



Universidade de Ribeirão Preto
Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental

DANIELLE SOARES MAGALHÃES OHOFUGI

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS
ESTRATÉGICAS DE GESTÃO PARA FINS DE USO E CONSERVAÇÃO
DOS RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS DOS RIOS LONTRA E
CORDA: UMA CONTRIBUIÇÃO AO PLANO DE BACIA

RIBEIRÃO PRETO - SP
2020

DANIELLE SOARES MAGALHÃES OHOFUGI

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS
ESTRATÉGICAS DE GESTÃO PARA FINS DE USO E CONSERVAÇÃO
DOS RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS DOS RIOS LONTRA E
CORDA: UMA CONTRIBUIÇÃO AO PLANO DE BACIA

Tese apresentada à Universidade de Ribeirão Preto-
UNAERP, como requisito parcial de avaliação para
obtenção do título de doutor pelo Programa de Doutorado
em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes

RIBEIRÃO PRETO - SP
2020

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento
Técnico da Biblioteca Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto -

O38p Ohofugi, Danielle Soares Magalhaes, 1981-
Proposta metodológica para determinação de áreas estratégicas de gestão para fins de uso e conservação dos recursos hídricos das bacias dos rios lontra e corda: uma contribuição ao plano de bacia / Danielle Soares Magalhaes Ohofugi. – Ribeirão Preto, 2020.
116 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes.

Tese (doutorado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2020.

1. Recarga de aquíferos. 2. Escoamento de base. 3. Gestão Integrada. 4. Áreas de restrição de uso. I. Título.

CDD

DANIELLE SOARES MAGALHÃES OHOFUGI

**“PROPOSTA METODOLÓGICA PARA DETERMINAÇÃO DE ÁREAS
ESTRATÉGICAS DE GESTÃO PARA FINS DE USO E CONSERVAÇÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS DAS BACIAS DOS RIOS LONTRA E CORDA: UMA
CONTRIBUIÇÃO AO PLANO DE BACIA”**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora pelo programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Data de defesa: 07 de agosto de 2020

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes
Presidente/UNAERP



Prof. Dr. Celso Luiz Franzotti
FATEC



Prof. Dra. Luciana Rezende Alves de
Oliveira
UNAERP



Eduardo Lucena Cavalcante de
Amorim
UFAL



Prof. Dr. Gustavo Almeida Frata
UNAERP

**RIBEIRÃO PRETO
2020**

DEDICATÓRIA

Para Maya, amor maior.

AGRADECIMENTOS

Este Trabalho não teria sido possível sem a participação e incentivo de muitas pessoas que, de forma espontânea e generosa, cederam parte do seu tempo e de seu conhecimento para que ela pudesse ser concluída.

A Deus, por proporcionar mais um momento importante em minha vida, sem o qual a sua Presença seria impossível realizá-lo.

A minha família, em especial aos meus pais e meus irmãos por ter me ensinado a forma mais simples de conduzir a vida.

A Coordenadora e aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da UNAERP, pelos conhecimentos transmitidos durante todo o curso. Em especial ao meu orientador Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes, pelas orientações, apoio e gentileza, fundamentais para a desenvolvimento e conclusão desta tese.

Aos amigos e colegas do curso, em especial a Sérgio Carlos Bernardo e Giulliano Guimarães, pela sincera amizade e por me apresentar ao Programa de Doutorado.

Aos gestores da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Tocantins – SEMARH/TO pelo suporte e confiança a mim depositada para a realização dessa pesquisa.

Aos colegas do Centro Universitário Católica do Tocantins – UniCatólica em especial a amiga Dra. Eliene Gomes, por me fazer acreditar que em tudo somos capazes.

A amiga Eng. Dra. Simone Dutra, que em sua disponibilidade contribuiu com ideias e discussões, essenciais ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao amigo de todas as horas e companheiro de jornada, Eng. Thiago Bandeira, cujas palavras e companhia foram essenciais para seguir firme na trajetória percorrida ao longo dos 4 anos de Doutorado.

A minha filha Maya Ohofugi, tão pequenina, mas que nos momentos de ausência e distância, me fez ser forte e confiante para seguir em frente. A você filha, todo o meu amor e agradecimento, sempre.

Aos meus tesouros Ana Clara Ohofugi, Maria Eduarda Magalhães e Arthur Dionílio Magalhães, com doçura no olhar, fazem-me lutar, diariamente, por um mundo melhor.

Ao meu esposo Walter Ohofugi Junior, que soube entender e respeitar a necessidade dos momentos de distância, incentivando e apoiando, um agradecimento especial para o maior motivador deste trabalho e da minha vida.

RESUMO

Para a efetiva gestão dos recursos hídricos, o conhecimento das interações existentes entre as águas superficiais e subterrâneas é condição essencial. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433/1997, em seus fundamentos, ao se referir à gestão integrada dos recursos hídricos, considera a unidade do ciclo hidrológico como requisito necessário ao planejamento e uso das águas. Observa-se, em um cenário crescente de utilização dos recursos hídricos, o excessivo uso das águas subterrâneas em relação as águas superficiais, tal fato se atribui aos aquíferos constituírem importantes fontes de abastecimento em muitas bacias hidrográficas, sobretudo quando as águas superficiais apresentam cenários de escassez ou de poluição. Outrora as modificações do uso da terra, associados as captações desordenadas da água subterrânea podem ocasionar a redução dos fluxos de base dos rios, cujas consequências afetam a relação entre as águas subterrâneas e superficiais em uma bacia hidrográfica. Para tanto, torna-se estratégico o conhecimento das áreas de recarga de aquífero em uma bacia hidrográfica e posterior proteção com vistas a sustentabilidade da região, tendo em vista que o processo de recarga é essencial para a dinâmica entre os compartimentos hídricos. Assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma proposta metodológica, com base na definição de critérios técnicos, que levem a determinação de Áreas Estratégicas de Gestão - AEG com vistas a conservação, uso e manutenção das disponibilidades dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, tendo como estudo de caso as bacias hidrográficas dos rios Lontra e Corda, afluentes do Rio Araguaia, localizadas na região norte do Estado do Tocantins. Tendo em vista a falta de informações hidrogeológicas existentes nas bacias e a importância de se conhecer as áreas potenciais de recarga subterrânea, adaptou-se a metodologia proposta por Melo Neto *et. al* (2013) onde foram acrescentadas informações referentes aos índices pluviométricos das áreas estudadas. As bacias apresentaram um potencial de recarga subterrânea, totalizando 44,10% de suas áreas classificadas como médio e alto potencial. A proposta metodológica para determinação de áreas estratégicas, para fins de uso e conservação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas foi fundamentada a partir da integração de informações básicas, originadas do plano de informação utilizado para caracterização das potenciais áreas de recarga. Os temas utilizados foram potencial de recarga subterrânea; geologia; solos; declividade; localização dos poços e uso da terra. Definiu-se quatro Áreas Estratégicas de Gestão: Área Estratégica I (Proteção Imediata), Área Estratégica II (Restrição e Controle), Área Estratégica III (Prevenção) e Área Estratégica IV (Proteção de Poços destinados ao Abastecimento Doméstico). A Área Estratégica II está presente em 64,67% da área das bacias, sendo necessária a adoção de medidas que visem a restrição e controle das atividades. Os resultados foram apresentados, e se aplicados em áreas onde o conhecimento hidrogeológico é incipiente, apresentam-se como uma alternativa técnica de apoio aos gestores de recursos hídricos, com a finalidade de se evitar a insegurança hídrica em uma bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Recarga de aquíferos; Escoamento de base; Gestão integrada; Áreas de Restrição de Uso.

