em alguns locais, a gestão de recursos hídricos é realizada sem considerar a perspectiva integrada, por exemplo, é comum encontrar agências governamentais trabalhando separadamente e independentemente para gerenciar os recursos, além disso, as decisões e planejamento do uso da terra com implicações para a qualidade da água e disponibilidade não são frequentemente realizadas em associação com o planejamento e manejo de recursos hídricos (JOURAVLEV, 2003).

2.1.2 Gestão Urbana no Brasil

O paradigma da gestão e do planejamento urbano teve ímpeto em decorrência do rápido processo de urbanização que passou o Brasil entre as décadas de 60 e 80, exigindo que as cidades começassem a demandar ações governamentais, visando soluções técnicas e políticas para os problemas sociais e econômicos. Neste período, o planejamento urbano começou a ser compreendido como o objeto de uma proposta social, visando transformar a sociedade, garantir o bem-estar dos cidadãos e o uso e o direito à cidade, entendidos como acesso aos serviços públicos e equipamentos sociais. Desta forma, através do denominado Movimento Nacional pela Reforma Urbana, uma mobilização social para promoção de maior democratização do planejamento e gestão das cidades, culmina na conquista da inserção do capítulo da Política Urbana com seus artigos 182 e 183 na Constituição Federal do Brasil de 1988 (PERES; SILVA, 2013; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019).

Neste sentido, a Constituição Federal de 1988 estabeleceu a política de desenvolvimento urbano tendo por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes, a ser executada pelo Poder Público municipal. Destacou o Plano Diretor Municipal, de caráter participativo, obrigatório para as cidades com mais de vinte mil habitantes, definindo-o como o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana. Estabeleceu diretrizes gerais, como a função social da propriedade urbana cumprida quando atende às exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no plano diretor, a participação popular e a proteção ao meio ambiente, histórico e cultural. Desta forma, as Constituições Estaduais e Municipais passam a surgir como consequência deste regulamento (BRASIL, 1988; CARNEIRO et al., 2010).

Deste modo, dada a necessidade de regulamentar os objetivos e incluir a temática ambiental na política urbana estabelecidos na Constituição Federal de 1988, é aprovada a Política Nacional Urbana (PNU), denominada Estatuto da Cidade, orientada pela Lei Federal nº 10.257 de 2001. E em 2003 é criado o Ministério das Cidades, com a finalidade de tratar da política de desenvolvimento urbano, contemplando a ausência de marcos institucionais para as políticas setoriais urbanas como habitação, saneamento e transporte. Este objetivando contemplar uma antiga reivindicação dos movimentos sociais de luta pela reforma urbana (BRASIL, 2001; PERES; SILVA, 2013).

A Lei Federal nº 10.257 de 2001, no seu artigo segundo, em consonância com o artigo 182 da Constituição Federal dá a seguinte definição para a política urbana:

A política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as suas diretrizes gerais, dispostas nos incisos numerados de I à XIX (BRASIL, 2001, art. 2º).

2.1.2.1 Política Nacional Urbana

A Política Nacional Urbana (PNU), orientada pela Lei Federal nº 10.257 de 2001, regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, e estabelece diretrizes gerais da política urbana. É o regulamento legal que estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental. Neste sentido, os principais paradigmas da política urbana que estão relacionadas também à gestão das águas são:

Garantia do direito a cidades sustentáveis; planejamento do desenvolvimento das cidades, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente; ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar a poluição e a degradação ambiental e a exposição da população a riscos de desastres; adoção de expansão urbana compatível com os limites da sustentabilidade ambiental, social e econômica sob a área de influência do município; proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído (BRASIL, 2001, art. 2º).

A Lei da Política Urbana apresenta no seu Capítulo II diversos instrumentos, dentre os quais o planejamento municipal que se encontram em especial o plano diretor, a disciplina do parcelamento, do uso e da ocupação do solo e o zoneamento ambiental. São instrumentos que devem ser utilizados na política de desenvolvimento urbano do território, organizando-os em elementos importantes na competência específica do município no âmbito do planejamento territorial e da proteção do meio ambiente. E apresenta o Capítulo III, com seus artigos numerados de 39 à 42, dedicado ao Plano Diretor, em atendimento ao especificado nas diretrizes gerais para a implementação da política urbana. O plano diretor é aprovado por lei municipal, e deve ser o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana do território como um todo (BRASIL, 2001).

Na Política Nacional Urbana (PNU), o plano diretor e o zoneamento ambiental são um dos principais instrumentos para o ordenamento territorial caracterizando-se por ser cerne para o planejamento integrado. Onde uma das finalidades precípua deve ser a elaboração de uma normatização de uso do solo com vistas a conservação ambiental, com a inserção dos

recursos hídricos, o que pode e deve ser implementado por meio de um zoneamento. Neste sentido, a política urbana oportuniza que o planejamento municipal seja um processo que proporciona impactos positivos na qualidade de vida, pois busca assegurar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade, bem como, a garantia do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado (PIZELLA et al., 2015; CARVALHO, 2014).

Apesar da política de desenvolvimento urbano ser executada pelo Poder Público municipal, cabe ressaltar que a Lei Federal nº 10.257 de 2001 incluiu o artigo 3º no qual especifica as atribuições que continua sendo de competência da União: legislar sobre normas gerais de direito urbanístico (inciso I); legislar sobre normas para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios em relação à política urbana (inciso I); instituir diretrizes para desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico, transporte e mobilidade urbana (inciso IV); elaborar e executar planos nacionais e regionais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social (inciso V) (BRASIL, 2001).

2.1.2.2 Município como Unidade de Planejamento Local

Tanto na Constituição Federal, quanto no Estatuto da Cidade, no âmbito das competências, delega aos municípios um papel importante na gestão pública, que inclui, dentre outros, o privilégio de legislar sobre assuntos de interesse local, bem como, promover o adequado ordenamento territorial, ou seja, o município como unidade territorial local responsável por legislar em matéria de política urbana. Desta forma, a Constituição do Brasil de 1988 deu força ao surgimento da autonomia municipal e essa nova forma de governança apresenta algumas virtudes, pois a indução da descentralização das políticas públicas, introduz uma inovação importante, incluindo na organização federativa brasileira o município autônomo, como um dos princípios e fundamentos da organização política do Brasil (BRASIL, 1988, 2001; CAMPOS; FRACALANZA, 2010).

Na Constituição do Brasil os três entes da Federação (União, Estados e Municípios) possuem atribuições legais e de fiscalização em caráter complementar ou suplementar, e considerando que o município é responsável pela política urbana de ordenamento territorial que regulamenta os usos e ocupações do solo, possui um importante papel na gestão sustentável de suas águas, conferindo-lhe autonomia para o estabelecimento das diretrizes ambientais em sua esfera de competência. Neste sentido, a Constituição do Brasil eleva o município à condição de ente federativo, a exemplo da União, dos Estados e do Distrito Federal, constituindo esfera privilegiada para o entendimento das demandas dos cidadãos (BRASIL, 1988; PERES; SILVA, 2013).

No âmbito de um município, a lei orgânica é a normativa maior daquele território, sendo a Constituição do Brasil de 1988 a diretriz que fixa algumas exigências que devem ser seguidas na elaboração desta lei para os municípios. Em síntese, uma lei orgânica estabelece normas para regular a política da cidade, um importante instrumento ao poder público para garantia das obrigações de interesse local. Em seguida na hierarquia vem o plano diretor da política de desenvolvimento e de expansão urbana, que trata especificamente da função social da propriedade urbana. Ambos os instrumentos compõem uma constituição municipal, sendo consideradas as leis mais importantes que regem os municípios (BRASIL, 1988; VASCONCELOS; SILVA, 2013).

De acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), ao município é estabelecida a competência precípua de possibilitar a articulação das suas políticas locais de uso, ocupação e conservação do solo e de meio ambiente com as políticas federal e estaduais de recursos hídricos. Neste aspecto, no instrumento legal que trata das questões relacionadas ao planejamento e gestão urbana e territorial em nível municipal e que contribui essa articulação, o Estatuto da Cidade, é definido que:

A ordenação e controle do uso do solo deve garantir não só os interesses econômicos, mas também as necessidades coletivas, a instalação de infraestrutura urbana, o controle da poluição, da degradação ambiental e da deterioração das áreas urbanas, conservação do meio ambiente natural e do patrimônio histórico, artístico, cultural, paisagístico e arqueológico e garantir o desenvolvimento sustentável da cidade (BRASIL, 2001, art. 2º, inciso VI).

Desta forma, considerando que o município é responsável por regulamentar os usos e ocupações do solo, detém o privilégio de legislar sobre assuntos de interesse local, possui um importante papel na gestão sustentável do meio ambiente e de suas águas, conferindo-lhe autonomia para o estabelecimento das diretrizes ambientais em sua esfera de competência.

2.1.2.3 Recursos Hídricos no Planejamento Urbano

Na Constituição Federal (1988), no seu artigo 23, a competência material comum permite aos três entes da federação (União, Estados e Municípios), estabelecer programas para a proteção e conservação ambiental, bem como permite que os órgãos ambientais fiscalizem o cumprimento da legislação ambiental e de recursos hídricos. A seguir se apresenta os principais incisos relacionados:

Proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas; preservar as florestas, a fauna e a flora; promover programas de construção de moradias e a melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico; registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios (BRASIL, 1988, art. 23).

Além disso, no Capítulo VI da Constituição Federal (1988), aos os três entes da federação é atribuído uma série de obrigações que estão diretamente relacionadas às águas e seus usos, dentre elas:

Preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas; definir espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos; controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente; exigir estudo prévio de impacto ambiental, para a instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente; controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente; promover a educação ambiental; proteger a fauna e a flora, e proibir práticas que coloquem em risco sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam os animais a crueldade (BRASIL, 1988, art. 225).

A Lei Complementar nº 140 de 2011 também trouxe diversas contribuições para harmonizar a atuação cooperativa dos entes federativos podendo-se destacar: critérios específicos para determinar o ente competente para o licenciamento ambiental e para determinar o responsável direto pela fiscalização. A definição de um responsável direto pela tutela fiscalizatória não impede a ação dos outros entes, apenas resolve o conflito caso uma conduta gere a mesma atuação por mais de um órgão ambiental. Assim, a definição do órgão ambiental competente para o licenciamento ambiental, conseqüentemente, indica o ente responsável pela fiscalização e gestão sustentável dos recursos hídricos em termos de uso e ocupação do solo.

Na Política Nacional Urbana (PNU), por meio de suas diretrizes gerais de ação, é estabelecida a responsabilidade municipal pelo equilíbrio ambiental relacionadas à gestão das águas, quando destaca a garantia do direito a cidades sustentáveis, a ordenação e controle do

uso do solo de forma a evitar a degradação ambiental, a adoção de padrões de produção compatíveis com os limites da sustentabilidade ambiental, e quando institui como instrumento ao planejamento municipal o plano diretor, o zoneamento ambiental e o estudo prévio de impacto ambiental e estudo prévio de impacto de vizinhança como parte integrante deste. O Estatuto da Cidade abrange de forma conducente a responsabilidade municipal pela proteção ambiental e dos recursos hídricos, pois cria estímulos à utilização de sistemas operacionais, padrões construtivos e aportes tecnológicos que objetivem a redução de impactos ambientais e a economia de recursos naturais (BRASIL, 2001).

O plano diretor no planejamento municipal, conforme definido no Estatuto da Cidade, dentre seus conteúdos mínimos, existe a previsão do estabelecimento de diretrizes e instrumentos específicos para proteção de recursos hídricos, em especial no caso de municípios suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou a processos geológicos ou hidrológicos adversos (os pormenores serão discutidos no próximo item). Neste aspecto, é destacada a importância dos governos locais no ordenamento do território e as consequências desta gestão na conservação dos recursos hídricos. A possibilidade de construção de uma gestão integrada no planejamento das águas deve necessariamente passar por uma articulação clara entre as diretrizes e metas dos planos de recursos hídricos e dos planos reguladores do uso dos solos, conforme estabelece as legislações sobre a gestão dos sistemas hídricos (BRASIL, 2001; CAMPOS; FRACALANZA, 2010).

A necessidade de articulação entre os níveis de dominialidade estabelecidos na Constituição Federal, são elementos complexos, entretanto, os instrumentos de gestão de recursos hídricos e de planejamento urbano podem auxiliar na construção dos mecanismos de gestão integrada. A divisão geográfica por bacia hidrográfica, não é o planejamento adequado para todos os agentes que participam do processo, em contrapartida, existe a vantagem da utilização do recorte por bacia hidrográfica, pois esta guarda relação física direta com a água, objeto do gerenciamento integrado. A gestão territorial é o principal problema de articulação, e constitui um entrave para a gestão de bacias hidrográficas, porém se apoiado nos instrumentos de gestão previstos na Lei de Gestão das Águas e de Gestão Urbana, encontra bastante espaço para sua viabilização (BRITO, 2010; PORTO; PORTO, 2008).

2.1.3 Instrumentos da Gestão de Recursos Hídricos e da Gestão Urbana

2.1.3.1 Instrumentos de Planejamento

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) tem como instrumento os Planos de Recursos Hídricos, considerados planos diretores que visam fundamentar e orientar a implementação da política de gestão das águas, orientando a atuação dos gestores e a sociedade quanto ao uso, recuperação e proteção dos recursos hídricos. Conforme expresso na Lei Federal nº 9.433 de 1997, são elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País, são formulados com uma visão de longo prazo, com horizonte de planejamento entre dez e vinte anos, acompanhados de revisões periódicas, e estabelecem metas e soluções negociadas entre os atores, de curto, médio e longo prazos, para os problemas da bacia relacionados à água.

Conforme expresso na Lei Federal nº 10.257 de 2001, da Política Nacional Urbana (PNU), o Plano Diretor Municipal é o principal instrumento de planejamento da política de desenvolvimento e de expansão urbana, e parte integrante do processo de planejamento municipal. Esta Lei estabelece que a propriedade urbana cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas nesta política. O Plano é obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, em regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, integrantes de áreas de especial interesse turístico, inseridas na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional e, incluídas no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos.

2.1.3.1.2 Plano de Recursos Hídricos

Na escala de competência, os Planos de Recursos Hídricos são elaborados em três níveis: no âmbito federal, o Plano Nacional de Recursos Hídricos, que abrange o território nacional e contém metas, diretrizes e programas gerais; de abrangência estadual, ou do Distrito Federal, o Plano Estadual (Distrital) de Recursos Hídricos, com ênfase nos sistemas estaduais de gerenciamento de recursos hídricos e; por bacia, o Plano de Bacia Hidrográfica, denominada agenda de recursos hídricos aprovada pelos Comitês de Bacia, documento programático, contendo as diretrizes de usos dos recursos hídricos e as medidas correlatas (BRASIL, 1997; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2013).

De modo geral, os Planos de Recursos Hídricos devem ser elaborados fundamentados nos seguintes objetivos: definição de uma agenda de recursos hídricos, identificando ações de gestão, programas, projetos, obras e investimentos prioritários; compatibilização do uso, controle e proteção dos recursos hídricos às aspirações sociais; atendimento das demandas de água com foco no desenvolvimento sustentável; equilíbrio entre oferta e demanda de água, de modo a assegurar a quantidade, qualidade; orientação do uso dos recursos hídricos, considerando variações do ciclo hidrológico e dos cenários de desenvolvimento (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), em seu artigo 7º, descreve o conteúdo básico de um Plano de Recursos Hídricos, que deve conter, dentre outras temáticas:

Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos; evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo; balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, com identificação de conflitos potenciais; metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis; medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados; propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos (BRASIL, 1997, art. 7º).

Na elaboração dos Planos de Recursos Hídricos, o diagnóstico constitui a base do planejamento, que abrange a identificação da situação atual dos recursos hídricos e posterior estudo de cenários e estabelecimento do prognóstico. Os estudos realizados na etapa de diagnóstico consistem, pelo menos, em (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2013):

Caracterização geral da bacia, abordando aspectos físicos, bióticos (relacionadas à água), sociais e econômicos; diagnóstico das condições ambientais, caracterizando quais os principais problemas ambientais, a forma de ocupação e desenvolvimento da bacia; avaliação das disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas em termos de quantidade e qualidade das demandas de água e balanço hídrico; identificação de pontos de conflitos instalados ou potenciais; avaliação do panorama político-institucional e de gestão dos recursos hídricos, considerando o nível de implantação da política de recursos hídricos na região, como ocorre o funcionamento das instituições; avaliação das legislações e das políticas públicas correlatas (tais como o Zoneamento Ecológico-Econômico, quando definido; a gestão

costeira, quando for o caso, os Planos Municipais, dentre outras) (BRASIL, 2012, art. 11).

Neste sentido, os Planos de Recursos Hídricos são instrumentos de planejamento, elaborados por bacia hidrográfica, por Estado e para o País, que podem promover a articulação com as demais políticas públicas que interagem na busca da gestão integrada dos recursos hídricos. Tendo em vista que no seu conteúdo básico, considera a existência de um conjunto de ações não diretamente de responsabilidade do sistema de recursos hídricos, mas que tem implicações sobre quantidade e qualidade das águas.

Conforme destacado, os Planos de Recursos Hídricos são elaborados fundamentalmente para construir uma agenda de recursos hídricos destinada a orientação do uso, controle e proteção dos recursos hídricos, considerando, em especial, as variações do ciclo hidrológico e dos cenários de desenvolvimento. Para isso, é realizada a caracterização geral da bacia, abordando aspectos físicos, bióticos, sociais e econômicos, com vistas ao diagnóstico das condições e principais problemas ambientais, bem como, a caracterização da forma de ocupação e desenvolvimento dentro da bacia hidrográfica. É também na fase do diagnóstico que são realizadas análises mais específicas das legislações e das políticas públicas correlacionadas à temática, por exemplo, se existem definições quanto a Planos Diretores Municipais (plano de desenvolvimento urbano), zoneamento ecológico-econômico (zoneamento ambiental), e quando da existência de planos de gerenciamento costeiro, dentre outras (BRASIL, 2012).

Neste aspecto, no esforço de um planejamento integrado, a Política Nacional de Recursos Hídrico (PNRH) estabeleceu uma interdependência dos planos de recursos hídricos com as demais políticas setoriais, tais como: a gestão ambiental, a gestão de uso e ocupação do solo, os sistemas estuarinos e zonas costeiras, as políticas ligadas aos setores usuários (energia, transporte, saneamento, agricultura, indústria, desenvolvimento, etc.) e com os planejamentos regional, estadual e nacional. O planejamento na gestão das águas é um processo que procura definir as melhores alternativas de utilização dos recursos hídricos e orientar a tomada de decisão, consiste na busca de soluções de compromisso, principalmente com objetivo de minimizar conflitos pelo uso da água, sejam existentes ou potenciais, importantes na busca de solução dos problemas já existentes em uma bacia hidrográfica (CARVALHO, 2014; CAMPOS; FRACALANZA, 2010).

2.1.3.1.2 Plano Diretor Municipal

Na Política Nacional Urbana (PNU), em seu Capítulo III, adicionalmente à delimitação das áreas urbanas intrínseca à atuação dos municípios, é descrito o conteúdo mínimo do plano diretor para municípios incluídos no cadastro nacional com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos, que deve conter, dentre outras prerrogativas:

Mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de processos geológicos ou hidrológicos adversos; planejamento de ações de intervenção preventiva e realocação de população de áreas de risco de desastre; medidas de drenagem urbana para prevenção e mitigação de impactos; diretrizes para a regularização fundiária de assentamentos urbanos irregulares e previsão de áreas para habitação de interesse social; identificação e diretrizes para a preservação e ocupação das áreas verdes municipais, com vistas à redução da impermeabilização das cidades⁴ (BRASIL, 2012, art. 26).

Conforme definido na Lei Federal nº 12.608 de 2012 que altera a Lei Federal nº 10.257 de 2001, o conteúdo do plano diretor deve ser compatível com as disposições dos planos diretores de recursos hídricos, e a identificação e o mapeamento de áreas de risco devem ser baseados em estudos pormenorizados dos processos hidrogeológicos, com vistas à redução da impermeabilização. Neste sentido, a Política Nacional Urbana (PNU) reforça a possibilidade de construção de uma gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos e que deve necessariamente passar por uma articulação entre as diretrizes, objetivos e instrumentos dos planos de recursos hídricos e dos planos reguladores do uso do solo.

Conforme objetivos destacados na Política Nacional Urbana (PNU), o Plano Diretor Municipal na gestão urbana deve ser um instrumento destinado à compatibilização do crescimento econômico com a garantia da equidade social e a conservação ambiental, incluindo a proteção dos recursos hídricos. Os municípios possuem uma grande papel, neste sentido, pois são os responsáveis direto por assuntos de interesse local, conforme estabelecido pela Constituição Federal, e somente por meio de sistemas de planejamento integrado é possível se fazer uma gestão sustentável das águas que possibilite sua utilização em longo prazo. Neste aspecto, destaca-se a importância dos governos locais no ordenamento do território e as consequências desta gestão na conservação dos recursos hídricos:

⁴ Alterações da Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, que passa a vigorar acrescida dos arts. 42-A e 42-B, conteúdo estabelecido com o objetivo da ordenação e controle do uso do solo de forma a evitar a exposição da população a riscos de desastres (BRASIL, 2001).

Um planejamento territorial deve agir de maneira corretiva no processo de transformação territorial, conciliando as expectativas e interesses do meio social com a capacidade de apoiar o sistema natural e, assim, estabelecer o regime de uso e ocupação do espaço baseado na capacidade de carga do território orientando-o para um desenvolvimento sustentável. O uso ideal que é atribuído às unidades territoriais é o resultado de um processo de análise dos componentes da infraestrutura física, biológica, socioeconômica e cultural do território (Jouravlev, 2003).

Neste sentido, o Plano Diretor Municipal se elaborado considerando a variável hidrológica no processo de controle do uso e ocupação do solo se constitui em uma importante ferramenta para o planejamento urbano em bases sustentáveis, e torna possível restringir a expansão urbana e ocupação em áreas impróprias decorrentes de fragilidades ambientais. Os Planos Diretores Municipais para atenderem seus objetivos necessitam de maior articulação com os Planos de Recursos Hídricos, pois, desta forma, é possível definir as aptidões de uma bacia hidrográfica, e conseqüentemente, suceder um direcionamento da gestão territorial (CARNEIRO et al., 2010; PERES; SILVA, 2013).

Os instrumentos da política de águas como o enquadramento dos corpos de água em classes e a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos, também visam promover essa gestão integrada, participativa e descentralizada das águas com as demais políticas públicas que interagem na busca da gestão integrada dos recursos hídricos.

2.1.3.2 Instrumentos Regulatórios

Na Lei Federal nº 9.433 de 1997, o enquadramento dos corpos de água é previsto como um instrumento regulatório que tem como objetivos principais: assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes. É um instrumento de planejamento importante na prevenção e na solução dos problemas relacionados à gestão das águas e deve ser elaborado levando em conta os interesses sociais, econômicos, políticos e ambientais. O enquadramento atende ao princípio da Lei, onde a gestão e o planejamento dos recursos hídricos devem sempre proporcionar/preservar o uso múltiplo das águas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2013).

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos, na Lei das Águas, é prevista como um instrumento de comando e controle, e tem como objetivo principal assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

A outorga constitui o ato administrativo que expressa os termos e as condições mediante os quais o Poder Público permite, por prazo determinado, o uso de recursos hídricos. A outorga é condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos, deve respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado, bem com, preservar o uso múltiplo destes (BRASIL, 1997; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2013).

O zoneamento ambiental está previsto para a implementação da Política Nacional Urbana (PNU), Lei Federal nº 10.257 de 2001, que em conjunto com a disciplina do uso e da ocupação do solo e o plano diretor municipal, são definidos como instrumentos para o planejamento municipal que devem ser utilizados na política de desenvolvimento urbano do território, como elementos importantes no âmbito da organização territorial e da proteção do meio ambiente. Por meio da Lei Federal nº 6.938 de 1981, da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), referência legal que definem diretrizes e instrumentos inovadores para a gestão ambiental, o zoneamento ambiental foi estabelecido como instrumento que tem como objetivo a preservação e recuperação da qualidade ambiental, sendo também de comando e controle ou regulatório (NUSDEO, 2006).

2.1.3.2.1 Enquadramento e Outorga

O enquadramento dos corpos de água em classes é estabelecido segundo os usos preponderantes da água e tem como objetivo representar a meta de qualidade da água a ser alcançada, ou mantida, em um segmento de corpo de água. As classes de corpos de água são estabelecidas por legislação ambiental, Resolução do CONAMA nº 357 de 2005, normativa que essencialmente dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 1997).

A Resolução CONAMA nº 357 de 2005, alterada pela nº 410 de 2009 e pela nº 430 de 2011, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), normativa legal que estabelece critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade dos recursos hídricos, considera, dentre outros, os seguintes princípios norteadores: a água integra as preocupações do desenvolvimento sustentável; a classificação das águas doces, salobras e salinas como essencial à defesa de seus níveis de qualidade; o enquadramento dos corpos de água deve estar baseado nos níveis de qualidade para atender às necessidades da comunidade; o controle da poluição está diretamente relacionado com a proteção da saúde, garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e a melhoria da qualidade de vida.

A Resolução CONAMA nº 396 de 2008 é a normativa que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Tem os seguintes pressupostos: a racionalização do uso dos meios, controle e zoneamento das atividades potencialmente poluidoras; a caracterização das águas subterrâneas essencial para estabelecer a referência de sua qualidade; a prevenção e controle da poluição; a necessidade de se promover a proteção da qualidade das águas subterrâneas, uma vez que poluídas ou contaminadas, sua remediação é lenta e onerosa; a integração das Políticas Nacionais de Gestão Ambiental e de Gestão de Recursos Hídricos e de uso e ocupação do solo, a fim de garantir as funções social, econômica e ambiental das águas subterrâneas.

Na Resolução do CNRH nº 91 de 2008 estão dispostos procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, tratando, dentre outras coisas, das etapas do enquadramento. Nela é estabelecido que o enquadramento deve ser desenvolvido em conformidade com os Planos de Recursos Hídricos Estadual ou Distrital, Regional e Nacional e da bacia, bem como, com base em estudos específicos propostos e aprovados pelas respectivas instituições competentes do sistema de gerenciamento dos recursos hídricos. As etapas do processo de formulação e implementação do enquadramento, a saber são:

Diagnóstico da bacia; prognóstico (cenários futuros); elaboração das alternativas de enquadramento e programa de efetivação; análise e deliberação do Comitê e do Conselho de Recursos Hídricos e; implementação do programa de efetivação (BRASIL, 2008, art. 3º).

Conforme Resolução CONAMA nº 357 de 2005, o programa para efetivação do enquadramento é o conjunto de medidas ou ações progressivas e obrigatórias, necessárias ao atendimento das metas intermediárias e final de qualidade de água estabelecidas para o enquadramento do corpo hídrico. Entre as ações previstas no programa para efetivação do enquadramento estão: mecanismos de comando e controle através de fiscalização das fontes poluidoras, aplicação de multas, outorga e termos de ajustamento de conduta; mecanismo de disciplinamento por meio de zoneamento do uso do solo e criação de unidades de conservação, entre outros; e mecanismos econômicos através de cobrança pelo lançamento de efluente e pagamento por serviços ambientais (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2013).

Introduzida no Código de Águas pelo Decreto nº 24.643 de 1934, artigo 43, a outorga do direito de uso de recursos hídricos deve ser exigida para os usos que alterem a qualidade, a quantidade ou o regime das águas. Nos termos do artigo 43, o direito de uso de águas estava descrito como “as águas públicas não podem ser derivadas para as aplicações da agricultura, da indústria e da higiene, sem a existência de concessão administrativa, no caso de utilidade pública e, não se verificando esta, de autorização administrativa, que será dispensada, todavia, na hipótese de derivações insignificantes” (Artigo 43).

Nos termos da Lei das Águas, os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos estão sujeitos a outorga pelo Poder Público:

Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final; extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; aproveitamento dos potenciais hidrelétricos; outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água (BRASIL, 1997, art. 12).

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é solicitada para captação de águas, superficiais ou subterrâneas e lançamento de efluentes, ou qualquer ação que interfira no regime hídrico existente, além do uso de potenciais hidrelétricos. No caso das águas subterrâneas, a outorga é emitida pelo poder público estadual ou do Distrito Federal. As formas de uso da água que são consideradas de pouca expressão, no tocante à quantidade de águas demandadas frente à disponibilidade existente no local, são dispensadas de outorga. Nestes casos devem ser computados os usos, apesar da não obrigatoriedade da outorga e, portanto, informar ao poder público federal ou estadual os valores utilizados (BRASIL, 1997).

A efetiva implementação da outorga permite evitar conflitos entre usuários de recursos hídricos e assegurar o efetivo direito de acesso à água, sendo um valioso instrumento de gestão de recursos hídricos. Portanto, deve levar em conta as opções e as metas de desenvolvimento social e econômico que se pretende atingir, considerando o princípio dos múltiplos usos, a capacidade de suporte do ambiente e a busca do desenvolvimento sustentável (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017; NUSDEO, 2006).

2.1.3.2.2 Zoneamento Ambiental

O zoneamento ambiental ou Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), como instrumento da Política Nacional Urbana (PNU) e da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), é regulamentado pelo Decreto Federal nº 4.297 de 2002, pelo qual o poder público objetiva propiciar o desenvolvimento sustentável, a partir da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico e da proteção ambiental. É um instrumento de organização do território, que estabelece medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população.

De acordo com os critérios estabelecidos no Decreto Federal 4.297 de 2002, o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) pode gerar produtos e informações nas seguintes escalas: nacional de 1:5.000.000 e 1:1.000.000; macrorregionais de 1:1.000.000 ou maiores; estaduais ou de Regiões de 1:1.000.000 à 1:100.000; e local de 1:100.000 e maiores. Nas escalas locais, desempenha funções de indicativos operacionais de gestão e ordenamento territorial, tais como, planos diretores municipais, planos de gestão ambiental e territorial locais, usos de áreas de preservação permanente, Quadro 1. Dessa forma, o instrumento possui a prerrogativa legal de aplicação em espaços urbanos (RUFFATO-FERREIRA, 2018).

Quadro 1: Funções do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) conforme a escala de representação.

Abrangência	Escala	Objetivo/Função
Nacional e Macrorregionais	1:5.000.000 e 1:1.000.000	Indicativos estratégicos de uso do território, definição de áreas para detalhamento do ZEE, utilização como referência para definição de prioridades em planejamento territorial e gestão de ecossistemas.
Estaduais/ Regiões	1:1.000.000 à 1:100.000	Indicativos de gestão e ordenamento territorial estadual ou regional, tais como, definição dos percentuais para fins de recomposição ou aumento de reserva legal
Locais	1:100.000 e maiores	Indicativos operacionais de gestão e ordenamento territorial, tais como, planos diretores municipais, planos de gestão ambiental e territorial locais, usos da áreas de preservação permanente.

Fonte: Autor (2020).

Nos planos diretores municipais, o zoneamento ambiental poder ser utilizado como uma ferramenta que regulamenta e disciplina o uso e ocupação do solo, estabelecendo medidas e padrões de ordenamento territorial, buscando a compatibilização de um planejamento urbano eficiente da gestão do território com a efetiva proteção ambiental e dos recursos hídricos. Desta forma, os órgãos municipais podem inserir o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) nos seus sistemas de planejamento e organizam, de forma vinculada, as suas decisões quanto a planos, programas, projetos e atividades que, direta ou indiretamente, utilizem recursos naturais, assegurando a plena manutenção do capital e dos serviços ambientais dos ecossistemas (PERES; SILVA, 2010; CARNEIRO et al, 2010).

2.1.3.3 Zoneamento Ambiental como Mecanismo de Interface

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei Federal nº 9.433 de 1997, ao estabelecer como diretriz de ação para sua implementação a promoção da integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, bem como, a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo, já expressava a necessidade de veemente de conexão clara do planejamento de recursos hídricos com a política de meio ambiente e a política urbana.

Desta forma, o enquadramento dos corpos de água pode ser visto como instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que promove a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, pois a própria legislação de recursos hídricos determina que as classes de corpos de água devem ser estabelecidas por legislação ambiental específica. Na Lei Federal nº 6.938 de 1981, o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental é um instrumento para a implementação da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA). Assim, o enquadramento ao delinear como objetivo a qualidade das águas para prevenção e o controle da poluição, estabelece também medidas de racionalização do uso dos meios como forma de assegurar a qualidade ambiental destinadas ao desenvolvimento sustentável.

Entre as ações previstas no programa para efetivação do enquadramento, o disciplinamento por meio de zoneamento do uso do solo e criação de unidades de conservação é o mecanismo que contribui para a articulação da gestão das águas com a gestão de uso do solo. Conforme mencionado, na Lei Federal nº 10.257 de 2001, a disciplina do uso e da ocupação do solo e o zoneamento ambiental são instrumentos para a implementação da Política Nacional Urbana (PNU). Assim, o enquadramento também é um instrumento que tem forte relação com as políticas de uso e ocupação do solo, pois limita a

forma de ocupação de determinado território, na medida em que se estabelece um padrão de qualidade de água, segundo seus usos preponderantes. Por outro lado, o planejamento da ocupação do solo, por meio de planos diretores e zoneamento ambiental, certamente interfere na qualidade da água de uma bacia hidrográfica.

Assim também, a outorga é um instrumento de planejamento de recursos hídricos que contribui para a integração com a gestão ambiental, bem como, com a gestão de uso do solo preconizadas na Lei das Águas. Pois, a outorga é considerada um instrumento de controle quantitativo e qualitativo dos usos da água. Quantitativo porque controla os volumes retirados e lançados no corpo de água. Qualitativo pelo fato de as autoridades concederem a outorga de lançamento somente quando a qualidade dos efluentes a serem lançados for compatível com o enquadramento do corpo receptor no trecho determinado. Essa regra se coaduna com as diretrizes gerais de ação para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), destacando a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental (BRASIL, 1997; NUSDEO, 2006).

Na Lei Federal nº 6.938 de 1981, o licenciamento ambiental é também um instrumento para a implementação da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA). No licenciamento ambiental a outorga de direito de uso de recursos hídricos é uma exigência inerente para avaliação quanto aos aspectos ambientais e a disponibilidade hídrica da região nas diversas fases do projeto (planejamento, implantação e operação). Assim, os instrumentos outorga e licenciamento ambiental, quando avaliados de forma articulada, contribuem para a integração destas políticas. O licenciamento ambiental previsto no artigo 10 da Lei nº 6.938 de 1981, tem redação dada pela Lei Complementar nº 140 de 2011:

A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental (BRASIL, 2011, art. 20).

Na Lei Federal nº 9.433 de 1997, a outorga tem como referência o enquadramento de corpos águas em classe e, assim, considera as interfaces do enquadramento com outros instrumentos e políticas públicas, como a disciplina do uso e da ocupação do solo e o zoneamento ambiental, preconizados na Lei Federal nº 10.257 de 2001 da Política Nacional Urbana (PNU). Assim, também por meio do procedimento de licenciamento ambiental são avaliados critérios referentes aos parâmetros urbanísticos da disciplina do uso e da ocupação

do solo e o zoneamento ambiental constantes no plano diretor de desenvolvimento urbano. A outorga inserida no procedimento de licenciamento ambiental como uma exigência e o zoneamento ambiental como um regulamento destinado ao disciplinamento de uso e ocupação de áreas.

E, finalmente, os Planos de Recursos Hídricos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), considerados planos diretores de uma bacia hidrográfica, é também um instrumento que deve promover a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão de uso do solo e com a gestão ambiental, pois no seu conteúdo mínimo pressupõe, entre outras questões, o estabelecimento de metas de racionalização de uso visando à melhoria da qualidade das águas, assim como o estabelecimento de propostas para a criação de áreas sujeitas a restrições de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos.

Neste aspecto, tem-se algumas particularidades incidindo sobre a gestão das águas: a primeira com foco na quantidade por meio da Lei das Águas, a segunda com foco na qualidade através da classificação e diretrizes ambientais e a terceira com foco na racionalização de uso por meio do zoneamento e criação de áreas sujeitas à restrição de uso. Embora a outorga de direito de uso de recursos hídricos seja um instrumento de controle quantitativo e qualitativo da água, essa segunda função refere-se à legislação ambiental, qual seja a Resolução CONAMA nº 357 de 2005 (águas superficiais) e Resolução CONAMA nº 396 de 2008 (águas subterrâneas). O zoneamento ambiental se insere como um mecanismo de disciplinamento destinado à proibição de ocupação de áreas com vulnerabilidade ambiental.

Pode ser observado que o zoneamento ambiental é um instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) e da Política Nacional Urbana (PNU) que mantém interfaces com os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), como os planos de recursos hídricos, o enquadramento e a outorga. O zoneamento ambiental tem a possibilidade de complementar os Planos de Recursos Hídricos, pois o ordenamento territorial pode ser considerado um instrumento de gestão de bacias hidrográficas⁵ que tem como finalidade orientar o processo de ocupação e transformação do território de acordo com sua capacidade de carga ou aptidão.

O Plano de Recursos Hídricos, como instrumento centralizado na gestão da água e o Zoneamento Ecológico-Econômico, como instrumento sistêmico na gestão territorial, deveriam manter interfaces e mecanismos institucionais de integração visando a eficiência na

⁵ Em termos de água, a organização territorial pode ser traduzida em proteção de bacias hidrográficas, essa possibilidade é materializada por meio de um zoneamento adequado que incluiria a exclusão e a regulação de certas atividades com o objetivo de harmonizar o desenvolvimento socioeconômico local com a proteção dos recursos hídricos e a mitigação do efeito de fenômenos naturais extremos (JOURAVLEV, 2003).

gestão pública, pois na gestão das bacias hidrográficas, os instrumentos podem se favorecer um do outro evitando sobreposições, ajustando a escala de análise e convergindo para um melhor e mais completo planejamento integrado do território.

Desta forma, como instrumento de gestão eficiente no planejamento territorial aliado à preservação do meio ambiente e dos recursos hídricos, o zoneamento ambiental se enquadra como proposta para o planejamento urbano visando a garantia do desenvolvimento sustentável. A utilização desse instrumento nos sistemas de planejamento urbano tem a finalidade de promover a integração de políticas públicas, na tentativa de ordenação do território, buscando harmonizar os interesses econômicos, sociais e ambientais. Neste sentido, a metodologia tem sido pensada para atender projetos de planejamento territorial nas escalas nacional e macrorregional, bem como, em outras escalas, estaduais e/ou regionais e locais.

Nesta perspectiva, o zoneamento ambiental caracteriza-se por ser um mecanismo para o planejamento territorial com enfoque integrado, considerando que uma das finalidades precípuas deve ser a elaboração de uma normatização de uso do solo para a proteção dos recursos hídricos. Desta forma, os órgãos municipais podem inserir o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) nos seus sistemas de planejamentos e organizar, de forma vinculada, as suas decisões quanto a planos, programas, projetos e atividades que, direta ou indiretamente, utilizem recursos naturais.

A seguir é apresentado um Quadro 2 com as principais características referentes à articulação/integração da gestão de recursos hídricos com a gestão de uso do solo.

Quadro 2: Principais aspectos abordados na integração da gestão de recursos hídricos com a gestão de uso do solo.

Aspectos Principais	Gestão das Águas	Gestão de Uso do Solo
Esfera	Federal: Lei nº 9.433 de 1997	Federal: Lei nº 10.257 de 2001
Objetivo	Denominada de Lei das Águas, tem por objetivo a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável.	Denominada de Estatuto da Cidade, tem por objetivo a regulação do uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental.

Diretrizes de ação	A integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental; A articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos regional, estadual e nacional; A articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo.	A garantia do direito a cidades sustentáveis; A ordenação e controle do uso do solo; A adoção de expansão urbana compatíveis com os limites da sustentabilidade ambiental.
Unidade geográfica de planejamento	As bacias hidrográficas, limites divisores de águas	As cidades, limites políticos administrativos
Instrumento técnico de planejamento	Plano de Recursos Hídricos de âmbito regional	Plano Diretor Municipal de âmbito local
Mecanismos de integração entre as políticas	Plano de Recursos Hídricos, enquadramento dos corpos de águas e outorga de direito de uso dos recursos hídricos	Zoneamento ambiental e disciplina do uso e ocupação do solo

Fonte: Autor (2020).

2.1.3.4 Planos de Bacias Hidrográficas e Áreas de Restrição de Uso

O planejamento de uma determinada bacia hidrográfica envolve objetivos específicos, diretrizes e a aplicação do conjunto de instrumentos, para implementar os objetivos e diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei Federal nº 9.433 de 1997, em atendimento aos seus fundamentos e princípios.

No contexto do estabelecimento de diretrizes para a elaboração de Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas, a Resolução nº 145 de 2012, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), dispõe que considera como necessária a articulação para harmonização do Plano da Bacia Hidrográfica com outros planos e estudos. Nesta articulação, além da harmonização com os Planos Nacional, Estadual e de Bacias Hidrográficas, devem considerar também os planos, programas, projetos e estudos existentes relacionados à gestão ambiental, aos setores usuários, ao desenvolvimento regional, ao uso do

solo, à gestão dos sistemas estuarinos e zonas costeiras, incidentes na área de abrangência das respectivas bacias hidrográficas.

Referente ao conteúdo dos Planos de Bacias Hidrográficas, a Resolução CNRH nº 145 de 2012, considera que, face aos fundamentos legais expressos na mencionada Lei Federal nº 9.433 de 1997, os Planos de Recursos Hídricos deverão ter um conteúdo que fundamente e oriente a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o Gerenciamento de Recursos Hídricos, tomando-se a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e estudo. Nestes casos, os Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas devem ser elaborados a partir dos dados secundários disponíveis, podendo ser utilizados dados primários.

Conforme estabelecido em Termo de Referência específico, os Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas devem ser constituídos pelas etapas de diagnósticos, prognósticos e plano de ações, contemplando os recursos hídricos superficiais e subterrâneos e estabelecendo metas e ações para seu alcance, em consonância com o que estabelece o artigo 7º da Lei Federal nº 9.433 de 1997. A obrigação de considerar os recursos hídricos superficiais e subterrâneos no Plano de Recursos Hídricos não está prevista na Lei das Águas, mas consta do seu regulamento, a Resolução CNRH nº 145 de 2012, no artigo 10. Essa compreensão expande o conteúdo do Plano, que passa a tratar de forma integrada as águas superficiais e subterrâneas.

No que concerne aos objetivos específicos para o planejamento de bacias hidrográficas, é estabelecido que o diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos inclui, dentre outros aspectos, a caracterização da bacia hidrográfica considerando aspectos físicos e bióticos; a identificação de áreas sujeitas à restrição de uso com vistas a proteção dos recursos hídricos; identificação de políticas, planos, programas e projetos setoriais que interfiram nos recursos hídricos. A etapa de prognóstico se refere a proposição de cenários futuros, compatíveis com o horizonte de planejamento. O plano de ações visa a mitigar, minimizar e se antecipar aos problemas relacionados aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, de forma a promover os usos múltiplos e a gestão integrada, devendo compreender, dentre outros, recomendações para os setores usuários, governamental e sociedade civil (BRASIL, 2012).