ABSTRACT

For an effective management of water resources, the knowledge of the interactions between surface and groundwater is an essential condition. In Brazil, the National Water Resources Policy, Law 9.433 / 1997, in its fundamentals, when referring to the integrated management of water resources, considers the hydrological cycle unit as a necessary requirement for water planning and use. It is observed, in a growing scenario of water resources utilization, the excessive use of groundwater in relation to surface waters, such fact is attributed to the aquifers constituting important sources of supply in many hydrographic basins, especially when the surface waters present scenarios of scarcity or pollution. Formerly land-use modifications, associated with disordered groundwater abstraction, may cause a reduction in the base flows of rivers, the consequences of which affect the relationship between groundwater and surface water in a hydrographic basin. Therefore, it becomes strategic to know the areas of aquifer recharge in a hydrographic basin and subsequent protection with a view to the sustainability of the region, considering that the recharge process is essential for the dynamics between the water compartments. Hence, this work aimed to develop a methodological proposal, based on the definition of technical criteria, which lead to the determination of Strategic Management Areas - SMA taking into account the conservation, use and maintenance of the availability of water resources in a hydrographic basin, taking as a case study the hydrographic basins of the Lontra and Corda rivers, tributaries of the Araguaia River, located in the northern region of the State of Tocantins in Brazil. Considering the lack of existing hydrogeological information in the basins and the importance of knowing the underground recharge areas, it was adapted to the methodology proposed by Neto et.al (2013) where information related to the rainfall indexes of the studied areas was added. The basins had good underground recharge potential, totalling 44.10% of their areas classified as medium and high potential. The methodological proposal for determining strategic areas, for the purpose of use and conservation of water resources in hydrographic basins was based on the integration of basic information, originated from the information plan used to characterize the potential recharge areas. The themes used were underground recharge potential; geology; soils; slope; well location and land use. Four Strategic Management Areas were defined: Strategic Area I (Immediate Protection), Strategic Area II (Restriction and Control), Strategic Area III (Prevention) and Strategic Area IV (Protection of Wells for Domestic Supply). The Strategic Area II is present in 64.67% of the basin area, making it necessary to adopt measures aimed at restricting and controlling activities. The results were presented, and if applied in areas where hydrogeological knowledge is incipient, they are presented as a technical alternative to support water resource managers, in order to avoid water insecurity in a hydrographic basin.