Neste sentido, a Resolução CNRH nº 15 de 2001, estabelece que devem ser incorporadas medidas que assegurem a promoção da gestão integrada das águas superficiais, subterrâneas e meteóricas, para a implementação dos instrumentos da Política Nacional de

Recursos Hídricos (PNRH). E os Planos de Recursos Hídricos são responsáveis por incentivar a adoção de práticas que resultem no aumento das disponibilidades hídricas das respectivas bacias hidrográficas, onde essas práticas forem viáveis. No que diz respeito aos instrumentos da PNRH, devem ser observadas as seguintes diretrizes:

I - Nos Planos de Recursos Hídricos deverão constar, no mínimo, os dados e informações necessários ao gerenciamento integrado das águas, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 9.433 de 1997; II - O enquadramento dos corpos de água subterrânea em classes dar-se-á segundo as características hidrogeológicas dos aquíferos e os seus respectivos usos preponderantes, a serem especificamente definidos; III - Nas outorgas de direito de uso de águas subterrâneas deverão ser considerados critérios que assegurem a gestão integrada das águas, visando evitar o comprometimento qualitativo e quantitativo dos aquíferos e dos corpos de água superficiais a eles interligados; IV - A cobrança pelo uso dos recursos hídricos subterrâneos deverá obedecer a critérios estabelecidos em legislação específica; V - Os Sistemas de Informações de Recursos Hídricos no âmbito federal, estadual e do Distrito Federal deverão conter, organizar e disponibilizar os dados e informações necessários ao gerenciamento integrado das águas (BRASIL, 2001, art. 3º).

A Resolução CNRH nº 202 de 2018, resultado dos avanços na Resolução CNRH nº 15, de 11 de janeiro de 2001, onde estabelece diretrizes para a gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, dispõe que essa gestão integrada de recursos hídricos deve contemplar também avaliações hidrológicas integradas, mediante as seguintes diretrizes: I - delimitação das áreas de recarga e de contribuição dos aquíferos para os rios diretamente conectados; II - estimativa da contribuição dos aquíferos para a vazão de base dos rios; III - estimativa da recarga e as reservas exploráveis e renováveis, IV - estimativa da disponibilidade hídrica integrada subterrânea e superficial para os diversos usos, considerando os incisos anteriores; e V - as redes de monitoramento hidrometeorológica e hidrogeológica necessárias. Neste aspecto, para a gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, as autoridades outorgantes devem se articular entre si, conforme o caso, para a elaboração de atos administrativos próprios com vistas à definição de diretrizes e critérios comuns.

A Resolução nº 15 de 2001, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), considerando, dentre outros, que os municípios têm competência específica para o disciplinamento do uso e ocupação do solo, considera como necessária a criação de

mecanismos de estímulos à proteção das áreas de recarga dos aquíferos e a adoção de práticas de reuso e de recarga artificial, com vistas ao aumento das disponibilidades hídricas e da qualidade da água. Neste sentido, os Sistemas Nacional, Estaduais e do Distrito Federal de Gerenciamento de Recursos Hídricos devem orientar os municípios no que diz respeito às diretrizes para promoção da gestão integrada das águas em seus territórios, em consonância com os planos de recursos hídricos. Pois, a exploração das águas pode implicar redução da capacidade de armazenamento dos aquíferos, redução dos volumes disponíveis nos corpos de água superficiais e modificação dos fluxos naturais nos aquíferos.

Neste contexto, pode-se observar que as bases normativas estabelecem como necessária a criação de áreas de restrição de uso como requisito adequado de proteção dos recursos hídricos de um território, que visa a implementação dos instrumentos de gestão das águas, em consonância com os Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas. A identificação e delimitação das áreas de recarga de aquíferos, desta forma, é mencionada como uma medida protetiva para o aumento das disponibilidades hídricas e da qualidade das águas, e que adicionalmente deve contribuir para a promoção da gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas. E considerando que os municípios têm competência específica para o disciplinamento do uso e ocupação do solo, como promotores, orientadores e administradores do desenvolvimento socioeconômico em nível local (considerando que a produção do espaço urbano modifica sensivelmente as características da bacia hidrográfica), significativamente desempenham um papel importante na busca da gestão integrada dos recursos hídricos.

Nessa linha, a Resolução CNRH nº 22 de 2002 dispõe que os Planos de Recursos Hídricos devem considerar os usos múltiplos das águas subterrâneas, as peculiaridades de função do aquífero e os aspectos de qualidade e quantidade para a promoção do desenvolvimento social e ambientalmente sustentável. Além disso, a citada norma determina que os Planos de Recursos Hídricos devem promover a caracterização dos aquíferos e definir as inter-relações de cada um deles com os demais corpos hídricos superficiais e subterrâneos e com o meio ambiente, visando à gestão sistêmica, integrada e participativa das águas.

A Resolução CNRH nº 22 de 2002 impõe ainda que as ações potencialmente impactantes nas águas subterrâneas, bem como as ações de proteção e mitigação a serem empreendidas devem ser diagnosticadas e previstas nos Planos de Recursos Hídricos, incluindo-se medidas emergenciais a serem adotadas em casos de contaminação e poluição accidental. Os Planos de Recursos Hídricos devem também explicitar as medidas de

prevenção, proteção, conservação e recuperação dos aquíferos com vistas a garantir os múltiplos usos e a manutenção de suas funções ambientais. Estabelecendo que a criação de áreas de uso restritivo pode ser adotada como medida de alcance dos objetivos propostos.

No que se refere ao diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos, mencionado no artigo 7º, inciso I da Lei Federal nº 9.433 de 1997, a Resolução CNRH nº 145 de 2012, no artigo 11, prevê o desenvolvimento das seguintes temáticas em seus incisos:

I – caracterização da bacia hidrográfica considerando aspectos físicos, bióticos, socioeconômicos, políticos e culturais. II – caracterização da infraestrutura hídrica; III – avaliação do saneamento ambiental; IV - avaliação quantitativa e qualitativa das águas superficiais e subterrâneas; V - avaliação do quadro atual dos usos da água e das demandas hídricas associadas; VI – balanço entre as disponibilidades e demandas hídricas avaliadas; VII – caracterização e avaliação da rede de monitoramento quali-quantitativa dos recursos hídricos; VIII - identificação de áreas sujeitas à restrição de uso com vistas a proteção dos recursos hídricos; IX – avaliação do quadro institucional e legal da gestão de recursos hídricos, estágio de implementação da política de recursos hídricos, especialmente dos instrumentos de gestão; X - identificação de políticas, planos, programas e projetos setoriais que interfiram nos recursos hídricos; XI – caracterização de atores relevantes para a gestão dos recursos hídricos e dos conflitos identificados (BRASIL, 2012, art. 11).

Na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), como já observado, mencionam-se “propostas” para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vista à proteção dos recursos hídricos. Na Resolução CNRH nº 145 de 2012, esse tema passou a constar como “identificação” dessas áreas, na etapa do diagnóstico. Conforme artigo 13 desta Resolução, a expressão “recomendações para os setores usuários, governamental e sociedade civil” (Inciso VIII) representa um grande leque de possibilidades, incluído, temas específicos citados no artigo 7º da Lei Federal nº 9.433 de 1997, como: criação de áreas de uso restritivo.

Com base no interesse local e na competência para estabelecer o ordenamento territorial, o município é o grande responsável por editar o plano diretor e as leis de uso e ocupação do solo, que são fundamentais para a proteção das águas. Os municípios também possuem competência suplementar, isto é, diante da ausência de normas federais e estaduais, podem suprir essas lacunas, desde que seja necessário para atender o interesse local. A qualidade e quantidade das águas depende da proteção dos ecossistemas e de políticas

territoriais que promovam usos conformes com a vulnerabilidade da bacia hidrográfica (MENDES; BRANCO, 2011 apud AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019).

A implementação dos Planos de Recursos Hídricos, em especial para Bacias Hidrográficas, todavia, não se limita a órgãos e entidades do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, na medida em que as ações propostas podem encontrar-se na esfera das competências de outros setores, como, por exemplo, o planejamento de uso do solo, o meio ambiente, o saneamento básico, e outros. Dessa forma, a implementação das ações propostas exige uma articulação intersetorial baseada na governança.

A Resolução CNRH nº 32 de 2003, considerando a importância de se estabelecer uma base organizacional que contemple bacias hidrográficas como unidade do gerenciamento de recursos hídricos, instituiu a Divisão Hidrográfica Nacional, em regiões hidrográficas, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

Neste contexto, o próximo Capítulo, tem como objetivo apresentar um estudo de caso que representa uma proposta para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos, conforme preconizado na Política Nacional de Recursos Hídricos, por meio dos Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas. Desta forma, a proposição é por meio de um zoneamento ambiental de âmbito local, no qual são abordados aspectos hidrogeológicos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrográficos e antrópicos, visando a identificação de áreas de uso restritivo, ou áreas de recarga de aquíferos por unidades hidrográficas existentes no território municipal. É importante ressaltar que na proposição do zoneamento ambiental ou criação de áreas de restrição de uso, optou-se por trabalhar critérios entendidos como básicos (mínimos) para iniciar a discussão sobre aspectos ambientais ligados aos meios físico e biológico (naturais e antrópicos), sem avançar na inserção dos aspectos sociais, econômicos e culturais do planejamento.

CAPÍTULO 3. ESTUDO DE CASO

3.1 Análise da Paisagem e o Uso das Geotecnologias

Um tema importante ao zoneamento ambiental, que complementa e subsidia o processo de planejamento integrado das águas e uso do solo, é o estudo da paisagem, pois auxilia na definição da realidade ambiental. A paisagem tem sido objeto de amparo no planejamento territorial, visando o seu reconhecimento e ordenamento, em prol da valorização e proteção dos recursos hídricos. O reconhecimento das conexões hidrológicas e ambientais, considerando a organização espacial dos padrões urbanos e da paisagem, tem sido visto como essencial para garantir a sustentabilidade ambiental (RUFINO et al., 2009; SERRAO-NEUMANN et al., 2017).

A paisagem é definida como transtemporalidade, ou seja, vários tempos convivendo, juntos, num mesmo espaço, uma vez que ela é “a herança de um longo período de evolução natural e de muitas gerações de esforço humano”. Neste sentido, o estudo de cenários da paisagem envolve o reconhecimento e análise das mudanças, buscando significações e reflexões diante de determinadas ações humanas perante a natureza, no intuito de detectar as forças que podem alterar a trajetória de evolução da paisagem e concentrar os esforços nos pontos críticos que afetam essa trajetória numa ação preventiva (BATISTA et al., 2009).

Quanto a fazer uma projeção, Freitas Filho (2001 apud Oliveira e Souza, 2012) menciona três tipos de cenários futuros: o cenário tendencial (onde chegaremos?) refere-se ao que tende a acontecer, apresenta a evolução futura com base em projeções de tendências históricas, dando noção de continuidade; o cenário exploratório (onde poderemos chegar?) refere-se ao que pode acontecer, o futuro tem possibilidades alternativas de evolução dada pela conjugação de forças do presente e do passado; e o cenário normativo (onde queremos chegar?) diz respeito ao que deve acontecer segundo os valores dos envolvidos com a construção do cenário, apresenta aspectos desejáveis. Neste sentido, Oliveira e Souza (2012) destacam que:

Em se tratando de uma abordagem direcionada à avaliação ambiental, os estudos baseados em cenários prospectivos devem oferecer um quadro fundamental da inter-relação entre fatores e processos dinâmicos atuantes na paisagem proporcionando, a partir da análise dos componentes estruturais e fatores condicionantes das mudanças, o estabelecimento de premissas e um caminho concreto de decisões voltadas ao melhor planejamento e gestão dos ambientes estudados (OLIVEIRA; SOUZA, 2012, p. 176).

Bertrand (2004), conforme destacado por Rosa e Ferreira (2018), menciona um esboço metodológico de análise da paisagem, onde considera o termo geossistema como uma categoria espacial, cuja estrutura e dinâmica correspondem à integração do potencial ecológico (clima, hidrologia, geológico, geomorfologia), exploração biológica (vegetação, solo, fauna) e ação antrópica. O auge é alcançado quando há equilíbrio entre o potencial ecológico e a exploração biológica. Para análises integradas, a aplicação desta alternativa metodológica tem se mostrado viável, aliando a isso, os aspectos dinâmicos e evolutivos da paisagem (CAVALCANTI, 2013 apud ROSA; FERREIRA, 2018).

Nesta abordagem, componentes ambientais como as rochas, o relevo, os solos, a água, a vegetação e o clima, são compreendidos pelo conjunto, mediante o reconhecimento de suas interfaces e de suas relações com o meio. Nesta concepção a água é gerida levando em consideração sua estreita inter-relações com outros componentes do meio e com a ação antrópica que altera as condições de funcionamento dos sistemas naturais, desta forma, a articulação ou superposição desses entendimentos se constitui em contribuição para o planejamento integrado (CARVALHO, 2014).

Deste modo, para as ações referentes integração da dimensão dos recursos hídricos no planejamento urbano serem eficientes e viável, precisam de ferramentas apropriadas, como sistemas integrados de informação de ambientes urbanos e processos ambientais para a criação de gestão de cenários. É possível o estudo integrado das variáveis ambientais através da caracterização físico-ambiental e da dinâmica espacial de uso da terra de uma região, dados de natureza secundária georreferenciados, como as imagens de satélite e o uso das técnicas do sensoriamento remoto e do geoprocessamento, que permitem uma análise integrada do meio físico e oferecem subsídios para o diagnóstico e o planejamento territorial (RUFINO et al., 2009; ALMEIDA et al., 2013).

O uso das geotecnologias, como os sistemas de informações geográficas (SIG) e o sensoriamento remoto (SR), tem sido a ferramenta adequada na identificação e resolução de conflitos em recursos hídricos, pois a sistematização das informações territoriais auxilia no planejamento aumentando a eficiência na gestão do território, bem como, no apoio às ações relativas aos zoneamentos e planos diretores.

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é definido como um conjunto de ferramentas numa estrutura funcional especializada para a entrada de dados, manuseio, transformação, visualização, combinação, consultas, análises, modelagem e saída de informações, Valeriano (2002 apud Oliveira et al., 2016) e, usado em diversas e inúmeras áreas como variáveis e funções. Neste sentido, Scotton e Oliveira (2007) acrescentam que os

sistemas de informações geográficas são ferramentas indispensáveis para os planejadores e gestores territoriais que podem ser empregados nos mais variados objetivos, a partir da geração de mapas base até a concepção de cartas temáticas específicas, auxiliando na tomada de decisões para o planejamento.

Neste contexto, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) destaca-se como uma das principais ferramentas do geoprocessamento, pois permite a obtenção qualitativa e quantitativa de dados computacionais geográficos, utilizando técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas, bem como, a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes, e ao criar bancos de dados georreferenciados que possibilita a gestão dos recursos e aplicação de técnicas otimizadas. Sendo assim, o SIG constitui-se como ferramenta para análise espacial de fenômenos e banco de dados geográficos, fornecendo suporte para o zoneamento de áreas de forma mais adequada e eficiente (CAVALLARI et al. 2007).

A definição de sensoriamento remoto, por Novo (2010, apud Oliveira et al., 2016), se refere “a aquisição de informações sobre objetos a partir de detecção e mensuração de mudanças que se impõem ao campo eletromagnético”. Meneses e Almeida (2012), o descreve como uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. Desta forma, as técnicas de sensoriamento remoto são capazes de subsidiar ações voltadas para o planejamento territorial, oferecendo benefícios no uso e ocupação do solo e no mapeamento das mudanças (SCOTTON; OLIVEIRA, 2007).

As informações geradas do meio físico, levando em consideração a declividade, solos e uso das terras, permitem conhecer as características e as condições das áreas, fornecendo subsídios para atividades de análise ambiental e planejamento conservacionista. Através do mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal em uma dada região, utilizando-se técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, pode-se compreender as transformações ocorridas no ambiente com o aumento das atividades antrópicas, constituindo-se em importante instrumento de apoio aos estudos de tomadas de decisão (ABDALA et al., 2011).

Neste aspecto, Fernandes et al. (2015) salientam que os mapas constituem-se elementos importantes a serem considerados no planejamento territorial, bem como, na elaboração de um zoneamento ambiental de Planos Diretores de Cidades. É necessário a padronização com utilização de técnicas cartográficas no processo de elaboração de mapas temáticos. Estes precisam ser bem elaborados considerando os elementos necessários para

facilitar a leitura da realidade, pois ajudam a visualizar as informações e a localizá-las no espaço.

Cruz (2013), complementa que é crescente a preocupação em estabelecer um padrão para subsidiar os planos diretores referente aos seus mapas temáticos. Existe falta de padronização para auxiliar na elaboração dos planos diretores por parte dos gestores, especialmente quanto à representação espacial dos dados que serão analisados para auxiliar na tomada de decisão. Indicar as categorias e feições mínimas necessárias para compor os mapas temáticos, assim como estabelecer uma proposta visando à padronização das representações cartográficas dos planos diretores municipais, demonstra que as técnicas de cartografia temática quando utilizadas adequadamente são de fundamental importância no auxílio da análise, integração e interpretação dos mapas, pois fornecem elementos que auxiliam em adequado planejamento e gestão do território.

3.2 Aquífero, Área de Recarga e Análise Multicritério

As águas que infiltram no solo formam os reservatórios de águas subterrâneas ou aquíferos. Nos termos do artigo 1º da Resolução nº 15 de 2001 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) são consideradas águas subterrâneas “as águas que ocorrem natural ou artificialmente no subsolo” (Inciso I); aquífero “corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos” (Inciso III); corpo hídrico subterrâneo “volume de água armazenado no subsolo” (Inciso IV).

A água é um recurso renovável, devido ao ciclo hidrológico interminável pela qual passa. Denomina-se ciclo hidrológico o processo natural de evaporação, condensação, precipitação, detenção e escoamento superficial, infiltração, percolação da água no solo e nos aquíferos, escoamentos fluviais e interações entre esses componentes. Nestes variados processos, resumidamente, as águas evaporam-se formando as nuvens, precipitam-se sob a forma de chuvas, granizo, orvalho ou neve, infiltram-se no solo e abastece os aquíferos, enquanto outra parte escoam para os rios, lagos e mares, onde recomeça o ciclo (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2018).

As regiões do subsolo, onde se encontra a água precipitada que infiltra e percola através do solo, são: a zona não saturada, de aeração ou vadosa, situada entre a superfície freática e a superfície do terreno e caracterizada pela região do subsolo em que os espaços vazios ou poros contêm ar, vapor d'água e água; a zona saturada, situada abaixo da superfície

freática e onde todos os espaços vazios entre as partículas de solo estão completamente preenchidos por água. Desta forma, a água infiltrada no solo pode continuar a fluir lateralmente na zona não saturada e alcançar os leitos dos cursos d'água ou pode percolar até o nível freático constituindo a recarga, ou recursos renováveis dos aquíferos (FEITOSA et al., 2008).

Na literatura os aquíferos podem ser classificados quanto à formação litológica e quanto ao grau de confinamento. Em relação à formação rochosa dos aquíferos, podem ser classificados da seguinte maneira:

Aquíferos porosos: ocorrência de porosidade primária, encontrada nas rochas sedimentares, os espaços vazios ou poros encontrados neste tipo de rocha são por onde as águas circulam; aquíferos fissurais: ocorrência de porosidade secundária, encontrada nas rochas cristalinas (ígneas e metamórficas), são entre as fraturas e fissuras que ocorrem a circulação das águas; aquíferos cársticos: resultado da dissolução de rochas carbonáticas ou calcárias, onde a água é armazenada em grandes cavidades, sendo a porosidade do tipo secundária (FEITOSA et al., 2008).

Quanto ao grau de confinamento, os aquíferos são classificados de acordo com as regiões em que se encontram:

Aquíferos não confinados ou livres: a primeira camada porosa e permeável do perfil geológico, onde as águas da sua zona saturada estão sob condições de pressão atmosférica normal, isto é livre; aquíferos confinados: a camada aquífera que está encerrada entre duas outras relativamente impermeáveis, sendo a pressão superior à atmosférica; aquífero semi-confinado: tipos intermediários, onde as camadas confinantes e/ou substratos são pouco espessos, descontínuos e/ou permeáveis (REBOUÇAS et al., 2006).

Os aquíferos possuem ainda dois tipos de reservação de água: a reserva reguladora ou ativa e a reserva permanente. A reserva reguladora corresponde ao volume de realimentação anual ou estacional, ou seja, ao volume de água da zona de flutuação (anual ou sazonal) no nível de saturação. A reserva permanente é o volume de água da parte do aquífero situada abaixo da zona de flutuação anual ou estacional. Assim, enquanto as reservas reguladoras indicam suas condições de recarga, as reservas permanentes dão uma ideia da grandeza do volume da água armazenada no aquífero (COLLISCHONN; KIRCHHEIM, 2006).

A zona de recarga é o trecho da bacia hidrográfica em que a água da chuva que infiltra no solo, recarrega o aquífero (BRASIL, 2018, art. 2º). Ou seja, o local onde ocorre o

escoamento de água da chuva nos aquíferos. A outra parte do escoamento da água é chamado de zona de descarga. Desta forma, a recarga de um aquífero consiste no processo de reabastecimento pela infiltração da água das chuvas no solo ou na rocha, sendo assim subdividido:

Zona de recarga direta: é quando as águas da chuva penetram por meio da infiltração pelos poros e fendas; zona de recarga indireta: é quando ocorre o reabastecimento do aquífero que se dá a partir da drenagem (filtração vertical) superficial das águas e do fluxo subterrâneo indireto; zona de descarga: são águas dos aquíferos que vão se desbocar nos rios ou nos poços artesianos (REBOUÇAS et al., 2002).

No processo de recarga dos aquíferos, destaca que a intensidade da recarga depende principalmente de questões como clima, vegetação, relevo, drenagem, solo e geologia da região. O conjunto desses aspectos favoráveis proporcionam melhores condições de infiltração. Por exemplo, regiões com cobertura vegetal, providas de solos porosos e permeáveis situados em áreas de baixa declividade proporcionam maiores índices de infiltração do que em um cenário oposto. Por fim, ressalta-se que as áreas de recarga de aquíferos são essenciais para manutenção dos aspectos quantitativos e qualitativos das águas subterrâneas, constituindo-se de zonas de extrema importância na proteção deste recurso hídrico (CAPUCCI et al., 2001; REBOUÇAS et al., 2002).

Em termos de proteção de aquíferos, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, no âmbito da Resolução nº15 de 2001, considera como necessária a criação de mecanismos de estímulos à proteção das áreas de recarga dos aquíferos, com vistas ao aumento das disponibilidades hídricas e da qualidade da água. Considerando que os aquíferos podem apresentar zonas de descarga e de recarga pertencentes a uma ou mais bacias hidrográficas sobrejacentes e que as águas superficiais, subterrâneas e meteóricas são partes integrantes e indissociáveis do ciclo hidrológico. Neste contexto, também prioriza a importância de não só preservar o aquífero, mas preservar os ecossistemas da região que interagem com as águas subterrâneas (BRASIL, 2001).

Neste aspecto, a determinação das potencialidades hídricas de uma região pode ser realizada por meio da análise integrada do ambiente, na associação do conjunto de fatores do meio físico e antrópico (clima, vegetação, relevo, drenagem, geologia e uso do solo), abordando a região como um sistema composto por múltiplas variáveis que se inter-relacionam entre si e com outros sistemas. Dentre as várias metodologias existentes, a análise multicritério por meio do Processo Analítico Hierárquico (PAH), tem sido identificado como ferramenta útil de avaliação das potencialidades hídricas de um território.

O Processo Analítico Hierárquico (PAH), do inglês *Analytical Hierarchy Process (AHP)*, é um método introduzido por SAATY (1980) e consiste em uma estrutura lógica de análise e integração, que permite a utilização de dados qualitativos e/ou quantitativos mensuráveis, sendo estes tangíveis ou intangíveis, na análise de critérios. Neste procedimento, os diferentes fatores são comparados com critério de importância e atribuídos pesos ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala de pesos pré-definida. Desta forma, é possível criar uma estruturação com multicritérios em níveis hierárquicos, onde expressa a intensidade com que um fator predomina sobre outro, muito utilizado para auxiliar os processos de tomada de decisão considerando os mais diversos fins (SILVA; NUNES, 2009).

Segundo SAATY (1990), este método permite a identificação de prioridades e a melhor alternativa dentre as opções possíveis, considerando aspectos qualitativos e quantitativos, além de reduzir comparações complexas a comparação par a par, mais simples. Logo, com o Processo Analítico Hierárquico (PAH) é possível criar uma estruturação multicritério em níveis hierárquicos, onde é avaliada a importância relativa dos critérios escolhidos entre eles. Como resultado, o PAH proporciona uma ordem ou pesos, das alternativas mais influentes no processo (SILVA; NUNES, 2009).

Existem vários trabalhos referentes a determinação das potencialidades hídricas de uma região que vem se tornando cada vez mais notáveis.

Podemos citar Barreto, Monsore e Pimentel (2001), Ribeiro, Rocha e Garcia (2011), Bhunia, Chatterjee e Pal (2014), Pereira, Gonçalves e Vieira (2018) que em seus trabalhos, avaliaram o potencial hidrogeológico de uma determinada região para identificar potenciais zonas de águas subterrâneas utilizando o método do Processo Analítico Hierárquico (PAH) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o Sensoriamento Remoto (SR). O Processo Analítico Hierárquico (PAH) foi aplicado para atribuição de pesos e ponderação de variáveis selecionadas, tais como: elevação, declividade, densidade de drenagem, uso e ocupação do solo, litologia, densidade de lineamentos e precipitação. Para tanto, foram levantados dados e informações de fatores físicos naturais que contribuíssem para o processo de infiltração da água no solo. A abordagem integrada do sistema de informações geográficas e das técnicas do sensoriamento remoto por meio da aplicação da análise multicritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH) apresentaram resultados satisfatórios na identificação de zonas potenciais de águas subterrâneas nas áreas estudadas.

3.3 Procedimentos Metodológicos

Para a consecução desta pesquisa, na fase planejamento foram realizados levantamentos bibliográficos e cartográficos, pesquisa de campo direta e indireta, consultas de ferramentas e metodologias de análises referentes à temática gestão integrada dos recursos hídricos no planejamento urbano para inserção do zoneamento ambiental como mecanismo de interface. Desta forma, inicialmente, como **primeiro objetivo específico**, foi realizada uma discussão evidenciando a importância da relação entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de uso do solo para o planejamento territorial, como medida necessária para proteção das águas, partindo do princípio de que esta (proteção) pode ser intermediada pelos municípios por meio de um zoneamento ambiental previsto em seus planos diretores. E destacados os instrumentos de planejamentos e regulatórios no âmbito das políticas das águas e urbana que promovem a gestão integrada dos recursos hídricos.

Em seguida, com base em referências que descrevem a necessidade de um enfoque integrado do planejamento, o **segundo objetivo específico** foi pautado numa breve discussão sobre o zoneamento ambiental como instrumento sistêmico de gestão integrada que mantém interface entre o planejamento das águas e uso do solo. Desta forma este instrumento foi identificado como capaz de complementar os Planos de Recursos Hídricos, pois se constitui em uma ferramenta de gestão de bacias hidrográficas, que orienta o processo de ocupação e transformação do território de acordo com a capacidade de suporte do meio natural, possibilitando a identificação de áreas de restrição de uso para a proteção das águas e aumento da sustentabilidade dos sistemas urbanos.

Como **terceiro objetivo específico**, foram abordadas as temáticas análise da paisagem, aquíferos e áreas de recarga, visando a identificação das variáveis físico-geográficas necessárias para elaboração de um zoneamento com foco na delimitação das áreas de potencialidades hídricas. Desta forma, componentes ambientais como rochas, relevo, solos, água e vegetação são compreendidos pelo conjunto e mediante o reconhecimento de suas interfaces com o meio. De acordo com Rosa e Ferreira (2018), demonstram ser as variáveis mais representativas nos processos de funcionamento da paisagem. E segundo Pereira, Gonçalves e Vieira (2018), estas variáveis são indispensáveis no processo de avaliação do potencial hidrogeológico para identificar zonas de ocorrência de águas subterrâneas.

Num segundo momento deste trabalho, conforme **quarto objetivo específico** definido, é voltado para um estudo de caso. Assim sendo, esta etapa do estudo está sendo abordada nos itens seguintes e tem por finalidade identificar áreas de potencial recarga de aquíferos ou

zonas de potenciais águas subterrâneas visando subsidiar a proposição do zoneamento ambiental de um território. Desta forma, é utilizada como abordagem metodológica a análise multicritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH) para ponderação das variáveis físico-geográficas, aliado aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR) para elaboração e integração dos mapas temáticos.

Para atingir o **penúltimo objetivo específico**, os resultados do mapeamento das áreas de recarga de aquíferos são então apresentados mediante a classificação do território por unidade hidrográfica (bacia e sub-bacia hidrográfica) e comparados com os zoneamentos existentes no território, os zoneamentos estadual e municipal. E, por fim, no **último objetivo específico** são elaborados cenários ambientais para a proposição de um zoneamento ambiental das áreas de potencialidades hídricas, conforme descrição da paisagem do mapeamento das áreas de recarga de aquíferos, assim classificadas: muito alto, alto, moderado, baixo e muito baixo.

Sendo assim, resumidamente, a pesquisa é desenvolvida em quatro etapas: 1) fase planejamento, com levantamentos bibliográficos e cartográficos, pesquisa de campo e consultas de ferramentas e metodologias de análises; 2) fase investigação, pautada no embasamento teórico dos planos jurídicos sobre o enfoque integrado do planejamento das águas e uso do solo e, referente a temática áreas de recarga de aquíferos e métodos de identificação; 3) fase validação, por meio de um estudo de caso visando a elaboração e integração de mapas temáticos das variáveis físico-geográficas por meio do Processo Analítico Hierárquico (PAH) e de Sistemas de Informações Geográficas (SIG); 4) fase implementação, propostas para o planejamento do zoneamento ambiental das áreas de potencialidades hídricas.

Visando uma compreensão da abordagem, segue abaixo um fluxograma com as etapas mencionadas:



Figura 1: Fluxograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.

Fonte: Autor (2020).

3.3.1 Caracterização da Área de Estudo

3.3.1.1 Aspectos gerais

O município de Camaçari está localizado na região nordeste brasileira, na porção leste do estado da Bahia, estando aproximadamente 40 km da capital estadual, e faz parte da Região Metropolitana de Salvador (RMS). Dentre os municípios da RMS, Camaçari é o maior em território com área total de 784,658 km², apresenta uma população de 293.723 habitantes, segundo estimativa do IBGE (2018), portanto, com densidade demográfica de 374,33 hab./km².

Abriga um polo industrial, denominado de Polo Industrial de Camaçari (PIC), com diversas indústrias químicas e petroquímicas, metalmeccânica, automotiva, dentre outros ramos, como: celulose, borracha, metalurgia do cobre, têxtil, fertilizantes, energia eólica, bebidas e serviços, sendo conhecida como "Cidade Industrial". Foi o primeiro complexo petroquímico planejado do País e o maior complexo industrial integrado do Hemisfério Sul, com mais de 90 empresas instaladas (BAHIA, 2013).

A cidade de Camaçari limita-se ao norte com Mata de São João, ao sul com Lauro de Freitas, ao sudoeste com Simões Filho, a oeste com Dias d'Ávila e leste com o Oceano

Atlântico. O município é ainda dividido em três distritos: Sede Camaçari, Vila de Abrantes e Monte Gordo (CAMAÇARI, 2008). A Figura 2 ilustra a localização da área de estudo.

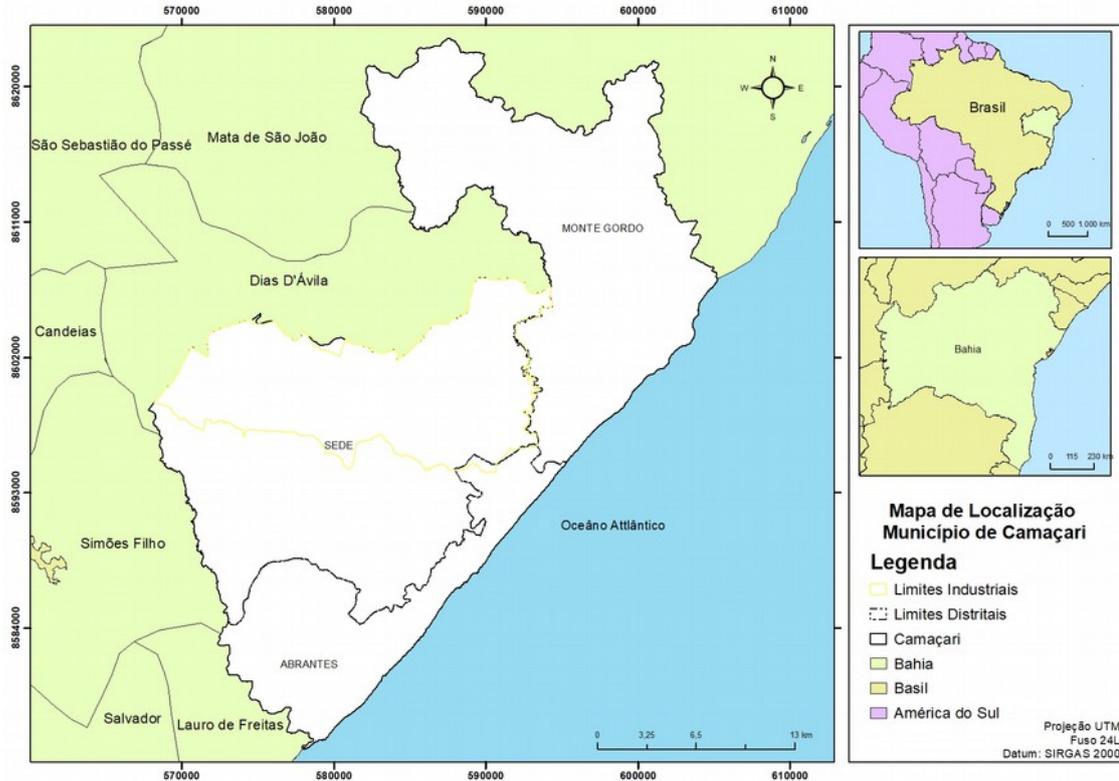


Figura 2: Localização do município de Camaçari, Bahia, Brasil.

Fonte: Autor (2020).

Do ponto de vista de planejamento urbano, as bases normativas para a ação do Poder Público Municipal no controle e ordenamento do uso e ocupação do solo são a Lei Municipal nº 866 de 2008 do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) e a Lei Complementar nº 913 de 2008 do Código Urbanístico e Ambiental. Nestas Leis está fundamentado que, para o adequado ordenamento territorial, é necessário o manejo dos recursos naturais, visando à preservação, conservação, defesa e recuperação do meio ambiente natural e artificial. Para a proteção e melhoria da qualidade urbanística e ambiental é necessária a integração e articulação entre os diversos níveis de governo, bem como, adoção da bacia hidrográfica como unidade física de planejamento ambiental.

No zoneamento municipal, as Leis Municipais nº 866 de 2008 e nº 913 de 2008 estabelecem parâmetros de uso e ocupação do solo, como também áreas de restrição ambiental, que divide o município em macrozoneamento (áreas urbanas e rurais) e zoneamentos representados por nove zonas: zona central (ZCEN), zona de ocupação

consolidada (ZOCON), zona de expansão prioritária (ZEP), zona de expansão de comércio e serviços (ZECS), zona de transformação, comércio e serviços (ZTCS), zona de expansão controlada (ZEC), zona de interesse turístico (ZIT), zona de importância ambiental e paisagística (ZIAP), zona de proteção e interesse paisagístico (ZPIP).

Na Lei Municipal nº 866 de 2008 é especificado as características e diretrizes para cada zona, que define o tipo de uso e ocupação como, por exemplo, as zonas que compreende as áreas em processo de consolidação, já urbanizadas e com alguma infraestrutura, as zonas destinadas prioritariamente à implantação de empreendimentos de comércio e serviços, as zonas que compreende áreas ainda não ocupadas ou de ocupação rarefeita nas quais a ocupação deve se dar de forma controlada, e as zonas que compreende as áreas de alta fragilidade dos ecossistemas, com potencial paisagístico e ambiental a ser preservado ou recomposto do ponto de vista da fauna e da flora, definidas como zonas de preservação integral.

Conforme previsão na Lei Complementar nº 140 de 2011 (Federal), de acordo com a Resolução Cepam nº de 2010, o município tem competência para o licenciamento ambiental de forma compartilhada com o órgão estadual, o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), sendo a Resolução Cepam nº 4.327 de 2013, o regulamento que dispõe sobre as atividades de impacto local de competência dos municípios, definindo tipologia e porte de empreendimentos e atividades sujeitos ao licenciamento ambiental. Neste sentido, a análise de projetos passíveis de licença ambiental compreende, além de outros requisitos, a adequação quanto ao zoneamento municipal, bem como, ao zoneamento estadual.

Quanto ao uso e ocupação do solo, são identificados como principais problemas no território: ocupação de áreas de preservação (lagoas, rios, matas ciliares, dunas, restingas, manguezais, preamar); invasões, ocupação irregular/clandestina e subnormais; lançamento de esgotos e resíduos sólidos nos corpos hídricos, principalmente pela população que reside nas margens dos cursos d'águas; exploração irregular de substâncias minerais, incluindo retirada clandestina de areia nas dunas na faixa litorânea; implantação de grandes empreendimentos (imobiliários) que tem repercutido em assoreamento de corpos hídricos e; desmatamentos e queimadas (CAMAÇARI, 2015).

No âmbito do planejamento de recursos hídricos, tem-se a Lei Estadual nº 11.612 de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Nesta normativa são estabelecidos nove instrumentos de Gestão da Política Estadual de Recursos Hídricos, dentre os quais, o Plano Estadual de Recursos Hídricos. Este é definido como um Plano Diretor, de natureza estratégica e

abrangência estadual, que tem como objetivo fundamental e orientar a implantação da Política Estadual de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos, promovendo o desenvolvimento sustentável. O Plano deve ser elaborado em consonância com os princípios, os objetivos e as diretrizes da Política Estadual de Meio Ambiente, com o Plano Estratégico do Estado, com o Plano Plurianual do Estado da Bahia e com a Divisão Hidrográfica Estadual, estabelecendo mecanismos de integração entre as políticas setoriais (SEMA, 2017).

A Divisão Hidrográfica Estadual atualmente conta com 25 (vinte e cinco) Regiões de Planejamento e Gestão das Águas (RPGA), e o município de Camaçari está inserido na Região de Planejamento e Gestão das Águas do Recôncavo Norte e Inhambupe (RPGA XI). Inicialmente foram instituídas pela Resolução CONERH nº 43 de 2009 e alteradas pela Resolução CONERH nº 80 de 2011 e Resolução CONERH nº 88 de 2012. Em relação à integração com a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), conforme a divisão hidrográfica nacional, as RPGAs do estado se encontram totalmente inseridas em duas Regiões Hidrográficas Nacionais: a do Atlântico Leste e a do Rio São Francisco (BRASIL, 2003).

Atualmente, o Plano de Bacia Hidrográfica Região de Planejamento e Gestão das Águas do Recôncavo Norte e Inhambupe (RPGA XI) está sendo elaborado em conjunto com a Proposta de Enquadramento dos corpos de água em classes. A situação atual do Plano da RPGA XI é descrito como: Contrato encerrado, sem finalização; Plano Ambiental Estratégico (PAE) em elaboração para gerar subsídios à gestão (SEMA, 2017).

3.3.1.2 Clima

O clima do município de Camaçari é definido pela classe climática Af, de acordo com a classificação de Köppen, um tipo de clima tropical, tipicamente quente e úmido. Apresentando um clima megatérmico, caracterizado pela elevada temperatura média do ar, entre 24 °C e 27 °C, e pela alta pluviosidade, superior a 2000 mm de precipitação total anual e precipitação média mensal superior a 60 mm em todos os meses do ano (CHEN, 2013; BAHIA, 2013).

O mês mais quente do ano é fevereiro com uma temperatura média de 26.6 °C, e com uma temperatura média de 22.9 °C, julho é o mês com a mais baixa temperatura ao longo do ano. Acrescenta-se também que no período de 1982 a 2012, a diferença entre a precipitação do mês mais seco e do mês mais chuvoso foi de aproximadamente 200 mm. As temperaturas médias obtiveram uma variação de 3.7 °C durante o ano (CLIMATE-DATA, 2020).

Em estudos dos ventos é relevante a predominância de ventos oriundos do quadrante leste, com ocorrência mais substancial da direção sudeste (média de 32%). Ainda são significativos ventos de origem leste (23,9%), e outros de menor força que sopram do Nordeste (10,8%) e do Sul (9,4%). Registram-se ainda ventos a noroeste, que sopram ocasionalmente durante a ocorrência de temporais (BAHIA, 2013).

3.3.1.3 Geologia

A área de estudo encontra-se no contexto bacinal conhecido como Bacia do Recôncavo. Esta bacia encontra-se inserida no Cráton do São Francisco, ocupando uma área de aproximadamente 11.500 km². É limitada a norte e a noroeste, pelo alto de Aporá; a sul, pelo sistema de falhas da Barra; a oeste, pela falha de Maragogipe; e, a leste, pelo sistema de falhas de Salvador (SILVA, et al., 2007 apud CAMAÇARI, 2015).

A configuração da Bacia do Recôncavo é a de um meio *graben* (f), com falha de borda a leste e orientação geral NE-SW que se desenvolveu sobre o embasamento cristalino de idade arqueana a paleoproterozóica. Sua constituição é essencialmente formada por pacotes de sedimentos siliciclásticos com depocentro atingindo espessura máxima de 6.500m, no baixio de Camaçari. Na região de estudo, o embasamento é representado pelo Cinturão Bahia Oriental que também é conhecido como Cinturão Salvador Esplanada (CAMAÇARI, 2015).

Neste contexto, a região do município de Camaçari, ocorre uma diversidade de unidades litológicas, a saber: Complexo Salvador-Esplanada, Complexo Rio Real, Formação São Sebastião, Formação Marizal, Formação Sabiá, Grupo Barreiras, Grupo Ilhas, Depósitos Aluvionares, Depósitos Flúvio-Lagunares e Flúvio-Marinhas e Eólicos e Depósitos Litorâneos e Litorâneos Antigos (IBGE, 2018).

As unidades geológicas do Complexo Salvador-Esplanada e do Complexo Rio Real são as litologias registradas mais antigas da região. São da classe rocha metamórfica, sendo que a rocha do Complexo Salvador-Esplanada é de metamorfismo fácies granulito composta de kinzigito e ortogranulito, e a rocha do Complexo Rio Real é de metamorfismo fácies anfíbolito composta, predominantemente, por metamáfica e ortognaisse. As rochas da Formação São Sebastião, Formação Marizal, Formação Sabiá, Grupo Barreira e Grupo Ilhas pertencem à classe rocha sedimentar clástica e ocorre em quase 50 % da região de Camaçari. São rochas sedimentares formadas pela deposição de fragmentos de outras rochas,

principalmente quartzo e silicatos, que surgiram por efeito da erosão (IBGE, 2018; BRANCO, 2015).

As rochas da Formação São Sebastião ocupam a maior parte do território, pouco mais de 30%. Estratigraficamente sobrepõe de forma concordante ao Grupo Ilhas e é recoberto pela Formação Marizal e Grupo Barreiras em contatos discordantes. É essencialmente constituída por arenitos grosseiros, amarelo-esverdeados, com formação de folhelhos e siltitos. Foi fator preponderante para a escolha da localização do Polo Industrial de Camaçari (PIC), pela disponibilidade de água subterrânea que está relacionada a sua constituição hidrogeológica (IBGE, 2018; BAHIA, 2013).

A Formação Marizal ocorre na região centro-oeste de Camaçari, em pouco mais de 9% do território, se concentrando em toda a área do Polo Industrial de Camaçari (PIC) atual. Os conglomerados aflorantes na região foram depositados por tapetes de tração, em uma camada basal altamente concentrada em clastos e uma camada superior turbulenta e menos viscosa. É composta, predominantemente, por arenito, conglomerado, folhelho, siltito, sillexito (IBGE, 2018; BAHIA, 2013).

A unidade geológica do Grupo Barreiras ocorre em aproximadamente 5% do território, sua gênese é predominantemente continental do sistema sedimentar fluvial entrelaçado de barras arenosas. Apresenta-se na porção nordeste da poligonal do Polo Industrial de Camaçari (PIC), em áreas próximas ao reservatório da barragem de Santa Helena, em locais de ocorrência de colinas de cotas mais elevadas. É composta, predominantemente, por arenito conglomerático, argilito arenoso (IBGE, 2018; BAHIA, 2013).

O Grupo Ilhas ocorre em pouco mais de 3%, sendo composto, predominantemente, por arenito, calcilito, folhelho carbonoso, siltito, marga. A Formação Sabiá tem ocorrência insignificante no território e é composta por arenito, folhelho, siltito (IBGE, 2018).

Os Depósitos Aluvionares, Depósitos Flúvio-Lagunares e Flúvio-Marinhas e Eólicos e Depósitos Litorâneos e Litorâneos Antigos são material superficial que recobrem pouco mais de 40% do território. Ocorrem ao longo da zona litorânea da região, mais especificamente dos rios, sobretudo em suas desembocaduras e nas lagoas, sendo do tipo arenosos, por vezes constituídos de argila, silte e sedimento eólico. Referem-se aos sedimentos predominantemente quartzosos friáveis e facilmente transportados pelo vento quando não há cobertura vegetal. O maciço de dunas encontrado na região do litoral de Camaçari é um bom exemplo desse tipo de sedimento (CAMAÇARI, 2015; IBGE, 2018).

3.3.1.4 Geomorfologia

A formação do relevo do município de Camaçari se dá por Planícies de Acumulação, Planaltos Costeiros ou Tabuleiros Pré-Litorâneos e Tabuleiros do Recôncavo onde encontra-se a Bacia Sedimentar do Recôncavo-Tucano majoritariamente ocorrendo na zona industrial e urbana do distrito Sede, a porção sudoeste da região estudada (CAMAÇARI, 2015).

As Planícies de Acumulação compreendem: as áreas planas resultantes de acumulação marinha e/ou fluvial, sujeitas a inundações periódicas, e praias, canais de maré, restingas, canais fluviais, manguezais, cordões arenosos e deltas; os depósitos eólicos de sedimentos, onde o regime de ventos é favorável e o suprimento sedimentar é relativamente constante, como sistema de dunas; e as áreas resultantes de planos convergentes, arenosa e/ou argilosa, sujeita ou não a inundações periódicas, podendo apresentar arreísmo e/ou comportar lagoas fechadas, os chamados planos abaciados localizados na Bacia Sedimentar do Recôncavo-Tucano. Os modelados de acumulação se ramificam por quase toda a área de estudo (IBGE, 2009).

Os Planaltos Costeiros compreendem os relevos de topo convexo, que são, em geral, caracterizados por vales bem definidos e vertentes de declividades variadas, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem. Constituem os mares de morros, platôs e Tabuleiros Costeiros que alcançam, ao norte do distrito de Monte Gordo, a altitude máxima de 130m. Esses tabuleiros ocorrem ainda numa porção do distrito Sede e Abrantes (FONSECA, 2004 apud CAMAÇARI, 2015).

A Bacia Sedimentar do Recôncavo-Tucano ou Tabuleiros do Recôncavo ocorrem as formas de relevo topo tabular e plano abaciado. O modelado de dissecação fâceis tabulares delineiam feições de rampas suavemente inclinadas e lombadas, em geral, definidas por rede de drenagem de baixa densidade, com vales rasos, apresentando vertentes de pequena declividade. O modelado de acumulação plano abaciado, em geral, são áreas resultantes de planos convergentes, arenosa e/ou argilosa, sujeita ou não a inundações periódicas, podendo apresentar arreísmo e/ou comportar lagoas fechadas ou precariamente incorporadas à rede de drenagem (IBGE, 2018; IBGE, 2009).

É observado na região estudada, que em locais recobertos por sedimentos arenosos (friáveis, e de fácil erosão), os vales são amplos e abertos, enquanto nos locais correspondentes ao embasamento cristalino, os vales são estreitos e profundos. Essa é uma característica geomorfológica relevante do município, dada pela relação entre a litologia e a largura dos vales dos principais rios (FONSECA, 2004 apud CAMAÇARI, 2015).

Camaçari está totalmente compreendida em zonas hipsométricas de terras baixas, inferiores a 200m, a Figura 3 ilustra a variação das altitudes no município de Camaçari. É uma região que apresenta relevo, predominantemente, variando de plano a ondulado, com declives inferiores a 20%. Porém, grande parte do território em análise possui variações da geomorfologia causadas por antropizações, principalmente relacionadas à degradação florística e à ampla atividade de extração mineral. As lavras de argilas, além de terem modificado significativamente a paisagem, comprometem a rica hidrologia local (BAHIA, 2013; IBGE, 2018).

A Figura 3 a seguir ilustra a variação das altitudes no município de Camaçari.

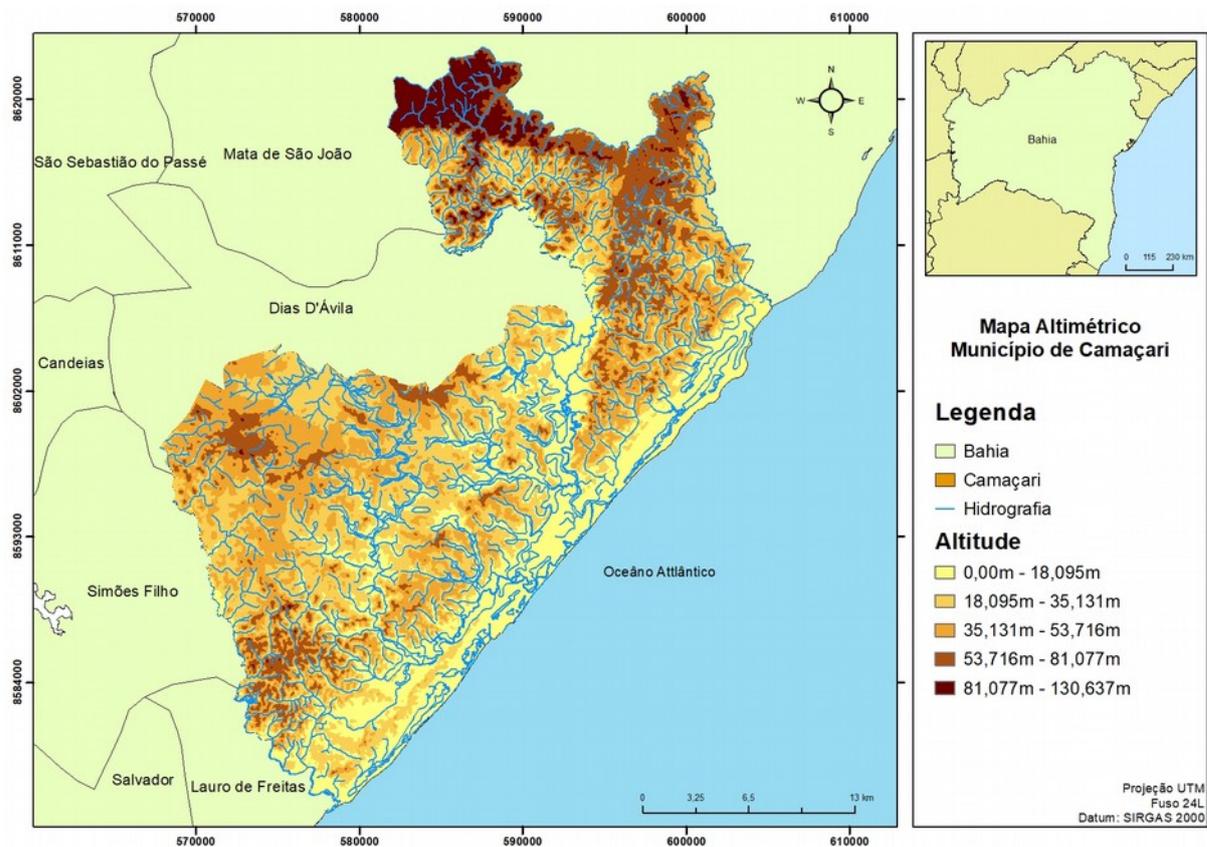


Figura 3: Variação das altitudes no município de Camaçari, Bahia.

Fonte: Autor (2020).

3.3.1.5 Pedologia

No município de Camaçari as classes de solos presentes consistem nos Espodossolo, Neossolo, Latossolo, Argissolo, Gleissolo Háptico (IBGE, 2018).

Em Camaçari predominam os Argissolos Vermelho-Amarelos com pouco mais de 38% e os Espodossolos Ferri-humilúvico com aproximadamente 35%. Os solos da classe Argissolos têm como característica marcante um aumento de argila do horizonte superficial A

para o subsuperficial B, profundidade dos solos é variável, mas em geral são pouco profundos e profundos e são os solos mais expressivos do Brasil, sendo verificados em praticamente todas as regiões. Os Espodosolos, têm textura arenosa predominantemente, são pobres no tocante a nutrientes minerais, apresentam diferenciação significativa entre os horizontes, ocorrem a profundidades variáveis e, no município, encontram-se distribuídos esparsamente ao longo da região centro-oeste (IBGE, 2015; 2018).

Em seguida, quanto à ocorrência no município, vem os Neossolos Quartzarênicos Órticos, que são solos profundos e arenosos, os Gleissolos Háplicos Tb Distróficos, característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamentos, os Latossolos Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos, solos profundos, muito homogêneos e de boa drenagem, e os Argissolos Amarelos Distrocoesos, característica marcante de aumento de argila nos horizontes (IBGE, 2015; 2018).

No município, a faixa litorânea é constituída de solos sílico-argilosos ácidos e salinos costeiros, caracterizados pela excessiva porosidade e permeabilidade e fertilidade natural extremamente baixa. As elevações e áreas onduladas mais elevadas se constituem por solos residuais de siltes arenosos e argilosos, intercalados. As áreas mais planas, os solos são de caráter profundo, ácido e geralmente bem drenado, com argilas de atividade baixa. E nas zonas alagadas, presença de solos de diversos tipos: hidromorfos, argilosos, argilo-arenosos e areno-argilosos, possuindo fertilidade variável (SOUZA, 2006 apud CAMAÇARI, 2015).

3.3.1.6 Vegetação

A vegetação no município de Camaçari é caracterizada, em geral, por extensas regiões de vegetação nativa consideravelmente preservadas, principalmente, nas áreas delimitadas como zonas rurais, topos de morros e em determinadas localidades, devido ao difícil acesso. Em contrapartida, as áreas utilizadas para atividades humanas ocupam uma porção significativa do território. Notadamente, nos últimos anos, o avanço da industrialização, assim como da malha urbana, tem promovido forte impacto sobre a vegetação remanescente do município (CAMAÇARI, 2015).

A vegetação original do município destaca-se pelo Bioma da Mata Atlântica, que evidencia-se por sua elevada biodiversidade e existência de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção. Estão presentes ecossistemas de dunas, manguezais, restingas e ambientes marinhos e, segundo IBGE, é caracterizada por vegetação do tipo floresta ombrófila densa, formações pioneiras e savana arborizada e savana parque (IBGE, 2018).

A floresta ombrófila densa é caracterizada por fanerófitos e mesofanerófitos, além de lianas lenhosas e epífitas em abundância, que a diferenciam das outras classes de formações. Na região são encontradas Floresta Ombrófila Densa Aluvial e das Terras Baixas. A biodiversidade é a principal característica da vegetação da região. Esse tipo de vegetação é representado por folhagem sempre verde com árvores frondosas de folhas largas, com pouca resistência à seca (CRA, 2001 apud CAMAÇARI, 2015).

Situada na região litorânea, as formações pioneiras integram as Unidades de Conservação (UCs) de uso sustentável do município: as Áreas de Proteção Ambiental (APA) Joanes Ipitanga, Rio Capivara e Lagoas de Guarajuba, que abrangem os 42 km de faixa costeira existente no território. Nestas tipologias vegetacionais são predominantes formações herbáceo-arbustiva e algumas arbóreas pouco desenvolvidas que ocupam as dunas, restingas, manguezais e praias (CAMAÇARI, 2008; IBGE, 2012).

As savanas, também denominada de campo cerrado, caracterizam-se pela dominância compartilhada das sinúsias herbácea e arbórea de pequeno porte. Existência na região de sinúsia arbórea que apresenta árvores de porte médio ou baixo (de 3 a 10 m), em geral espaçadas e com copas amplas, de esgalhamento baixo. A Savana Parque é um tipo de vegetação sinônimo da Savana Arborizada (IBGE, 2012; BAHIA, 2013).

Existem ainda outras unidades com fins de preservação instituídas, denominadas de Cinturão Verde (Anel Florestal) de proteção do Polo Industrial de Camaçari, Parque das Dunas de Abrantes de proteção do ecossistema dunas eólico, Parque Rio Joanes inserida na APA Joanes Ipitanga e Aldeia Hippie inserida na APA Rio Capivara. Em contrapartida aos fragmentos de vegetação nativa, o restante da cobertura vegetal de Camaçari é notavelmente influenciado pelas atividades antrópicas de pastagem, reflorestamento e agricultura, que representam cerca de 54,72% do território (CAMAÇARI, 2008; IBGE 2018).

3.3.1.7 Hidrografia

O território de Camaçari está localizado na região hidrográfica brasileira do Atlântico Leste. Em âmbito estadual, faz parte da Região de Planejamento e Gestão das Águas do Recôncavo Norte e Inhambupe, RPGA XI, que por sua vez é dividida em cinquenta e quatro subunidades. O município está inserido em seis destas, denominadas de unidades hidrográficas do rio Joanes, Capivara Grande, Jacuípe, Pojuca, Taipu e Itapecerica, pois compreendem as regiões localizadas nos limites do território estudado (Figura 4). A RPGA XI é considerada a região de maior desenvolvimento econômico do estado da Bahia,

compreendendo a maior parte da Região Metropolitana de Salvador (RMS) (BRASIL, 2003; BAHIA, 2009; BAHIA, 2012).

Com área de 16.171,53 km², a Região de Planejamento e Gestão das Águas (RPGA) XI – Recôncavo Norte e Inhambupe compreende a maior parte da Região Metropolitana de Salvador (RMS) e, parcialmente, a Região Metropolitana de Feira de Santana. Envolve ainda, além da borda nordeste da baía de Todos os Santos, uma parcela expressiva do Recôncavo Baiano e o Litoral Norte de Salvador, compreendendo o litoral dos municípios de Lauro de Freitas, Camaçari, Mata de São João, Entre Rios e Esplanada. Consiste na RPGA que sua malha hídrica representa uma das mais importantes do estado e subsidia o desenvolvimento das diversas atividades e setores atuantes na região por meio dos principais barramentos existentes, bem como, a partir da exploração do aquífero São Sebastião (BAHIA, 2012; SEMA, 2017).

O ambiente aquático superficial e subterrâneo é sensível em maior ou menor grau às interferências que ocorrem nas bacias hidrográficas contribuintes, tanto em termos de quantidade como com relação à qualidade das águas. Não apenas as demandas são responsáveis pela redução da disponibilidade das águas, como também o uso do solo interfere na quantidade de água a ser disponibilizada aos diversos usos. Da mesma forma, a qualidade das águas pode ser reduzida em função das atividades existentes na bacia, das alterações hidrológicas, ou mesmo da gestão insuficiente, inviabilizando os usos existentes ou pretendidos (SEMA, 2017).

A unidade hidrográfica do rio Joanes desagua no Oceano Atlântico e limita-se com as unidades hidrográficas do rio Capivara Grande e rio Jacuípe. A disponibilidade hídrica do rio Joanes possibilitou a implantação de barragens, sendo a Joanes I dentro dos limites da região estudada. O curso principal do rio Joanes e boa parte dos afluentes são perenes. Entre os afluentes, está o rio Camaçari que percorre a malha urbana da sede municipal. A área da unidade hidrográfica do rio Joanes encontra-se bastante antropizada com trechos de vegetação preservada a oeste, concentra a área urbana ao centro, indústrias ao norte, atividades agrícolas e zonas rurais (BAHIA, 2012; INEMA, 2012).

A maior em extensão territorial é a unidade hidrográfica do rio Jacuípe, ocupando uma área de 230,16 km². Deságua no Oceano Atlântico e limita-se com as unidades hidrográficas do rio Joanes, do rio Capivara Grande, do rio Taipu do rio Pojuca e do rio Itapecerica. A disponibilidade hídrica do rio Jacuípe possibilitou a implantação da barragem Santa Helena. Cerca de 90% da área da bacia é coberta por arenitos da Formação São

Sebastião. Na unidade hidrográfica do rio Jacuípe, presença de vegetação bastante preservada, concentra atividades industriais, agrícolas e zonas rurais, apresentando uma extensa faixa de terra passível de expansão industrial (BAHIA, 2012).

A segunda maior em extensão territorial é a unidade hidrográfica do rio Capivara Grande, que deságua no rio Jacuípe, limitando-se com as unidades hidrográficas do rio Joanes e do rio Jacuípe. Está bastante antropizada, concentrando área urbana na faixa litorânea, atividades agrícolas e zonas rurais, apresentando extensão de terra passível de expansão urbana e industrial e áreas com potencial para desenvolvimento turístico. A malha hídrica desta unidade hidrográfica é bastante densa com importantes trechos de drenagem e áreas de recargas de aquíferos (BAHIA, 2012; SEMA, 2017).

A unidade hidrográfica do rio Pojuca deságua no Oceano Atlântico e limita-se com as unidades hidrográficas do rio Jacuípe, do rio Itapecerica e do rio Taipu. Na unidade hidrográfica, presença de vegetação bastante preservada, concentra atividades agrícolas e zonas rurais e uma pequena faixa urbana. A região tem atividade associada a agropecuária, destacando-se a avicultura e a bovinocultura. Substituição da cobertura vegetal nativa por pastagens e áreas agrícolas, a silvicultura (eucalipto) destacam-se como principais tensores ambientais (BAHIA, 2012; SEMA, 2017).

A unidade hidrográfica do rio Itapecerica deságua no rio Pojuca e limita-se com as unidades hidrográficas do rio Jacuípe e do rio Pojuca. Na unidade hidrográfica, presença de vegetação bastante preservada, concentra atividades agrícolas e zonas rurais. Potenciais de disponibilidade hídrica, os rios têm regime de escoamento perene, inclusive os rios afluentes (BAHIA, 2012; INEMA, 2012).

A unidade hidrográfica do rio Taipú deságua no rio Pojuca. Limita-se com as unidades hidrográficas do rio Jacuípe e do rio Pojuca. Na unidade hidrográfica, existência de processo de ocupação por empreendimentos urbanísticos e turísticos, gerando, como consequência, um processo de expansão urbana que impacta diretamente os sistemas de dunas, lagoas, restingas e manguezais da região (BAHIA, 2012).

O rio Pojuca, principal rio de Camaçari, tem vazão foi calculada em $30 \text{ m}^3/\text{s}$ e a vazão regularizada, em $19,7 \text{ m}^3/\text{s}$. As vazões totais dos rios Joanes, Jacuípe e Pojuca, respectivamente consideradas iguais a $6 \text{ m}^3/\text{s}$, $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$ e $19,7 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalem a $30,3 \text{ m}^3/\text{s}$, valor representativo da disponibilidade hídrica da superfície, de interesse direto à caracterização física do município de Camaçari. No município de Camaçari, a maior parte dos mananciais segue na direção noroeste-sudeste. Nas regiões mais planas, a exemplo das áreas

situadas na região centro-oeste, os rios são planos e lentos e formam brejos, juntos ao solo de argila turfosa (SOUZA, 2006 apud CAMAÇARI, 2015; BAHIA, 2013).

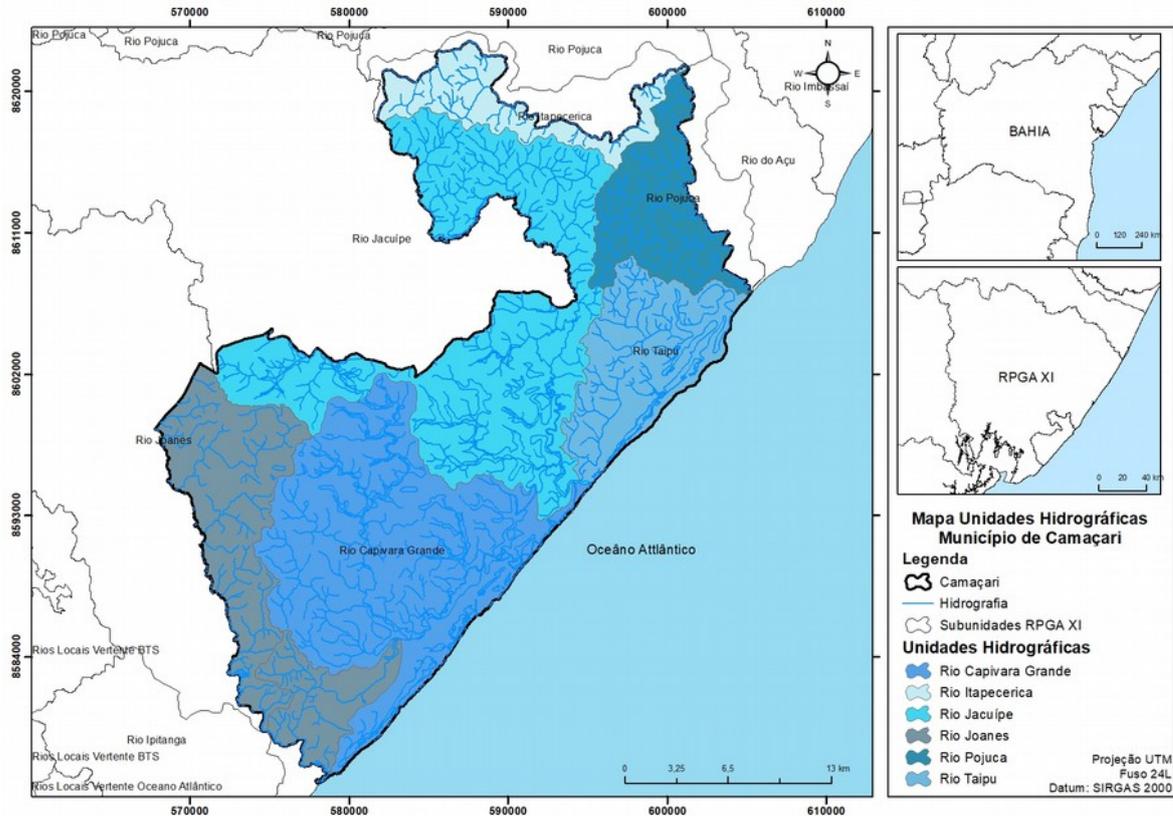


Figura 4: Unidades hidrográficas da RPGA XI que abrangem o município de Camaçari, Bahia.

Fonte: Autor (2020).

3.3.1.8 Hidrogeologia

Entre as províncias hidrogeológicas do Brasil, o município de Camaçari encontra-se localizado na Província Costeira, mais precisamente na subprovíncia Recôncavo. Tal região abrange praticamente toda zona costeira do Brasil, é bastante diversificada por contemplar várias bacias sedimentares costeiras de sistemas de aquíferos porosos, de diferentes constituições e idades geológicas (BRASIL, 2009).

Em relação aos domínios hidrogeológicos, encontrados na Região Metropolitana de Salvador (RMS), a região de Camaçari apresenta a maior porção do território inserida no domínio hidrogeológico da Bacia do Recôncavo, sendo o restante do território composto pelo domínio hidrogeológico do Complexo Cristalino. A bacia sedimentar do Recôncavo hospeda

as principais zonas de acumulação de água subterrânea da Bahia (CAMAÇARI, 2015; SEMA, 2017).

A bacia sedimentar do Recôncavo compreende o conjunto dos aquíferos granulares presentes no Sistema Aquífero Sedimentar do Recôncavo, que encontra-se desenvolvido sobre as rochas das formações São Sebastião e Marizal além do grupo Barreiras, apresentando caráter livre e confinado. As porções mais superficiais que em algumas áreas representam a formação Marizal, grupo Barreiras e pela parte superior da formação São Sebastião representam a porção livre do aquífero, enquanto as unidades semiconfinadas e confinadas encontram-se nas porções de arenitos contidos nas formações inferiores da formação São Sebastião podendo chegar em torno de 1.500 metros de profundidade. A reserva anual explorável é estimada na ordem de 5×10^8 m³/ano (LIMA, 2003 apud CAMAÇARI, 2015).

O Complexo Cristalino compreende o conjunto dos aquíferos fissurais do Sistema Aquífero Cristalino, representado por rochas metamórficas de alto grau fraturadas e pelo espesso (em média 30 metros) manto de intemperismo derivado dessas rochas. A camada de regolito pode apresentar características hidráulicas próximas a do grupo Barreiras, o que confere um aquífero de importância razoável. Este aquífero pode chegar a uma reserva da ordem de $1,7 \times 10^7$ m³/ano, suficiente para atender uma população de 250.000 habitantes (LIMA, 1999 apud CAMAÇARI, 2015).

3.3.2 Identificação de Áreas de Recarga de Aquíferos

Conforme procedimentos metodológicos da pesquisa, a fase validação é por meio de um estudo de caso visando a construção de cenários da paisagem para a identificação/delimitação de áreas com potencial recarga de aquíferos como proposta para o zoneamento ambiental da região. Para isso, foram utilizados a análise multicritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH) para a ponderação das variáveis físico-geográficas e o Sistema de Informações Geográficas (SIG) aliado ao Sensoriamento Remoto (SR) para elaboração e integração dos mapas temáticos.

Para o estudo de caso, a princípio foram levantadas as características gerais da área de estudo, além de informações como clima, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, hidrografia e hidrogeologia. Neste aspecto, a partir das informações existentes na região, optou-se pela seleção das seguintes variáveis físico-geográficas: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, declividade, uso do solo, densidade de drenagem e densidade de lineamentos.

Desta forma, as etapas para a identificação de áreas de potencial recarga de aquíferos envolveram: 1) a aquisição e processamentos de dados (mapas temáticos e imagens de satélite); 2) aplicação da análise multicritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH), para ponderação das variáveis; 3) integração das variáveis físico-geográficas e elaboração do mapa síntese de áreas de potencial recarga aquíferos por meio do Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Na Figura 5, fluxograma ilustrando as etapas desenvolvidas durante o processo de identificação de áreas de potencial recarga de aquíferos da região de estudo.

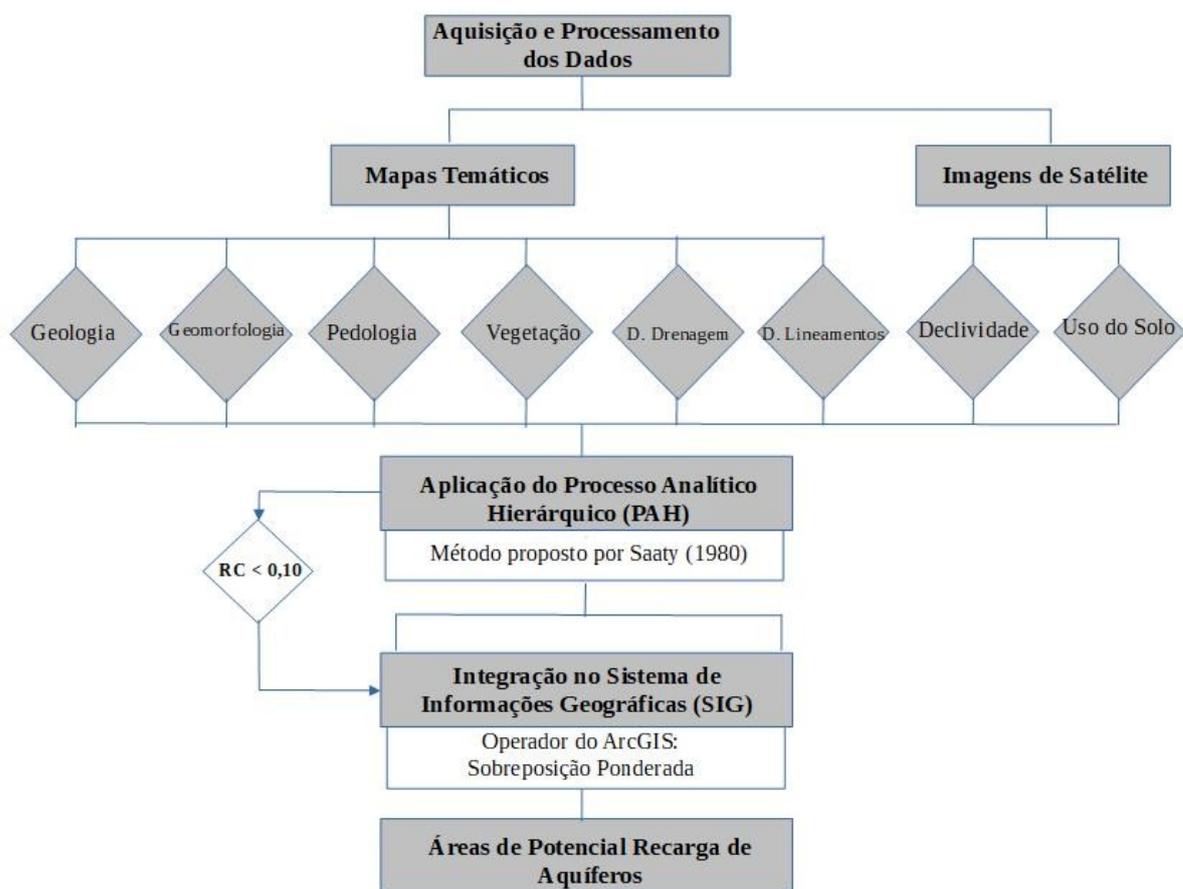


Figura 5: Etapas para o mapeamento das áreas de recarga de aquíferos.

Fonte: Autor (2020).

Os detalhes das etapas para a identificação de áreas de potencial recarga de aquíferos estão sendo discutidas nos próximos itens, assim como os resultados obtidos no item 3.4.

3.3.2.1 Aquisição e Processamento dos Dados

Desta forma, as seguintes variáveis físico-geográficas selecionadas, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, declividade, uso da terra, densidade de lineamentos e densidade de drenagem, foram adquiridas de fontes distintas.

A variável geologia foi selecionada da base cartográfica do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em escala 1:250.000, bem como, a variável densidade de lineamentos foi elaborado a partir desta fonte. As variáveis geomorfologia, pedologia, vegetação foram adquiridas na biblioteca virtual do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em escala 1:250.000. A variável declividade foi elaborada a partir de Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros, disponível no *site* do projeto TOPODATA INPE (2011), seguindo as classes de relevo da EMBRAPA (2006). A variável uso do solo foi elaborada a partir do satélite LANDSAT-8 sensor *Operational Land Imager* (OLI), referentes a órbita/ponto 215/069, disponíveis na biblioteca virtual da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (DGI/INPE) do ano de 2016. A variável densidade de drenagem foi elaborada da base cartográfica do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), órgão ambiental do estado da Bahia.

No processamento, os dados adquiridos foram processados em plataforma de sistemas de informações geográficas (SIG) através do *software* ArcGIS®, versão 10.2, desenvolvido pela empresa *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). Desta forma, os passos utilizados para elaboração dos mapas temáticos com representação do potencial recarga de aquífero de cada variável são descritos nos tópicos a seguir.

a) Geologia

Por meio da carta geológica adquirida, foi elaborado o mapa temático com representação do potencial de recarga de aquífero desta variável. Inicialmente, foram realizadas as operações necessárias, como correção das poucas áreas vazias, recorte com base no polígono de Camaçari e conversão da camada para o formato matricial. Na elaboração do mapa temático, o raster foi reclassificado utilizando a opção *Reclassify* do ArcGIS, para a atribuição dos pesos obtidos com a aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH). Além disso, também foram calculadas as áreas para cada uma das feições obtidas.

Vale ressaltar que durante a correção do dado geográfico, buscou-se assimilar os corpos geológicos tanto em relação a forma quanto em relação a classe geológica das áreas vazias, evitando assim qualquer tipo de descontinuidade.

b) Geomorfologia, Pedologia e Vegetação

Os mapas temáticos com representação do potencial de recarga de aquífero das variáveis foram elaborados a partir de base cartográfica. As três cartas foram recortadas com base no polígono de Camaçari e convertidas para o formato matricial. Os rasters foram reclassificados para a atribuição dos pesos obtidos com a aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH), e as áreas de cada unidade foram calculadas, assim como a porcentagem de cobertura das mesmas.

c) Declividade

Em relação ao mapa de declividade, utilizou-se do Modelo Digital de Elevação (MDE) em que o município está inserido. A operação para corrigir as possíveis imperfeições foi realizada, sendo em seguida, utilizada a ferramenta *Slope* que calcula a declividade correspondente para cada célula, e, posteriormente, realizado o recorte do raster gerado com base no polígono do município. Por fim, adotando-se a metodologia proposta pela Embrapa (2006), os valores de declividade foram estratificados em cinco classes correspondentes aos declives observados na área de estudo. Estas classes foram denominadas de unidades e calculadas as áreas e porcentagens de cobertura em relação a toda área do município mediante a aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH).

d) Uso do Solo

O mapa de uso do solo foi elaborado a partir de imagem do satélite e utilizando as técnicas do sensoriamento remoto (SR), como o método classificação supervisionada de imagem. Esta ferramenta, denominada de *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)*, faz a classificação pixel a pixel semiautomática da imagem criando áreas amostrais de forma rápida, usando a informação espectral de cada pixel na busca por regiões homogêneas. Feitos os ajustes necessários relacionados ao pré-processamento, foi realizada a classificação da imagem de satélite com fins de categorização da cobertura do solo, sendo nomeadas em quatro macroclasses: vegetação, corpo d'água, solo exposto, área urbana. Estas macroclasses foram denominadas de unidades e calculadas as áreas e porcentagens de cobertura das mesmas no município mediante a aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH).

e) Densidade de lineamentos

Por meio das falhas e fraturas estruturais da carta geológica, foi calculada a densidade de lineamentos aplicando-se a ferramenta *Line Density*. Essa ferramenta calcula a densidade de cada forma linear nas redondezas de cada célula (pixel) do raster de saída. Os resultados foram estratificados em quatro unidades: muito alta, alta, moderada e baixa, para aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH) e elaboração do mapa de densidade de lineamentos com representação do potencial de recarga desta variável. Além disso, foi calculada a densidade de lineamento, através da razão entre o comprimento total dos lineamentos existentes na região pela área total do território.

f) Densidade de drenagem

Similarmente aos lineamentos, por meio da carta hidrográfica, foi calculada a densidade de drenagem a partir da ferramenta *Line Density*. Os resultados foram estratificados em quatro unidades: baixa, moderada, alta, muito alta, para aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH) e elaboração do mapa de densidade de drenagem e representação do potencial de recarga desta variável. As áreas de cada unidade foram calculadas, assim como a porcentagem de cobertura das mesmas. Bem como, foi calculada a densidade de drenagem, sendo expressa através da razão entre o comprimento total dos cursos d'água da região pela área total da mesma.

3.3.2.2 Aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH)

Para realizar uma análise integrada do ambiente, abordando a região como um sistema composto por múltiplas variáveis que se inter-relacionam entre si, foi utilizado o Processo Analítico Hierárquico (PAH), ou do inglês, *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Para ponderação das variáveis físico-geográficas e suas características foram reunidos diversos fatores que influenciam no favorecimento da ocorrência de águas subterrâneas ou na recarga de aquíferos. Como dito anteriormente, optou-se neste estudo a seleção das seguintes variáveis físico-geográficas: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, declividade, uso do solo, densidade de lineamentos e densidade de drenagem.

Na aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH) e ponderação das variáveis, a escala de ponderação entre os critérios deve variar de 1 a 9, onde 1 corresponde a mesma importância de um critério em relação ao outro, e 9 significa extrema importância de um

critério sobre o outro. A escala de ponderação para uma análise múlticritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH) está representada na Tabela a seguir (SAATY,1990).

Tabela 1: Escala de ponderação fundamental do Processo Analítico Hierárquico (PAH).

Definição	Explicação	Valor de ponderação
Igual importância	As duas características contribuem igualmente para o objetivo.	1
Fraca importância de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma característica em relação à outra.	3
Forte ou essencial importância	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma característica em relação à outra.	5
Muito forte ou demonstrada importância	Uma característica é fortemente favorecida em relação à outra e sua dominação de importância é demonstrada na prática.	7
Absoluta importância	A evidência favorece uma característica em relação à outra com o mais alto grau de certeza	9
Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.	2,4,6,8

Fonte: Saaty (1990) adaptado.

Em seguida, o método é estruturado decompondo os fatores envolvidos em níveis hierárquicos, neste caso fatores que influenciam na recarga de aquíferos. A Figura 6 ilustra os critérios (variáveis) e subcritérios (características) utilizados neste estudo, estruturados a fim de identificar os fatores que favorecem a ocorrência de águas nos aquíferos para posterior integração das informações e construção de um mapa temático síntese com as unidades da paisagem, ou áreas de potencialidades hídricas.

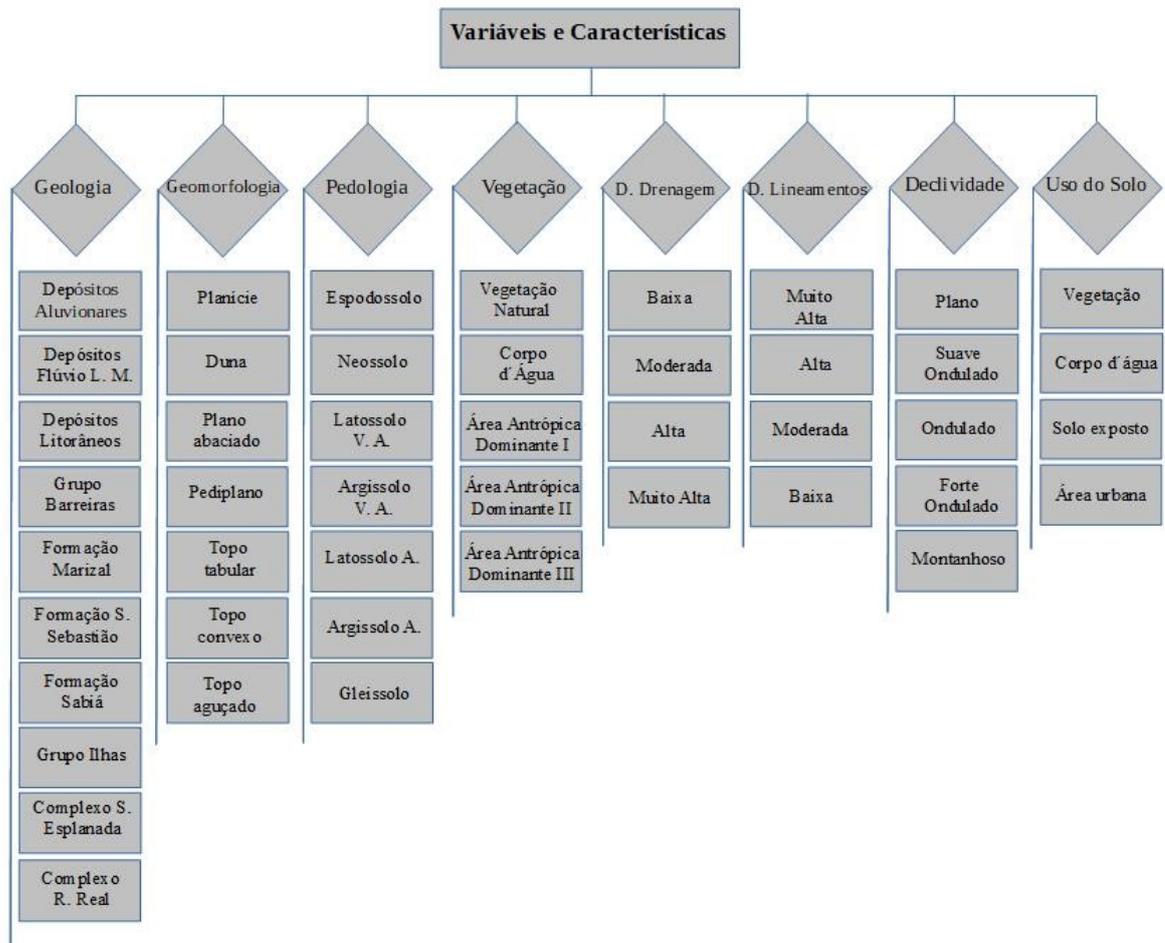


Figura 6: Variáveis e características selecionadas para aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH).

Fonte: Autor (2020).

Após a construção da estrutura de decisão hierárquica, iniciam-se os julgamentos, fazendo uma comparação, par a par, de cada subcritério (elemento) no nível hierárquico, criando-se uma matriz de decisão quadrada. Então, determina-se os graus de preferência, comparando os graus de intensidade por pares em função de cada característica. Esta matriz de comparação pareada, possui ordem de acordo com a quantidade de elementos avaliados em cada nível, com diagonal principal igual a 1 (SILVA, 2009).