Keywords: Aquifer recharge; Base flow; Integrated management; Use Restricted Areas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistemas de Fluxos de Água Subterrânea.....	21
Figura 2 - Hidrograma típico de uma bacia hidrográfica.	23
Figura 3 - Municípios brasileiros abastecidos por águas subterrâneas - total e por intervalos de tamanho populacional.....	34
Figura 4 - Perfil de usuários de água subterrânea no país	35
Figura 5 – Fluxograma das atividades desenvolvidas na pesquisa.....	47
Figura 6 – Fluxograma adaptado para pesquisa	56
Figura 7 - Processo metodológico para Determinação das Áreas Estratégicas de Gestão	59
Figura 8 - Localização geográfica das bacias Lontra e Corda.....	62
Figura 9- Mapa Pedológico das bacias dos rios Lontra e Corda	67
Figura 10 - Mapa de declividade das bacias dos rios Lontra e Corda.....	69
Figura 11 - Mapa de Uso e Ocupação do solo das bacias dos rios Lontra e Corda.....	71
Figura 12 - Número de atos de outorgas por municípios, nas bacias dos rios Lontra e Corda	73
Figura 13 - Número de atos de outorga por tipo de captação nas bacias dos Rios Lontra e Corda	74
Figura 14 - Curva de Permanência das vazões da estação 28200000 (Período: Jan/2015 a Dez/2018) ($Q_{90\%} = 7,62 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{50\%} = 19,91 \text{ m}^3/\text{s}$) – Esc. Base = 38 %	76
Figura 15 - Hidrograma das vazões médias da Estação 28200000 – Período: Jan/2015 a Dez/2018.....	76
Figura 16 - Hidrograma da Estação 28200000 com separação do escoamento	77
Figura 17. Mapas temáticos necessários para confecção do mapa final das potenciais áreas de recarga subterrânea: (a) geologia; (b) geomorfologia; (c) hipsometria; (d) solos; (e) declividade; (f) uso e ocupação da terra; (g) precipitação.....	81
Figura 18 - Áreas Potenciais de Recarga Subterrânea.....	86
Figura 19 - Delimitação da Área Estratégica de Gestão I nas bacias dos rios Lontra e Corda	92
Figura 20 - Delimitação da Área Estratégica de Gestão II nas bacias dos rios Lontra e Corda	93
Figura 21 - Delimitação da Área Estratégica de Gestão III nas bacias dos rios Lontra e Corda	94
Figura 22 - Delimitação da Área Estratégica de Gestão IV nas bacias dos rios Lontra e Corda	95
Figura 23 - Delimitação das Áreas Estratégicas de Gestão nas bacias dos rios Lontra e Corda	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações fluviométricas identificadas nas bacias.	49
Tabela 2 - Abrangência dos municípios nas bacias dos Rios Lontra e Corda.....	63
Tabela 3 - Quantificação, em porcentagem, dos tipos de solo predominantes em cada bacia .	66
Tabela 4 - Quantificação, em porcentagem, das classes de declividade predominantes em cada bacia.....	69
Tabela 5 - Quantificação, em porcentagem, do uso e ocupação do solo predominante nas bacias dos rios Lontra e Corda	71
Tabela 6 - Classificação do potencial das áreas de recarga subterrânea	79
Tabela 7 - Tipos de Sistema Aquíferos existentes nas bacias e valoração quanto ao armazenamento de água.....	82
Tabela 8 - Formas de relevo (Unidades Geomorfológicas) quanto ao fluxo preferencial em profundidade	82
Tabela 9- Declividade das vertentes das bacias dos Rios Lontra e Corda	83
Tabela 10 - Atribuição de pesos às classes de potencial de armazenamento subterrâneo relacionadas ao uso e ocupação da terra.....	84
Tabela 11. Unidades Pedológicas e seu potencial de armazenamento subterrâneo para as bacias dos rios Lontra e Corda	85
Tabela 12 - Classes de intensidade de Precipitação	85
Tabela 13 - Distribuição das áreas potenciais de recarga nas bacias dos Rios Lontra e Corda	87
Tabela 14 - Áreas Estratégicas de Gestão identificadas nas bacias dos rios Lontra e Corda...	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resoluções do CNRH aplicadas à gestão das águas subterrâneas no território brasileiro.....	33
Quadro 2 - Descrição e avaliação dos métodos para definição de zonas de proteção.....	46
Quadro 3 - Relações das variáveis ambientais de uma bacia hidrográfica com a componente de armazenagem de água.....	53
Quadro 4 - Condicionantes ambientais das Áreas Estratégicas propostas.	60
Quadro 5 - Características das classes de solos existentes nas bacias dos rios Lontra e Corda.	68
Quadro 6 - Vazões outorgadas (m ³ /s) em 2018, por tipo de manancial, dos recursos hídricos nas bacias dos Rios Lontra e Corda.	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANM	Agência Nacional de Mineração
APHA	<i>American Public Health Association</i>
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CPRM	Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais
CTAS	Câmara Técnica de Águas Subterrâneas
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGARF	<i>Impact Of Groundwater In River Flow</i>
GRAPES	<i>Groundwater and River resources Action Program at a European Scale</i>
NATURATINS	Instituto Natureza do Tocantins
ONU	Organização das Nações Unidas
PBHRLC	Plano de Bacias Hidrográficas dos Rios Lontra e Corda
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
RIMAS	Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
SEMARH	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SEPLAN	Secretaria de Planejamento
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SRQA	Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental
SRTM	<i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>
SAU	Sistema Aquífero Urucua
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
ZEE	Zoneamento Ecológico Econômico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1 INTERAÇÃO ENTRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS	20
3.2 RECARGA DE AQUÍFEROS: EPISTEMOLOGIA E INTERDISCIPLINARIDADE	24
3.3 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE RECARGA.....	26
3.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E REFLEXOS NOS RECURSOS HÍDRICOS	28
3.5 ASPECTOS LEGAIS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....	31
3.6 LEGISLAÇÕES ESPECÍFICAS SOBRE A ÁGUA SUBTERRÂNEA (CNRH) NO CONTEXTO BRASILEIRO	32
3.7 DEMANDAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL.....	33
3.8 HIDROGEOLOGIA NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	36
3.9 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG APLICADO AOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS	37
3.10 ÁREAS POTENCIAIS DE RECARGA SUBTERRÂNEA	38
3.11 PROTEÇÃO DO USO DO SOLO COM VISTAS A PROTEÇÃO DAS ÁREAS DE RECARGA SUBTERRÂNEAS.....	40
3.12 PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DE POÇOS: LEGISLAÇÃO BRASILEIRA E INTERNACIONAL	42
4. MATERIAL E MÉTODOS	47
4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS	47
4.2 ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS AOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS	48
4.2.1 Dados Hidrológicos	48
4.2.2 Separação do Escoamento de Base.....	50
4.3 DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS POTENCIAIS DE RECARGA SUBTERRÂNEA	52
4.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA EM UM AMBIENTE SIG	55
4.5 PROPOSTA METODOLÓGICA PARA DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS ESTRATÉGICAS DE GESTÃO PARA FINS DE USO E CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	57
4.5.1 Levantamento de Dados Secundários.....	58
4.5.2 Definição das Áreas Estratégicas de Gestão.....	59
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS	61
5.1.1 Caracterização das bacias dos rios Lontra e Corda	61

5.1.1.1	Clima	62
5.1.1.2	Características Hidrológicas	64
5.1.1.3	Características Geomorfológicas	64
5.1.1.4	Geologia	65
5.1.1.5	Características Hidrogeológicas	65
5.1.1.6	Características dos Solos	66
5.1.1.7	Declividade das Bacias Hidrográficas	67
5.1.1.8	Características Bióticas.....	70
5.1.1.9	Usos da Terra.....	70
5.1.1.10	Principais usos dos recursos hídricos nas bacias dos rios Lontra e Corda	72
5.1.1.11	Demandas outorgadas em Domínio Estadual.....	73
5.2	ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS AOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS NAS BACIAS DOS RIOS LONTRA E CORDA	75
5.2.1	Considerações Iniciais	75
5.2.2	Separação do Escoamento usando Filtros Digitais.....	75
5.2.3	Estimativa da Separação de Escoamento – usando filtros – Estação 2820000	75
5.2.4	Análise a partir das características naturais das bacias.....	78
5.3	IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS POTENCIAIS DE RECARGA SUBTERRÂNEA NAS BACIAS DOS RIOS LONTRA E CORDA.....	79
5.3.1	Mapas temáticos e tabelas necessárias para confecção do mapa final das potenciais áreas de recarga subterrânea	80
5.3.2	Mapa de síntese final – áreas potenciais de recarga subterrânea nas bacias dos rios lontra e corda	85
5.3.3	Análise das Potenciais Áreas de Recarga Subterrânea nas Bacias dos Rios Lontra e Corda	87
5.3.4	Características físicas predominantes nas bacias dos Rios Lontra e Corda e sua relação com o Potencial de Armazenamento de Água Subterrânea	88
5.4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NAS BACIAS DOS RIOS LONTRA E CORDA	91
6.	CONCLUSÕES.....	98
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	100
	REFERÊNCIAS	101
	APÊNDICE	
	ANEXOS	

1. INTRODUÇÃO

A crescente utilização dos recursos hídricos tem se tornado uma realidade preocupante, uma vez que a água é um elemento fundamental para a manutenção das formas de vida existentes, possuindo significativa importância social, econômica e ambiental.

Neste cenário, o uso das águas subterrâneas tem tomado espaço quando comparado ao uso das águas superficiais. Tal fato é decorrente das vantagens das águas subterrâneas em relação às águas superficiais, destacando-se sua qualidade, em função da proteção natural dos aquíferos, o menor risco de contaminação, além do fator econômico. Globalmente, estima-se que a captação de água subterrânea tem aumentado de 1% a 2% por ano (WWAP, 2012).

A água subterrânea, resultante do processo de recarga dos aquíferos, tem um papel fundamental no suprimento de cerca de 2,5 bilhões de pessoas e para a agricultura, correspondendo a 43% de todo o recurso hídrico utilizado. Estima-se que cerca de 20% dos aquíferos mundiais são explorados acima de sua capacidade, causando rebaixamentos regionais do nível, afetando a capacidade de abastecimento, a manutenção das vazões de base dos mananciais superficiais, os sistemas ecológicos e a qualidade, devido a salinização e o aporte de águas residuárias (WWAP, 2015).

O papel das águas subterrâneas vai muito além do abastecimento de água as populações ou mesmo para produção de bens e serviços. A descarga das águas dos aquíferos para um corpo superficial é seguramente a mais importante função ecológica que desempenham as águas subterrâneas. Durante a estiagem, os rios, pântanos, mangues e lagos não recebem águas das chuvas e a sua perenidade é assegurada pelo fluxo de base, ou seja, pela descarga de água advinda dos aquíferos (HIRATA *et. al.*, 2019).

Em regiões tropicais, o fluxo de base representa 30-40% do total de vazão de um rio. Em períodos de seca, a água do rio pode provir quase que inteiramente do fluxo de base, mesmo em rios de grande porte (HIRATA *et. al.*, 2019).

Frente a essa realidade torna-se necessário o conhecimento da interação existente entre os compartimentos hídricos, uma vez que a compreensão dos princípios básicos da inter-relação entre as águas e subterrâneas e superficiais é essencial para o efetivo planejamento dos recursos hídricos. O reconhecimento dessa inter-relação é observado na Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433/1997, em seus Fundamentos, ao se referir à gestão integrada dos recursos hídricos, que considera a unidade do ciclo hidrológico como requisito necessário ao planejamento e uso das águas.

Autores afirmam que a captação desordenada da água subterrânea de uma determinada bacia hidrográfica, associada ao mau uso do solo, pode ocasionar a redução dos fluxos de base dos seus rios, cujas consequências afetam a relação entre as águas subterrâneas e superficiais (CASCHETTO et al. 2014; COLLISCHONN, 2013).

Outrora as modificações do uso do solo, evidenciados pelo crescimento populacional, são alguns dos fatores que têm colocado em risco a qualidade e quantidade dos recursos hídricos subterrâneos, sendo o controle do uso e ocupação do solo em uma determinada região, uma das estratégias de proteção das águas subterrâneas. Algumas das principais fontes de contaminação dos aquíferos estão relacionadas a: agricultura, pecuária, atividades industriais, atividades de mineração, esgotos, resíduos sólidos, postos de combustível, cemitérios, entre outros.

Assim, uma abordagem integrada pressupõe a utilização e gestão coordenada da água, do uso do solo e dos recursos relacionados, a fim de maximizar o bem-estar econômico e social resultante, de maneira equitativa sem comprometer a sustentabilidade de ecossistemas vitais, incluindo o desenvolvimento ordenado e o gerenciamento das águas superficiais e subterrâneas, bacias hidrográficas e seus ambientes adjacentes (GWP, 2006).

Recentemente, com o intuito de estabelecer diretrizes para a gestão dos recursos hídricos em bacias onde exista interconectividade direta entre os aquíferos livres e rios perenes, o Conselho Nacional dos Recursos Hídricos – CNRH, ente do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos Brasileiro determinou que a gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos contemple avaliações hidrológicas integradas e deverá observar, no mínimo, a delimitação das áreas de recarga e de contribuição dos aquíferos para os rios diretamente conectados e a estimativa da disponibilidade hídrica integrada subterrânea e superficial para os diversos usos (BRASIL, 2018).

Empregou-se neste trabalho a metodologia proposta nas bacias hidrográficas dos Rios Lontra e Corda, localizada na região Norte do Estado do Tocantins, afluente da Bacia do Rio Araguaia, componente da Região Hidrográfica Tocantins Araguaia. A escolha da bacia se deu por diversos fatores, entre eles a falta de informações hidrogeológicas existente na região, tendo em vista sua importância para o gerenciamento hídrico da bacia, uma vez que a região se caracteriza pelo elevado uso da água subterrânea para abastecimento humano e agropecuário, que se destaca, mesmo as bacias possuindo um elevado potencial hídrico superficial. Sua localização e abundância de recursos naturais, especialmente dos recursos hídricos, conferem à região um caráter estratégico para o desenvolvimento do país, além do avanço da atividade agropecuária evidenciada na região (BRASIL, 2006).

Especificamente as bacias em apreço possuem elaborado desde o ano de 2002 seu respectivo Plano de Bacia Hidrográfica. No entanto o referido plano é carente de informações hidrogeológicas, não apresentando informações necessárias ao conhecimento da estimativa da contribuição dos aquíferos para a vazão de base dos rios, nem tão pouco a delimitação das possíveis áreas de recarga dos aquíferos, com propósito de proteção.

As bacias dos Rios Lontra e Corda, compostas por 12 municípios, estão localizadas na região norte do Estado do Tocantins, compreendem a Região Hidrográfica Tocantins Araguaia, destacando-se no cenário estadual como uma importante região econômica do Estado.

A atividade agropecuária intensiva é a principal atividade econômica das bacias, sendo reconhecida nacionalmente pelas boas terras agricultáveis e seu farto rebanho bovino, o que caracteriza a região norte do Estado como sendo um forte propulsor do desenvolvimento econômico da região norte do país (DETZEL *et. al.*, 2016).

Assim, ao considera-se estratégico o conhecimento das relações existentes entre os compartimentos hídricos da região, a fim de que seja garantido o uso sustentável dos recursos hídricos, bem como o conhecimento das potenciais áreas de recarga de aquífero para manejo sustentável do uso do solo, a fim de minimizar os impactos nos recursos hídricos, surgem questões de gerenciamento de recursos hídricos de maior relevância, tais como:

- Como é a relação de interação entre as águas subterrâneas e superficiais nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Corda?
- O conhecimento das áreas potenciais de recarga subterrânea nas bacias é um meio eficaz para a integração entre a gestão do uso do solo e a gestão dos recursos hídricos?
- A proposição do manejo do uso do solo, por meio da proposição de áreas estratégicas de uso e conservação dos recursos hídricos será eficaz para garantia da sustentabilidade hídrica das bacias estudadas?