Segundo Fenta et al. (2015 apud Pereira et al., 2018), no que se refere às etapas para utilização do Processo Analítico Hierárquico (PAH), inicialmente as seguintes condições devem ser satisfeitas: (Eq. 1) e (Eq. 2).

$$(Eq. 1) \quad a_{ij} = \frac{1}{a_i}$$

Onde,

a = elementos da matriz;

i = linha;

j = coluna.

$$(Eq. 2)$$

$$a_{ij} = \frac{P_i}{P_j}$$

Onde,

P_i = grau de importância do elemento da linha i em relação ao elemento da coluna j ;

P_j = grau de importância do elemento da linha j em relação ao elemento da coluna i .

Após serem realizados todas as comparações, e construída a matriz de comparação pareada, segue os passos para o próximo passo consiste em encontrar os pesos normalizados de cada elemento. Para isso, somam-se todos os elementos da coluna j , de acordo (Eq. 3).

$$(Eq. 3)$$

$$\frac{P_1}{P_j} + \dots + \frac{P_i}{P_j} + \dots + \frac{P_n}{P_j} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{P_j}$$

Em seguida, realiza-se a normalização de todos os elementos da matriz (Eq. 4) através da razão entre a Eq.(2) pela Eq. (3):

$$(Eq. 4)$$

$$\frac{\frac{P_i}{P_j}}{\frac{\sum_{i=1}^n P_i}{P_j}} = \frac{P_i}{P_j} \times \frac{P_j}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

Depois, é calculada a média dos elementos de cada linha i , para encontrar as médias dos pesos normalizados ou ponderados dos elementos da matriz (Eq. 5).

(Eq. 5)

$$W_i = \left(\frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} + \dots + \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \right) \times \frac{1}{n}$$

Onde,

W_i = Peso ponderado referente a linha i ;

n = número de elementos julgados.

Posteriormente, realiza-se a verificação da consistência dos julgamentos que é iniciada através do cálculo do autovalor máximo da matriz de comparação pareada. O autovalor é determinado pela multiplicação dos graus de importância dos elemento (Eq.2) pelas médias dos pesos ponderados (Eq.5). Equação do cálculo do autovalor (Eq.6):

(Eq.6)

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \left(W_i \times \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \right)$$

Onde,

λ_{\max} = Autovalor máximo.

Com os resultados encontrados do autovalor máximo, esses valores são novamente divididos pelas médias dos pesos ponderados, e finalmente calculada a média destes cocientes.

Mediante o resultado encontrado, são calculados o índice ou grau de consistência e a razão de consistência, que segundo Saaty (1980) são mensurados da seguinte forma (Eq.7) e (Eq.8):

(Eq.7)

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Onde,

IC = Índice de consistência.

(Eq.8)

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

Onde,

RC = Razão de consistência;

IR = Índice Randômico.

O Índice Randômico (IR) é calculado conforme a quantidade de critérios sendo avaliados. De acordo com Saaty (1980), valores da Razão de Consistência (RC) inferiores a 0,1, refletem que os valores atribuídos nas comparações não houve inconsistência, e valores superiores indicam que as comparações realizadas precisam ser reavaliadas.

No estudo, a metodologia descrita acima foi aplicada nos critérios (variáveis) e subcritérios (características) individualmente. Assim, foram produzidas nove matrizes de comparação pareada, referentes às variáveis dos mapas temáticos e as características de cada variável dos mapas temáticos. Os cálculos para obtenção dos pesos ponderados e da razão de consistência foram realizados através do *software* Microsoft Excel.

3.3.2.3 Integração no Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Para o mapeamento das áreas de potencial recarga de aquíferos foi realizada a integração dos resultados da ponderação da análise multicritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH) dos mapas temáticos no Sistema de Informações Geográficas (SIG). Nesta integração foi utilizado o operador de análise geográfica do ArcGIS denominado de *Weighted Overlay*. Esta ferramenta realiza a sobreposição ponderada de vários rasters usando uma balança de medição comum e pesa cada um de acordo com sua importância (ENRI, 2020).

A Figura 7 ilustra o princípio de funcionamento do operador.

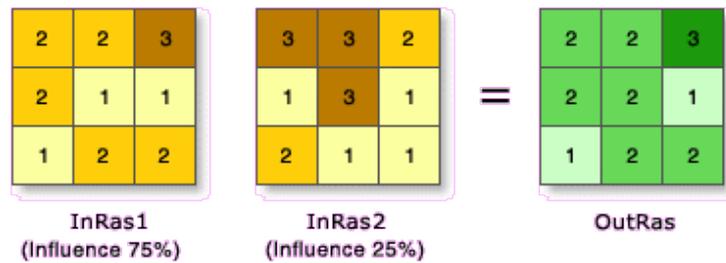


Figura 7: Princípio de operação da análise geográfica da ferramenta *Weighted Overlay* do ArcGIS.

Fonte: ENRI (2020).

Na figura, dois rasters de entrada são reclassificados para uma escala de medição comum e atribuída uma influência percentual. Os valores das células são multiplicados por sua influência percentual e os resultados são adicionados para criar a varredura de saída, o raster ponderado.

Na aplicação da ferramenta *Weighted Overlay*, os oito rasters gerados com os pesos obtidos da análise multicritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH) foram reclassificados para uma escala de medição comum de 1 a 100 e atribuída a influência percentual obtida da avaliação das variáveis temáticas. De tal forma, que os resultados pudessem proporcionar feições multicritérios espacializadas onde maiores valores indicassem áreas mais adequadas ao objetivo final.

A priori, para geração do raster final que representa o mapeamento das áreas de potencialidades hídricas, o raster gerado como resultado da sobreposição ponderada foi reclassificado por meio da ferramenta *Reclassify* para o estabelecimento de cinco classes referentes ao potencial recarga de aquíferos da região, assim divididas: muito alto, alto, moderado, baixo e muito baixo.

Em conjunto com a análise multicritério, as técnicas de geoprocessamento foi um importante elemento metodológico que permitiu o alcance dos resultados obtidos, especialmente, a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG), sendo usadas as ferramentas de mapeamento do *software* ArcGIS®.

3.4 Resultados e Discussões

Nesta seção são apresentados os resultados da avaliação de cada característica e variável através da aplicação do método analítico multicritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH), bem como, os aspectos considerados na favorabilidade à infiltração de água no solo e recarga de aquíferos; os resultados do mapeamento das áreas de recarga de aquíferos mediante a classificação do território por unidade hidrográfica; a sobreposição entre o mapeamento das áreas de recarga de aquífero e os zoneamentos existentes, municipal e estadual; os cenários e proposições para o zoneamento ambiental no município de Camaçari; considerações sobre o zoneamento ambiental em escala local e o Plano de Bacias Hidrográficas no qual está inserido a região de estudo.

3.4.1 Avaliação das Características das Variáveis Físico-Geográficas

3.4.1.1 Características Geológica

Na região foram identificadas as seguintes unidades geológicas: Depósitos aluvionares, Depósitos fluvio-lagunares, Depósitos fluvio-marinhos e eólicos, Depósitos litorâneos, Depósitos litorâneos indiferenciados antigos, Grupo Barreiras, Formação Marizal, Formação São Sebastião, Formação Sabiá, Grupo Ilhas, Complexo Salvador-Esplanada e Complexo Rio Real. Para o grau de importância, foi considerado o aspecto favorabilidade à recarga de aquíferos, sendo que algumas unidades de formações geológicas foram agrupadas devido suas características litológicas em comum.

Como resultado, a Tabela a seguir apresenta as 10 unidades geológicas (subcritérios) selecionadas, a hierarquia (em ordem decrescente) entre essas formações e a ponderação na aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH).

Tabela 2: Quantificação e ponderação das unidades geológicas na aplicação do PAH.

Variável Geológica			Área		PAH
Unidade	Litologia	Classe Rocha	(km ²)	(%)	(%)
Depósitos aluvionares	Areia	Material superficial: sedimento	65,04	8,33	23
	Areia, Argila, Silte,		174,54	22,35	19

Depósitos fluviolagunares e fluviomarinhos e eólicos	Sedimento eólico				
		inconsolidado			
Depósitos litorâneos e litorâneos antigos	Areia, Argila		76,87	9,85	17
Grupo Barreiras	Arenito conglomerático, Argilito arenoso		42,86	5,49	12
Formação Marizal	Arenito, Conglomerado, Folhelho, Siltito, Silexito		72,47	9,28	10
Formação São Sebastião	Arenito, Argilito, Folhelho, Siltito	Sedimentar: clástica	236,85	30,33	10
Formação Sabiá	Arenito, Folhelho, Siltito		4,64	0,59	3
Grupo Ilhas	Arenito, Calcilutito, Folhelho carbonoso, Siltito, Marga		30,12	3,86	3
Complexo Salvador-Esplanada (granulitos)	Kinzigito, Ortogranulito	Metamórfica: metamorfismo regional	14,38	1,84	2
Complexo Rio Real (anfíbolitos)	Metamáfica, Ortognaisse		63,02	8,07	2
Total				100	100

Fonte: Autor (2020).

Para o estabelecimento do grau de importância em propiciar a ocorrência das águas subterrâneas ou recarga de aquíferos entre as unidades geológicas, foram observadas características como porosidade, permeabilidade, tipo de sedimento que compõe as unidades litológicas, idade estratigráfica, dados estes fornecidos pela literatura.

Uma unidade litoestratigráfica é um conjunto rochoso caracterizado por um tipo ou combinação de vários tipos litológicos ou por outras marcantes feições litológicas. Consiste de rochas sedimentares, ígneas ou metamórficas separadas ou intercaladas consolidadas ou inconsolidadas. O requisito indispensável da unidade é a sua individualização permitindo destacá-las das unidades adjacentes com bases em critérios litológicos (IBGE, 1998).

Os sedimentos inconsolidados são materiais que sofreram transporte por agentes geológicos do local onde se originaram até o local onde foram depositados, não tendo ainda sofrido consolidação. A maioria dos solos transportados, inconsolidados, se formou a partir do Cenozóico (era geológica), podendo estar, ainda, em processo de formação (IBGE, 1998).

Das formações aquíferas presentes na região, os Depósitos aluvionares, litorâneos e flúvio-lagunares e marinhos referem-se aos sedimentos inconsolidados de formações mais recente e facilmente transportados pelo vento quando não há cobertura vegetal, sendo assim, vem no topo da hierarquia quanto ao potencial recarga de aquíferos. Os Depósitos aluvionares são essencialmente arenosos, os Depósitos flúvio-lagunares e marinhos, ocorrem ao longo dos rios, sobretudo em suas desembocaduras e nas lagoas, contendo quantidade significativa de detritos orgânicos. Os Depósitos litorâneos são compostos de areia e argila, e ocorrem na faixa litorânea (CAMAÇARI, 2015).

Características como porosidade, permeabilidade e condutividade hidráulica das rochas estão entre os aspectos geológicos que favorecem o processo de infiltração das águas subterrâneas. A permeabilidade é o principal fator para a ocorrência de água subterrânea, uma vez que representa a capacidade de permitir a passagem de fluidos através dos poros, sendo diretamente relacionada ao tamanho dos poros e a conexão entre eles. Os sedimentos com maior diâmetro favorecem a permeabilidade, como os arenitos. Os bons aquíferos normalmente apresentam média a boa condutividade hidráulica, como por exemplo, materiais inconsolidados e rochas sedimentares, e rochas vulcânicas, platônicas e metamórficas com elevado grau de fraturamento, nesta ordem (PEREIRA et al., 2018; BRANCO, 2015).

As rochas sedimentares são, de um modo geral, divididas em arenosas (detríticas), argilosas (detríticas) e carbonatadas (não detríticas). Possuem porosidade e permeabilidade marcante, alta estratificação e baixa resistência mecânica. O diâmetro dos grãos dos sedimentos que compõe as rochas sedimentares do maior para o menor, podem ser: cascalho, areia, silte ou argila. Entre estes, os arenitos costumam constituir aquíferos que acumulam água (BRANCO, 2015).

Da classe rocha sedimentar, o Grupo Barreiras ocupa o início da hierarquia, pois é composto, predominantemente, por arenitos vermelhos e amarelados, contendo leitos de argilas de cores variadas como vermelho, branco e amarelo, maciças ou com laminações paralelas, ocorrendo ainda algumas lentes cascalhosas. Os arenitos constituem-se de grãos subangulosos de notável variação granulométrica, com o predomínio da fração grosseira, contendo em alguns casos litoclastos de argila branca. Em seguida, as rochas da Formação

São Sebastião, compostas por arenitos grossos a finos, brancos e amarelo-avermelhados, friáveis, feldspáticos, intercalados com argilas sílticas (CAMAÇARI, 2015).

A Formação Marizal é composta por sedimentos depositados em ambiente de leques aluviais e sistemas fluviais entrelaçados, principalmente, por conglomerados e arenitos, mas contém, ainda, siltitos, folhelhos e calcários. Os conglomerados localizam-se, normalmente, na base, com arenitos e siltitos no topo. Em seguida na hierarquia vem o Grupo Ilhas e a Formação Sabiá, por serem formações mais antigas e terem pouca representatividade na região (CAMAÇARI, 2015).

As rochas metamórficas de metamorfismo regional, ocupam o último lugar, pois são rochas que se encontram em grandes áreas e profundidades, e submetidas a elevadas condições de pressão e temperatura, sendo formações mais antigas. Na região são encontrados os fácies anfíbolitos e granulitos. De acordo sua textura, os fácies anfíbolitos possuem granulação média a grossa, formados por metamorfismo regional de grau médio a alto; os fácies granulitos com rochas equigranulares, com metamorfismo regional de alto grau (BRANCO, 2015).

Neste contexto, foi possível estabelecer um grau de importância entre as formações geológicas da região, em ordem decrescente quanto à favorabilidade de ocorrência de águas subterrâneas, conforme apresentado na Tabela 2 acima. Na Tabela a seguir, matriz de comparação pareada demonstrando os julgamentos efetuados entre os subcritérios (unidades geológicas). Como resultado, a razão de consistência (RC) obtida pela aplicação do método PAH foi de 0,06, portanto, os julgamentos realizados foram considerados válidos.

Tabela 3: Matriz de comparação pareada para unidades geológicas.

	Variável Geológica										Peso Normalizado
	Da	Dfm	DI	GB	FM	FSS	FS	GI	CSE	CR R	(W _i)
Da	1,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	6,00	6,00	8,00	9,00	0,23
Dfm	-	1,00	2,00	3,00	3,00	3,00	6,00	6,00	8,00	9,00	0,19
DI	-	-	1,00	3,00	3,00	3,00	6,00	6,00	8,00	9,00	0,17
GB	-	-	-	1,00	2,00	2,00	6,00	6,00	7,00	8,00	0,12
FM	-	-	-	-	1,00	2,00	6,00	6,00	7,00	8,00	0,10
FSS	-	-	-	-	-	1,00	6,00	6,00	8,00	8,00	0,10
FS	-	-	-	-	-	-	1,00	2,00	3,00	3,00	0,03

GI	-	-	-	-	-	-	-	1,00	3,00	3,00	0,03
CSE	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1,00	0,02
CRR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,02
Total											1,00

Da = Depósitos aluvionares; Dfm = Depósitos fluvio-lagunares e fluvio-marinhos e eólicos; Dl = Depósitos litorâneos e litorâneos indiferenciados antigo; GB = Grupo Barreiras; FM = Formação Marizal; FSS = Formação São Sebastião; FS = Formação Sabiá; GI = Grupo Ilhas; CSE = Complexo Salvador-Esplanada; CRR = Complexo Rio Real.

Fonte: Autor (2020).

Em sequência, os resultados da ponderação através do PAH estão representados no mapa temático. Os pesos normalizados atribuídos às respectivas unidades geológicas no mapa encontram-se representados no potencial recarga de aquíferos. Assim sendo, tem-se que os sedimentos inconsolidados têm grau de importância absoluta na favorabilidade à ocorrência de águas subterrâneas em comparação com as unidades geológicas do Complexo Rio Real e Salvador-Esplanada.

Desta forma, na Figura a seguir é apresentada a distribuição do potencial recarga de aquíferos considerando as unidades geológicas da região de estudo.

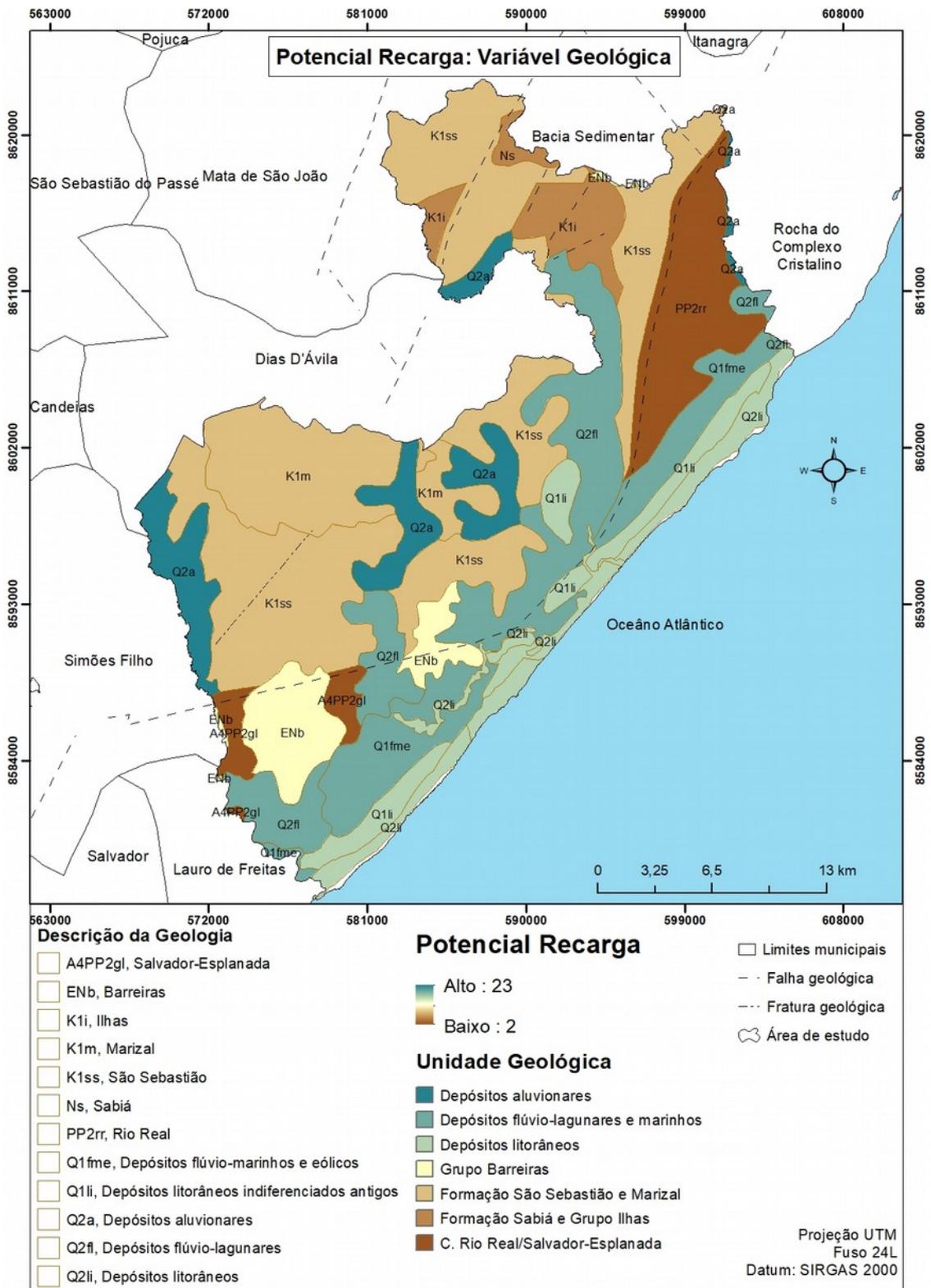


Figura 8: Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável geológica.
Fonte: Autor (2020).

3.4.1.2 Características Geomorfológicas

As seguintes unidades geomorfológicas são identificadas na região: Planícies Litorâneas, Planícies e Terraços Fluviais, Baixada do Recôncavo, Tabuleiros do Recôncavo, Patamares Pré-Litorâneos do Leste da Bahia e Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro Oriental. Para o estabelecimento do grau de importância entre as unidades geomorfológica em propiciar a recarga de aquíferos, foram observados aspectos como a natureza do modelado e a forma do relevo. Como resultado, a Tabela a seguir apresenta as 7 unidades identificadas na área, a hierarquia entre essas formações e a ponderação na aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH).

Tabela 4: Quantificação e ponderação das unidades geomorfológicas na aplicação do PAH.

Variável Geomorfológica			Área		PAH
Unidade	Natureza do Modelado	Forma do Modelado	(km ²)	(%)	(%)
Planícies Litorâneas, Planícies e Terraços Fluviais		Planície	126,39	16,13	34
Planícies Litorâneas, Baixada do Recôncavo	Acumulação	Duna	23,99	3,06	25
Baixada do Recôncavo		Plano abaciado	31,5	4,02	16
Tabuleiros do Recôncavo	Aplanamento	Pediaplano	0,89	0,11	13
Baixada do Recôncavo		Topo tabular	266,05	33,95	7
Patamares Pré-Litorâneos do Leste da Bahia, Tabuleiros do Recôncavo, Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro- Oriental, Baixada do Recôncavo	Dissecação	Topo convexo	334,81	42,72	4
Tabuleiros do Recôncavo		Topo aguçado	0,07	0,01	2
Total				100	100

Fonte: Autor (2020).

O nível freático é bastante condicionado pela configuração geomorfológica, sendo mais profundo nas posições topograficamente mais elevadas. As áreas de baixo regionais são responsáveis por recargas locais, que são logo descarregadas nos corpos hídricos superficiais, enquanto os altos regionais são responsáveis por recargas dos aquíferos mais profundos. Além

disso, tem-se que, as áreas com declives acentuados, ou seja, acima de 20%, favorecem o escoamento superficial direto, e diminuem a infiltração da água no solo (KALIRAJ et al., 2014 apud SERAPHIM; BEZERRA, 2019).

Desta forma, para definição da hierarquia, as unidades geomorfológicas foram diferenciadas em função do tipo de modelado e da forma do relevo. Na região, os modelados de acumulação os relevo de duna, plano abaciado e planície ocorrem na Baixada do Recôncavo, Planícies Litorâneas e Planícies e Terraços Fluviais. Os modelados de aplanamento, o pediplano, ocorre nos Tabuleiros do Recôncavo. Os modelados de dissecação as feições de topo do relevo classificadas em convexa, tabular e aguçada, ocorrem nos Patamares Pré-Litorâneos do Leste da Bahia, Tabuleiros do Recôncavo, Baixada do Recôncavo e Tabuleiros Costeiros do Brasil Centro Oriental (IBGE, 2018).

Os modelados de acumulação de planícies são áreas planas resultantes de acumulação marinha e/ou fluvial, sujeitas a inundações periódicas, podendo comportar praias, canais de maré, restingas, canais fluviais, manguezais, cordões arenosos e deltas. Os modelados de dunas são depósito eólico cuja forma varia em função do estoque de sedimento fornecido, ocorre nas regiões litorâneas, ou mesmo interiores, onde o regime de ventos é favorável e o suprimento sedimentar é relativamente constante. Já os modelados plano abaciado são áreas resultantes de planos convergentes, arenosa e/ou argilosa, sujeita ou não a inundações periódicas, podendo apresentar arreísmo e/ou comportar lagoas fechadas ou precariamente incorporadas à rede de drenagem (IBGE, 2009).

Os modelados de aplanamento pediplano retocado inumado são superfície de aplanamento elaborada durante fases sucessivas de retomada de erosão, cujos processos geram sistemas de planos inclinados, às vezes levemente côncavos. Ocorre nas depressões pediplanadas interplanálticas e periféricas tabuliformes e no sopé de escarpas que dominam os níveis de erosão inferiores e eventualmente nos topos de planaltos e chapadas ao longo dos vales (IBGE, 2009).

Os modelados de dissecação de fáceis tabulares delineiam feições de rampas suavemente inclinadas e lombadas, em geral, definidas por rede de drenagem de baixa densidade, com vales rasos, apresentando vertentes de pequena declividade. A forma de topo convexa é caracterizada por vales bem definidos e vertentes de declividades variadas, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem. A forma de topo aguçado é de aparência aguçada resultantes da interceptação de vertentes de declividade acentuada, entalhadas por sulcos e ravinas profundos (IBGE, 2009).

Neste contexto, foi possível estabelecer um grau de importância entre as formações geomorfológicas da região, quanto à favorabilidade de ocorrência de águas subterrâneas, conforme apresentado na Tabela 4. Neste estudo do relevo constatou-se que outro elemento essencial, além da altitude, é a declividade, largamente utilizada na identificação e caracterização das unidades geomorfológicas. Desta forma, o próximo tópico a declividade será uma variável importante, pois influencia sobremaneira na recarga de aquíferos e ocorrência das águas subterrâneas.

Na Tabela a seguir, matriz de comparação pareada demonstrando os julgamentos efetuados entre os subcritérios (formas do modelado). Como resultado, a razão de consistência (RC) obtida pela aplicação do método PAH foi de 0,04, portanto, os julgamentos realizados são considerados válidos.

Tabela 5: Matriz de comparação pareada para unidades geomorfológicas.

	Variável Geomorfológica							Peso Normalizado
	Ap	Ade	Ai	Pri	Dt	Dc	Da	(W _i)
Ap	1,00	2,00	3,00	3,00	5,00	8,00	9,00	034
Ade	-	1,00	2,00	3,00	5,00	7,00	8,00	0,25
Ai	-	-	1,00	2,00	3,00	5,00	7,00	0,16
Pri	-	-	-	1,00	3,00	5,00	7,00	0,13
Dt	-	-	-	-	1,00	3,00	5,00	0,07
Dc	-	-	-	-	-	1,00	3,00	0,04
Da	-	-	-	-	-	-	1,00	0,02
Total								1,00

Ap = Planície; Ade = Duna; Ai = Plano abaciado; Pri = Pediplano; Dt = Topo tabular; Dc = Topo convexo; Da = Topo aguçado.

Fonte: Autor (2020).

Os resultados da ponderação por meio do PAH estão representados no mapa temático. Os pesos normalizados atribuídos às respectivas formas do relevo no mapa encontram-se representados no potencial recarga de aquíferos em ordem decrescente. Assim sendo, tem-se que a formação do modelado planície tem grau de importância absoluta na favorabilidade à ocorrência de águas subterrâneas em comparação com as feições de topo aguçado e topo convexo. Desta forma, na Figura a seguir são apresentadas o potencial recarga de aquíferos considerando as unidades geomorfológicas da região de estudo.

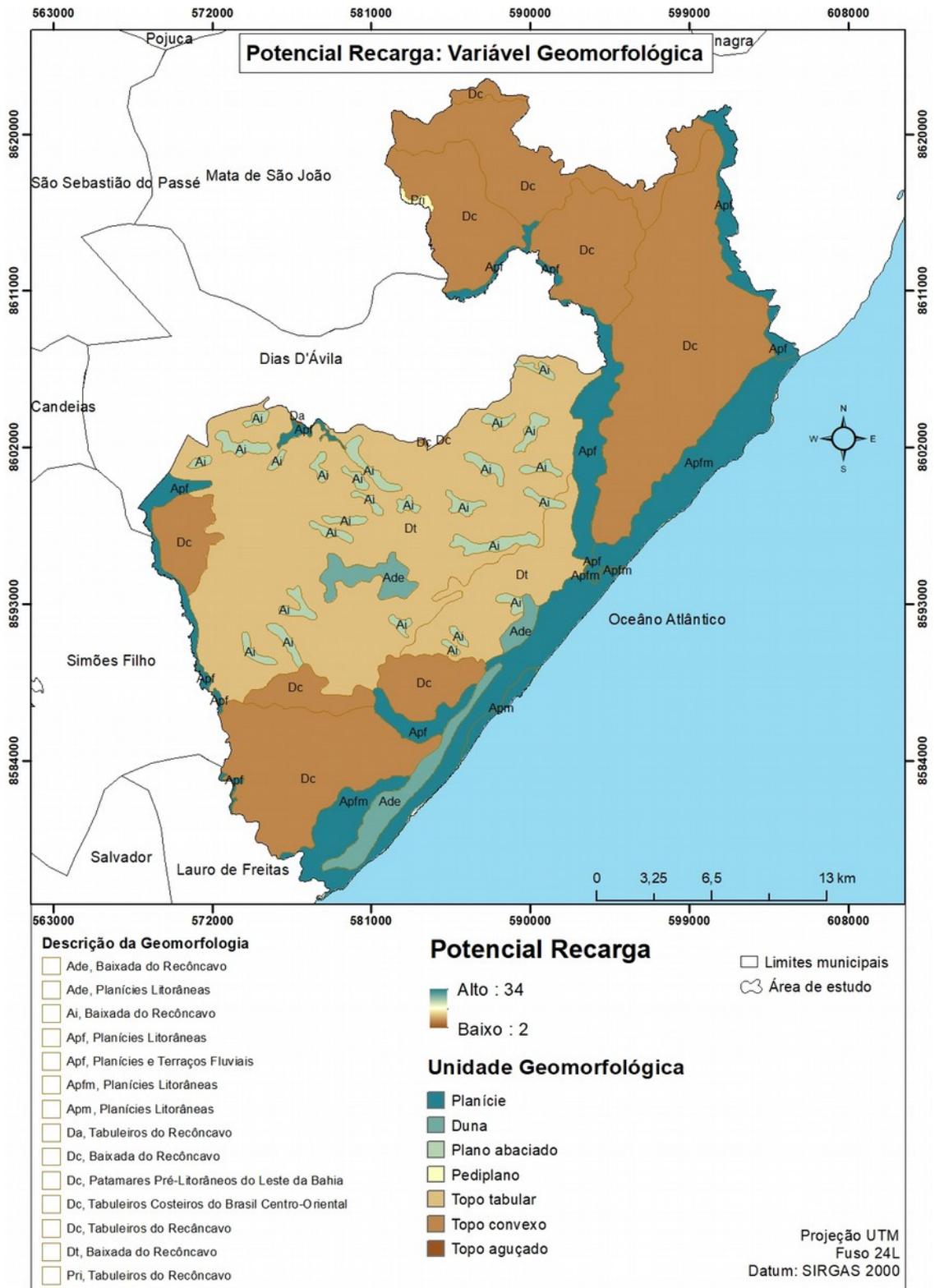


Figura 9: Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável geomorfológica.

Fonte: Autor (2020).

3.4.1.3 Características da Declividade

Com base no mapa de declividade elaborado, foram quantificadas as respectivas áreas das classes de declividade conforme as classes de relevo da EMBRAPA (2006), assim como a sua percentagem em relação a área total do município. Para o estabelecimento do grau de importância entre as unidades de declividade em propiciar a recarga de aquíferos, foi considerado que quanto menor a declividade menor o escoamento superficial e maior o índice de infiltração de água no solo. Como resultado, a Tabela a seguir apresenta as 5 unidades de declividade, a hierarquia entre essas unidades e o resultado da ponderação na aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH).

Tabela 6: Quantificação e ponderação das unidades de declividade na aplicação do PAH.

Variável Declividade		Área		PAH
Unidade de Declividade	Declividade (%)	(km ²)	(%)	(%)
Plano	0 – 3	219,6	28,52	43
Suave Ondulado	3 – 8	304,15	39,50	33
Ondulado	8 – 20	214,51	27,86	14
Forte Ondulado	20 – 45	31,67	4,11	7
Montanhoso	45 – 75	0,08	0,01	4
Total			100	100

Fonte: Autor (2020).

Do mesmo modo que as demais variáveis, a declividade consiste em outro critério significativo na ocorrência das águas subterrâneas. Áreas com relevos mais planos têm condições melhores de absorverem a água, por outro lado, relevos mais íngremes criam chances maiores de escoamento superficial, reduzindo as taxas de infiltração. A declividade influencia na quantidade e no tempo de contato que a água tem com a superfície do solo, consequentemente, em superfícies planas ou com pequenas ondulações o escoamento superficial é menor, o que contribui de forma favorável a infiltração da água no subsolo (SOARES, 2015).

Desta forma, no presente estudo, relevos mais planos foram considerados favoráveis em proporcionar a recarga de aquíferos, e relevos com maiores declividades foram considerados desfavoráveis. Na Tabela a seguir, matriz de comparação pareada demonstrando os julgamentos efetuados entre os subcritérios (unidades de declividades). Como resultado, a

razão de consistência (RC) obtida pela aplicação do método PAH foi de 0,05, portanto, os julgamentos realizados são considerados válidos.

Tabela 7: Matriz de comparação pareada para unidades de declividade.

	Variável Declividade					Peso Normalizado
	P	SO	O	FO	M	(W _i)
P	1,00	2,00	4,00	6,00	8,00	0,43
SO	-	1,00	4,00	6,00	8,00	0,33
O	-	-	1,00	3,00	5,00	0,14
FO	-	-	-	1,00	3,00	0,07
M	-	-	-	-	1,00	0,04
Total						1,00

P = Plano; SO = Suave Ondulado; O = Ondulado; FO = Forte Ondulado; M = Montanhoso

Fonte: Autor (2020).

Os resultados da ponderação por meio do PAH foram espacializados, conforme o mapa temático. Os pesos normalizados atribuídos às respectivas unidades de declividade no mapa encontram-se representados no potencial recarga de aquíferos em ordem decrescente. Assim sendo, tem-se que ocupando uma área de 95,88%, observa-se que o terreno é caracterizado, predominantemente, variando de plano a ondulado, sendo a declividade de 0 a 20%.

Desta forma, na Figura a seguir é apresentado o potencial recarga de aquíferos considerando as unidades de declividade da região de estudo.

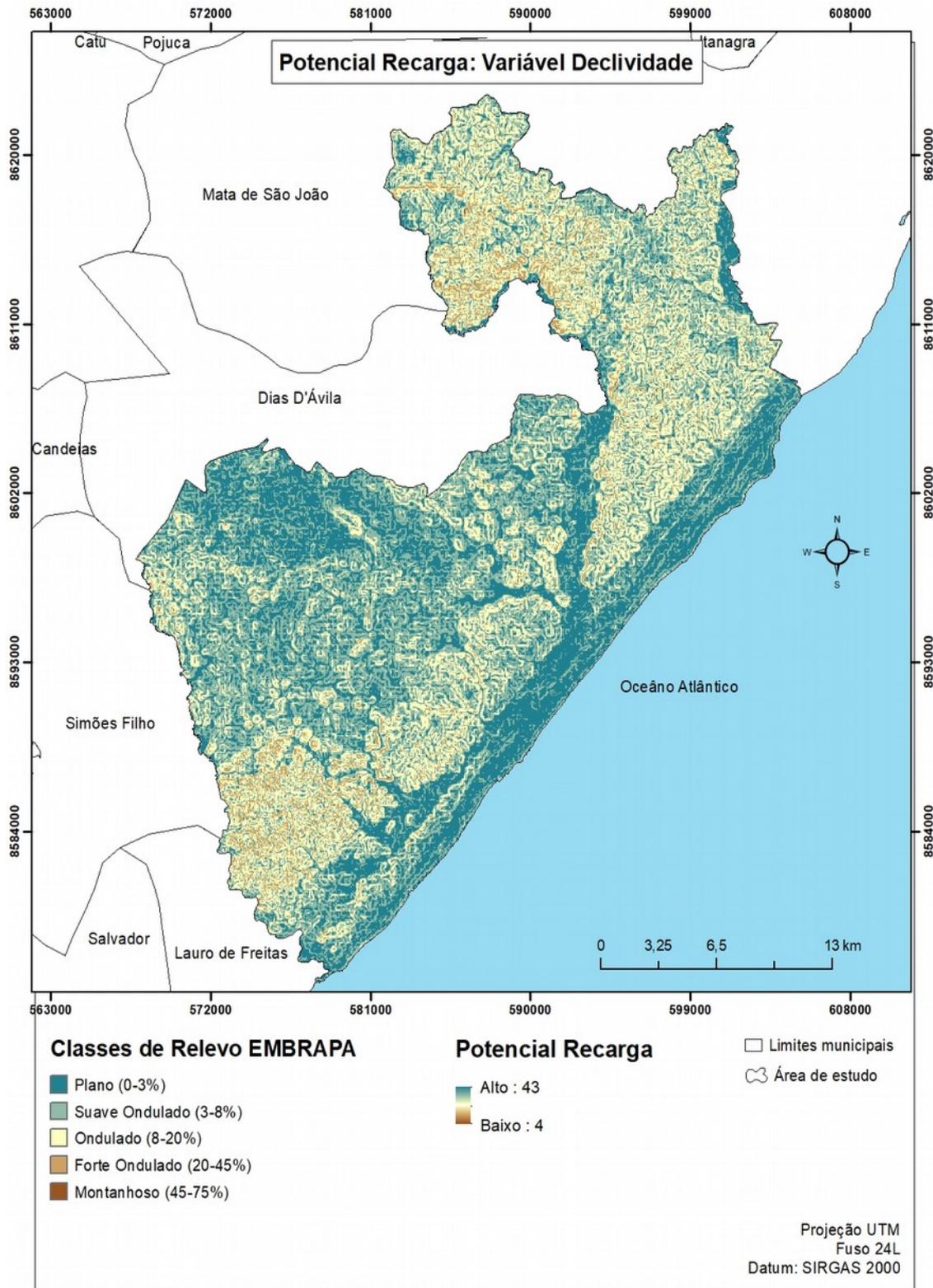


Figura 10: Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável declividade.

Fonte: Autor (2020).

3.4.1.4 Características Pedológicas

São encontradas na região as seguintes unidades pedológicas: Espodossolo Ferri-humilúvico Hidromórfico, Espodossolo Ferri-humilúvico Órtico, Neossolo Quartzarênico Órtico, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Argissolo Amarelo Distrocoeso, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Latossolo Amarelo Distrocoeso, Gleissolo Háplico Tb Distrófico. Para o estabelecimento do grau de importância entre as unidades pedológicas em propiciar a recarga de aquíferos, foram observados aspectos como tipo de terreno dominante, textura do solo e classe de drenagem. Como resultado, a Tabela a seguir apresenta as 7 unidades pedológicas, a hierarquia entre estas unidades e a ponderação na aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH).

Tabela 8: Quantificação e ponderação das unidades pedológicas na aplicação do PAH.

Unidade	Variável Pedológica		Área		PAH
	Textura	Classe Drenagem	(km ²)	(%)	(%)
Espodossolo Ferri-humilúvico	Arenosa	Excessivamente drenado	275,2	35,12	34
Neossolo Quartzarênico	Arenosa	Excessivamente drenado	105,8	13,50	28
Latossolo Vermelho-Amarelo	Média e argilosa	Acentuadamente drenado	21,28	2,72	14
Argissolo Vermelho-Amarelo	Arenosa/ média, média/argilosa e argilosa	Bem drenado	299,99	38,28	11
Latossolo Amarelo	Argilosa e muito argilosa	Bem drenado	30,34	3,87	7
Argissolo Amarelo	Média/argilosa e argilosa	Moderadamente drenado	19,49	2,49	4
Gleissolo Háplico	Argilosa e muito argilosa	Mal drenado	31,57	4,03	2
Total				100	100

Fonte: Autor (2020).

Para avaliação do favorecimento na ocorrência de águas subterrâneas dos tipos de solos presentes na região, optou-se por aplicar o PAH nas 8 classes de solos identificadas, obedecendo ao critério tipo de terreno dominante, onde a partir dos aspectos descritivos gerais de cada unidade pedológica, foram estabelecidos pesos a cada uma delas. Entre os aspectos analisados, foram definidas as principais características dos solos em propiciar a infiltração de água, como textura e estrutura, bem como, utilizados os conceitos das classes de drenagem.

A textura é uma propriedade física do solo que representa a proporção relativa entre areia, silte e argila presentes em um material de solo. Solo com textura arenosa tem alta porosidade e são permeáveis, pois tem baixa retenção de água, permitindo a infiltração da água no solo. Solos argilosos têm boa porosidade, porém são menos permeáveis, devido a maior coesão entre as partículas que retêm maior quantidade de água, reduzindo a infiltração. Solos constituídos por teores semelhantes de areia, silte e argila, são de textura média, possuem boa drenagem e boa capacidade de retenção de água, apresentando valores intermediários de infiltração (IBGE, 2015; SERAPHIM; BEZERRA, 2019).

A estrutura é outra característica importante do solo, que na definição representa a agregação das partículas primárias do solo (areia, silte e argila) com outros componentes, como minerais e matéria orgânica. Solos bem estruturados, ou seja, em que as partículas estão fortemente ligadas, criam condições melhores a infiltração da água devido o aumento da porosidade e a resistência a compactação do solo pelas gotas de chuva (PEREIRA et al., 2018; IBGE, 2015).

Dentre os conceitos das classes de drenagem empregadas na caracterização dos solos, foram observadas os seguintes: nos solos excessivamente drenado, a água é removida do solo muito rapidamente, sendo de textura arenosa; acentuadamente drenado, a água é removida rapidamente do solo, sendo os solos com esta classe de drenagem normalmente de textura argilosa a média, sempre muito porosos e bem permeáveis; bem drenado, a água é removida do solo com facilidade, porém não rapidamente, sendo que comumente apresentam textura argilosa ou média/argilosa; mal drenado, a água é removida do solo tão lentamente que este permanece molhado por uma grande parte do ano (IBGE, 2015).

Os Espodossolos são solos bastante característicos em razão de sua gênese. Em geral muito pobres no tocante a nutrientes minerais e têm textura arenosa predominantemente. Apresentam diferenciação significativa entre os horizontes e, na maioria das vezes, têm um horizonte espódico de cores escurecidas ou avermelhadas/amareladas. Na área de estudo, os Espodossolos Ferri-humilúvico encontram-se distribuídos esparsamente ao longo da região centro-oeste, e apresentam relevo plano ou suave (IBGE, 2015; 2018).

Os Neossolos são solos jovens constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso (menos de 30 cm de espessura). Porém, podem congregam solos profundos e arenosos, como os Neossolos Quartzarênicos, muito expressivos no Brasil, sendo comuns na região litorânea e em alguns estados do Nordeste. Na área de estudo, os Neossolos Quartzarênicos estão presentes em regiões de relevo plano e suave, e apresentam baixas profundidades (IBGE, 2015; 2018).

Os Latossolos são solos bem desenvolvidos pelos processos de intemperismo. De modo geral, apresentam alta porosidade, com textura uniforme variando de média a muito argilosa. Sua estrutura é bem definida, proporcionando altos índices de permeabilidade mesmos nos latossolos com valores elevados de argila. Na área de estudo, existem dois tipos de latossolos, o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Latossolo Amarelo e assim como descrito na Tabela, ambos apresentam boa drenagem, ocorrendo geralmente em áreas de relevo suave a forte ondulado (IBGE, 2015; 2018).