O trabalho proposto visa contribuir para a gestão dos recursos hídricos em regiões onde o conhecimento hidrogeológico é inexistente ou incipiente. Para tanto, almeja-se que este trabalho forneça subsídios para o planejamento dos recursos hídricos das bacias, uma vez que a compreensão do processo de interação entre os compartimentos hídricos é essencial para a gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

No Brasil, em virtude da escassez de informações hidrogeológicas, sobretudo quanto a caracterização dos aquíferos, incluindo a suas respectivas áreas de recarga, bem como incipiente os estudos na literatura sobre a interconectividade entre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, torna-se necessário, por isso, o emprego de metodologias simples

que permitam a gestão integrada dos recursos hídricos e o manejo do uso do solo em áreas de recarga de aquífero (SILVA, 2007 e VASCONCELOS, 2014).

Nesta perspectiva, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de uma proposta metodológica com base na definição de critérios técnicos em função dos aspectos físicos naturais das bacias e do atual uso do solo, que levem a determinação de áreas estratégicas para conservação, uso e manutenção das disponibilidades dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, através da avaliação da relação existente entre os manancial superficial e subterrâneo e a localização das áreas potenciais de recarga subterrânea, de forma a ser um instrumento de apoio aos gestores dos recursos hídricos, com a finalidade de se evitar a insegurança hídrica na bacia, preferencialmente a ser aplicada em regiões onde o conhecimento hidrogeológicos seja ainda incipiente.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma proposta metodológica com base na definição de critérios técnicos que levem a determinação de áreas estratégicas de gestão para conservação, uso e manutenção das disponibilidades dos recursos hídricos subterrâneos da bacia hidrográfica dos rios Lontra e Corda -TO.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar de dados relativos à geologia (sistemas aquíferos), geomorfologia (declividade), classe de solo, uso do solo, precipitação (intensidade), necessárias para caracterização física das bacias estudadas;
- Analisar a interação existente entre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos das bacias, a partir da utilização de filtros digitais recursivos;
- Identificar as áreas potenciais de recarga subterrânea, possivelmente áreas de recarga de aquíferos nas bacias estudadas;
- Desenvolver metodologia para determinação de áreas estratégicas de gestão, para fins de uso e conservação dos recursos hídricos;
- Aplicar a metodologia desenvolvida, como estudo de caso, nas bacias dos rios Lontra e Corda, incluindo a proteção das captações de água subterrânea para abastecimento público.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Este item inicia-se abordando os conceitos fundamentais relacionados a interação existente entre as águas subterrâneas e superficiais, os quais não constituem escopo principal dessa pesquisa, mas são importantes para o entendimento da dinâmica física desses sistemas no âmbito do planejamento de uma bacia. Apresenta-se também uma descrição sucinta sobre os principais impactos ocasionados pelas atividades humanas, a partir do uso do solo, sobre as águas subterrâneas em decorrência de seu uso intensivo, evidenciando a necessidade de proteção de áreas específicas, a exemplo áreas potenciais de recarga subterrânea em uma bacia hidrográfica. Ainda, pretende-se nesse item, realizar análise do reconhecimento por parte das normas atuais vigentes no país, da necessidade de consideração dessa interconectividade nos instrumentos de políticas públicas ambientais e de recursos hídricos, para uma efetiva gestão dos recursos hídricos.

3.1 INTERAÇÃO ENTRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS

O escoamento é uma das fases do ciclo hidrológico caracterizado pelo deslocamento das águas subterrâneas e superficiais em uma determinada bacia hidrográfica. De uma maneira geral, o escoamento é subdividido em: superficial (formado sobre a superfície do solo saturado e pelos seus múltiplos canais); subsuperficial (gerado pela infiltração da água junto às raízes da cobertura vegetal); e subterrâneo (representa o fluxo de contribuição ao aquífero) (CABRAL, 2008).

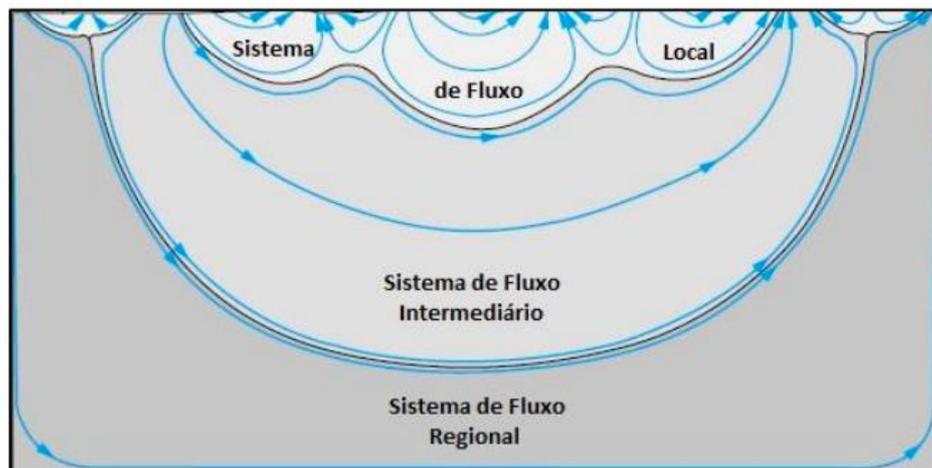
Um aquífero é uma formação geológica permeável e porosa que favorece o armazenamento e transmissão de quantidades significativas de água. As propriedades da água (densidade, viscosidade e compressibilidade) e as propriedades do meio poroso (porosidade, permeabilidade intrínseca e compressibilidade) influenciam na capacidade do aquífero em armazenar e transmitir água (CABRAL, 2008).

As águas no interior de um aquífero fluem de forma lenta, desde a zona de recarga, onde geralmente infiltram-se as precipitações atmosféricas, até a zona de descarga, onde as águas subterrâneas vertem diretamente em corpos de água superficial, como rios, lagos, pântanos e o mar. Desta forma, a descarga das águas dos aquíferos para um corpo superficial é seguramente a mais importante função ecológica que desempenham as águas subterrâneas. Durante a estiagem, os rios, pântanos, mangues e lagos não recebem águas das chuvas e a sua perenidade

é assegurada pelo fluxo de base, ou seja, pela descarga de água advinda dos aquíferos (HIRATA et. al, 2018).

Segundo Tóth (1963 apud SOPHOCLEOUS, 2002), são três os sistemas de fluxo d'água subterrânea em uma bacia hidrográfica, os quais são denominados de sistema de fluxo local, intermediário e regional, podendo ser evidenciados por meio do esquema representado pela Figura 1. No processo denominado fluxo local, a água se move próximo à zona de descarga, podendo ser uma nascente, barragem ou lago. O sistema de fluxo intermediário é caracterizado por um ou mais altos e baixos topográficos localizados entre zonas de recarga e descarga, enquanto no fluxo regional a água percorre maiores distâncias e geralmente a descarga está associada a grandes rios, lagos, ou mesmo ao oceano.

Figura 1 - Sistemas de Fluxos de Água Subterrânea



Fonte: Tóth, 1963 apud Sophocleous, 2002.

As condições climáticas do ambiente também são importantes para determinar o regime de fluxo da água superficial e os volumes de recarga e descarga das águas subterrâneas, de modo que eventos sazonais ou extremos de precipitação podem alterar a dinâmica hidráulica e induzir mudanças na direção do fluxo (TSCHIEDEL, 2004).

Segundo Cunha (2017), a interação entre rio e aquífero se enquadra na etapa de escoamento como processo de trocas entre as águas superficiais e subterrâneas, desenvolvidas permanentemente ou por certo período, nas superfícies ou nas camadas rochosas abaixo dela.

Para Eilers (2004), as águas subterrâneas e superficiais interagem em vastos cenários físicos e climáticos, o que evidencia que não são componentes isolados no sistema hidrológico. Ou seja, estão intimamente conectadas, se movimentando entre os aquíferos, rios, lagos, mares, oceanos e a atmosfera, constituindo assim o ciclo hidrológico. Diante disso, é primordial

compreender a integração das águas subterrâneas e superficiais visando a gestão conjunta dos recursos hídricos (CUNHA, 2017).

A topografia e a geologia interferem de forma expressiva na dinâmica de trocas entre os corpos superficiais e os aquíferos. Geralmente, em um aquífero não-confinado, a linha freática segue forma semelhante à da topografia do terreno, sendo, também, bastante dependente das características geológicas da região. Esses dois mecanismos, por outro lado, determinam apenas a distribuição espacial das zonas de recarga e descarga, e não as taxas em que elas ocorrem, as quais são mais influenciadas pelo clima. Dessa forma, o tripé: topografia, geologia e clima, constitui o principal responsável pela interação entre águas subterrâneas e superficiais (TÓTH, 1970).

Além destes fatores de ordem natural, as trocas entre rio e aquífero são controladas também por processos biogeoquímicos; topografia da superfície do terreno e do leito do rio; distribuição e magnitude da condutividade hidráulica na camada de sedimentos, solos e rochas; posição dos corpos hídricos em relação ao sistema de fluxo subterrâneo; morfologia do canal, sinuosidade do rio; infiltração; condições de umidade do solo; entre outros.

Para Silva (2007), dependendo das características fisiográficas e climáticas de uma região, as águas subterrâneas podem influenciar e/ou serem influenciadas por praticamente todos os tipos de corpos hídricos superficiais. Os rios podem estabelecer três configurações com os sistemas de fluxo subterrâneo (LARKIN & SHARPP, 1992):

- Rios Efluentes: as águas subterrâneas escoam na direção do corpo d'água superficial;
- Rios Influentes: as águas superficiais contribuem para o fluxo subterrâneo;
- Rios em ambas as condições: os rios contribuem ou recebem água subterrânea.

Quando, por algum motivo climático, geológico ou de interferência antrópica, essa descarga não ocorre, o corpo de água superficial seca. A perenidade desses corpos superficiais não apenas contribui para o fluxo de água em si, como também é necessária para manter a vida aquática e a vegetação de margem, para ajudar no transporte de sedimentos ao longo de seus canais e para promover a diluição de esgotos e resíduos lançados imprópriamente no seu curso, além de propiciar beleza cênica (HIRATA *et. al*, 2018).

Os recursos hídricos subterrâneos ocorrem em duas partes distintas do terreno. A primeira é a zona não saturada ou insaturada, de aeração ou zona vadosa. A segunda zona é saturada ou zona de saturação. Na zona de saturação, todos os interstícios estão preenchidos com água sob

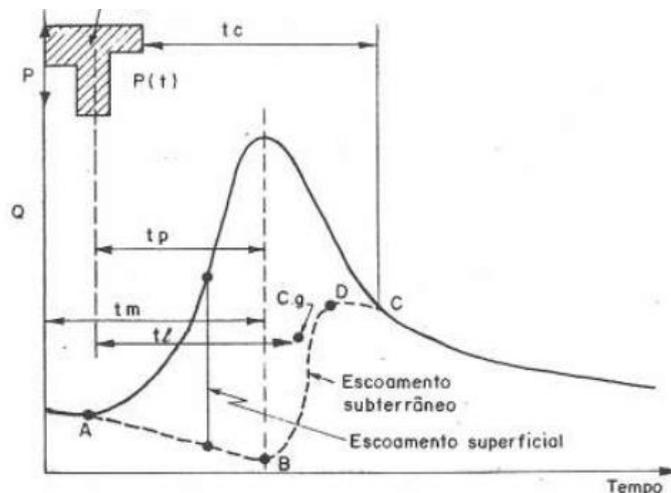
pressão hidrostática. A zona de aeração consiste de interstícios parcialmente ocupados por água e parcialmente por ar (LEMOS, 2013).

Segundo Cardoso (2008) a recarga dos aquíferos depende da infiltração das águas provenientes de médias pluviométricas de cada região. As camadas aquíferas parcialmente ou totalmente saturadas de água podem aflorar na superfície como uma descarga natural que se processa através de fontes que são surgências do nível do lençol freático. Esse ponto marca a passagem da água de escoamento subterrâneo para escoamento superficial (MARTELLI, 2012). Salienta-se que a água subterrânea tem origem na superfície e está ligada à água superficial. A primeira movimenta-se constantemente, partindo de áreas de recarga natural ou artificial em direção a áreas de descarga, naturais ou artificiais.

A interação entre o armazenamento de água no solo e o escoamento superficial é identificável quando as vazões são representadas graficamente por meio de um hidrograma. Segundo Tucci (2004), hidrograma é o resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica.

O comportamento de um hidrograma típico de uma bacia, após a ocorrência de uma série de precipitações é apresentado na Figura 2. Observa-se que entre o início da precipitação e a elevação da vazão de escoamento existe um intervalo de tempo. Isso ocorre inicialmente há perdas de água na interceptação vegetal e infiltração da água no solo. Posteriormente observa-se que o hidrograma atinge um ponto máximo, devido ao aumento da intensidade da precipitação e, em seguida, ocorre a recessão (no ponto de inflexão C). Este ponto caracteriza o fim do escoamento superficial e o início do escoamento subterrâneo. A linha tracejada no hidrograma representa a inversão de vazão do fluxo no aquífero após a precipitação.