Os Argissolos apresentam-se como solos bem evoluídos, podem possuir superfície arenosa ou argilosa e as transições de texturas em profundidades podem ser graduais ou abruptas. No município, a classe de Argissolos presente são os Argissolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Amarelos. Estes solos têm como característica marcante um aumento de argila em profundidade, possibilitando uma maior retenção de água em horizontes subsuperficiais, sendo importantes reservatórios de água para as plantas. Este tipo de solo, na região de estudo, ocorre em formas de relevo mais acidentados e dissecados, com textura média ou argilosa em superfície, sendo normalmente espessos (IBGE, 2015; 2018).

Os Gleissolos são solos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (margens de rios, ilhas, grandes planícies, etc.). Apresentam cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, dentro de 50cm da superfície. Podem ser de alta ou baixa fertilidade natural e têm nas condições de má drenagem a sua maior limitação de uso. Ocorrem em praticamente todas as regiões brasileiras, ocupando principalmente as planícies de inundação de rios e córregos (IBGE, 2018).

Na Tabela a seguir, matriz de comparação pareada demonstrando os julgamentos efetuados entre os subcritérios (unidades pedológicas). Como resultado, a razão de consistência (RC) obtida pela aplicação do método PAH foi de 0,08, portanto, os julgamentos realizados são considerados válidos.

Tabela 9: Matriz de comparação pareada para unidades pedológicas.

	Variável Pedológica							Peso Normalizado
	Es	Ns	LVA	AVA	LA	AA	Gs	(W _i)
Es	1,00	2,00	4,00	5,00	5,00	7,00	9,00	034
Ns	-	1,00	4,00	5,00	5,00	7,00	9,00	0,28
LVA	-	-	1,00	3,00	3,00	5,00	8,00	0,14
AVA	-	-	-	1,00	3,00	5,00	7,00	0,11
LA	-	-	-	-	1,00	3,00	7,00	0,07
AA	-	-	-	-	-	1,00	3,00	0,04
Gs	-	-	-	-	-	-	1,00	0,02
Total								1,00

Es = Espodossolo; Ns = Neossolo; LVA = Latossolo Vermelho-Amarelo; AVA = Argissolo Vermelho-Amarelo; LA = Latossolo Amarelo; AA = Argissolo Amarelo; Gs = Gleissolo.

Fonte: Autor (2020).

Os resultados da ponderação por meio do PAH foram espacializados, conforme o mapa temático. Os pesos normalizados atribuídos às respectivas unidades pedológicas no mapa encontram-se representados no potencial recarga de aquíferos em ordem decrescente. Assim sendo, tem-se que os solos com características arenosas e classe de drenagem excessivamente drenado têm grau de importância absoluta na favorabilidade à ocorrência de águas subterrâneas em comparação aos solos de textura argilosas e menos estruturados.

Na Figura a seguir é apresentado o potencial recarga de aquíferos considerando as unidades pedológicas da região de estudo.

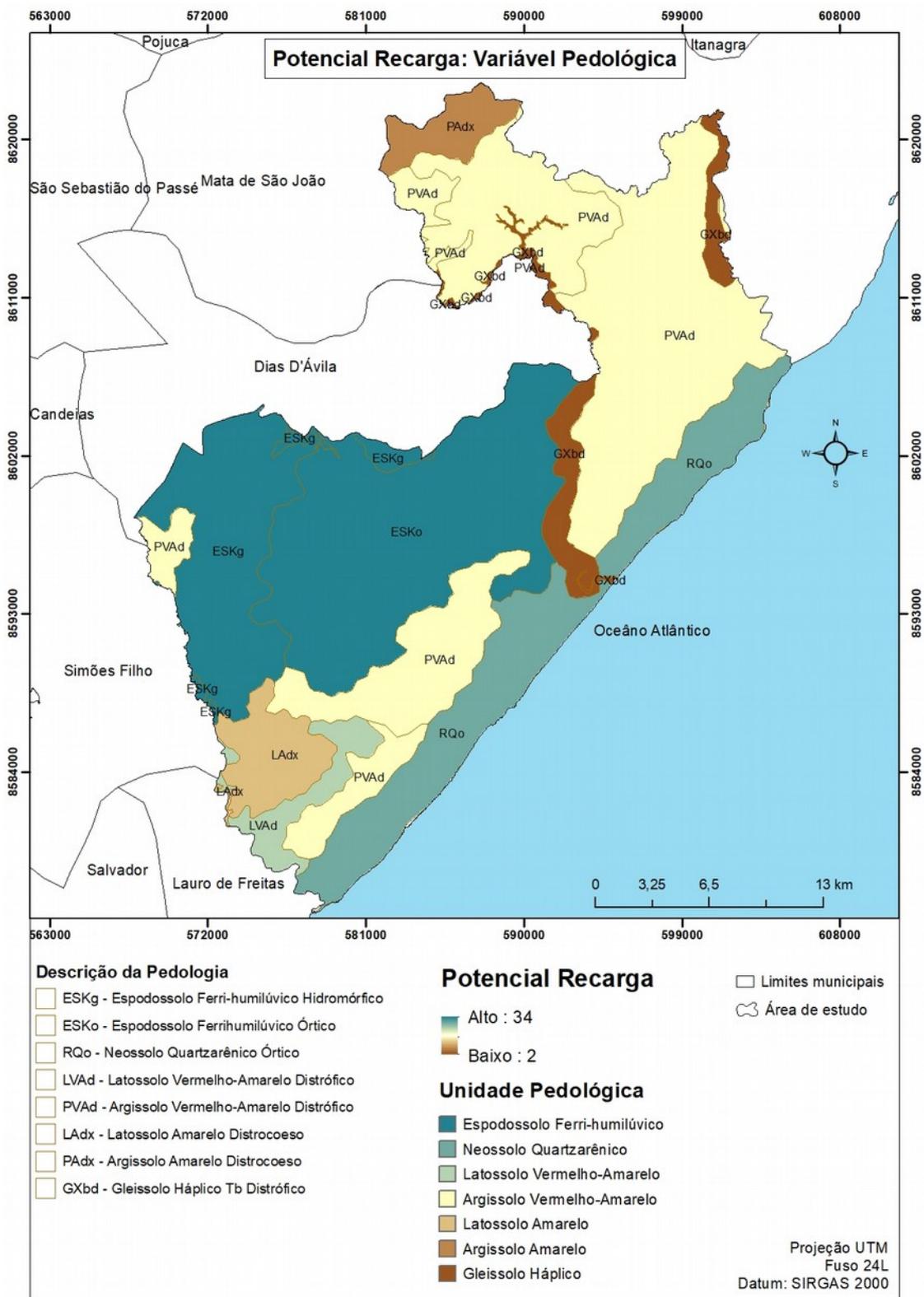


Figura 11: Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável pedológica.

Fonte: Autor (2020).

3.4.1.5 Características Vegetacionais

São encontradas na região as seguintes paisagens da variável vegetação: Formação Pioneira com influência fluvio-marinha arbórea; Formação Pioneira com influência marinha arbórea, arbustiva e herbácea, Savana Arborizada e Savana Parque, Vegetação Secundária, Florestamento/Reflorestamento, Agropecuária e Influência Urbana. Para o estabelecimento do grau de importância entre as unidades vegetacionais em propiciar a recarga de aquíferos, foram observados aspectos como área natural e antropismo do principal componente, tipo de cobertura vegetal e vegetação teoricamente existente antes da área ser antropizada (vegetação pretérita).

Como resultado, a Tabela a seguir apresenta as 5 unidades vegetacionais selecionadas, a hierarquia entre essas unidades e o resultado da ponderação na aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH).

Tabela 10: Quantificação e ponderação das unidades vegetacionais na aplicação do PAH.

Unidade	Variável Vegetação		Área		PAH
	Área natural ou antropismo do principal componente	Vegetação Pretérita	(km ²)	(%)	(%)
Vegetação Natural Dominante	Formação Pioneira e Savana Arborizada/Parque	Formação Pioneira, Contato Savana/Formações Pioneiras	297,79	37,97	43
Corpo d'Água	Massa D'Água	Massa D'Água	8,88	1,13	32
Área Antrópica Dominante I	Vegetação Secundária, Florestamento/Reflorestamento	Floresta Ombrófila Densa, Contato Savana/Floresta Ombrófila	136,11	17,36	14
Área Antrópica Dominante II	Atividade Agropecuária	Contato Savana/Floresta Ombrófila	223,76	28,53	8
Área Antrópica Dominante III	Influência Urbana	Formação Pioneira, Floresta Ombrófila Densa, Contato Savana/Floresta Ombrófila	117,66	15,00	3
Total				100	100

Fonte: Autor (2020).

A Vegetação Natural Dominante inclui as áreas de Formações Pioneiras e de Savana Arborizada (Cerrado). As Formações Pioneiras são assim denominadas pois são áreas do sistema edáfico de primeira ocupação, geralmente compostas por dunas que apresentam alguma vegetação. Na região foram identificadas: Formação Pioneira de influência marinha arbórea (do pontal rochoso), arbustiva (das dunas) e herbácea (das praias) e; Formação Pioneira com influência fluviomarinha arbórea (manguezal). Já as savanas caracterizam-se pela dominância compartilhada das sinúsias arbórea e herbácea. Existência na região de sinúsia arbórea que apresenta árvores de porte médio ou baixo (de 3 a 10 m), em geral espaçadas e com copas amplas, de esgalhamento baixo. A Savana Parque é um tipo de vegetação sinônimo da Savana Arborizada (IBGE, 2012).

A Área Antrópica Dominante I inclui as áreas de Vegetação Secundária, àquelas paisagens onde houve intervenção humana para o uso da terra, seja com finalidade mineradora, agrícola, pecuária ou pelo reflorestamento, descaracterizando a vegetação primária. Na sucessão natural de uma área, são mencionados cinco fases, desde a colonizada por plantas pioneiras de famílias bastante primitivas que praticamente reiniciam o processo de formação do horizonte orgânico do solo até o estágio eminentemente lenhoso, bastante uniforme quanto à altura de seus elementos dominantes, que podem ultrapassar 15 m de altura (IBGE, 2012).

As regiões de florestamento/reflorestamentos foram incluídas na categoria Vegetação Secundária, pois são áreas que tendem a reduzir o escoamento superficial e aumentar a infiltração de água no solo, porém a vegetação não é considerada natural dominante. Além disso, o solo pode ficar exposto durante o estabelecimento de uma nova vegetação, aumentando da mesma forma as chances de compactação e erosão do solo e, conseqüentemente, reduzindo a infiltração. Logo, para áreas de reflorestamento consideram-se condições de recarga de aquíferos inferiores às de florestas nativas.

A Área Antrópica Dominante II inclui as atividades Agropecuárias, que se refere às áreas de uso da terra pela prática da agricultura ou da pecuária. E o critério Área Antrópica Dominante III, se refere as áreas de influência urbana, ou seja, as paisagens com um grau maior de antropismo como áreas urbanas consolidadas e bastante impermeabilizadas e as indústrias (IBGE, 2012).

Desta forma, a variável vegetação foi agrupada nessas cinco categorias em função das diferentes relações que cada uma possui com o processo de recarga. A proporção de água que infiltra no solo pode variar de 50%, em ambientes naturais, para 30 a 15 % dependendo do tipo de ocupação do solo urbano. Como exemplo, existência de taxas de infiltração de até

79% da chuva precipitada em áreas de cerrado de formação savânica, com 50 a 70% da área coberta por indivíduos arbóreos de 5 a 8m de altura. Já nas áreas de influência urbana, vários fatores contribuem para alterações nas taxas de infiltração, como a redução da cobertura vegetal e o aumento da impermeabilização do solo (SERAPHIM; BEZERRA, 2019).

Nas áreas ocupadas com atividades agropecuárias ocorre a substituição da cobertura de vegetação natural de grandes áreas, perda de nutrientes do solo principalmente da sua camada orgânica e compactação do solo devido ao pisoteio intensivo que, por consequência, reduz a capacidade de infiltração da água no solo (PEREIRA et al., 2018).

Na Tabela a seguir, matriz de comparação pareada demonstrando os julgamentos efetuados entre os subcritérios (unidades vegetacionais). Como resultado, a razão de consistência (RC) obtida pela aplicação do método PAH foi de 0,08, portanto, os julgamentos realizados são considerados válidos.

Tabela 11: Matriz de comparação pareada para unidades vegetacionais.

	Variável Pedológica					Peso Normalizado
	VND	CA	AAD I	AAD II	AAD III	(W _i)
VND	1,00	2,00	5,00	5,00	9,00	0,43
CA	-	1,00	5,00	5,00	8,00	0,32
AAD I	-	-	1,00	4,00	5,00	0,14
AAD II	-	-	-	1,00	3,00	0,08
AAD III	-	-	-	-	1,00	0,03
Total						1,00

VND = Vegetação Natural Dominante; CA = Corpos d'águas; AAD I = Área Antrópica Dominante I; AAD II = Área Antrópica Dominante II; AAD III = Área Antrópica Dominante III;

Fonte: Autor (2020).

Os resultados da ponderação por meio do PAH foram espacializados, conforme o mapa temático. Os pesos normalizados atribuídos às respectivas unidades vegetacionais no mapa encontram-se representados no potencial recarga de aquíferos em ordem decrescente. Assim sendo, tem-se que as áreas com cobertura vegetal natural têm grau de importância absoluta na favorabilidade à ocorrência de águas subterrâneas em comparação às paisagens com elevado antropismo. Desta forma, na Figura a seguir é apresentado o potencial recarga de aquíferos considerando as unidades vegetacionais da região de estudo.

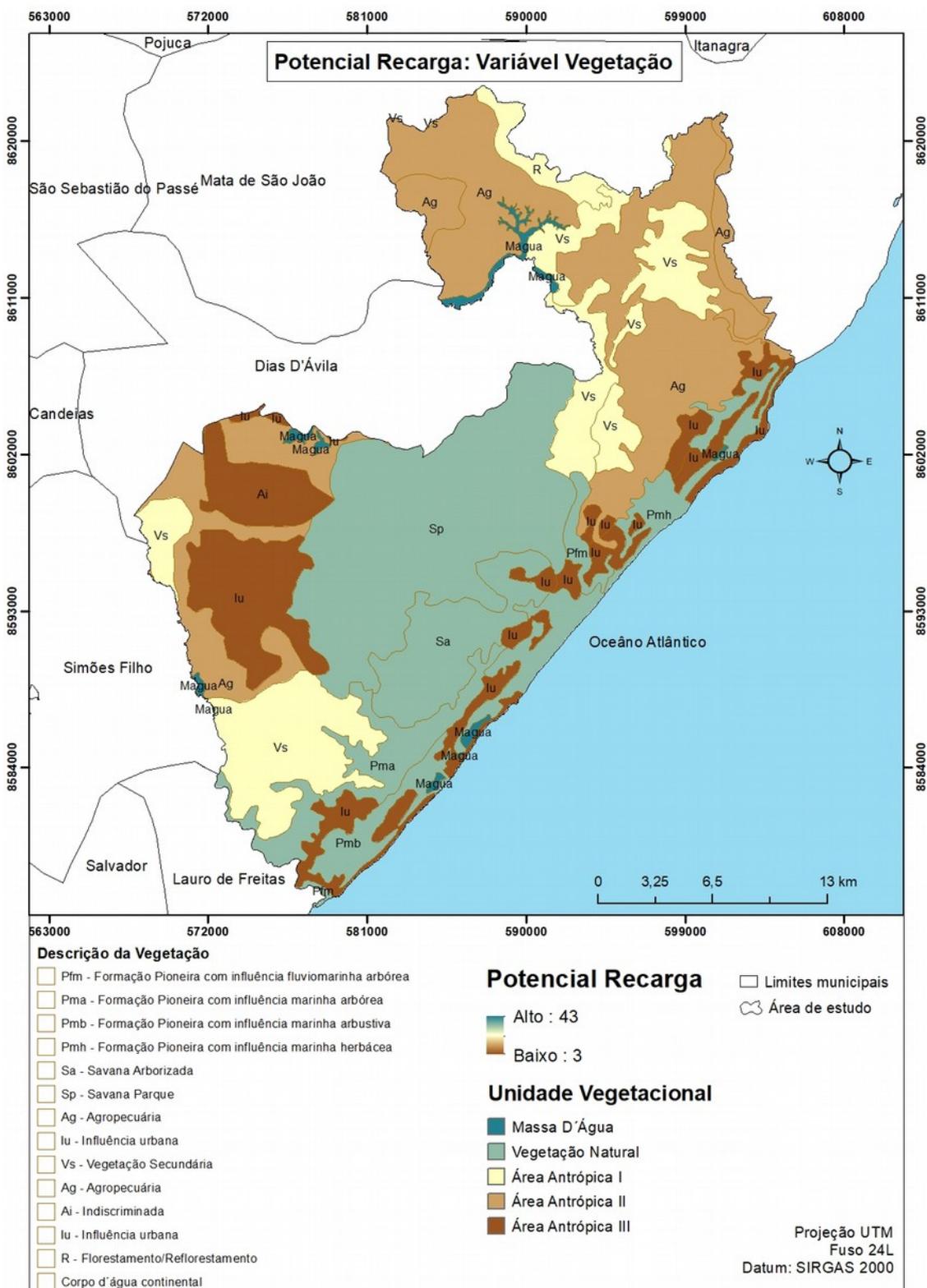


Figura 12: Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável vegetação.

Fonte: Autor (2020).

3.4.1.6 Características do Uso do Solo

Com base no mapa de uso do solo elaborado por meio da classificação supervisionada da imagem de satélite, foram determinadas e quantificadas quatro unidades distintas, sendo nomeadas como: vegetação, corpo d'água, solo exposto, área urbana. E para o estabelecimento do grau de importância entre as unidades de uso do solo em propiciar a recarga de aquíferos, foram considerados o tipo e a característica de cada cobertura do solo. Como resultado, a Tabela a seguir apresenta as 4 unidades de uso do solo, a hierarquia (em ordem decrescente) entre essas unidades e o resultado da ponderação na aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH).

Tabela 12: Quantificação e ponderação das unidades de uso do solo na aplicação do PAH.

Variável Uso do Solo		Área		PAH
Unidade	Tipo de Cobertura do solo	(km ²)	(%)	(%)
Vegetação	Vegetação herbácea, arbustiva e arbórea	462,24	59,05	51
Corpo d'água	Cursos d'águas, lagoas, áreas alagadas e embrejadas	74,70	9,54	36
Solo exposto	Solo sem cobertura vegetal	94	12,01	9
Área urbana	Áreas edificadas e impermeabilizadas	151,82	19,40	4
Total			100	100

Fonte: Autor (2020).

Em revisão sobre o impacto das mudanças da cobertura vegetal, a proporção de água que infiltra no solo varia dependendo do tipo de uso do solo. As florestas apresentam uma alta capacidade de infiltração da água, em contrapartida, os solos sem nenhum tipo de proteção e com alto índice de compactação, apresentam elevado escoamento superficial e baixas taxas de infiltração. A vegetação herbácea, arbustiva e arbórea possui notável papel na recarga de aquíferos, pois além de proteger o solo do impacto da precipitação direta, a vegetação retém a umidade criando melhores condições à infiltração (SOARES, 2015).

Desta forma, no critério vegetação estão incluídas a vegetação natural e secundária, considerando que áreas vegetadas têm potencial de recarga maior que regiões com solo exposto, pois tendem a reduzir o escoamento superficial e, conseqüentemente, proporcionar maiores taxas de infiltração de água no solo.

As áreas delimitadas como corpos d'águas representam na região os cursos d'águas, lagoas, áreas alagadas e embrejadas. Embora estas áreas possam apresentar um pequeno potencial de recarga de águas subterrâneas, a maior parte da água precipitada tende a permanecer nessas regiões ou escoar em direção aos córregos e rios, portanto, foram consideradas áreas de descarga na análise da variável uso do solo.

Em solos expostos, os valores de escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas sempre apresentaram-se maiores em condições de desmatamento ou ausência de qualquer cobertura vegetal, quando comparadas a bacias hidrográficas de características semelhantes, porém com algum tipo de vegetação (SOARES, 2015).

Em relação aos usos urbanos, estes espaços destacam-se pela característica da maior parte das superfícies serem impermeabilizadas. As construções, os asfaltos e concreto aumentam o escoamento superficial e reduzem a infiltração da água no solo, prejudicando a recarga de aquíferos (SERAPHIM; BEZERRA, 2019).

Desta forma, com base nas características de cada unidade de uso do solo em favorecer a infiltração da água, tomou-se uma ordem de hierarquização partindo da unidade mais favorável a menos favorável na recarga dos aquíferos. Na Tabela a seguir, matriz de comparação pareada demonstrando os julgamentos efetuados entre os subcritérios (unidades de uso do solo). Como resultado, a razão de consistência (RC) obtida pela aplicação do método PAH foi de 0,08, portanto, os julgamentos realizados são considerados válidos.

Tabela 13 - Matriz de comparação pareada para unidades de uso do solo.

Variável Uso do Solo					Peso Normalizado
	V	CA	SE	AU	(W _i)
V	1,00	2,00	7,00	9,00	0,51
CA	-	1,00	7,00	9,00	0,36
SE	-	-	1,00	4,00	0,09
AU	-	-	-	1,00	0,04
Total					1,00

V = Vegetação; CA = Corpos D'Águas; SE = Solo Exposto; AU = Área Urbana.

Fonte: Autor (2020).

Os resultados da ponderação por meio do PAH foram espacializados, conforme o mapa temático. Os pesos normalizados atribuídos às respectivas unidades de uso do solo no mapa encontram-se representados no potencial recarga de aquíferos em ordem decrescente.

Assim sendo, tem-se que ocupando uma área de 59,05%, observa-se que o terreno é caracterizado, predominantemente, por vegetação natural ou secundária e, aproximadamente, em 20,00% da área existe ocupação urbana com áreas edificadas e impermeabilizadas.

Desta forma, na Figura a seguir é apresentado o potencial recarga de aquíferos considerando as unidades uso do solo da região de estudo.

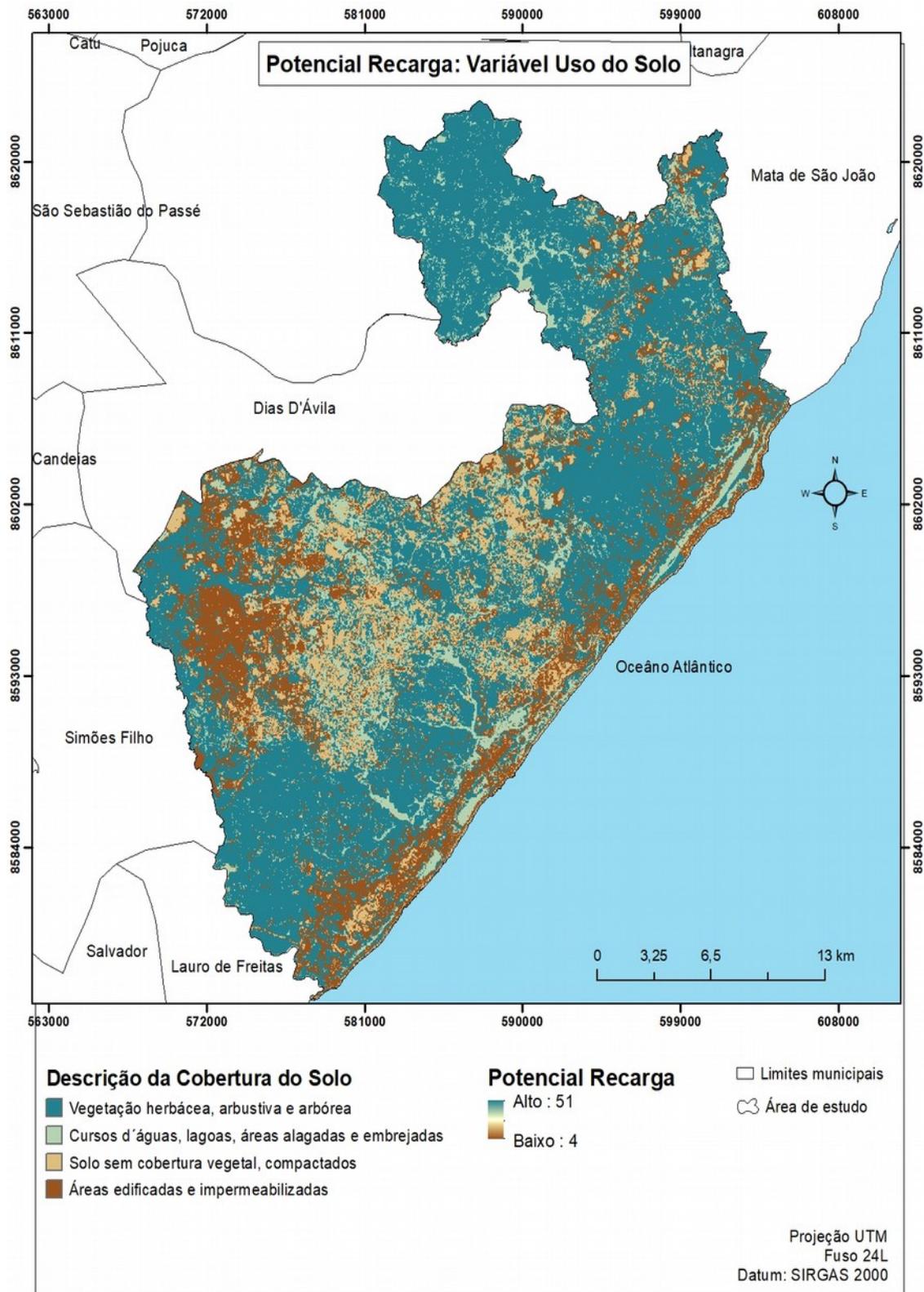


Figura 13: Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável uso do solo.

Fonte: Autor (2020).

3.4.1.7 Características da Densidade de Lineamento

Com base na carta geológica do município foi calculada a densidade de lineamentos. Os resultados foram estratificados em quatro unidades: muito alta, alta, moderada e baixa. Para o estabelecimento do grau de importância entre as unidades em propiciar a recarga de aquíferos, foram analisados os valores de densidade de lineamentos. Como resultado, a Tabela a seguir apresenta as 4 unidades de densidade de lineamentos selecionadas, a hierarquia entre essas unidades e o resultado da ponderação na aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH).

Tabela 14: Quantificação e ponderação das unidades densidade de lineamentos na aplicação do PAH.

Variável Densidade de Lineamentos		Área		PAH
Unidade	Classes de Densidade (km/km ²)	(km ²)	(%)	(%)
Muito Alta	≥ 24,52 a < 24,80	0,11	0,01	59
Alta	≥ 12,40 a < 24,52	79,21	10,10	26
Moderada	≥ 0,28 a < 12,40	83,97	10,71	11
Baixa	> 0 a < 0,28	620,88	79,18	4
Total			100	100

Fonte: Autor (2020).

Por definição, os lineamentos correspondem à “feição linear simples ou composta contínua ou descontínua da superfície terrestre, que podem representar uma zona de fraqueza estrutural”. Os lineamentos são regiões de falhas e fraturas geológicas que aumentam a porosidade secundária das rochas e, conseqüentemente, propiciam melhores condições de recarga de aquíferos e armazenamento de água (FENTA et al., 2015).

A densidade de lineamentos é diretamente proporcional a ocorrência de águas subterrâneas, pois quanto maior o índice de densidade de lineamentos, maior o potencial de ocorrência da água subterrânea e vice-versa. Desta forma, a densidade é calculada pela razão entre o comprimento dos lineamentos por unidade de área (km/km²) (NAMPAK et al., 2014).

Os dados de densidade de lineamentos foram obtidos a partir da ferramenta *Line Density*, que calcula a densidade de cada forma linear nas redondezas de cada pixel. Na área de estudo, os índices de densidades de lineamentos variaram de 0 a 24,80 em km/km². Foram definidas quatro classes de valores de densidade de lineamentos, mediante classificação em

intervalos geométricos, sendo assim distribuídas: Baixa de > 0 a $< 0,28$; Moderada de $\geq 0,28$ a $< 12,40$; Alta de $\geq 12,40$ a $< 24,52$; Muito Alta de $\geq 24,52$ a $< 24,80$. A classificação em intervalos geométricos permite uma frequência consistente de observações por classe.

Desta forma, foram calculadas as respectivas áreas de cobertura e o percentual da mesma na região. E com base nos valores de densidade de lineamentos, foi definida uma ordem de hierarquização e aplicado o PAH, partindo do maior índice de densidade de lineamentos para o menor índice.

Na Tabela a seguir, matriz de comparação pareada demonstrando os julgamentos efetuados entre os subcritérios (unidades de densidade de lineamento). Como resultado, a razão de consistência (RC) obtida pela aplicação do método PAH foi de 0,07, portanto, os julgamentos realizados são considerados válidos.

Tabela 15 - Matriz de comparação pareada para as unidades de densidade de lineamentos.

	Variável Densidade de Lineamentos				Peso Normalizado
	MA	A	M	B	(W _i)
MA	1,00	4,00	6,00	9,00	0,59
A	-	1,00	4,00	7,00	0,26
M	-	-	1,00	3,00	0,11
B	-	-	-	1,00	0,04
Total					1,00

MA = Muito Alta; A = Alta; M = Moderada; B = Baixa.

Fonte: Autor (2020).

Além disso, foi calculada a densidade de lineamentos, através da razão entre o comprimento total dos lineamentos existentes na região pela área total do território, encontrando um valor aproximado de $0,13 \text{ km/km}^2$. Como resultado, a totalidade da área de estudo apresenta índices de baixa densidade de lineamentos, conforme definição de intervalos de densidade de lineamentos aplicada por Ribeiro, Rocha e Garcia (2011), onde considera que valores inferiores a $0,40 \text{ km/km}^2$ são considerados de baixa densidade.

Os resultados da ponderação por meio do PAH foram espacializados, conforme o mapa temático. Os pesos normalizados atribuídos às respectivas unidades de densidade de lineamentos no mapa encontram-se representados no potencial recarga de aquíferos em ordem

decrecente, alto a baixo. Assim sendo, a área de estudo apresenta índices baixos de densidade de lineamentos, tem-se que 79,18 % da extensão do território é composta pela unidade baixa de densidade de lineamentos, e em menores valores moderada de 10,71% e alta de 10,10%.

Desta forma, na Figura a seguir é apresentado o potencial recarga de aquíferos considerando as unidades densidades de lineamentos da região de estudo.

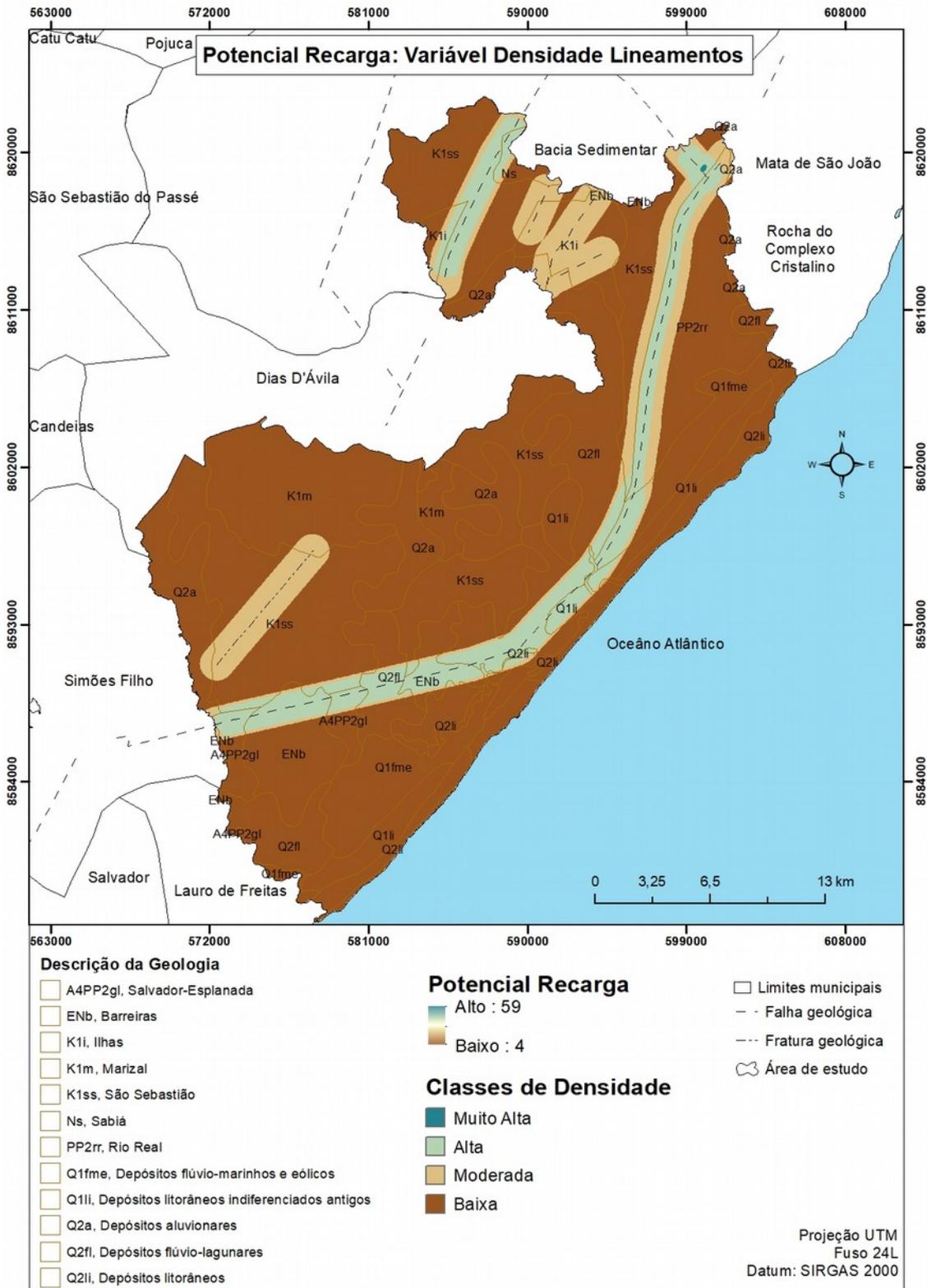


Figura 14: Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável densidade de lineamento.

Fonte: Autor (2020).

3.4.1.8 Características da Densidade de Drenagem

Com base na hidrografia do município foi calculada a densidade de drenagem e determinadas e quantificadas quatro unidades distintas, sendo assim estratificadas: baixa, moderada, alta, muito alta. Para o estabelecimento do grau de importância entre as unidades de densidade de drenagem em propiciar a recarga de aquíferos, foram analisados os valores de densidade de drenagem. Como resultado, a Tabela a seguir apresenta as 4 unidades de densidade de drenagem selecionadas, a hierarquia entre essas unidades e o resultado da ponderação na aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH).

Tabela 16: Quantificação e ponderação das unidades de densidade de drenagem na aplicação do PAH.

Variável Densidade de Drenagem		Área		PAH
Unidade	Classes de Densidade (km/km ²)	(km ²)	(%)	(%)
Baixa	> 0 a < 0,88	29,32	3,74	60
Moderada	≥ 0,88 a < 5,89	443,48	56,55	27
Alta	≥ 5,89 a < 34,42	152,44	19,44	8
Muito Alta	≥ 34,42 a < 196,78	158,92	20,27	5
Total			100	100

Fonte: Autor (2020).

A densidade de drenagem representa o grau de dissecação topográfica, em paisagens elaboradas pela atuação fluvial, e expressa a quantidade disponível de canais para o escoamento e o controle exercido pelas estruturas geológicas. A densidade de drenagem expressa a relação entre o comprimento dos canais e a área da bacia hidrográfica, sendo uma variável potencialmente significativa e útil aos estudos geomorfológicos (SILVA et al., 2009).

A densidade de drenagem representa, neste sentido, o grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem, onde valores de densidade de drenagem elevados indicam, além de redes de drenagem bem desenvolvidas, intensos processos de escoamento superficial e inundações, enquanto valores menores, apresentam reduzido escoamento e altas taxas de infiltração no terreno. Para bacias de pobre drenagem os valores de densidade de drenagem chegam até 0,5 km/km², e para bacias bem drenadas este valor é maior que 3,5 km/km² (BORSATO; MARTONI, 2004).

Na área de estudo, os dados de densidade de drenagem foram obtidos a partir da ferramenta *Line Density*, que calcula a densidade de cada forma linear nas redondezas de cada pixel. Os índices de densidades de drenagens variaram de 0 a 196,78 em km/km². A partir da divisão da porcentagem dos índices em intervalos geométricos foram definidas quatro classes de valores de densidade de drenagem: Baixa de > 0 a $< 0,88$; Moderada de $\geq 0,88$ a $< 5,89$; Alta de $\geq 5,89$ a $< 34,42$; Muito Alta de $\geq 34,42$ a $< 196,78$.

Desta forma, foram calculadas as respectivas áreas de cobertura e o percentual da mesma na região. Com base nos valores de densidade de drenagem foi definida uma ordem de hierarquização e aplicado o PAH, partindo da unidade mais favorável (menores valores de densidades) a menos favorável (maiores valores) na recarga dos aquíferos.

Na Tabela a seguir, matriz de comparação pareada demonstrando os julgamentos efetuados entre os subcritérios (unidades de densidade de drenagem). Como resultado, a razão de consistência (RC) obtida pela aplicação do método PAH foi de 0,06, portanto, os julgamentos realizados são considerados válidos.

Tabela 17 - Matriz de comparação pareada para unidade de densidade de drenagem.

	Variável Densidade de Drenagem				Peso Normalizado
	B	M	A	MA	(W _i)
B	1,00	4,00	7,00	9,00	0,60
M	-	1,00	5,00	7,00	0,27
A	-	-	1,00	2,00	0,08
MA	-	-	-	1,00	0,05
Total					1,00

B = Baixa; M = Moderada; A = Alta; MA = Muito Alta.

Fonte: Autor (2020).

Ademais, foi calculada a densidade de drenagem, através da razão entre o comprimento total dos cursos d'água existentes na região pela área total do território, encontrando um valor aproximado de 2,26 km/km². Como resultado, a totalidade da área de estudo apresenta índice de alta densidade de drenagem, conforme definição de intervalos de densidade, onde considera que valores entre 2,01 e 3,50 km/km² são considerados de bacias hidrográficas bem drenadas (BORSATO; MARTONI, 2004).

Os resultados da ponderação por meio do PAH foram espacializados, conforme o mapa temático. Os pesos normalizados atribuídos às respectivas unidades de densidade de drenagem no mapa encontram-se representados no potencial recarga de aquíferos em ordem crescente, baixo a alto. Assim sendo, a área de estudo apresenta índices elevados de densidade de drenagem, tem-se que 56,55% da extensão do território é composta pela unidade moderada de densidade de drenagem, seguida por alta de 19,44% e muito alta de 20,27%.

Desta forma, na Figura a seguir é apresentado o potencial recarga de aquíferos considerando as unidades densidades de drenagem da região de estudo.

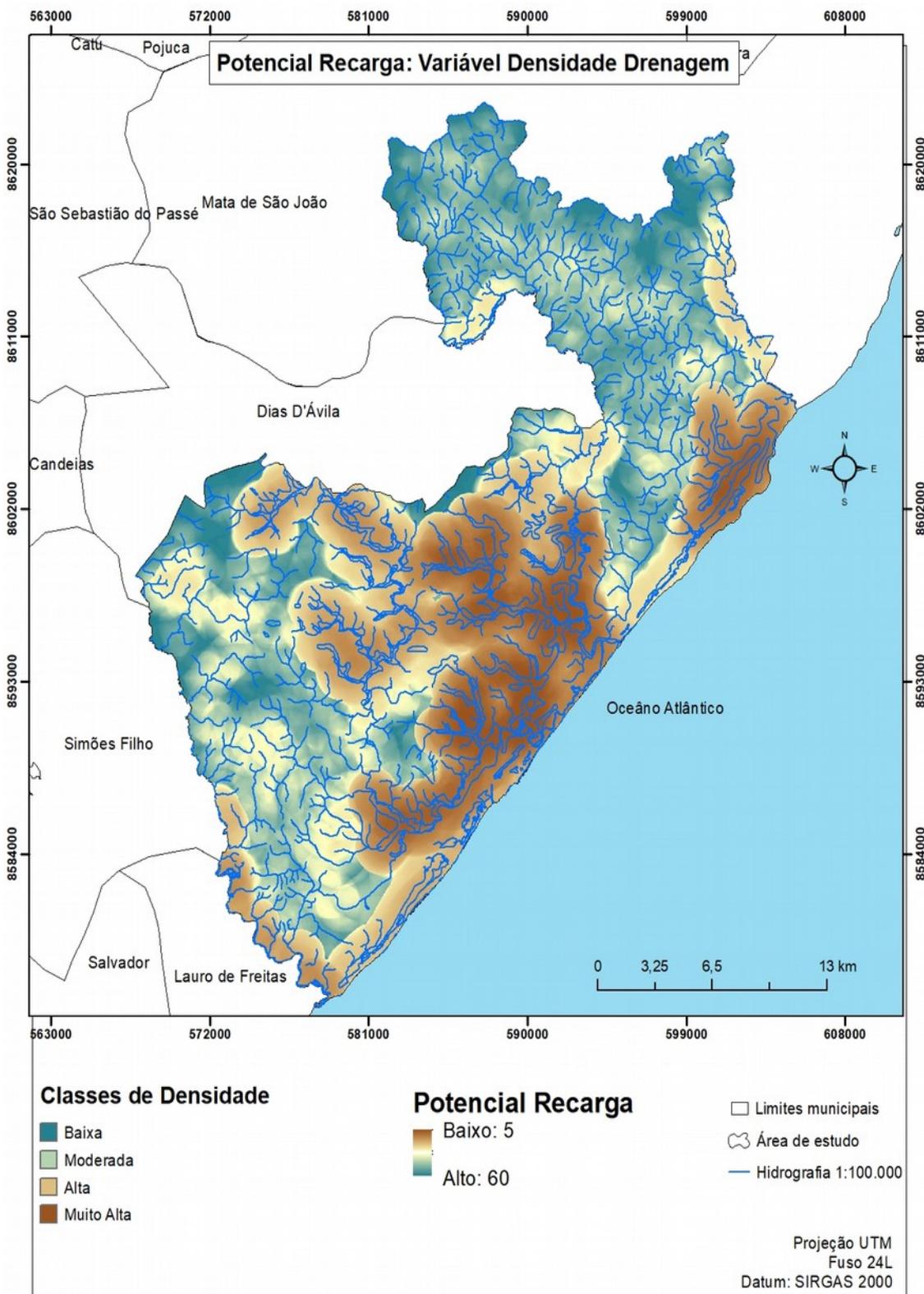


Figura 15: Distribuição (%) das áreas de potencial recarga de aquíferos da variável densidade de drenagem.

Fonte: Autor (2020).

3.4.2 Avaliação das Variáveis Físico-Geográficas

Esta etapa do trabalho consistiu em realizar a ponderação em cada uma das variáveis temáticas por meio do Processo Analítico Hierárquico (PAH). Para estabelecimento de uma hierarquização entre as variáveis geologia, geomorfologia, declividade, pedologia, vegetação, uso do solo, densidade de lineamentos e densidade de drenagem, foram avaliadas as características das mesmas em proporcionar a infiltração de água no solo e a recarga de aquíferos, e em consonância com as características da região, nesta ordem.