Figura 2 - Hidrograma típico de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Tucci, (2004).

3.2 RECARGA DE AQUÍFEROS: EPISTEMOLOGIA E INTERDISCIPLINARIDADE

Segundo (XU e BEEKMAN, 2003; YIN et al., 2011, apud MEDEIROS, 2011), a recarga de águas subterrâneas é o processo pelo qual ocorre a entrada de água para o aquífero), ou ainda, a passagem de água da zona vadosa à zona saturada do solo (OLIVEIRA, 2004). Xu e Beekman (2003) enumeram quatro tipos principais de processos por meio dos quais pode ocorrer a recarga:

- Fluxo descendente de água através da zona não saturada que atinge o lençol freático;
- Fluxo lateral ou vertical entre aquíferos;
- Fluxo proveniente de corpos d'água superficiais e,
- Fluxo induzido por meio de poços de injeção ou estruturas artificiais de infiltração.

O primeiro é o mais importante dos processos e é controlado, sobretudo, pela capacidade de infiltração do solo (LEAP, 1999).

A capacidade de infiltração do solo varia com o decorrer do tempo. Inicialmente, a taxa de infiltração apresenta-se alta, se o solo estiver seco. Com o decorrer do tempo, e os poros preenchidos, a capacidade de infiltração se reduz até se manter estável a uma taxa constante, a mesma taxa com a qual se estabelece um fluxo descendente através do meio poroso do solo (HILLEL, 1998).

Segundo Kunzler (2007), os aquíferos são abastecidos de forma natural ou artificial. A primeira forma é proveniente da precipitação que alcança a parte saturada do aquífero e fica disponível para aproveitamento por período consideráveis. Salienta-se que alterações antrópicas nas áreas de recarga, como impermeabilização do solo e desmatamento afetam o processo de recarga natural. Já a recarga artificial ocorre por meio de influência antrópica.

De acordo com Maldaner (2010), ao identificar áreas de recarga dos aquíferos é possível a prevenção contra contaminação da água subterrânea. Assim, os limites da área de recarga correspondem ao local que deve ser protegido, principalmente quando o solo apresentar características mais susceptíveis à contaminação. O parâmetro recarga limita o tamanho de uma área de proteção ou pode definir um novo formato em função das condições de contorno.

Diante disso, é indispensável a necessidade de gerenciar as áreas potenciais de recarga de água subterrânea, uma vez que as mesmas são importantes indicações da localização de áreas de recarga do aquífero, em uma determinada região.

A infiltração da água no solo, a recarga e descarga de aquíferos e a relação entre precipitação e fluxo hídrico subterrâneo, são temas que têm sido tratados por diversas

“comunidades” acadêmicas. Dessa forma, há grupos de pesquisa dedicados ao tema, em áreas como Hidrogeologia, Geologia Estrutural, Geotecnia, Hidrologia, Agronomia, Engenharia Sanitária, Engenharia Ambiental, Geomorfologia Kárstica, Gestão Ambiental, Planejamento Urbano, entre outros. Nessa abordagem, foram desenvolvidos diversos trabalhos de cunho ambiental e epistemológico (MARTINS JR et al, 2012) mostrando como a gestão do uso do solo pode obter diversos subsídios a partir de uma análise conjugada entre os aspectos de recarga de aquíferos, aptidão agrícola e conectividade da vegetação, com resultados nos aspectos econômicos e ecológicos.

Considerando a interdisciplinaridade envolvendo recarga e descarga de aquíferos, Mattiuzi (2013) comparou os resultados obtidos a partir da separação de escoamento de base com as características físicas (geológicas, hidrogeológicas e tipologias de solo) da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, localizada no Estado do Rio Grande do Sul. Como conclusão foi possível relacionar as taxas de recarga mais elevadas com unidades geológicas mais permeáveis e solos com transmissividades mais elevadas; enquanto que as sub-bacias com pequenas taxas de recarga estavam relacionadas com unidades geológicas tanto permeáveis como cristalinas.

Ainda neste sentido, Medeiros (2018) propôs uma metodologia para delimitação de perímetros de proteção de captação de água subterrânea por meio de critérios técnicos hidrogeológicos, aplicados em três áreas no Distrito Federal - DF. Os resultados mostraram que a metodologia foi apropriada e eficaz nos locais estudados, principalmente por abranger contornos que englobam as áreas de recarga. Foi possível, com os conhecimentos obtidos, auxiliar na definição de áreas de proteção e na gestão de recursos hídricos para minimizar os usos do solo e os riscos de contaminação.

De acordo com Rebouças (2008), os elementos naturais que influenciam na recarga de água podem ser agrupados pela relação que os mesmos possuem com a hidrometeorologia, geomorfologia, a geologia.

A hidrometeorologia abrange elementos da hidrologia e do clima (precipitação, evapotranspiração, drenagem e temperatura) e pode fornecer subsídios para caracterizar as regiões com diferentes graus de umidade que alteram a recarga.

A geomorfologia engloba elementos de topografia, solo e vegetação, e altera a quantidade e distribuição da infiltração, devido às variações de inclinação do terreno, interação da zona radicular com o solo e a demanda hídrica das culturas.

Por fim, a geologia abrange a distribuição espacial e litoestratigrafia das formações e, influencia na quantidade e distribuição da infiltração e percolação da água, devido às correspondentes características hidráulicas dos sistemas aquíferos, formados pelas rochas.

Ainda nesse sentido, com o estudo de Soares et al. (2008) obteve-se um mapa de infiltração do alto e médio Vale do Paraíba do Sul. Foi observado que as áreas com melhor capacidade de infiltração tiveram um conjunto de fatores positivos, como: elevadas precipitações médias anuais (1800 a 1900 mm), relevos com declividades médias baixas (3 a 12%), predomínio de solo homogêneo e com boa drenagem (latossolos) e rochas com alto grau de fraturamento.

Diante das informações supracitadas, verifica-se que o a estimativa de recarga de um aquífero exige análise interdisciplinar, o que proporciona a obtenção de dados que auxiliam na implantação de uma gestão eficaz e integrados dos recursos hídricos subterrâneos.

3.3 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE RECARGA

A estimativa de recarga da água subterrânea é um fator determinante em estudos de disponibilidade, gestão e modelagem dos recursos hídricos subterrâneos. Ou seja, o conhecimento da taxa de alimentação de um sistema aquífero traz subsídios ao gerenciamento ambiental da área. Isso porque, em geral há uma relação direta entre o movimento do contaminante em direção ao aquífero com o aumento das taxas de recarga, conforme Villar (2008).