A variável uso do solo, as mudanças na cobertura do solo tendem a aumentar o escoamento superficial, reduzindo a capacidade de infiltração, prejudicando a recarga de aquíferos. As áreas urbanas destacam-se pela característica da maior parte das superfícies serem impermeabilizadas, o que significativamente influencia na ocorrência de águas subterrâneas. Quanto maior o percentual de áreas com vegetação, sejam elas, natural ou secundária, menor o grau de antropismo e, conseqüentemente, o impacto das alterações nas áreas de recarga. Neste aspecto, esta variável teve como objetivo apontar as áreas que sofreram modificações mediante a remoção da cobertura vegetal e transformação em áreas urbanas. Por este motivo, foi considerada um aspecto importante, adicionado ao fato que aproximadamente em 30,00% da área existe intervenção antrópica.

Para a variável vegetação, como anteriormente descrito, possui notável papel na recarga de aquíferos, pois a água interceptada pelas plantas protege o solo do impacto da precipitação direta, além disso, a vegetação retém a umidade criando melhores condições à infiltração de água no solo. Áreas que possuem boa cobertura vegetal tendem a reter uma maior quantidade de água, reduzindo a perda por escoamento superficial. Neste aspecto, esta variável foi considerada o fator principal para favorabilidade hídrica subterrânea, sob o aspecto das áreas favoráveis à infiltração para recarga de aquíferos.

Em seguida, vem a variável pedológica, as características do solo como textura e classe de drenagem estão entre os aspectos definidos como principais em propiciar a infiltração de água no solo. A água precipitada tende a encontrar o solo, no qual dependendo das características deste meio, infiltra-se e percola através do subsolo. Solos mais porosos e permeáveis, em geral com maior teor de areia, possuem altas taxas de infiltração. Enquanto solos mais finos e de menor porosidade, em geral com maior teor de argila, possuem menores taxas de infiltração. Na região ocorre que 42,15% do território é classificado como bem drenado, seguido de 51,34% classificado como excessivamente drenado.

A geologia possui um papel preponderante na formação de aquíferos, as características de porosidade e permeabilidade das rochas são fundamentais no

armazenamento e transmissão das águas subterrâneas. As rochas que possuem água em poros que se interconectam (isso é, que são porosas e permeáveis) constituem aquíferos, ou seja, massa rochosa capaz de armazenar e fornecer água. Neste aspecto, esta variável foi considerada um importante fator para potencialidade hídrica subterrânea da região, tendo em vista que um pouco mais de 49% do território é composto por rochas sedimentares.

A geomorfologia influencia a recarga por meio da altitude relativa e da declividade. Como já entendido, as áreas de baixos regionais são responsáveis por recargas locais, que são logo descarregadas nos corpos hídricos superficiais. Áreas com declives menos acentuados, até 20%, a infiltração de água no solo aumentam. Na região de estudo, foi observado que o terreno é caracterizado com relevo variando de plano a ondulado e com declividade de 0 a 20%. Desta forma, as variáveis geomorfologia e declividade foram consideradas importantes em propiciar a recarga de aquíferos na região.

Para a densidade de lineamentos e de drenagem foram considerados de importância menor em relação aos demais mapas temáticos, pois suas presenças e concentrações não influenciaram na ocorrência de águas subterrâneas de forma particular. Na região de estudo, foram encontrados baixos índices de densidade de lineamentos, ou seja, número pequeno de falhas e fraturas estruturais, e índice alto de densidade de drenagem, ou seja, rede de drenagem bem desenvolvidas, fatores estes que não contribuem significativamente na recarga de aquíferos, conforme observado.

Desta forma, para este estudo, optou-se pela seguinte ordem decrescente de importância às variáveis escolhidas: uso do solo, vegetação, pedologia, geologia, geomorfologia, declividade, densidade de lineamentos e densidade de drenagem. Esta hierarquização foi estabelecida tendo a variável uso do solo na primeira ordem, tendo em vista ser a variável que aponta as áreas que sofreram modificações ou antropismo, indicando as zonas da região que não favorecem a infiltração de água no solo e recarga de aquíferos. Assim foram observadas áreas com características naturais (vegetação e corpos hídricos) aproximadamente em 68,59% do território e zonas com existência de fator antrópico aproximadamente em 31,41% do território.

Em seguida, foram atribuídos o grau de importância para cada variável na matriz de comparação pareada, na qual os pesos obtidos pelo método PAH, obteve a razão de consistência (RC) de 0,04. Portanto, os julgamentos realizados foram considerados válidos. Segue Tabela com os resultados da ponderação das variáveis temáticas, bem como, os pesos das características avaliadas no item anterior.

Tabela 18: Ponderação das variáveis temáticas e das suas características na aplicação do PAH.

Variáveis Temáticas			
Ponderação	Variável	Características	Peso
25	Uso do Solo	Vegetação	51
		Corpo d'água	36
		Solo exposto	9
		Área urbana	4
21	Vegetação	Vegetação Natural Dominante	43
		Corpo d'Água	32
		Área Antrópica Dominante I	14
		Área Antrópica Dominante II	8
		Área Antrópica Dominante III	3
18	Pedologia	Espodossolo	34
		Neossolo	28
		Latossolo Vermelho-Amarelo	14
		Argissolo Vermelho-Amarelo	11
		Latossolo Amarelo	7
		Argissolo Amarelo	4
		Gleissolo	2
14	Geologia	Depósitos aluvionares	23
		Depósitos fluvio-lagunares e marinhos	19
		Depósitos litorâneos e antigos	17
		Grupo Barreiras	12
		Formação Marizal	10
		Formação São Sebastião	10
		Formação Sabiá	3
		Grupo Ilhas	3
		Complexo Salvador-Esplanada	2
		Complexo Rio Real	2
11	Geomorfologia	Planície	34
		Duna	25

		Plano abaciado	16
		Pediaplano	13
		Topo tabular	7
		Topo convexo	4
		Topo aguçado	2
5	Declividade	Plano	43
		Suave ondulado	33
		Ondulado	14
		Forte ondulado	7
		Montanhoso	4
3	Densidade de Lineamentos	Muito Alta	59
		Alta	26
		Moderada	11
		Baixa	4
3	Densidade de Drenagem	Baixa	60
		Moderada	27
		Alta	8
		Muito Alta	5
100			

Fonte: Autor (2020).

3.4.2.1 Mapas das Áreas de Recarga de Aquíferos

Da análise segmentada da paisagem, por meio da definição de pesos para todas as características selecionadas e da ponderação de cada variável temática, um mapa temático foi elaborado utilizando a ferramenta *Weighted Overlay* do ArcGIS, de sobreposição ponderada. A sobreposição das variáveis físicos-geográficas teve como finalidade o mapeamento das áreas de recarga de aquíferos, ou seja, áreas que apresentam maior vulnerabilidade ambiental do conjunto de características avaliadas.

Os mapas temáticos das variáveis vegetação, uso do solo, pedologia, geologia, geomorfologia, declividade, densidade de lineamentos e densidade de drenagem, foram sobrepostos resultando em um mapa síntese com a delimitação das áreas com maior ou menor potencial recarga de aquíferos, assim denominadas pois estas caracterizavam as regiões que favorecem a ocorrência de águas subterrâneas, conforme podem ser visualizadas na Figura 16.

Desta forma, foram definidas cinco classes para a interpretação do mapeamento das áreas de recarga de aquíferos. A Tabela a seguir apresenta a escala de valores, denominada de alcance de ponderação, estabelecida por meio da ferramenta *Weighted Overlay*, e a quantificação das respectivas áreas para cada uma das classes de recarga de aquífero.

Tabela 19: Classe e percentual das áreas de potencial recarga de aquífero do município de Camaçari.

Potencial Recarga	Escala de valores da <i>Weighted Overlay</i>		Área	
	Alcance	Ponderação	(km ²)	(%)
Muito alto	81 a 100		46,03	5,94
Alto	61 a 80		258,81	33,37
Moderado	41 a 60		381,27	49,16
Baixo	21 a 40		88,11	11,36
Muito Baixo	0 a 20		1,31	0,17
Total			775,53	100

Fonte: Autor (2020).

No Quadro 3, descrição dos aspectos físico-geográficos do meio físico e antrópico em cada cenário da paisagem, conforme descrição da paisagem do mapeamento das áreas de recarga de aquíferos, assim classificadas: muito alto, alto, moderado, baixo e muito baixo.

Quadro 3: Descrição dos aspectos físico-geográficos do meio físico e antrópico em cada cenário da paisagem.

Aspectos Físico-Geográficos	Potencial Recarga
Vegetação natural dominante, predomínio de Espodossolos e Neossolos, sedimentos inconsolidados, relevo de planícies, dunas, plano abaciado, em região que 95% da área a declividade varia de 0 a 20%, a densidade de lineamento é baixa e tem alta densidade de drenagem.	Muito Alto
Vegetação natural, Espodossolos, Neossolos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Gleissolos, sedimentos inconsolidados e rochas sedimentares, modelados de acumulação e dissecação, em região que 95% da área a declividade varia de 0 a 20%, tem baixa densidade de lineamento e alta densidade de drenagem.	Alto
Vegetação natural, secundária e de reflorestamento, atividade	Moderado

agropecuária, solo sem cobertura vegetal e pouca influência urbana, predomínio de Argissolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Amarelos, Gleissolos e Latossolos Amarelos, rochas sedimentares e metamórfica, modelado de dissecação, declividade variando de 3 a 20%, densidade de lineamento baixa e alta densidade de drenagem.

Atividade agropecuária, solo exposto e forte influência urbana, Argissolos Vermelho-Amarelos e Gleissolos Háplicos, declividade variando de 8 a 20%, em região onde a densidade de lineamento é baixa e densidade de drenagem alta.

Baixo

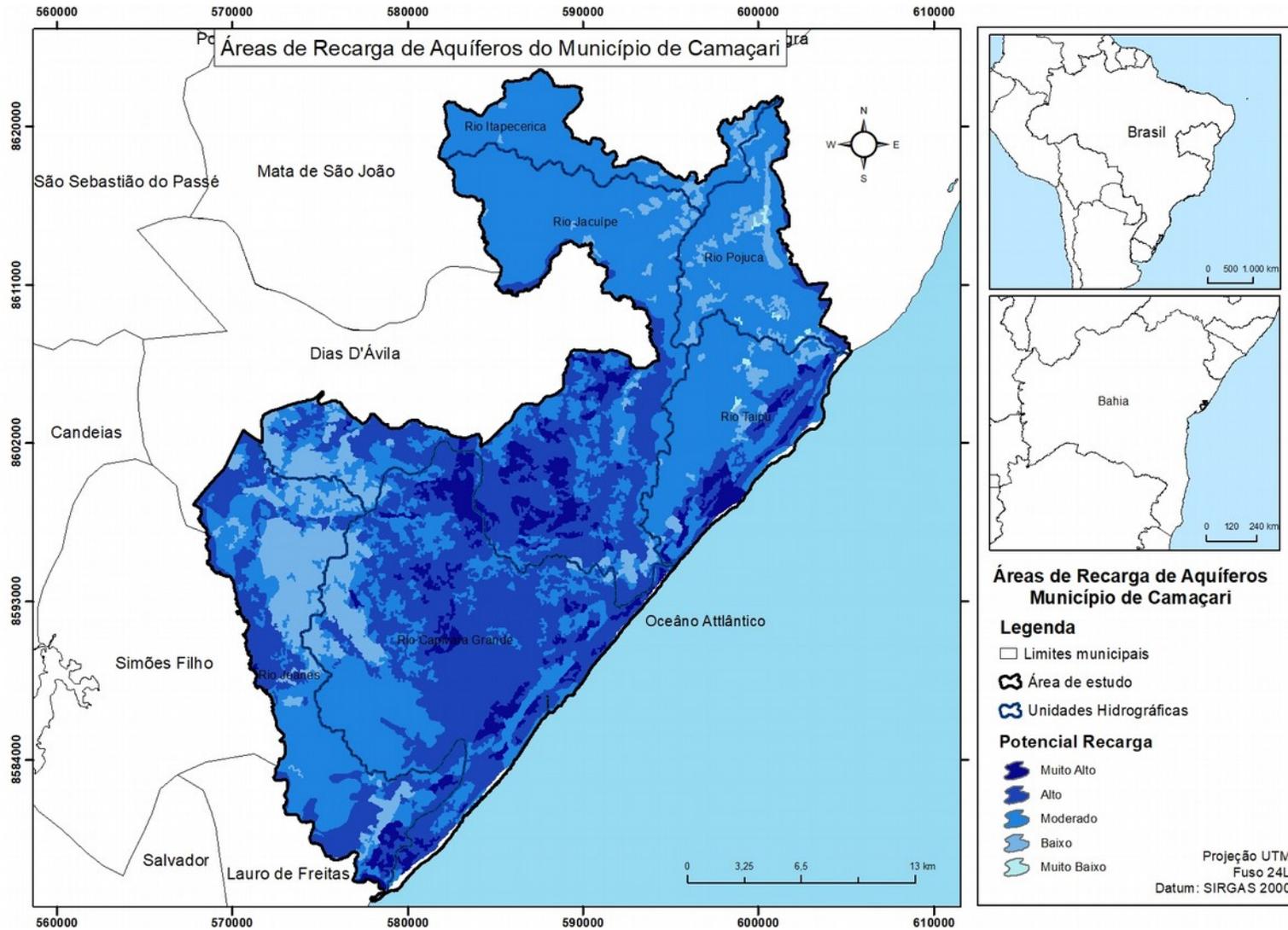
Atividade agropecuária, solo exposto e forte influência urbana, declividade acima de 20%, em região onde a densidade de lineamento é baixa e alta densidade de drenagem.

Muito Baixo

Fonte: Autor (2020).

Na Figura a seguir, mapa síntese com a delimitação destas áreas de potencial recarga de aquíferos.

Figura 16: Mapeamento das áreas de recarga de aquíferos do município de Camaçari, Bahia, Brasil.



Fonte: Autor (2020).

3.4.3 Áreas de Recarga por Unidade Hidrográfica

Este item apresenta o resultado do mapeamento das áreas de recarga de aquíferos mediante a classificação do território por unidade hidrográfica: do Rio Joanes, do Rio Capivara Grande, do Rio Jacuípe, do Rio Itapeçerica, do Rio Pojuca e do Rio Taipu, inseridas nas principais bacias hidrográficas da Região de Planejamento e Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte e Inhambupe (RPGA XI). Na sequência, da análise de forma integrada dos elementos que compõe a paisagem, partindo da divisão da área de estudo em unidades hidrográficas (UH), foi possível observar aspectos gerais visando subsidiar a definição de diretrizes para o planejamento territorial do município de Camaçari.

3.4.3.1 Unidade Hidrográfica do Rio Joanes

A Unidade Hidrográfica (UH) do rio Joanes está inserida na bacia hidrográfica do rio Joanes, que deságua no Oceano Atlântico e limita-se com as unidades hidrográficas do rio Capivara Grande e do rio Jacuípe. No mapeamento das áreas de potencial recarga de aquíferos apresentou as seguintes características: baixo 26,44%; moderado 38,68%; alto 31,94%; muito alto 2,94%, Figura 17.

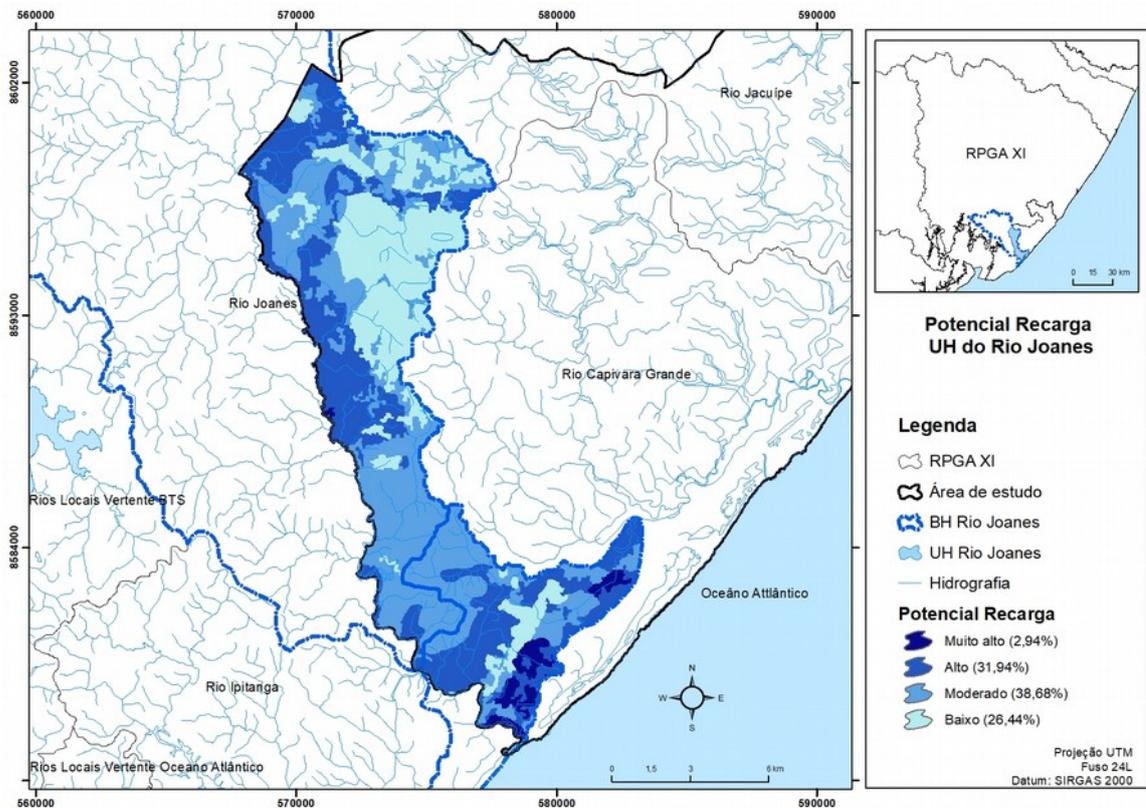


Figura 17: Distribuição (%) do potencial recarga de aquíferos na UH do rio Joanes, Bacia Hidrográfica do rio Joanes, RPGA XI, Bahia.

Fonte: Autor (2020).

Dos resultados do mapeamento, destaca-se na UH do rio Joanes que 34,88% da área tem potencial recarga alto, devido à favorabilidade de ocorrência de águas subterrâneas dos aspectos geológicos e tipo de solo. Sendo, 65,12% da área considerada antropizada, pois concentra área urbana ao centro e no sul, indústrias ao norte, atividades agrícolas e zonas rurais, com trechos de vegetação preservada mais a centro-oeste. O curso principal do rio Joanes e boa parte dos afluentes são perenes, apresentando índice de moderada densidade de drenagem.

3.4.3.2 Unidade Hidrográfica do Rio Capivara Grande

A Unidade Hidrográfica (UH) do rio Capivara Grande compreende a sub-bacia hidrográfica do rio Capivara Grande, que deságua no rio Jacuípe e limita-se com as unidades hidrográficas do rio Joanes e do rio Jacuípe. No mapeamento potencial recarga apresentou as seguintes características: baixo 6,25%; moderado 31,34%; alto 53,48%; muito alto 8,93%, Figura 18.

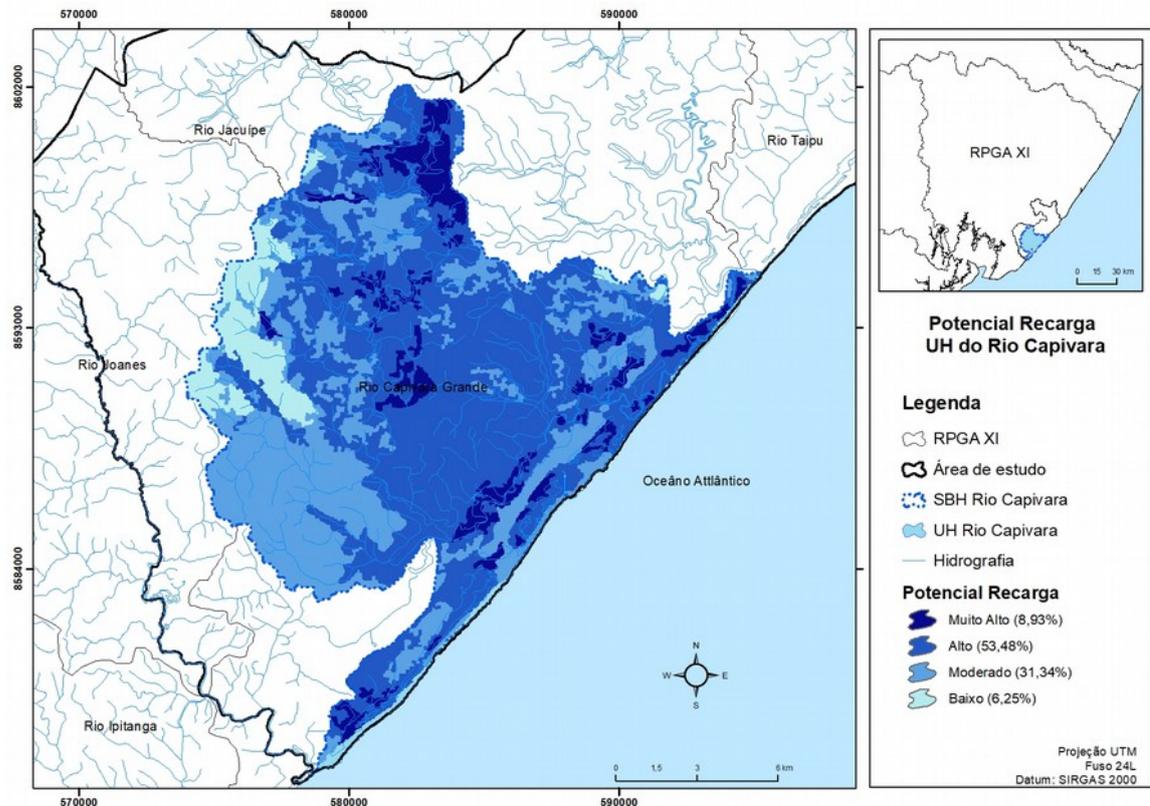


Figura 18: Distribuição (%) do potencial recarga de aquíferos na UH do rio Capivara Grande, Sub-Bacia Hidrográfica do rio Capivara Grande, RPGA XI, Bahia.

Fonte: Autor (2020).

Na UH, 62,41% da área tem potencial recarga alto, apresentando importantes trechos de áreas de recarga de aquíferos, devido a presença de vegetação e às características geológicas e pedológicas. Porém, 37,58% variando de baixo a moderado, devido ao fator antrópico, concentrando área urbana na faixa litorânea, atividades agrícolas e zonas rurais, apresentando extensão de terra passível de expansão urbana e industrial e áreas com potencial para desenvolvimento turístico. A unidade hidrográfica apresenta índice de alta densidade de drenagem, malha hídrica bastante densa com importantes trechos de drenagem.

3.4.3.3 Unidade Hidrográfica do Rio Jacuípe

A Unidade Hidrográfica (UH) do rio Jacuípe está inserida na bacia hidrográfica do rio Jacuípe, que deságua no Oceano Atlântico e limita-se com as unidades hidrográficas do rio Joanes, do rio Capivara Grande, do rio Taipu do rio Pojuca e do rio Itapecerica. No mapeamento potencial recarga apresentou as seguintes características: baixo 8,72%; moderado 50,20%; alto 34,66%; muito alto 6,43%, Figura 19.

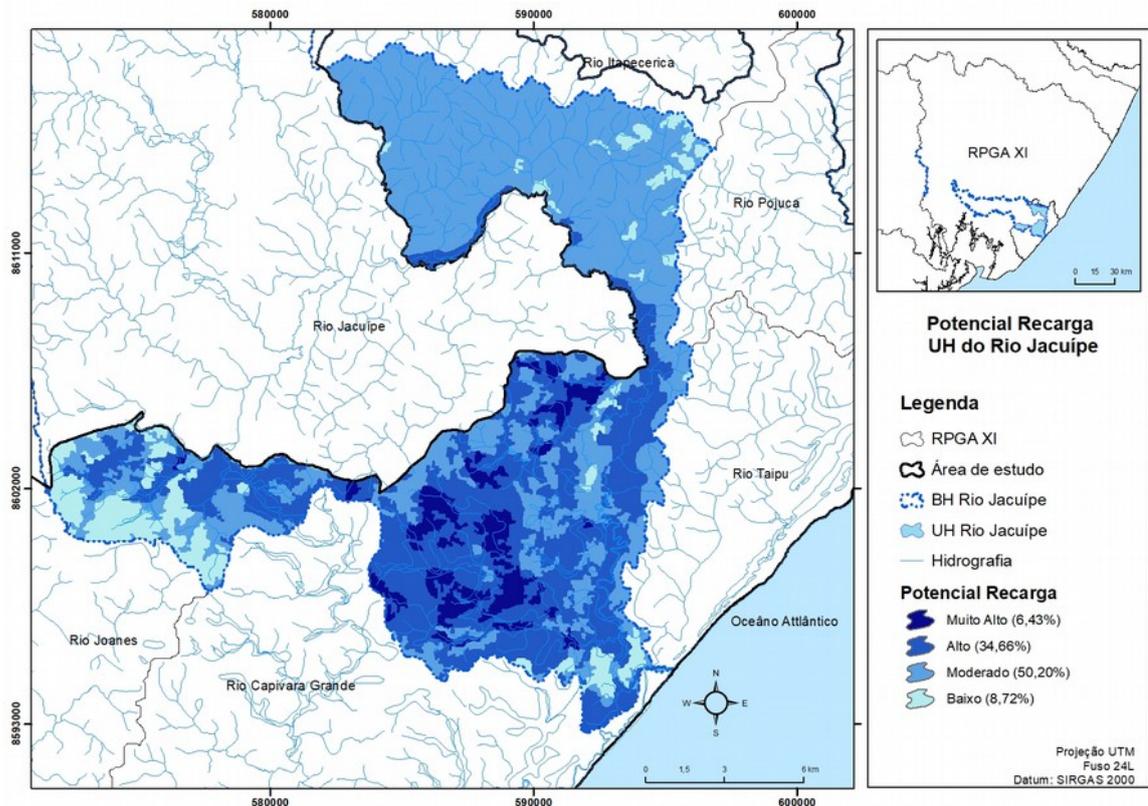


Figura 19: Distribuição (%) do potencial recarga de aquíferos na UH do rio Jacuípe, Bacia Hidrográfica do rio Jacuípe, RPGA XI, Bahia.

Fonte: Autor (2020).

Apresentou potencial recarga de aquífero alto em 41,09% da área, devido à existência de vegetação bastante preservada e às características litológicas. Porém, 58,92% variando de baixo a moderado, devido às atividades antrópicas, concentra área industrial, atividades agrícolas e zonas rurais, apresentando uma extensa faixa de terra passível de expansão industrial. A malha hídrica desta unidade hidrográfica é densa com importantes trechos de drenagem, com densidade de drenagem moderada.

3.4.3.4 Unidade Hidrográfica do Rio Itapecerica

A Unidade Hidrográfica (UH) do rio Itapecerica está inserida na sub-bacia hidrográfica do rio Itapecerica, que deságua no rio Pojuca e limita-se com as unidades hidrográficas do rio Jacuípe e do rio Pojuca. No mapeamento potencial recarga apresentou as seguintes características: baixo 8,17%; moderado 91,83%, Figura 20.

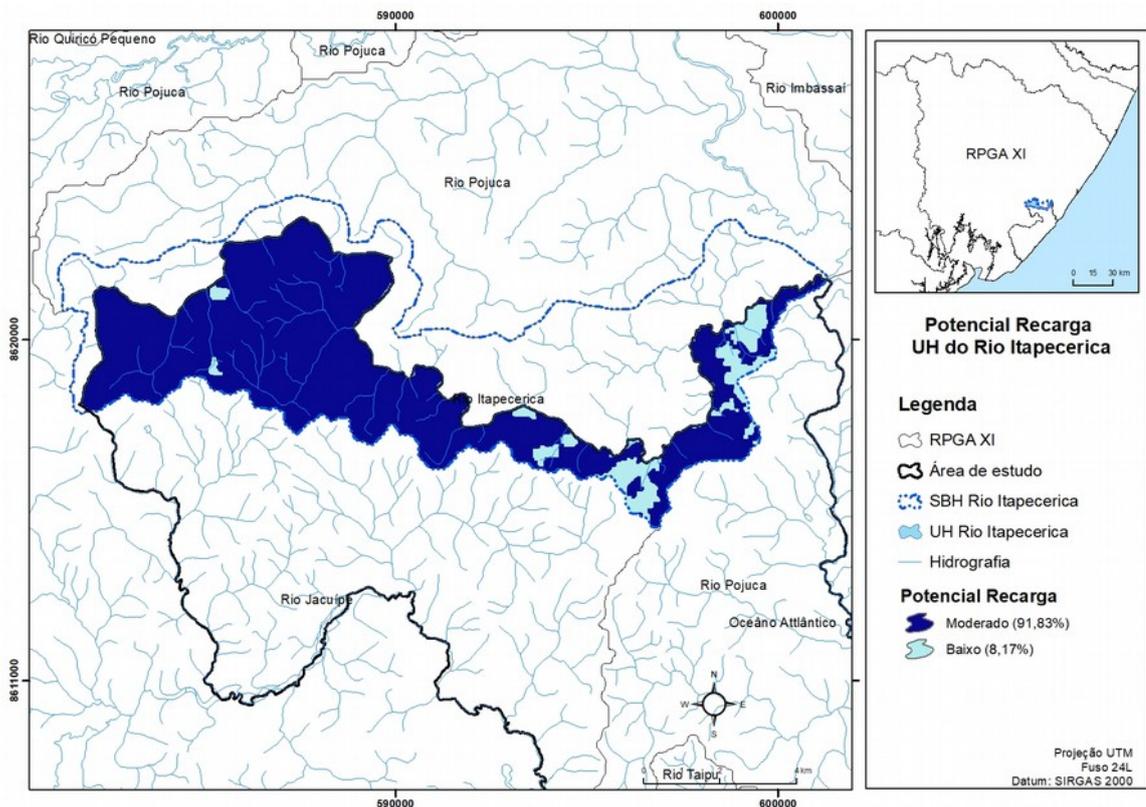


Figura 20: Distribuição (%) do potencial recarga de aquíferos na UH do rio Itapecerica, Sub-Bacia Hidrográfica do rio Itapecerica, RPGA XI, Bahia.

Fonte: Autor (2020).

Destaca-se que, devido à intensa atividade agropecuária e características pedológicas, apresenta potencial recarga moderado. Área da UH do rio Itapecerica concentra atividades agrícolas e zonas rurais, com presença de vegetação preservada e potenciais de

disponibilidade hídrica, os rios têm regime de escoamento perene, inclusive os rios afluentes. A unidade hidrográfica apresenta índice de moderada densidade de drenagem.

3.4.3.5 Unidade Hidrográfica do Rio Pojuca

A Unidade Hidrográfica (UH) do rio Pojuca está inserida na bacia hidrográfica do rio Pojuca, que deságua no Oceano Atlântico e limita-se com as unidades hidrográficas do rio Jacuípe, do rio Itapeçerica e do rio Taipu. No mapeamento potencial recarga apresentou as seguintes características: muito baixo 1,42%; baixo 15,80%; moderado 78,41%; alto 4,37%, Figura 21.

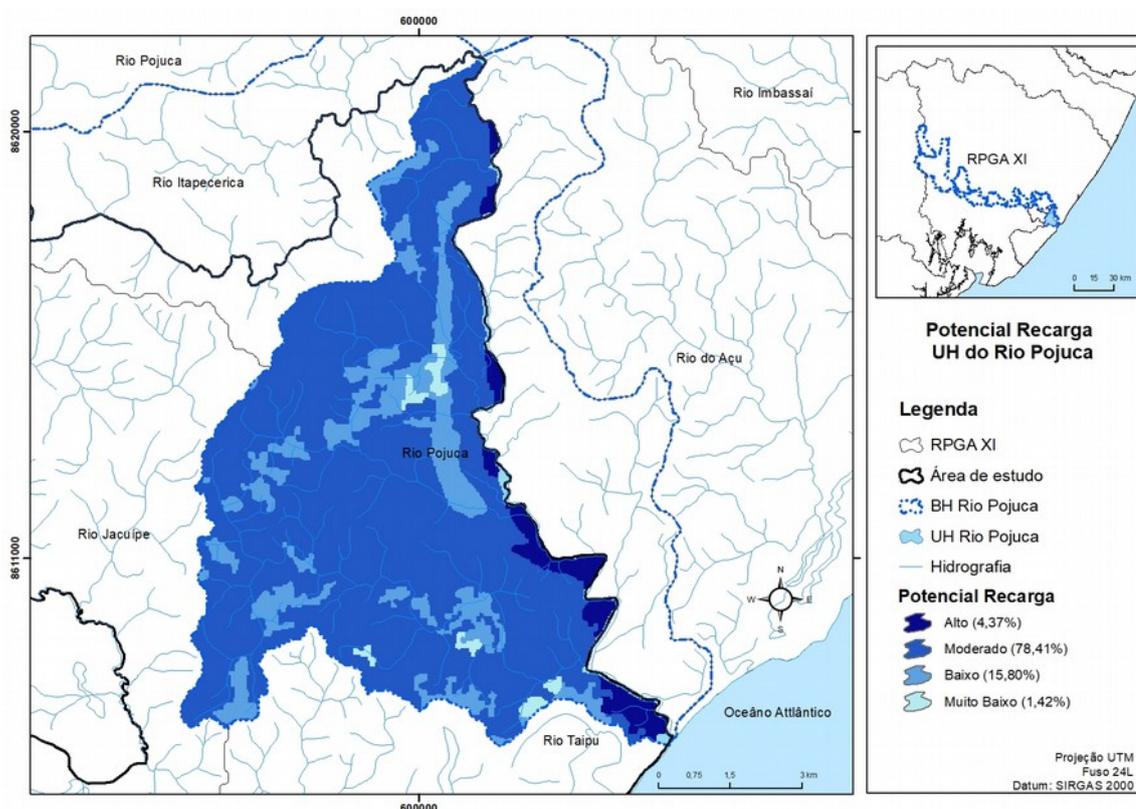


Figura 21: Distribuição (%) do potencial recarga de aquíferos na UH do rio Pojuca, Bacia Hidrográfica do rio Pojuca, RPGA XI, Bahia.

Fonte: Autor (2020).

Pelo seu potencial de disponibilidade hídrica, os rios têm regime de escoamento perene, inclusive os rios afluentes, apresentando índice de moderada densidade de drenagem. Apresenta potencial recarga variando de muito baixo a moderado em 95,62% da área, devido às características geológicas e pedológicas. Área da UH concentra atividades agrícolas e zonas rurais, com vegetação bastante preservada, e área passível de expansão urbana.

3.4.3.6 Unidade Hidrográfica do Rio Taipu

A Unidade Hidrográfica (UH) do rio Taipu compreende a sub-bacia hidrográfica do rio Taipu, que deságua no rio Pojuca e limita-se com as unidades hidrográficas do rio Jacuípe e do rio Pojuca. No mapeamento potencial recarga apresentou as seguintes características: muito baixo 0,47%; baixo 6,72%; moderado 66,48%; alto 17,73%; muito alto 9,07%, Figura 22.

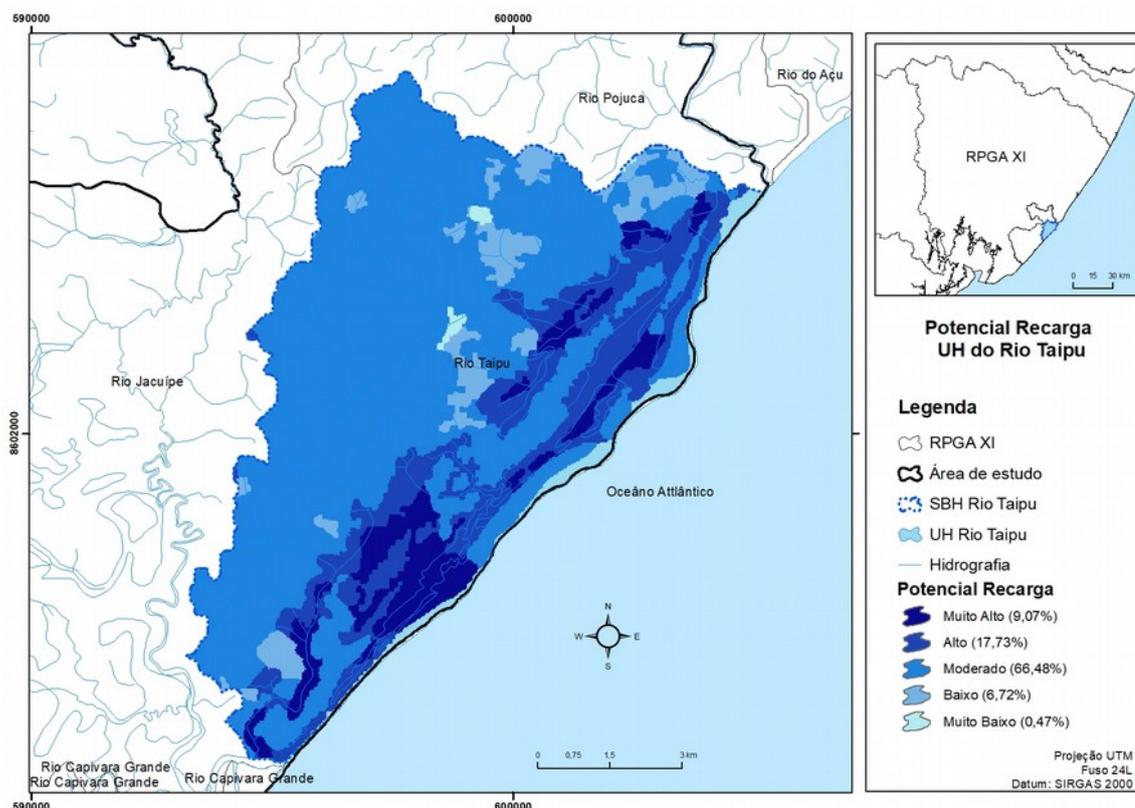


Figura 22: Distribuição (%) do potencial recarga de aquíferos na UH do rio Taipu, Sub-Bacia Hidrográfica do rio Taipu, RPGA XI, Bahia.

Fonte: Autor (2020).

Neste sentido, tem potencial recarga alto em 26,80% da área, apresentando atividades antrópicas em 73,67%. Área da UH do rio Taipu está antropizada com presença de vegetação preservada, concentra área urbana na faixa litorânea, atividades agrícolas e zonas rurais, com potencial para desenvolvimento turístico. A malha hídrica desta região é densa com importantes trechos de drenagem, apresentando índice de moderada densidade de drenagem.

Tabela 20: Área (km²) ocupada por cada unidade hidrográfica no mapeamento de áreas de potencial recarga de aquíferos do município de Camaçari.

Potencial Recarga	UH Joanes	UH Capivara	UH Jacuípe	UH Itapecerica	UH Pojuca	UH Taipú	Total
Muito alto	3,87	20,05	14,67	-	-	7,41	46,01
Alto	42,09	120,14	79,09	-	2,83	14,50	258,66
Moderado	50,98	70,41	114,54	40,54	50,77	54,36	381,60
Baixo	34,84	14,04	19,90	3,61	10,23	5,49	88,10
Muito Baixo	-	-	-	-	0,92	0,39	1,30
Total	131,79	224,65	228,20	44,15	64,75	81,76	

Fonte: Autor (2020).

3.4.4 Áreas de Recarga e Zoneamentos Existentes

No município de Camaçari encontram-se em vigor no território dois zoneamentos: o zoneamento municipal e o zoneamento estadual.

Quanto ao zoneamento municipal na região de estudo, são estabelecidos parâmetros de uso e ocupação do solo, como também áreas de restrição ambiental, que divide o município em macrozoneamento (áreas urbanas e rurais) e zoneamentos representados por nove zonas: zona central (ZCEN), zona de ocupação consolidada (ZOCON), zona de expansão prioritária (ZEP), zona de expansão de comércio e serviços (ZECS), zona de transformação, comércio e serviços (ZTCS), zona de expansão controlada (ZEC), zona de interesse turístico (ZIT), zona de importância ambiental e paisagística (ZIAP), zona de proteção e interesse paisagístico (ZPIP). Estas duas últimas são específicas para proibição de ocupação do solo, sendo consideradas áreas de preservação, onde compreende as áreas de alta fragilidade dos ecossistemas, com potencial paisagístico e ambiental a ser preservado ou recomposto do ponto de vista da fauna e da flora.

Em termos de zoneamento estadual existe o zoneamento ecológico-econômico, com três áreas de proteção ambiental (APA) instituídas na região de estudo: a APA Joanes/Ipitanga, a APA Rio Capivara e a APA Lagoas de Guarajuba, que abrange os 42 km de faixa costeira existente no território. São da categoria de unidades de uso sustentável, conforme estabelecido na legislação federal e estadual, onde a exploração do ambiente deve ser de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a

biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável.

No Zoneamento Ecológico-Econômico da APA do Rio Joanes-Ipitanga o território litorâneo é dividido em seis zonas: zona de uso diversificado (ZUD), zona de ocupação controlada (ZOC), núcleo urbano consolidado (NUC), zona de uso específico (ZUE), sendo a zona de vida silvestre (ZVS) e zona de proteção rigorosa (ZVR), áreas onde não são permitidas a ocupação do solo. Na APA do Rio Capivara, o Zoneamento Ecológico-Econômico divide o território litorâneo em oito zonas: zona de ocupação rarefeita (ZOR), zona turística residencial (ZTR), zona de ocupação controlada (ZOC), zona de urbanização controlada (ZUC), zona de expansão (ZEP), sendo a zona de vida silvestre (ZVS), zona de manejo espacial (ZME) e zona de proteção visual (ZPV), áreas que não se permitem parcelamentos do solo. O zoneamento da APA Lagoas de Guarajuba divide o território litorâneo em quatro zonas: Zonas A, B, C e D, sendo a Zona B considerada área de preservação permanente (APP) e a Zona D a faixa a partir da preamar máxima de sessenta metros que deve ser protegida.

O zoneamento municipal de uso e ocupação do solo compreende cerca de 30% do território municipal, sendo as áreas protegidas ou com restrição de uso com cerca de 4,7%. O zoneamento estadual representa 17,8% da área do município, sendo as áreas protegidas com 6,3%. Estas áreas dos zoneamentos encontram-se ainda sobrepostas em alguns trechos, desta forma, na totalidade das áreas protegidas, após extraídas estas sobreposições, abrangem apenas 7,4% do território municipal.

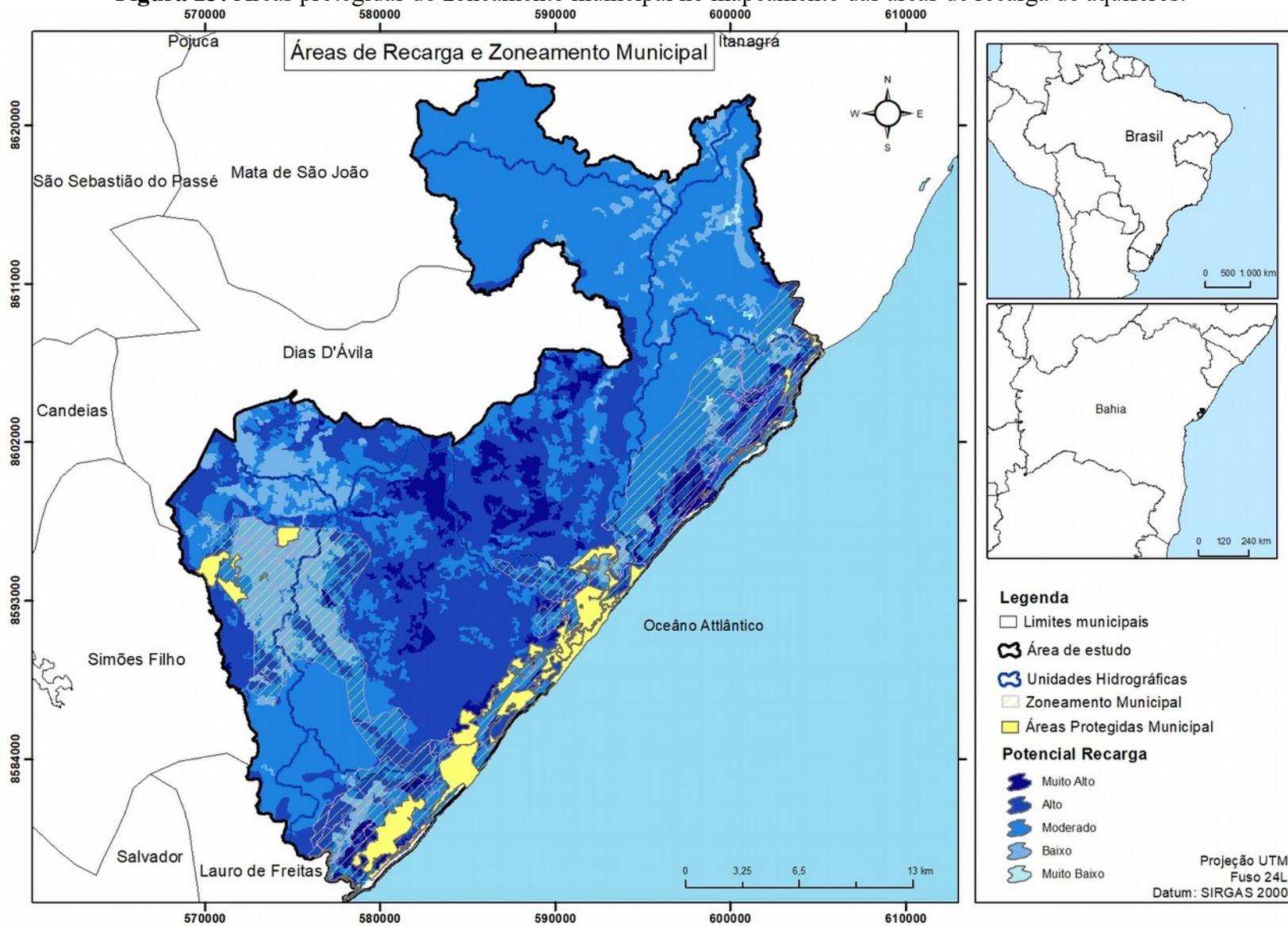
No mapeamento das áreas de recargas de aquíferos foi quantificado cerca de 40% com altos índices de recarga ou com potencialidades hídricas. Nestas áreas, por exemplo, são identificadas regiões com potencial para expansão urbana e industrial, localizadas a nordeste-sul e centro-oeste da poligonal estudada, com índices de potencial recarga de aquíferos variando de moderado a muito alto. Estas merecem uma atenção especial considerando que tratam-se de áreas para implantação de grandes empreendimentos imobiliários e industriais.

A partir da sobreposição entre os zoneamentos existentes e o mapeamento das áreas de recarga, é possível observar que em cada unidade hidrográfica existem áreas de fragilidades ambientais não abrangidas pelos zoneamentos, tanto o zoneamento municipal como o zoneamento estadual. São áreas que necessitam de restrições quanto aos usos e ocupação do solo por integrar, no conjunto dos aspectos do meio físico, ecossistemas de alta fragilidade, com potencial paisagístico e ambiental a ser preservado.

Neste sentido, faz-se necessária a proposição de medidas e ações destinadas à proteção destas áreas de potencialidades hídricas como complemento aos zoneamentos existentes, com o objetivo de harmonizar o desenvolvimento socioeconômico local com a proteção dos recursos hídricos e ambiental.

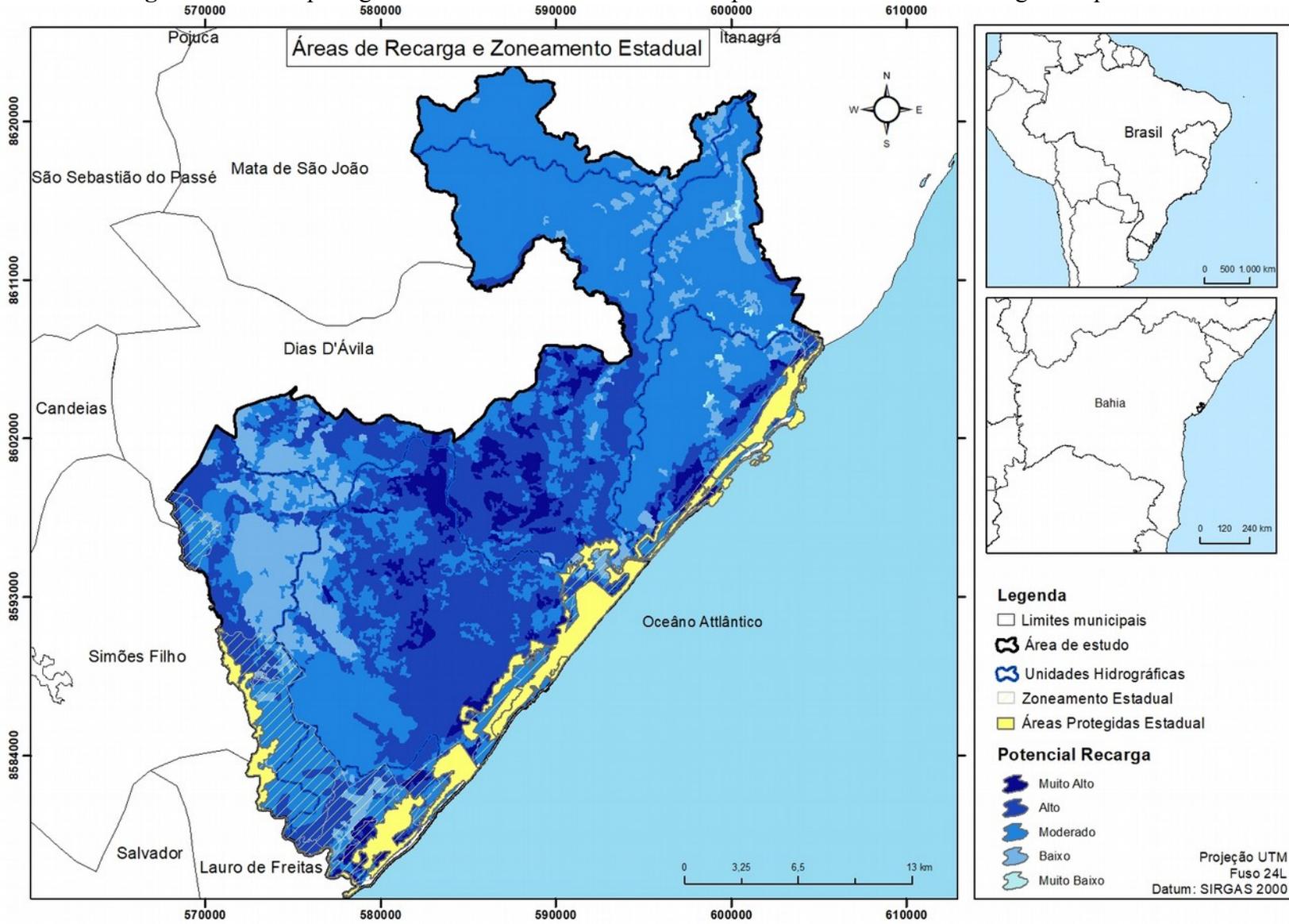
As Figuras 23 e 24 a seguir apresentam a sobreposição das áreas protegidas dos zoneamentos existentes no mapeamento das áreas de recarga de aquíferos realizado nesta pesquisa, com o objetivo de apontar as regiões que ainda necessitam de medidas e padrões de restrição quanto aos usos da terra.

Figura 23: Áreas protegidas do zoneamento municipal no mapeamento das áreas de recarga de aquíferos.



Fonte: Autor (2020).

Figura 24: Áreas protegidas do zoneamento estadual no mapeamento das áreas de recarga de aquíferos.



Fonte: Autor (2020).

3.4.5 Cenários e Proposições para o Zoneamento Ambiental

A etapa implementação descrita nos procedimentos metodológicos da pesquisa, consiste na elaboração de cenários para cada unidade hidrográfica. Trata-se de uma etapa difícil, porém estimulante para o planejamento de um zoneamento ambiental, pois propicia a oportunidade de visualizar o futuro em vários cenários, considerando a ocorrência ou não de determinados fatores, vislumbrando maneiras de intervenção para melhoria do estado ambiental da área.

Os cenários foram baseados, principalmente, na situação de uso do solo e nas áreas de potencial recarga de aquíferos mapeadas na região de Camaçari. De acordo com Soares (2015), os cenários de evolução do uso da terra subsidiam a elaboração de propostas para o zoneamento ambiental e a gestão de recursos hídricos de uma região e nas suas unidades da paisagem. E os problemas ambientais detectados na área que revelam a ausência de ordenamento territorial e de práticas de proteção ambiental.

Nesse sentido, foram estabelecidos três cenários, sendo eles:

1. A unidade hidrográfica que temos: refere-se ao Cenário Atual, estabelecido de acordo com os aspectos do meio físico e antrópico da área;
2. A unidade hidrográfica que teremos: consiste no Cenário Tendencial, baseando-se em como será a situação da área se não forem realizadas as propostas de mudança para o cenário atual; e,
3. A unidade hidrográfica que queremos: este é o Cenário Ideal para a área, no qual é elaborado a partir da ideia de implementação das propostas e ações para a unidade hidrográfica.

O Quadro a seguir apresenta os cenários elaborados para cada unidade hidrográfica existentes no território: do rio Joanes, do rio Capivara Grande, do rio Jacuípe, do rio Itapeçerica, do rio Pojuca e do rio Taipu, da Região de Planejamento e Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte e Inhambupe (RPGA XI).

Quadro 4: Cenários ambientais para cada unidade hidrográfica do município de Camaçari.

Unidade da Paisagem	Unidade Hidrográfica que temos	Unidade Hidrográfica que teremos	Unidade Hidrográfica que queremos	
Unidade	Descrição	Cenário Atual	Cenário Tendencial	Cenário Ideal
UH (I) Rio Joanes	Ocorrência de rocha sedimentar e sedimentos inconsolidados, em relevo de planície, topo tabular e convexo, com declividades variando de 0 a 45%, predomínio de Espodosolos, densidade de drenagem moderada, e potencial recarga alto em 34,88% da área.	Intensa urbanização, áreas industriais, áreas agrícolas e de pastagens, com trechos de vegetação ainda preservada, porém 65,12% da área é considerada antropizada.	Intensificação dos diferentes tipos de usos do solo, ocasionando aumento de áreas impermeabilizadas, perda de solo, vegetação natural e trechos de drenagem natural e, conseqüentemente, a redução de áreas com potencial recarga de aquíferos.	Controle dos diferentes usos de maneira ordenada e em consonância com a capacidade de suporte do meio natural, estabelecendo como medida necessária: para as áreas com muito alto potencial recarga, a proteção integral das áreas e recomposição da vegetação nos trechos já alterados; para as áreas com alto a moderado potencial recarga, o manejo adequado das atividades agropecuárias para evitar a perda de solo e recuperação das áreas degradadas.
UH (II) Rio Capivara	Ocorrência de rocha sedimentar e sedimentos inconsolidados na maior parte, em relevo de planícies, dunas, plano abaciado, topo tabular e convexo, com declividades variando de 0 a 45%, predominância de Espodosolos, Neossolos, Argissolos Vermelho-Amarelos, densidade de drenagem alta, e potencial	Potenciais para desenvolvimento turístico, áreas de expansão urbana e industrial, solos sem cobertura vegetal, poucas áreas agrícolas e de pastagens, com ainda extensa área de vegetação preservada, sendo 37,58% do potencial recarga variando de baixo a moderado.	Aumento dos diferentes tipos de usos do solo, ocasionando em áreas impermeabilizadas, perda de solo, vegetação natural e trechos de drenagem natural e, conseqüentemente, a redução de áreas com potencial recarga de aquíferos.	Controle dos diferentes usos de maneira ordenada e em consonância com a capacidade de suporte do meio natural, estabelecendo como medida necessária: para as áreas com muito alto potencial recarga, a proteção integral das áreas e recomposição da vegetação nos trechos já alterados; para as áreas de alto a moderado potencial recarga, estabelecimento de medidas de uso sustentável visando a proteção dos recursos hídricos dos

	recarga alto em 62,41% da área.			ambientes naturais: savana parque e savana arborizada.
UH (III) Rio Jacuípe	Ocorrência de rocha sedimentar na maior parte e sedimentos inconsolidados, em relevo de planícies, plano abaciado, topo tabular, convexo e aguçado, com declividades variando de 0 a 45%, predominância de Espodosolos, Argissolos Vermelho-Amarelos, Gleissolos, densidade de drenagem moderada, e potencial recarga alto em 41,09% da área.	Desenvolvimento turístico, faixa de terra de expansão industrial, solos sem cobertura vegetal, áreas agrícolas e de pastagens, com ainda extensa área de vegetação preservada sendo 58,92% do potencial recarga variando de baixo a moderado.	Aumento dos diferentes tipos de usos do solo, ocasionando em áreas impermeabilizadas, perda de solo, vegetação natural e trechos de drenagem natural e, conseqüentemente, a redução de áreas com potencial recarga de aquíferos.	Uso de maneira ordenada e em consonância com a capacidade de suporte do meio natural, estabelecendo como medida necessária: para as áreas com muito alto potencial recarga, a proteção integral das áreas e recomposição da vegetação nos trechos já alterados; para as áreas com alto a moderado potencial recarga, estabelecimento de medidas de uso sustentável visando a proteção dos recursos hídricos dos ambientes naturais (savana parque) e o manejo adequado das atividades agropecuárias para evitar a perda de solo e recuperação das áreas degradadas.
UH (IV) Rio Itapecerica	Ocorrência de rocha sedimentar, em relevo topo convexo, com declividades variando de 0 a 45%, predominância de Argissolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Amarelos, Gleissolos, densidade de drenagem moderada.	Intensa atividade agropecuária, presença de vegetação ainda preservada, porém 91,83% do potencial recarga é moderado.	Perda de solo, vegetação natural e trechos de drenagem natural e, conseqüentemente, a redução de áreas com potencial recarga de aquíferos.	Uso de maneira ordenada e em consonância com a capacidade de suporte do meio natural, estabelecendo como medida necessária: para as áreas de moderado potencial recarga, o manejo adequado das atividades agropecuárias para evitar a perda de solo e recuperação das áreas degradadas.
UH (V) Rio Pojuca	Ocorrência de rocha metamórfica na maior parte, rocha sedimentar e sedimentos	Áreas de expansão urbana, solos sem cobertura vegetal, áreas agrícolas e de	Aumento de áreas impermeabilizadas, perda de solo, vegetação natural	Uso de maneira ordenada e em consonância com a capacidade de suporte do meio natural, estabelecendo

	<p>inconsolidados, em relevo de planícies e topo convexo, com declividades variando de 0 a 45%, predominância de Argissolos Vermelho-Amarelos e Gleissolos, densidade de drenagem moderada, e potencial recarga alto em 4,37% da área.</p>	<p>pastagens, com área de vegetação ainda preservada sendo 95,62% do potencial recarga variando de baixo a moderado.</p>	<p>e trechos de drenagem natural e, conseqüentemente, a redução de áreas com potencial recarga de aquíferos.</p>	<p>como medida necessária: para as áreas com alto potencial recarga, a proteção integral das áreas e recomposição da vegetação nos trechos já alterados; para as áreas de moderado potencial recarga, o manejo adequado das atividades agropecuárias para evitar a perda de solo e recuperação das áreas degradadas.</p>
<p>UH (VI) Rio Taipú</p>	<p>Ocorrência de rocha metamórfica, rocha sedimentar e sedimentos inconsolidados na maior parte, em relevo de planícies e topo convexo, com declividades variando de 0 a 45%, predominância de Neossolos e Argissolos Vermelho-Amarelos, densidade de drenagem moderada, e potencial recarga alto em 26,80% da área.</p>	<p>Potenciais para desenvolvimento turístico, áreas de expansão urbana, solos sem cobertura vegetal, áreas agrícolas e de pastagens, com vegetação ainda preservada, sendo 37,58% do potencial recarga variando de baixo a moderado.</p>	<p>Aumento de áreas impermeabilizadas, perda de solo, vegetação natural e trechos de drenagem natural e, conseqüentemente, a redução de áreas com potencial recarga de aquíferos.</p>	<p>Controle dos diferentes tipos de uso de maneira ordenada e em consonância com a capacidade de suporte do meio natural, estabelecendo como medida necessária: para as áreas com muito alto a alto potencial recarga, a proteção integral das áreas e recomposição da vegetação nos trechos já alterados; para as áreas de moderado potencial recarga, o manejo adequado das atividades agropecuárias para evitar a perda de solo e recuperação das áreas degradadas.</p>

Fonte: Autor (2020).

De acordo com os critérios mencionados foram instituídos três cenários para as unidades hidrográficas inseridas no município de Camaçari, como mostrados no Quadro 4. Por apresentarem características em comum, é importante destacar que alguns cenários se repetem entre as unidades da paisagem.

O Cenário Atual de cada unidade hidrográfica demonstra sua realidade, como expansão urbana, industrial, turismo, atividades agropecuárias, que podem apresentar vários problemas ambientais referentes a remoção da vegetação natural, compactação e perda do solo, aumento de áreas impermeabilizadas, deterioração de trechos de drenagem, ocasionando, conseqüentemente, em redução das áreas de recarga de aquíferos. A tendência é que os problemas ambientais da unidade hidrográfica piorem se não forem tomadas providências para a melhoria da qualidade ambiental e dos recursos hídricos, como demonstrado no Cenário Tendencial.

No Cenário Ideal as áreas com muito alto potencial recarga de aquíferos seriam mantidas a título de proteção integral, e as áreas com alto a moderado potencial recarga seriam utilizadas de forma sustentável e/ou manejos adequados, de acordo com a capacidade de suporte do meio, sendo a vegetação recomposta ou recuperada nas áreas alteradas e degradadas.

Por definição, as unidades destinadas a proteção integral têm como objetivo principal preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos em lei, tais como em projetos educacionais e de pesquisa, com a autorização prévia dos gestores das unidades. O uso sustentável é a exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável. O manejo adequado se refere a todo e qualquer procedimento que vise assegurar a conservação da diversidade biológica e dos ecossistemas locais (BRASIL, 2000).

Desta forma, são elaborados cenários ambientais para a proposição de um zoneamento ambiental das áreas de potencialidades hídricas, conforme descrição da paisagem do mapeamento das áreas de recarga de aquíferos, assim classificadas: muito alto, alto, moderado, baixo e muito baixo.

As áreas classificadas de muito alto potencial recarga de aquíferos são regiões onde os aspectos do meio físico, predominantemente, conferem favorabilidade a ocorrência de águas subterrânea, sendo assim as proposições no zoneamento ambiental incluem a proteção

integral dos aspectos ambientais naturais para proteção dos recursos hídricos e dos ecossistemas que eles integram.

As áreas identificadas de altas potencialidades hídricas são regiões onde existem vegetação natural dominante, pouca intervenção antrópica e fatores do meio físico que contribuem para a recarga de aquíferos. Neste sentido, foram indicadas proposições com a finalidade de controle dos diferentes tipos de uso do solo de maneira ordenada e em consonância com a capacidade de suporte do meio natural, mediante medidas de uso sustentável.

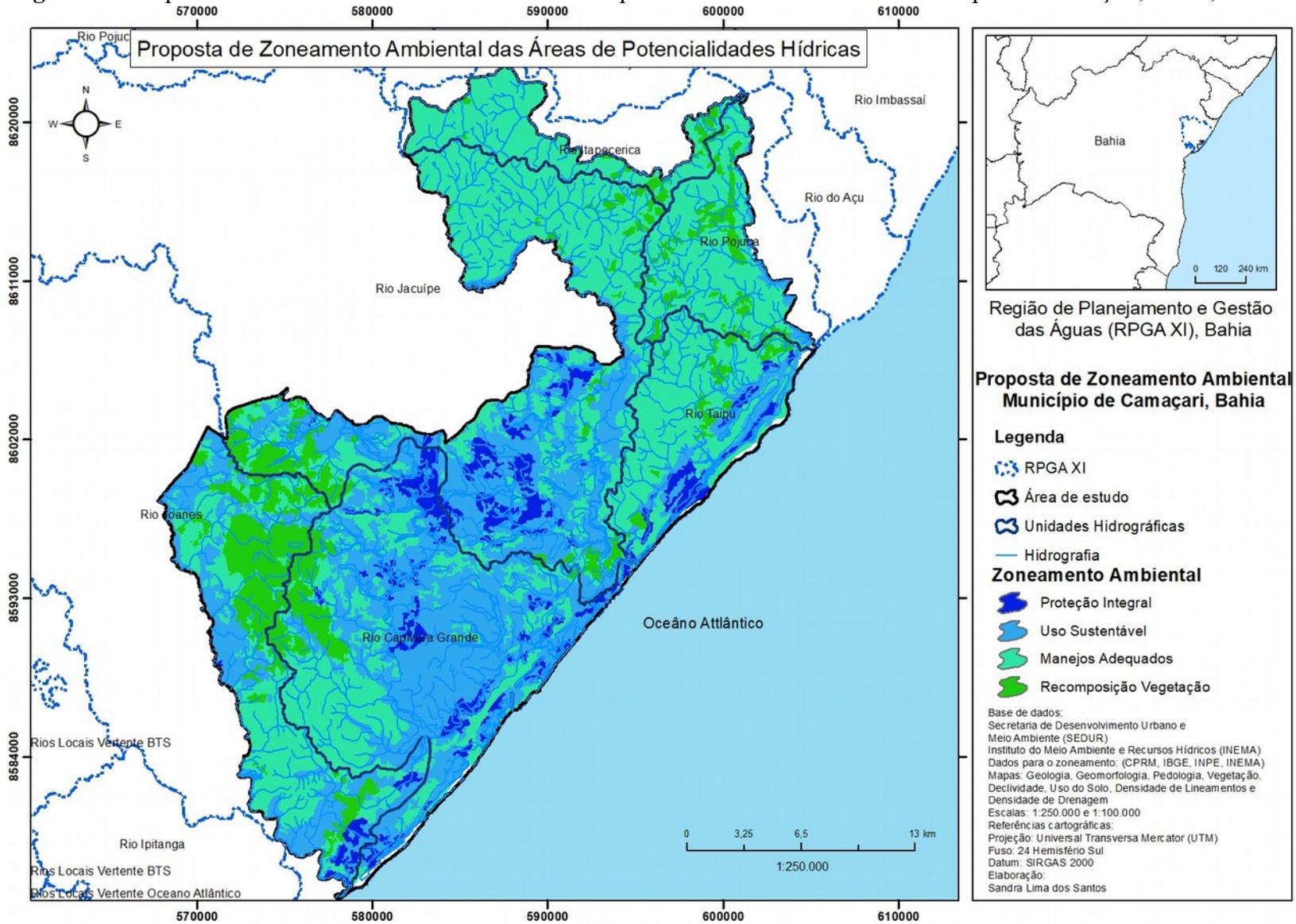
As áreas identificadas de moderadas potencialidades hídricas são regiões onde existem ou já ocorreu alguma intervenção antrópica como atividades agropecuárias, de reflorestamento ou vegetação secundária intercalada com vegetação natural, encontrando fatores do meio físico que contribuem para a recarga de aquíferos. Neste sentido, foram indicadas proposições com a finalidade de controlar o uso da terra, mediante medidas de manejos adequados.

As classificadas de baixo potencial a muito baixo são áreas que tem forte intervenção antrópica, neste sentido, as proposições se referem a recomposição da vegetação em áreas protegidas no espaço urbano.

Desta forma, as proposições representam as propostas e ações para alterar o Cenário Atual das unidades hidrográficas para garantir que a área alcance seu Cenário Ideal, considerando toda a área do município de Camaçari e suas unidades da paisagem como um todo.

Assim sendo, a Figura 25 a seguir apresenta a proposta para o Zoneamento Ambiental das Áreas de Potencialidades Hídricas do município de Camaçari, definida no mapeamento das áreas de recarga de aquíferos.

Figura 25: Proposta de zoneamento ambiental das áreas de potencialidades hídricas do município de Camaçari, Bahia, Brasil.



Fonte: Autor (2020).

3.4.6 Zoneamento Ambiental Local e o Plano de Bacias Hidrográficas

O zoneamento ambiental em escala local definido nas áreas de potencialidades hídricas ou zonas de recarga de aquíferos, proposto neste estudo, tem como finalidade orientar o processo de uso e ocupação do território de Camaçari, para restringir a expansão urbana em áreas impróprias decorrentes de fragilidades ambientais e harmonizar o desenvolvimento socioeconômico local com a proteção dos recursos hídricos. Neste aspecto, o zoneamento ambiental pode ser considerado um instrumento adequado para o ordenamento territorial do planejamento de cidades, visando o desenvolvimento urbano em bases sustentáveis, devendo ser inserido nos Planos Diretores Municipais.

As abordagens utilizadas na pesquisa possibilitaram não somente a identificação e delimitação de áreas de ocorrência de águas subterrâneas como também a indicação, de forma categórica, de áreas passíveis de restrição de uso visando a proteção dos recursos hídricos e dos ambientes que eles estão integrados. Neste sentido, o zoneamento definido nas áreas de recarga de aquíferos pode ser considerado também um instrumento da gestão urbana que pode complementar os Planos de Recursos Hídricos. Complementar, pois atende um dos objetivos básicos e primordial da elaboração dos Planos de Recursos Hídricos: a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos.

Os Planos de Recursos Hídricos, neste sentido, constituem-se em mecanismos adequados que possibilitam a articulação de outras ferramentas de planejamento e regulação visando a proteção das águas, que pode resultar em aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis em um território. Desta forma, a proposta de zoneamento ambiental definido nas áreas de potencialidades hídricas está em consonância com a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) referente ao conteúdo básico para elaboração de um Plano de Recursos Hídricos. Neste sentido, as proposições de ações para o zoneamento ambiental do município de Camaçari representam as propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, visando a proteção dos recursos hídricos.

No mapeamento das áreas de recarga de aquífero ou zonas de potencialidades hídricas, foi verificado que 39,31% do município de Camaçari apresentam índices de potencialidades muito alto a alto, devido principalmente, as diversas características da região que propiciam a infiltração de água no solo e, conseqüentemente, a recarga de importantes aquíferos que ocorrem em grandes extensões do território. Neste sentido, nestas regiões as propostas de ações para o zoneamento ambiental apresentadas, denominadas de proteção integral e de uso sustentáveis da terra, são visando a manutenção dos aspectos do meio físico

que favorecem a ocorrência de águas subterrâneas garantindo, respectivamente: a preservação da natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais; a exploração do ambiente de forma sustentável, de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos.

Foi observado também que as áreas identificadas com potencial recarga moderado ocupam cerca de 49,16% do território e encontram-se concentradas em algumas regiões a norte e sudoeste e variadas porções esparsadas na região central e litorânea do município. Tais resultados evidenciaram principalmente a influência de fatores como presença de vegetação natural, classes de solos e geologia extremamente favoráveis a infiltração e recarga dos aquíferos nestas regiões. Porém, existem algumas atividades antrópicas que podem ser controladas mediante proposição no cenário ambiental ideal de medidas de manejos adequados para atividades como agropecuária e de reflorestamento. Neste sentido, as propostas de ações de manejos adequados para essas zonas de moderado potencial recarga são referentes ao incentivo de implementação de procedimentos que visem assegurar a conservação da diversidade biológica e dos ecossistemas locais nos usos da terra.

Nota-se ainda que as áreas identificadas com potencial baixo a muito baixo ocupam juntas cerca de 11,53% do território. Tais resultados evidenciaram principalmente a influência de forte intervenção antrópica nestas regiões. Neste sentido, as proposições de ações no zoneamento ambiental para alcance do cenário ambiental ideal se referem a recomposição da vegetação em áreas protegidas no espaço urbano. Essa medida tem como objetivo a manutenção da regulação hídrica no espaço urbano e de fatores do meio físico que ainda conferem potenciais recarga de aquíferos.

É importante destacar que a hierarquização estabelecida para o mapeamento das áreas de potencialidades hídricas por meio do Processo Analítico Hierárquico (PAH), levando em consideração não somente a avaliação dos fatores (variáveis físico-geográficas) que favorecem a infiltração de água no solo e recarga de aquíferos, bem como, os aspectos do meio físico e antrópico peculiares e característicos da região, possibilitaram o reconhecimento de que avaliação mediante detalhamento local é necessária para o planejamento das águas.

O resultado do mapeamento das áreas de recarga de aquíferos foi ainda apresentado mediante a classificação do território por unidade hidrográfica: do rio Joanes, do rio Capivara Grande, do rio Jacuípe, do rio Itapecerica, do rio Pojuca e do rio Taipu. São unidades hidrográficas integrantes das principais bacias hidrográficas da Região de Planejamento e Gestão das Águas do Recôncavo Norte, RPGA XI, do rio Pojuca e Joanes. Onde, da análise de forma integrada dos elementos que compõe a paisagem, ou seja, da análise integrada dos

fatores do meio físico, foi possível observar aspectos gerais visando a elaboração de cenários ambientais para cada unidade hidrográfica, conforme resultados apresentados acima.

Foi notado, a partir da sobreposição entre os zoneamentos municipal e estadual e o mapeamento das áreas de recarga de aquífero, que em cada unidade hidrográfica existem áreas de potencialidades hídricas não abrangidas pelos zoneamentos existentes. Algumas destas áreas, por exemplo, são identificadas extensas faixas de terras com potencial para expansão urbana e industrial, em termos de interesses ao desenvolvimento econômico. Neste sentido, tornam-se necessária a proposição de medidas e ações como complemento aos zoneamentos existentes, com o objetivo de harmonizar o desenvolvimento socioeconômico local com a proteção dos recursos hídricos e ambiental.

Pode-se observar, que as abordagens utilizadas na pesquisa produziram resultados satisfatórios e bastante consistentes ao mapeamento das áreas de recargas de aquíferos, possibilitando a elaboração de propostas para o zoneamento ambiental da região de Camaçari. As propostas de zoneamento ambiental de proteção integral, uso sustentável, manejos adequados e recomposição da vegetação em áreas protegidas no espaço urbano são indicativos para subsidiar a proposição de medidas e ações de uso e ocupação do solo nas áreas de potencialidades hídricas. Estas proposições visam a preservação dos aspectos ambientais naturais para proteção dos recursos hídricos e dos ecossistemas que integram o município.

Na elaboração de um Plano de Bacias Hidrográficas, as informações detalhadas de uma região podem complementar os temas de diagnóstico e fases subsequentes, como posterior estudos de cenários e estabelecimentos de prognósticos. De maneira geral, na pesquisa é possível observar o levantamento de informações como: a caracterização geral da região, abordando aspectos físicos (relacionadas à água) e antrópicos nos processos que favorecem a infiltração de água no solo e recarga de aquíferos; diagnóstico das condições ambientais, identificando quais os principais problemas ambientais, a forma de ocupação e desenvolvimento da região dentro de cada unidade da bacia hidrográfica; avaliação das legislações e das políticas públicas correlatas (tais como o Zoneamento Ecológico-Econômico e Planos Municipais, dentre outras) no que se refere as áreas de restrição de uso.

As informações detalhadas em âmbito local, bem como, a indicação para criação de áreas sujeitas a restrição de uso a partir de zonas das potencialidades hídricas são importantes elementos que devem ser considerados e complementar o Plano de Recursos Hídricos de bacias hidrográficas. Conforme já mencionado, em nível de bacias, o município está inserido em uma importante região hidrográfica estadual, considerada a região de maior

desenvolvimento econômico do estado da Bahia, Região de Planejamento e Gestão das Águas do Recôncavo Norte, RPGA XI. A RPGA XI é uma das vinte e cinco regiões hidrográficas do estado, tem gestão estadual, comitê instalado e está em processo de elaboração do plano de gerenciamento dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte e Inhambupe.

A Região de Planejamento e Gestão das Águas do Recôncavo Norte, RPGA XI, atualmente, é formada por um conjunto de bacias hidrográficas independentes: bacias dos rios Sauípe e Subaúma; do rio Pojuca; do rio Jacuípe; dos rios Joanes e seu principal afluente, Ipitanga; das Bacias Urbanas de Salvador, integradas pelos rios Jaguaribe, rio das Pedras e seu afluente Pituaçu, Camurugipe, Lucaia, das Tripas e Cobre, dentre outros; das bacias da Baía de Todos os Santos, integradas pelos rios Paraguari, Aratu, São Paulo, Mataripe e Paramirim; da Bacia do Rio Subaé e, finalmente, da Bacia do rio Açú (Inema, 2012 apud SEMA, 2017).

Conforme Santos e Oliveira (2007 apud SEMA, 2017), as bacias hidrográficas do Recôncavo Norte e Inhambupe registram a presença de importantes centros urbanos com grande potencial econômico industrial e de serviços em constante crescimento, o que tem gerado crescente demanda de água. Segundo a Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais (SEI) essa bacia possui uma característica diferenciada pela presença do Aquífero São Sebastião, permitindo intenso uso das suas águas subterrâneas, devido à utilização no abastecimento doméstico e principalmente no abastecimento industrial. O município de Camaçari é ocupado na maior parte do território, pouco mais de 30%, pelas rochas da Formação São Sebastião (SEI, 2003 apud SEMA, 2017).

Este estudo ainda direciona à interpretação da situação atual dos recursos hídricos, possibilitando o entendimento de como os padrões de ocupação podem interferir sobre a disponibilidade hídrica em termos de quantidade e qualidade. Foi verificado que no município de Camaçari ocorre ocupação antrópica em aproximadamente 60% do território, devido à urbanização, ao reflorestamento e à atividade agropecuária. Porém, foi registrado também que em aproximadamente 59,05% da área, ainda existe vegetação natural e/ou secundária, sendo algumas destas áreas protegidas por unidades de conservação ou mesmo reserva legal. No entendimento, a presença de cobertura vegetal mais conservada confere maior qualidade e quantidade de água.

Neste sentido, no enquadramento dos corpos de águas superficiais e subterrâneos, o mecanismo de disciplinamento por meio de zoneamento do uso do solo e criação de unidades de conservação, entre outros, são etapas do processo de formulação e implementação do programa para efetivação do enquadramento, necessárias ao atendimento das metas

intermediárias e final de qualidade de água estabelecidas para o enquadramento do corpo hídrico, diminuindo os custos de combate a poluição. O enquadramento é desenvolvido em conformidade com os Planos de Recursos Hídricos Estadual ou Distrital, Regional e Nacional e de bacias hidrográficas, bem como, com base em estudos específicos propostos e aprovados.

A outorga é outro instrumento regulatório da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que tem como objetivo principal assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água. Sua efetiva implementação permite assegurar a disponibilidade hídrica, considerando o princípio dos múltiplos usos, a capacidade de suporte do ambiente e a busca do desenvolvimento sustentável. Neste trabalho, foram indicadas proposições ao zoneamento ambiental do território com a finalidade de controle dos diferentes tipos de uso do solo de maneira ordenada e em consonância com a capacidade de suporte do meio natural.

Neste contexto, visando a complementação do Plano de Recursos Hídricos em nível de bacias hidrográficas e o atendimento dos objetivos e diretrizes para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), o zoneamento ambiental definido nas áreas de potencialidades hídricas ou zonas de recarga de aquíferos proposto é também indicado como instrumento que pode ser inserido nos Planos Diretores Municipais, conforme mencionado inicialmente. A utilização desse instrumento nos sistemas de planejamento urbano tem a finalidade de promover a integração de políticas públicas, na tentativa de ordenação do território, buscando harmonizar os interesses econômicos, sociais e ambientais.

Partindo desta premissa, o zoneamento ambiental é especialmente o instrumento de planejamento e gestão e elemento importante na competência específica das cidades de ordenação do uso e ocupação do solo e proteção dos recursos hídricos. Por consequência, a integração entre a gestão das águas e o uso do solo tendo o zoneamento ambiental como instrumento de interface depende extensamente de um plano diretor bem elaborado, mediado por ferramenta/instrumento de ordenamento territorial capaz de transmitir as informações necessárias para a tomada de decisão efetiva no processo de planejamento urbano de cidades.

Neste sentido, o zoneamento ambiental proposto para a região de Camaçari alcança duas particularidades sobre a gestão das águas: a primeira referente à complementação e a segunda referente à implementação de um Plano de Recursos Hídricos. Complementação, pois cumpre um objetivo do Plano de Recursos Hídricos relacionado à criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos. E implementação, pois pretende inserir no planejamento e gerenciamento local, ou seja, nos Planos Diretores de Cidades, como ferramenta adequada de ordenamento territorial e planejamento urbano.

CAPÍTULO 4. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão integrada oferece oportunidades de proteção dos recursos hídricos, preservação do meio ambiente e a disponibilização de seus benefícios de forma sustentável. Neste sentido, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) representa uma tentativa de integrar as ações relacionadas à gestão das águas no espaço urbano, quando estabelece que as cidades têm a competência de possibilitar a integração das suas políticas locais de uso e ocupação do solo com a política federal e estadual de recursos hídricos. Sendo o Plano de Recursos Hídricos o principal instrumento de planejamento, capaz de promover a articulação com as demais políticas públicas que interagem na busca da gestão integrada dos recursos hídricos. E o Plano Diretor Municipal o instrumento da política urbana com potencial de aplicação dos objetivos e diretrizes no âmbito do sistema de gestão das águas, mediante a interface do zoneamento ambiental.

O zoneamento ambiental, neste aspecto, é um mecanismo que pode complementar o Plano de Recursos Hídricos e considerado um instrumento de gestão de bacias hidrográficas, pois orienta o processo de ocupação e transformação do território de acordo com a capacidade de suporte do meio natural, identificando áreas de restrição de uso para a proteção das águas. Apresenta-se ainda como instrumento sistêmico de gestão integrada no processo de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), pois a proposta neste estudo é sua inserção no planejamento e gerenciamento local, ou seja, nos Planos Diretores de Cidades, como ferramenta adequada de ordenamento territorial e planejamento urbano, visando o desenvolvimento em bases sustentáveis.

Se inserido nos Planos Diretores Municipais, o zoneamento ambiental pode ser compreendido como uma ferramenta a ser usada pelos planejadores urbanos no que se refere ao controle e ordenamento da ocupação do solo visando a redução dos impactos da urbanização sobre os recursos hídricos. Desta forma, o zoneamento ambiental definido nas áreas de potencialidades hídricas pode ser considerado um mecanismo satisfatório para o ordenamento do território, indicado para ser inserido nos Planos Diretores de Cidades e capaz de complementar os Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas, caracterizando-se por ser uma ferramenta para o planejamento territorial com enfoque integrado.

Neste sentido, as abordagens utilizadas na pesquisa e os resultados alcançados confirmam que as etapas propostas na metodologia são importantes para a construção de um zoneamento ambiental em escala local, pois possibilitam o reconhecimento de uma avaliação pormenorizada do território para o planejamento das águas. O nível de detalhamento

alcançado é fundamental e deve ser considerado e os fatores cuidadosamente avaliados durante o processo. A metodologia tem sido pensada para atender projetos de planejamento territorial não somente local, mas também em outras escalas, estaduais e/ou regionais.

Neste aspecto, destaca-se a análise da paisagem, como elemento essencial para o reconhecimento das características territoriais, tanto naturais como antrópicas, constituindo, no estudo de caso da pesquisa, em abordagem para o processo de mapeamento das potencialidades hídricas do território. As temáticas físico-geográficas de cada elemento da paisagem analisadas individualmente e integradamente, possibilitaram a identificação das principais características e compreensão do território a partir de uma visão globalizante integrada, sintetizando os elementos que compõe a paisagem para transformar informações em ferramentas de análise.

Na estruturação da paisagem para análise de forma integrada, quanto ao estabelecimento do grau de importância das temáticas físico-geográficas, destaca-se a abordagem metodológica através da aplicação da análise multicritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH). Esta metodologia, entre as diversas vantagens, permitiu a estruturação do problema por meio de níveis hierárquicos, facilitando assim, a realização de julgamentos, estes consistentes, e a definição dos pesos para as variáveis físico-geográficas e suas características previamente selecionadas, para o alcance do objetivo final.

Na integração dos elementos físico-geográficos, as geotecnologias, como o sistema de informações geográficas e o sensoriamento remoto, mostram-se ser ferramentas imprescindíveis para elaboração, manipulação e apresentação dos dados geográficos, à medida que possibilitaram, além da espacialização da informação, o mapeamento integrado de dados do meio físico oferecendo subsídios para o diagnóstico e o planejamento do território. Estas tecnologias de dados espaciais digitais ganham destaque cada vez maior, pois a sistematização das informações podem auxiliar no planejamento integrado aumentando a eficiência na gestão do território, bem como, no apoio às ações relativas aos planos diretores de cidades.

Ressalta-se ainda que, para estudos futuros, são necessários ajustes especialmente em relação aos dados de entrada utilizados. Desta forma, entende-se que maiores informações sobre dados físico-geográficos dos mapas temáticos com maiores níveis de detalhamento tendem a aprimorar as condições de mapeamento das áreas de potencialidades hídricas, possibilitando, portanto, melhores aproximações das condições hidrogeológicas reais do local.

REFERÊNCIAS

ABDALA, V. L.; NISHIYAMA, L.; TORRES, J. L. Uso do solo e cobertura vegetal na bacia do alto curso do Rio Uberaba, Triângulo Mineiro, Sudeste do Brasil. *Caminhos da Geografia*, Uberlândia, v. 12, n. 37, p. 258 – 267, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. *Agência Nacional de Águas*, Brasília, DF: ANA, 2017. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura_completo.caf2236b.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Direito de águas à luz da governança. *Agência Nacional de Águas*, Brasília, DF: ANA, 2019. Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/index.php/temas/64-governanca-comunicacao-e-participacao-social/191-direito-de-aguas-a-luz-da-governanca-2>>. Acesso em: 14 out. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Hidrologia básica. *Agência Nacional de Águas*, Brasília, DF: ANA, 2018. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/66>. Acesso em: 14 out. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Plano de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água. *Agência Nacional de Águas*, v. 5, Brasília, DF: ANA, 2013. Disponível em: <http://www.cbh.gov.br/EstudosETrabalhos/20140108101800_CadHidrico_vol5_completo.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2018.

AGUDELO-VERA, C. M.; MELS, A. R.; KEESMAN, K. J.; RIJNAARTS, H. H.M. Resource management as a key factor for sustainable urban planning. *Journal of Environmental Management*, v. 92, p. 2295-2303, 2011.

ALMEIDA, T. M., OLIVEIRA, V. P., TEIXEIRA, A. C. Aspectos do meio físico e evolução do uso da terra na bacia hidrográfica do rio São João de Tiba, extremo sul da Bahia. *Caminhos da Geografia*, Uberlândia, v. 14, n. 47, p. 122-138, 2013.

BAHIA (ESTADO). Lei nº 11.612 de 08 de outubro de 2009. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. *Secretaria Estadual de Meio Ambiente*, Salvador, BA: 2009. Disponível em: < [http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/Lei_11612\[1\].pdf](http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/Lei_11612[1].pdf). Acesso em: 18 mai. 2018.

BAHIA (ESTADO). Plano Diretor: Polo Industrial de Camaçari. *Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração*, BA: SICM, 2013.

BAHIA (ESTADO). Resolução CONERH nº 43, de 02 de março de 2009. Institui a divisão hidrográfica estadual em regiões de planejamento e gestão das águas. *Secretaria Estadual de Meio Ambiente*, Salvador, BA: 2009. Disponível em: < <http://www.seia.ba.gov.br/sites/default/files/legislation/RESOLUCAO%20CONERH%2043.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2018.

BAHIA (ESTADO). Resolução CONERH nº 88, de 26 de novembro de 2012. Institui a divisão hidrográfica estadual em regiões de planejamento e gestão das águas. *Secretaria Estadual de Meio Ambiente*, Salvador, BA: 2012. Disponível em: <

http://www2.sema.ba.gov.br/gestor/ArquivosSistemas/SistemaPublicacao/Arquivos/2452/RESOLUCAO_N_88_RPGA_ALTERA_A_RESOLUCAO_N43.pdf. Acesso em: 18 mai. 2018.

BAHIA (ESTADO). Resolução Cepam n° 4.327, de 31 de outubro de 2013. Dispõe sobre as atividades de impacto local de competência dos Municípios. *Secretaria Estadual de Meio Ambiente*, Salvador, BA: SEMA, 2013. Disponível em: <<http://www.meioambiente.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=394>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

BARRETO, A. B. C.; MONSORES, A. L. M; PIMENTEL, J. Modelo de favorabilidade hidrogeológica em aquíferos fissurais - a utilização de técnicas de geoprocessamento no cristalino do Estado do Rio de Janeiro. In: *IV Simpósio de hidrogeologia do nordeste*, 2001. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/24485/16445>. Acesso em: 20 jun. 2020.

BATISTA, E. R.; SANTOS, R. F.; SANTOS, M. A. Construção e análise de cenários de paisagem em área do Parque Nacional da Serra da Bocaina. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1095-1108, 2009.

BHUNIA, G. S.; CHATTERJEE, N.; PAL, D.K. Identification of groundwater potential zone of Nawada district, Bihar (India) - a study based on remote sensing and GIS platform. *Hydrology Research*. v. 45, n. 4-5, p. 631-644, 2014.

BORSATO, F. H.; MARTONI, A. M; Estudo da discografia das bacias hidrográficas urbanas no município de Maringá, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*. v. 26, n. 2, p. 273-285, 2004.

BRANCO, P. M. As rochas. *Serviço Geológico do Brasil*, CPRM, 2015. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Rochas-1107.html>. Acesso em: 20 jun. 2020.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. *Presidência da República*, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF: 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 20 out. 2018.

BRASIL. Decreto n° 4.297, de 10 de julho de 2002. Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE). *Presidência da República*, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF: 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4297.htm>. Acesso em: 23 dez. 2018.

BRASIL. Decreto n° 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. *Presidência da República*, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF: 1934. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm. Acesso em: 12 jun 2019.

BRASIL. Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981. Institui a Política Nacional do Meio Ambiente. *Presidência da República*, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília,

DF: 1981. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 18 mai. 2018.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. *Presidência da República*, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF: 1997. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 18 mai. 2018.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. *Presidência da República*, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF: 2001. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 20 out. 2018.

BRASIL. Lei Complementar nº 140, de 08 de dezembro de 2011. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal. *Presidência da República*, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF: 2011. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm>. Acesso em: 19 jun. 2019.

BRASIL, Resolução CNRH nº 15, de 11 de janeiro de 2001. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. *Ministério do Meio Ambiente*, Brasília, DF: 2001. Disponível em: <http://www.sema.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/09/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CNRH-n%C2%BA-15-de-2001.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2019.

BRASIL, Resolução CNRH nº 32, de 15 de outubro de 2003. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. *Ministério do Meio Ambiente*, Brasília, DF: 2003. Disponível em: http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=12729. Acesso em: 19 jun. 2019.

BRASIL, Resolução CNRH nº 91, de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. *Ministério do Meio Ambiente*, Brasília, DF: 2008. Disponível em: http://piranhasacu.ana.gov.br/resolucoes/resolucaoCNRH_91_2008.pdf. Acesso em: 19 jun. 2019.

BRASIL, Resolução CNRH nº 145, de 12 de dezembro de 2012. Estabelece diretrizes para a elaboração de Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas e dá outras providências. *Ministério do Meio Ambiente*, Brasília, DF: 2012. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2232/1/MERGULHANDO-6-Resolucao-cnrh-145.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2019.

BRASIL, Resolução CNRH nº 202, de 28 de junho de 2018. Estabelece diretrizes para a gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos que contemplem a articulação entre a União, os Estados e o Distrito Federal com vistas ao fortalecimento dessa gestão. *Ministério do Meio Ambiente*, Brasília, DF: 2018. Disponível em: <https://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes/2437-resolucao-n-202-de-28-de-junho-de-2018/file>. Acesso em: 19 jun. 2020.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água edretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Ministério do Meio Ambiente*, Brasília, DF: 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 19 jun. 2019.

BRASIL, Resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. *Ministério do Meio Ambiente*, Brasília, DF: 2008. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>. Acesso em: 19 jun. 2019.

BRITO, P. L. Planejamento Territorial: o município x a bacia hidrográfica. *Revista Eletrônica: – Tempo - Técnica - Território (Online)*, v. 1, n. 1, 2, p. 26:42, 2010.

BROMBAL, D.; MORIGGI, A. Institutional change in China's sustainable urban development: a case study on urban renewal and water environmental management. *China Perspectives*, [s. l.], n. 1, p. 45-56, 2017.

_____. Caracterização física e socioeconômica de Camaçari para a elaboração do plano municipal de saneamento básico. *Secretaria de Desenvolvimento Urbano*, Camaçari, BA, 2015. Disponível em: <http://sedur.camacari.ba.gov.br/portal/funcao.php?url=pmsbAnexo2.php>. Acesso em : 20 jun. 2020.

CAMAÇARI (MUNICÍPIO). Lei nº 866, de 01 de janeiro de 2008. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano - PDDU. *Diário Oficial do Município*, n. 272, Camaçari, BA, p. 01-34, 2008.

CAMAÇARI (MUNICÍPIO). Lei nº 903, de 03 de setembro de 2008. Código urbanístico e ambiental. *Diário Oficial do Município*, n. 272, Camaçari, BA, p. 01-34, 2008.

CAMPOS, V. N. O.; FRACALANZA, A. P. Governança das águas no Brasil: Conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso. *Ambiente e Sociedade*, v. 13, n. 2, p. 365-382, 2010.

CAPUCCI, E.; MARTINS, A. M.; MANSUR, K. L.; MONSORES, A. L. M. Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas. *Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, 2001.

CARNEIRO, P. R.; CARDOSO, A. L.; ZAMPRONIO, G. B.; MARTINGIL, M. C. (2010). A gestão integrada de recursos hídricos e do uso do solo em bacias urbano-metropolitana: o controle de inundações na bacia dos rios Iguaçu-Sarapuí na baixada fluminense. *Ambiente & Sociedade*, v. 13, n.1, 2010, p. 29-49.

CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, n. 36, p. 26-43, 2014.

CAVALLARI, R. L.; TAMAE, R. Y.; ROSA, A. J. A importância de um sistema de informações geográficas no estudo de microbacias hidrográficas. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v. 4, n. 11, p. 1-7, 2007.

CHEN, D.; CHEN, H. W. Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010. *Environmental Development*, 6, p. 69-79, 2013.

CLIMATE-DATA. Clima: Camaçari. Disponível em: <
<http://pt.climate-data.org/location/5069/>> Acesso em: 20 de jun de 2020.

COLLISCHONN, B; KIRCHHEIM, R. Quantificação da recarga e das reservas do aquífero coxilha das lombas (rs) através de balanço hídrico. In: *XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, Brasil, p. 1-18, 2006.

CRUZ, F. S. (2013). Análise de mapas provenientes de planos diretores municipais visando a padronização da representação cartográfica. 2013. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - *Universidade Federal da Bahia*, Salvador, 2013.

DICKIE, S.; MCKAY G.; IONS, L.; SHAFFER, P. (2010). Planning for SUDS: making it happen. *London: CIRIA C68*, 2010, p.112.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. *Centro Nacional de Pesquisa de Solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). *Weighted Overlay*. ARCGIS 10.2. 2020.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. *Serviço Geológico do Brasil (CPRM)*, 3 ed. rev. e ampl., Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, p. 812, 2008.

FENTA, A. A. et al. Spatial analysis of groundwater potential using remote sensing and GIS-based multi-criteria evaluation in Raya Valley, northern Ethiopia. *Hydrogeology Journal*. v. 23, p. 195-206. Out. 2015.

FERNANDES, V. O.; CRUZ, F. S.; ALIXANDRINI JUNIOR, M. J.; JESUS, E. G. V. Mapas para planos diretores municipais. In: *Estudos Urbanos: uma abordagem interdisciplinar da cidade contemporânea*, capítulo 3, Tupã, SP: ANAP, p. 59-70, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapeamento de recursos naturais no Brasil. *Diretoria de Geociências*, Rio de Janeiro, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico de geologia. *Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais*, Rio de Janeiro: IBGE, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico de geomorfologia. *Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais*, 2. ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico de pedologia. *Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais*, 3. ed., Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico da vegetação brasileira. *Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais*, 2. ed. revista e ampliada, Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (INEMA). Carta hidrográfica. *Mapas Interativos, Portal SEIA*, Salvador, BA: INEMA, 2012. Disponível em: <http://www.seia.ba.gov.br/mapas/interativos>. Acesso em: 20 jun. 2020.

LIMA, G. A.; GENEROSO, C. M.; SANTOS, C. M.; SILVA, A. S.; SOUSA, R. G. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: estudo de caso Ribeirão Isidoro. In: *VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, Campina Grande, PB: IBEAS, p. 66-80, 2016.

JOURAVLEV, A. Los municipios y la gestión de los recursos hídricos. *Recursos Naturales e Infraestructura*, n. 66, Santiago: CEPAL, p. 1-70, 2003.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. *Instituto de Geociências da Universidade de Brasília*, Brasília: UnB/CNPq, p. 1-276, 2012.

NAMPAK, H.; PRADHAN, B.; MANAP, M. A. Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. *Journal of Hydrology*. v. 513, p. 283-300, 2014.

NUSDEO, A. M. O. O uso de instrumentos econômicos nas normas de proteção ambiental. *Revista da Faculdade de Direito da USP*, v. 101, p. 357-378, 2006.

OLIVEIRA, D. O.; SANTOS, J. W.; PEREHOUSKEI, N. A. Geotecnologias aplicadas na avaliação do potencial das subbacias hidrográficas enquanto unidades espaciais de planejamento urbano integrado na cidade de Rondonópolis-MT. In: *Anais 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, Cuiabá, MT: Embrapa/INPE, p. 738-749, 2016.

OLIVEIRA, A. C. C.; SOUZA, R. M. Dinâmica da paisagem e proposição de cenários ambientais: um estudo da planície costeira de Estância, Sergipe, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 12, n. 2, p. 175-193, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. A declaração de Dublin sobre água e desenvolvimento sustentável. In: *Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente*, 2., 1992, Dublin. Anais [...]. Dublin: ONU, 1992. Disponível em: http://www.abcmac.org.br/files/downloads/declaracao_de_dublin_sobre_agua_e_desenvolvimento_sustentavel.pdf. Acesso em: 28 dez. 2018.

PERES, R. B.; SILVA, R. S. A relação entre planos de bacia hidrográfica e planos diretores municipais: análise de conflitos e interlocuções visando políticas públicas integradas. In: *V Encontro Nacional da Anppas*, v. 5, n. 480, Florianópolis, SC, p. 1-20, 2010.

PERES, R. B.; SILVA, R. S. Análise das relações entre o Plano de Bacia Hidrográfica Tietê-Jacaré e os Planos Diretores Municipais de Araraquara, Bauru e São Carlos, SP: avanços e desafios visando a integração de instrumentos de gestão. *Sociedade & Natureza*, v. 25, n. 2, p. 349-362, 2013.

PEREIRA, P. H. R.; GONÇALVES, J. A. C.; VIEIRA, E. M. O potencial das águas subterrâneas na porção nordeste do quadrilátero ferrífero (mg): uso do sig e análise multicritério como ferramenta de avaliação. In: *XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, Brasil, 2018.

PIZELLA, D. G. A relação entre planos diretores municipais e planos de bacias hidrográficas na gestão hídrica. *Ambiente & Água*, v. 10, n. 3, p. 635-645, 2015.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, v. 22, n.63, p. 43-69, 2008.

RAUCH, W.; URICH, C.; BACH, P.M.; ROGERS, B.C.; HAAN, F.J.; BROWN, R.R.; MAIR, M.; MCCARTHY, D.T.; KLEIDORFER, M.; SITZENFREI, R.; DELETIC, A. (2017). Modelling transitions in urban water systems. *Water Research*, v. 126, 2017, p. 501-514.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. *Águas Subterrâneas*, São Paulo, p. 119-151, 2002.

REBOUÇAS, A. C.; FEITOSA, F. A. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. Elementos de hidrologia subterrânea. In: *Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos*. Editora: Signus, 1ª ed., 2006, p. 72-97.

RIBEIRO, D. D. M.; ROCHA, W. J. S. F.; GARCIA, A. J. V. Modelagem da potencialidade hídrica das águas subterrâneas da sub-bacia do rio Siriri, Sergipe, Brasil, com base em Sistema de Informações Geográficas e técnicas de Sensoriamento Remoto. *Revista Ambiente e Água*. v. 6, n. 2, 2011.

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.

RUFFATO-FERREIRA, V. J.; BESER, L.; BERRÊDO-VIANA, D.; FRANÇA, G.; NASCIMENTO, J.; FREITAS, M. Zoneamento ecológico econômico como ferramenta para a gestão territorial integrada e sustentável no município do Rio de Janeiro. *EURE*, v. 34, n. 131, p. 239-260, 2018.

RUFINO, I. A. A.; GALVÃO, C. O.; RÊGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T. Water resources and urban planning: the case of a coastal area in Brazil. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v. 3, n. 1, p. 32-42, 2009.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, North-Holland, v. 48, p. 9-26, 1990.

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

SANTOS, S. L.; FERNANDES, V. O.; MEDEIROS, Y. D. P. Sustentabilidade de Cidades no Contexto da Integração entre a Gestão de Recursos Hídricos e o Planejamento Urbano Territorial. *Bahia Análise & Dados*, 29(2), p. 54-75, 2019.

SCOTTON, G. C.; OLIVEIRA, F. H. Uso de geotecnologias para identificação de conflitos de uso e ocupação do solo das APPs dos recursos hídricos. In: *Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente*, SP, p. 181-188, 2007.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (SEMA). Elaboração do plano de ações estratégicas para gerenciamento dos recursos hídricos da Bacia Recôncavo Norte Inhambupe: Relatório parcial 1 - NT1 Regionalização, uso e ocupação do solo. *Secretaria Estadual de Meio Ambiente*, Salvador, BA, 2017.

SERAPHIM, A. A. C; BEZERRA, M. C. L. Identificação de áreas de recarga de aquíferos e suas interfaces com áreas propícias à urbanização. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, Paranoá 23, p. 68-83, 2019.

SERRAO-NEUMANN, S.; RENOUF, M.; KENWAY, S.J.; CHOY, D. L. Connecting land-use and water planning: prospects for an urban water metabolism approach. *Cities*, v. 60, p. 13-27, 2017.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Carta Geológica. Folha: Baldim, SE.23-Z-C-III. 2009. Escala 1:100.000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_baldim.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2015

SILVA, C. A.; NUNES, F. P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, p. 5435-5442, 2009.

SOARES, F. B. Planejamento e zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do manancial Balneário da Amizade nos municípios de Álvares Machado e Presidente Prudente – São Paulo/Brasil. 2015. 229f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - *Universidade Estadual Paulista*, 2015.

ULIAN, G.; CARTES, I.; LIMA, M. C. L. Water management assessment methodology for urban planning. *Ambiente & Água*, v. 12, n. 1, p. 33-46, 2017.

UNIÃO EUROPEIA. Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de outubro de 2000. Estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, Bruxelas, 22 dez. 2000. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2000:327:FULL&from=PT>. Acesso em: 13 mar. 2019.

VASCONCELOS, M. E. G.; SILVA, P. M. U. Participação das políticas municipais na gestão sustentável de bacias hidrográficas. In: *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Bento Gonçalves, RS: ABRH, p. 1-8, 2013.

VIYESCU, M.; BEILICCI, E.; BEILICCI, R. Integrated hydrographical basin management: study case: crasna river basin. *IOP Conference Series: materials science and engineering*, Reino Unido, v. 245, n. 3, Oct. 2017.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos no Futuro: Problemas e soluções. *Estudos Avançados*, v.

22, n. 63, p. 1-16, 2008.

ULIAN, G.; CARTES, I.; LIMA, M. C. L. Water management assessment methodology for urban planning. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 33-46, jan./fev. 2017.

WU, Y., ZHANG, W., SHEN, J., MO, Z., PENG, Y. Smart city with chinese characteristics against the background of big data: idea, action and risk. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 173, p. 60-66, 2018.

APÊNDICE 1

NOTA TÉCNICA

Proposta de Zoneamento Ambiental das Áreas de Potencialidades Hídricas para o Planejamento de Bacias Hidrográficas

Environmental Zoning Proposal for Water Potential Areas for Watershed Planning

RESUMO: Esta nota técnica tem como objetivo apresentar o produto elaborado a partir de uma pesquisa de mestrado sobre gestão integrada de recursos hídricos no planejamento urbano, onde primordialmente destaca a proteção das águas como elemento essencial ao planejamento territorial, tendo como diretriz de ação a necessidade de *articulação da gestão de recursos hídricos com a gestão do uso do solo* prevista na Lei Federal nº 9.433 de 1997. Neste sentido, são brevemente abordados os planos jurídicos que fundamentaram a realização da proposta de zoneamento ambiental e a metodologia utilizada no mapeamento das áreas de potencialidades hídricas para criação de áreas de restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos. Neste ínterim, como contribuição ao sistema de gestão das águas, o zoneamento ambiental definido nas áreas de potencialidades hídricas pode ser considerado um mecanismo satisfatório para o ordenamento do território na proteção dos recursos hídricos, sendo capaz de complementar os Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas.

1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) por meio da Lei Federal nº 9.433 de 1997, estabelece que promover a articulação entre a gestão de recursos hídricos e de uso do solo constitui-se em diretriz de ação para sua implementação, sendo os Planos de Recursos Hídricos, instrumentos de planejamento, que devem promover essa articulação com as demais políticas públicas que interagem na busca da gestão integrada das águas. A Política Nacional Urbana, orientada pela Lei Federal nº 10.257 de 2001, estabelece que o zoneamento ambiental é um instrumento definido para o planejamento urbano, como elemento importante no âmbito da organização territorial com vistas à proteção ambiental e dos recursos hídricos. O zoneamento ambiental é regulamentado pelo Decreto Federal nº 4.297 de 2002, pelo qual o Poder Público objetiva propiciar o desenvolvimento sustentável.

Conforme Resolução nº 145 de 2012, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), no que concerne aos objetivos específicos para o planejamento de bacias hidrográficas, é estabelecido que o diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos deve incluir, dentre outros aspectos, a identificação de áreas sujeitas à restrição de uso para a proteção dos recursos hídricos. Neste contexto, a Resolução CNRH nº 15 de 2001, considera como necessária a criação de mecanismos de estímulos à proteção das áreas de recarga dos aquíferos, com vistas ao aumento da qualidade da água (enquadramento) e das disponibilidades hídricas (outorga). Pois, a exploração das águas pode implicar redução da capacidade de armazenamento dos aquíferos, redução dos volumes disponíveis nos corpos de água superficiais e modificação dos fluxos naturais nos aquíferos.

Pode-se observar que as bases normativas estabelecem como necessária a criação de áreas de restrição de uso como mecanismo adequado de proteção dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. A identificação e delimitação das áreas de recarga de aquíferos, desta forma, são mencionadas como uma medida protetiva para o aumento das disponibilidades hídricas e da qualidade das águas, e que adicionalmente deve contribuir para a promoção da gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas, conforme dispõe a Resolução CNRH nº 202 de 2018.

Sendo assim, o zoneamento ambiental é um instrumento da Política Nacional Urbana (PNU) que deve manter interfaces com os instrumentos da Política Nacional de Recursos

Hídricos (PNRH), em especial no planejamento de bacias hidrográficas. O zoneamento ambiental tem a possibilidade de complementar os Planos de Recursos Hídricos, pois o ordenamento territorial pode ser considerado um instrumento de gestão de bacias hidrográficas que tem como finalidade orientar o processo de ocupação e transformação do território de acordo com sua capacidade de carga ou aptidão.

Neste aspecto, tornam-se necessárias propostas e metodologias que possam acrescentar e atualizar o conhecimento sobre planejamento integrado, em especial, quanto à implementação de um instrumento que subsidie o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas. Dentre as várias metodologias existentes, a análise multicritério por meio do Processo Analítico Hierárquico (PAH), aliado aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), têm sido identificados como ferramentas úteis de avaliação das potencialidades hídricas de um território, servindo de auxílio na projeção de cenários ambientais para a proposição de zoneamentos.

Neste contexto, o próximo item tem como objetivo apresentar as abordagens metodológicas utilizadas no zoneamento ambiental das áreas de potencialidades hídricas, como proposta para criação de áreas de restrição de uso, conforme preconizado nos Planos de Recursos Hídricos. De uma maneira geral, as abordagens metodológicas envolveram a identificação das áreas de potencialidades hídricas para o mapeamento das áreas de potencial recarga de aquíferos mediante avaliação e análise integrada de variáveis físico-geográficas, para servir subsídio ao processo de construção de cenários e proposições para o zoneamento ambiental de um território visando o planejamento de bacias hidrográficas.

2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

2.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE POTENCIALIDADES HÍDRICAS

Na pesquisa, a identificação das áreas de potencialidades hídricas foi por meio de um estudo de caso, a área de um território inserido na Região de Planejamento e Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte e Inhambupe, RPGA XI, situado numa região em que a malha hídrica representa uma das mais importantes do estado da Bahia e subsidia o desenvolvimento das diversas atividades, o que tornou a área de fundamental importância para ser estudada (SEMA, 2017). A identificação das áreas de potencialidades hídricas envolveu o mapeamento das áreas de potencial recarga de aquíferos mediante avaliação e análise integrada de variáveis físico-geográficas como proposta para construção de cenários e proposições para o zoneamento ambiental da região.

Desta forma, a seguir procedimento do processo de identificação das áreas de potencialidades hídricas, apontado nesta nota técnica como metodologia cuja aplicação pode se dá em qualquer unidade de planejamento dos recursos hídricos.

A princípio são levantadas as características gerais da região, além de informações como clima, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, hidrografia e hidrogeologia. Desta forma, as etapas iniciais do processo de identificação das áreas de potencialidades hídricas envolvem: a aquisição e o pré-processamento de dados geográficos (mapas temáticos e imagens de satélite), seleção e avaliação das variáveis físico-geográficas e a construção da estrutura de decisão hierárquica das variáveis e características selecionadas.

Em seguida, ao processo de identificação das áreas de potencialidades hídricas, realiza-se a análise integrada das variáveis físico-geográficas visando o mapeamento das áreas de potencial recarga de aquíferos. Desta forma, é utilizada como metodologia a análise multicritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH), método introduzido por Saaty (1980), para ponderação das variáveis físico-geográficas. Para o mapeamento, é utilizado o Sistema

de Informações Geográficas (SIG) para integração das variáveis e elaboração de mapas temáticos. As variáveis selecionadas para o processo são: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, declividade, uso do solo, densidade de lineamentos e densidade de drenagem.

A identificação e delimitação das áreas de potencialidades hídricas envolvem a avaliação de diversos fatores que favorecem a infiltração de água no solo, armazenamento e transmissão de água subterrânea para recarga dos aquíferos. Desta forma, para cada variável e característica selecionada, ou critério e subcritério, previamente é estabelecida uma hierarquização em ordem decrescente de potencial recarga para atribuição dos pesos. Na Figura 1 tem-se um exemplo prático da construção da estrutura de decisão hierárquica considerando as características da área, onde ilustra os critérios (variáveis) e subcritérios (características) utilizados, estruturados mediante a identificação de fatores que favorecem a ocorrência de águas nos aquíferos na região estudada.

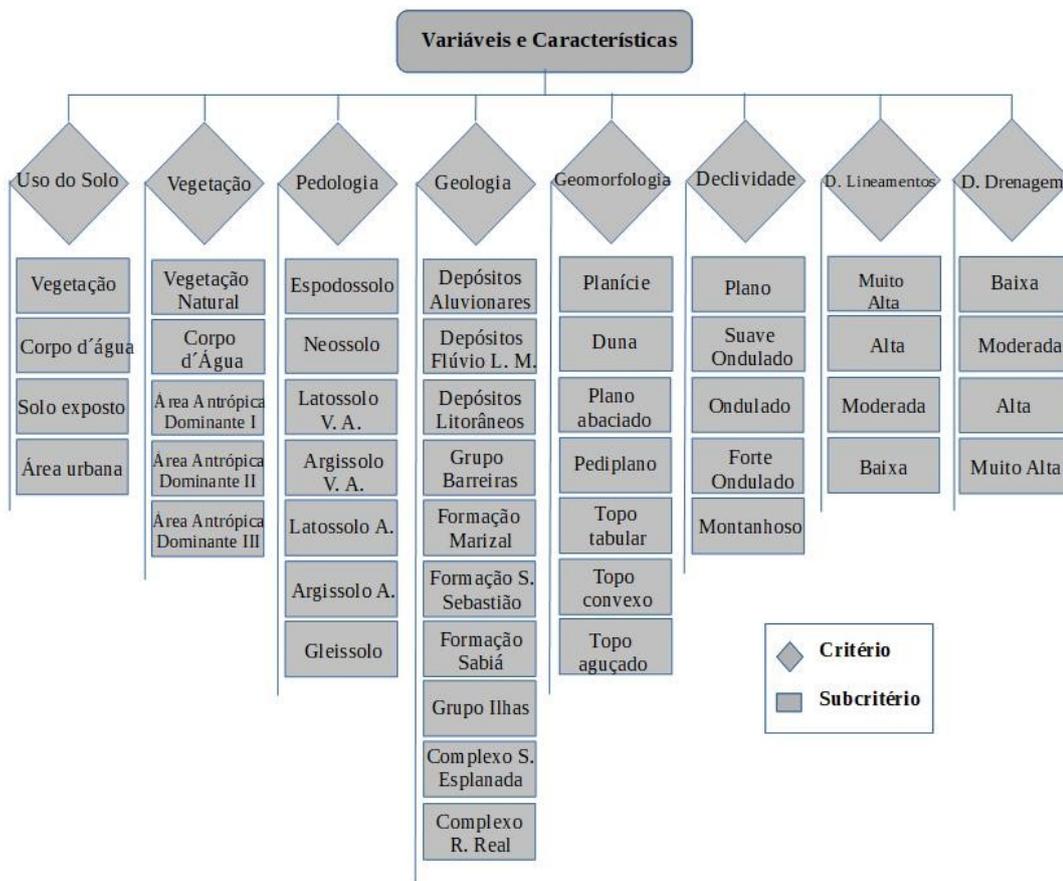


Figura 1: Variáveis e características estruturadas para aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH) na região estudada.

Fonte: Autor (2020).

Neste sentido, considerando as características das variáveis em proporcionar a infiltração de água no solo e a recarga de aquíferos, para a região de estudo, optou-se pela seguinte ordem decrescente de importância às variáveis escolhidas: uso do solo, vegetação, pedologia, geologia, geomorfologia, declividade, densidade de lineamentos e densidade de drenagem.

Após a construção da estrutura de decisão hierárquica, para aplicação do Processo Analítico Hierárquico (PAH) são elaboradas matrizes de decisão quadrada atribuindo pesos visando a ponderação de cada variável e característica. Desta forma, faz-se uma comparação,

par a par, de cada elemento no nível hierárquico, criando-se uma matriz de decisão quadrada. Então, determina-se os graus de preferência, comparando os graus de intensidade por pares em função de cada característica. Esta matriz de comparação pareada, possui ordem de acordo com a quantidade de elementos avaliados em cada nível, com diagonal principal igual a 1 (SILVA, 2009).

Para atribuição dos pesos das variáveis no Processo Analítico Hierárquico (PAH), existe uma escala de ponderação fundamental proposta por Saaty (1990). A escala de ponderação varia de 1 a 9, onde 1 corresponde a mesma importância de um critério em relação ao outro, e 9 significa extrema importância de um critério sobre o outro. Segundo Fenta et al. (2015 apud Pereira et al., 2018), no que se refere às etapas para elaboração de matrizes de decisão quadrada, inicialmente as seguintes condições devem ser satisfeitas: (Eq. 1) e (Eq. 2).

(Eq. 1)

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

Onde,

 a = elementos da matriz; i = linha; j = coluna.

(Eq. 2)

$$a_{ij} = \frac{P_i}{P_j}$$

Onde,

 P_i = grau de importância do elemento da linha i em relação ao elemento da coluna j ; P_j = grau de importância do elemento da linha j em relação ao elemento da coluna i .

Desta forma, a matriz de comparação A é composta da seguinte forma (Eq. 3):

(Eq. 3)

$$A = \begin{pmatrix} \frac{P_1}{P_1} & \dots & \frac{P_1}{P_2} & \dots & \frac{P_1}{P_n} \\ \dots & 1 & \dots & \dots & \dots \\ \frac{P_2}{P_1} & \dots & 1 & \dots & \frac{P_2}{P_n} \\ \dots & \dots & \dots & 1 & \dots \\ \frac{P_n}{P_1} & \dots & \frac{P_n}{P_2} & \dots & \frac{P_n}{P_n} \end{pmatrix}$$

Após serem realizados todos os julgamentos é calculada a razão de consistência, conforme Eq. 4. O elemento IR constitui o Índice Randômico proposto para diferentes valores de critérios sendo avaliados.

Onde,

RC = Razão de consistência;

IC = Índice de consistência;

IR = Índice Randômico.

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

(Eq. 4)

De acordo com Saaty (1980), valores da razão de consistência inferiores a 0,1, refletem que os valores atribuídos nas comparações não houve inconsistência, e valores superiores indicam que as comparações realizadas precisam ser reavaliadas. Para definição do grau de importância, o Processo Analítico Hierárquico (PAH) é aplicado nos critérios (variáveis) e subcritérios (características) individualmente. Assim, são produzidas nove matrizes de comparação pareada, referentes às variáveis físico-geográficas e as características de cada

variável. Os cálculos para obtenção dos pesos ponderados e da razão de consistência foram realizados através do *software* Microsoft Excel.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é utilizado para integração das variáveis e elaboração de mapas temáticos. Desta forma, por meio do Sistema de Informações Geográficas (SIG), são elaborados mapas temáticos com representação do potencial recarga de cada variável e realizada a integração dos resultados da ponderação da análise multicritério do Processo Analítico Hierárquico (PAH). Nesta integração é utilizado o operador de análise geográfica do ArcGIS, versão 10.2, denominado de *Weighted Overlay*. Esta ferramenta realiza a sobreposição ponderada de vários rasters usando uma balança de medição comum e pesa cada um de acordo com sua importância (ENRI, 2020).

Através da ferramenta de análise geográfica *Weighted Overlay*, os oito rasters (mapas temáticos) gerados com os pesos obtidos da análise multicritério são reclassificados para uma escala de medição comum de 1 a 100 e atribuída a influência percentual obtida da avaliação das variáveis temáticas. De tal forma, que os resultados possam proporcionar feições multicritérios espacializadas onde maiores valores indicassem áreas mais adequadas ao objetivo final. A priori, para geração do raster final que representa o mapeamento das áreas de potencialidades hídricas, o raster gerado como resultado da sobreposição ponderada é reclassificado para o estabelecimento de cinco classes referentes ao potencial recarga de aquíferos, assim divide-se: muito alto, alto, moderado, baixo e muito baixo.

Como resultado, a partir da obtenção de todos os pesos, ponderação de cada critério e subcritério e integração das variáveis dos mapas temáticos analisados, elabora-se um mapa síntese representativo das áreas de potencialidades hídricas ou das áreas de recarga de aquíferos do território.

2.2 CENÁRIOS E PROPOSIÇÕES PARA O ZONEAMENTO AMBIENTAL

A próxima etapa do processo de zoneamento ambiental das áreas de potencialidades hídricas do território, envolve a elaboração de cenários ambientais e proposições para o zoneamento a partir da descrição da paisagem das áreas de potencial recarga de aquíferos, segundo a classificação: muito alto, alto, moderado, baixo e muito baixo. Os cenários são baseados, principalmente, na situação de uso do solo e nas áreas de potencial recarga de aquíferos mapeadas. De acordo com Soares (2015), os cenários de evolução do uso da terra subsidiam a elaboração de propostas para o zoneamento ambiental e a gestão de recursos hídricos de uma região e nas suas unidades da paisagem. E os problemas ambientais detectados na área que revelam a ausência de ordenamento territorial e de práticas de proteção ambiental.

Desta forma, são estabelecidos três cenários, sendo eles:

- a) a unidade hidrográfica que temos: refere-se ao Cenário Atual, estabelecido de acordo com os aspectos do meio físico e antrópico da área;
- b) a unidade hidrográfica que teremos: consiste no Cenário Tendencial, baseando-se em como será a situação da área se não forem realizadas as propostas de mudança para o cenário atual;
- c) a unidade hidrográfica que queremos: este é o Cenário Ideal para a área, no qual é elaborado a partir da ideia de implementação das propostas e ações para a unidade hidrográfica.

Do resultado da elaboração de cenários ambientais, é definido que no Cenário Ideal as áreas com muito alto potencial recarga de aquíferos devem ser mantidas a título de proteção integral, e as áreas com alto a moderado potencial recarga são utilizadas de forma sustentável e/ou manejos adequados, de acordo com a capacidade de suporte do meio, sendo a vegetação recomposta ou recuperada nas áreas alteradas e degradadas.

Por definição, as unidades destinadas a proteção integral têm como objetivo principal preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos em lei, tais como em projetos educacionais e de pesquisa, com a autorização prévia dos gestores das unidades. O uso sustentável é a exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável. O manejo adequado se refere a todo e qualquer procedimento que vise assegurar a conservação da diversidade biológica e dos ecossistemas locais (BRASIL, 2000).

Desta forma, é estabelecida uma relação da descrição da paisagem do mapeamento das áreas de recarga de aquíferos com as definições: Proteção Integral, Uso Sustentável, Manejo Adequado e Recomposição da Vegetação, sendo assim a interpretação:

a) **Proteção Integral:** as áreas classificadas de muito alto potencial recarga de aquíferos, regiões onde os aspectos do meio físico, predominantemente, conferem favorabilidade a ocorrência de águas subterrâneas, sendo assim as proposições no zoneamento ambiental incluem a proteção integral dos aspectos ambientais naturais para proteção dos recursos hídricos e dos ecossistemas que eles integram.

b) **Uso Sustentável:** as zonas identificadas de altas potencialidades hídricas, regiões onde existem vegetação natural dominante, pouca intervenção antrópica e fatores do meio físico que contribuem para a recarga de aquíferos. Neste sentido, são indicadas proposições com a finalidade de controle dos diferentes tipos de uso do solo de maneira ordenada e em consonância com a capacidade de suporte do meio natural, mediante medidas de uso sustentável.

c) **Manejos Adequados:** as áreas identificadas de moderadas potencialidades hídricas, regiões onde existem ou já ocorreu alguma intervenção antrópica como atividades agropecuárias, de reflorestamento ou vegetação secundária intercalada com vegetação natural, encontrando fatores do meio físico que contribuem para a recarga de aquíferos. Neste sentido, são indicadas proposições com a finalidade de controlar o uso da terra, mediante medidas de manejos adequados.

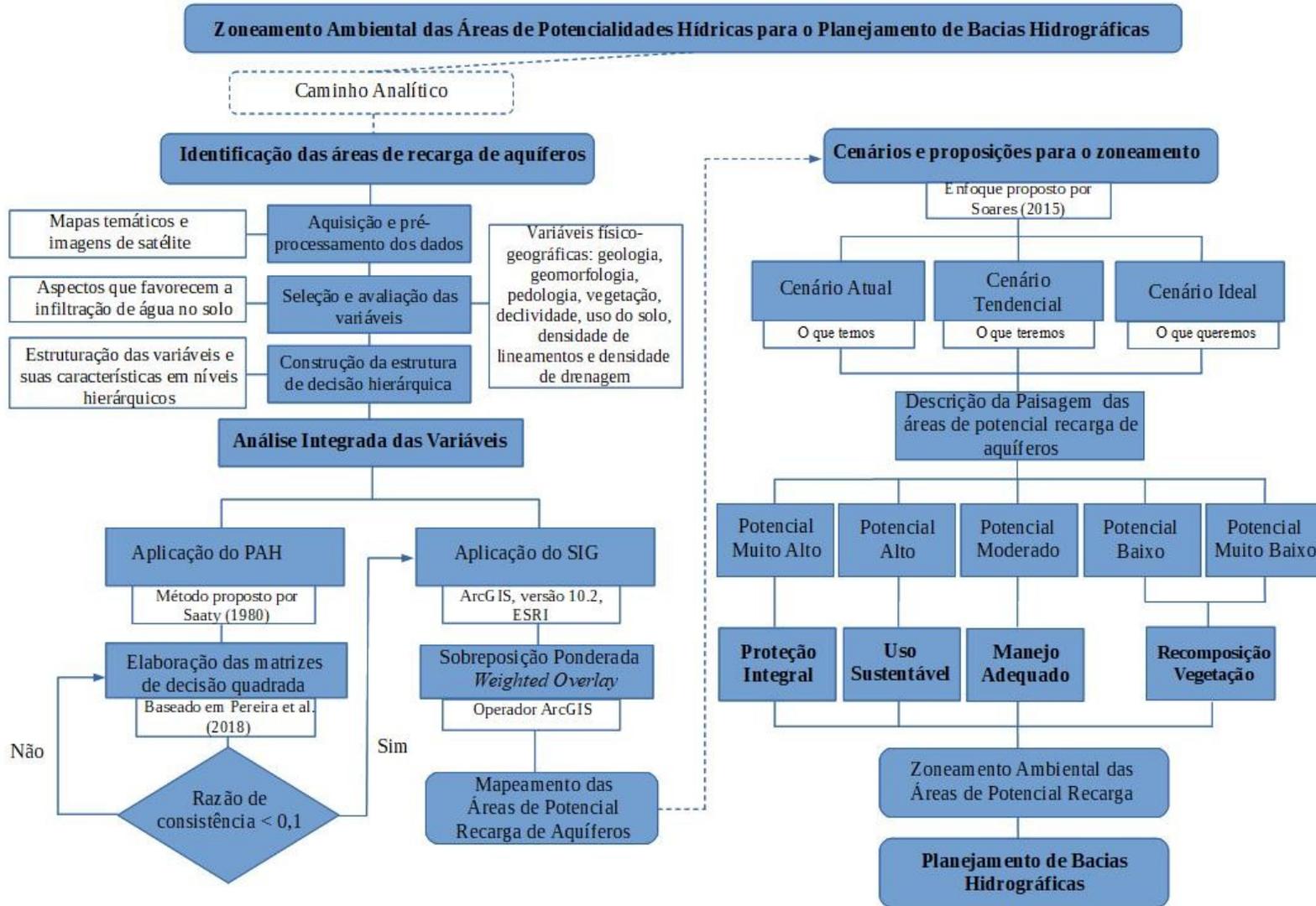
d) **Recomposição da Vegetação:** as zonas classificadas de baixo potencial a muito baixo, áreas que têm forte intervenção antrópica, neste sentido, as proposições se referem a recomposição da vegetação em áreas protegidas no espaço urbano.

Desta forma, como resultado obtém-se um mapa com as proposições para o zoneamento ambiental das áreas de potencialidades hídricas conforme descritivo das paisagens identificadas no mapeamento das áreas de recarga de aquíferos, assim classificadas: Proteção Integral, Uso Sustentável, Manejo Adequado e Recomposição da Vegetação.

A Figura a seguir apresenta a proposta metodológica desenvolvida como produto da pesquisa sobre gestão integrada de recursos hídricos no planejamento urbano, onde primordialmente destaca a proteção das águas como elemento essencial ao planejamento territorial, visando estabelecer que sua aplicação pode se dar em qualquer unidade geográfica de planejamento de recursos hídricos.

Neste sentido, a partir dos resultados alcançados na pesquisa foi possível desenvolver uma proposta metodológica de zoneamento ambiental definido nas áreas de potencialidades hídricas e no processo de construção de cenários ambientais. A proposta de zoneamento ambiental das áreas de potencialidades hídricas para o planejamento de bacias hidrográficas constitui-se no produto elaborado para a pesquisa de mestrado.

Figura 2: Proposta de zoneamento ambiental das áreas de potencialidades hídricas para o planejamento de bacias hidrográficas.



Fonte: Autor (2020).