Na quantificação da recarga são fundamentais o conhecimento e o entendimento do complexo sistema de fluxo de água no meio não saturado e a elaboração de um modelo conceitual que represente adequadamente os principais processos físicos que envolvem a interação água - solo – vegetação. Porém, na maioria das situações, os dados e informações disponíveis não são suficientes para a representação destes processos. Neste caso, a adoção de métodos mais complexos, que usualmente demandam um número elevado de informações e campanhas de coleta de dados de campo, pode não ser o mais adequado. Portanto, a metodologia a ser utilizada deve considerar o balanço entre a razoável representação do modelo físico conceitual e a realidade dos dados disponíveis (SILVA, 2007).

Existem diversas metodologias para estimar a taxa de recarga dos aquíferos e todas requerem um vasto conhecimento sobre a área de estudo, já que tal processo é influenciado por vários fatores como: clima, geologia, tipos de solos, topografia, vegetação, hidrologia, regime pluviométrico, tipo e uso e ocupação do solo, formações geológicas, aquíferos presentes na região, tipo de vegetação e presença de cursos de água e outros mananciais. Para o conhecimento da taxa de alimentação de um sistema aquífero existem diversos métodos de estimativa como: traçadores, análise do hidrograma da bacia com métodos gráficos, filtros

digitais recursivos, método da variação do nível de água, balanço hídrico, entre outros (TÓTH, 1970).

A técnica dos filtros digitais recursivos tem sido muito utilizada devido à simplicidade de sua aplicação, já que são necessários um software simples de cálculo e dados de postos fluviométricos com longas séries históricas (DORA, 2013). Através da referida técnica, separam-se os sinais de alta frequência (escoamento superficial) dos de baixa frequência (escoamento subterrâneo), observados no hidrograma de uma série de vazões.

Eckhardt *et al.* (2005) desenvolveu uma fórmula geral usando filtros para separação do escoamento de base. A mesma tem como parâmetro o BFI_{max} (Índice Máximo de Escoamento de Base), o qual possui valores pré-definidos propostos pelo autor citado, e que segundo Collischonn e Fan (2012), são definidos de acordo com as características geológicas e da drenagem da bacia hidrográfica.

O filtro de Eckhardt é um algoritmo que separa a vazão do rio em duas componentes: escoamento superficial (direto) e escoamento de base (indireto), conforme a Equação 1:

$$y_i = f_i + b_i \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

y_i – vazão total do hidrograma no intervalo de tempo i ;

f_i – componente do escoamento superficial no intervalo de tempo i ; e

b_i - componente do escoamento subterrâneo no intervalo de tempo i .

Eckhardt (2005) apud Collischonn & Tassi (2008) propôs um filtro com dois parâmetros:

$$b_i = \frac{(1 - BFI_{max}) * a * b_{i-1} + (1 - a) BFI_{max} * y_i}{1 - a * BFI_{max}} \quad (\text{Equação 2})$$

sendo :

$$a = e^{\frac{-\Delta t}{k}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

b_i : componente do escoamento subterrâneo no intervalo de tempo i ;

BFI_{max} : é o máximo percentual de escoamento subterrâneo que o filtro permite calcular;

y_i : vazão total do hidrograma no intervalo de tempo i ;
 k : constante de recessão;
 Δt : tamanho do intervalo de tempo entre i e $i+1$.

A constante (k) é estimada por:

$$k = \frac{-\Delta t}{\ln\left(\frac{Q(t+\Delta t)}{Q(t)}\right)} \quad (\text{Equação 4})$$

Collischonn e Tassi (2009) sugerem os seguintes valores para BFI_{\max} : 0,80 para rios perenes e aquíferos porosos; 0,50 para rios efêmeros ou intermitentes e aquíferos porosos e, 0,25 para rios perenes e aquíferos impermeáveis.

3.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E REFLEXOS NOS RECURSOS HÍDRICOS

Segundo Piroli, Perusi & Zanata (2012), o monitoramento das formas de utilização e ocupação do solo numa dada região, no decorrer do tempo, é indispensável, uma vez que o mau uso dos recursos naturais coloca a saúde do meio ambiente em risco bem como a qualidade de vida da população.

As atividades humanas que acarretam mudanças nos tipos de uso e cobertura do solo podem alterar o comportamento do escoamento de forma rápida evidenciando seus extremos, ou seja, aumentando a frequência do escoamento mínimo e máximo, como resultado da degradação das condições ambientais.

Assim, a retirada da cobertura vegetal e a impermeabilização do solo em áreas urbanas podem ocasionar a diminuição da infiltração, e conseqüentemente da recarga dos aquíferos, afetando a disponibilidade da água.

Segundo Peixoto (2016), a utilização inadequada do solo, como por exemplo, impermeabilização e desarborização, produzem efeitos que afetam direta ou indiretamente a dinâmica hidrológica. Dentre os processos que podem ser afetados está a interação entre rios e aquíferos.

Nesse sentido, Holffmann (2017) investigou os efeitos da modificação do uso e cobertura do solo sobre o escoamento superficial das águas, em regime de fluxo de base, em área de descarga do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG). Foi utilizado mapeamento multitemporal (nos anos 1957, 1976, 1997 e 2017) para identificar a evolução do

uso e cobertura do solo; caracterizar a dinâmica físico-temporal da área de estudo; estimar o fluxo de base e a recarga subterrânea através de dados de vazão; e estimar a velocidade média do escoamento superficial para as categorias de uso e ocupação do solo. Observou-se que, no período estudado, houve o aumento da recarga subterrânea anual e a redução das velocidades médias do escoamento superficial, devido à expansão das áreas de florestas nas encostas onde a agricultura e pecuária predominavam. Esse fato permitiu o incremento da capacidade de infiltração e armazenamento onde o SAIG/SG aflora, acompanhado pelo aumento da precipitação. Logo, os resultados comprovaram a ocorrência de efeitos da modificação do uso e cobertura do solo, pela interferência antrópica, no aumento do fluxo d'água subterrâneo em área de descarga de águas do SAIG/SG.

Os efeitos de retiradas de água subterrânea sobre o escoamento em corpos superficiais geralmente se antecedem ao aparecimento de zonas de recarga induzida (SOPHOCLEOUS, 2002). Em rios de regime efluente, considerando um a situação em que o sistema é submetido a intensas retiradas de água subterrânea e em que a recarga induzida não ocorra, a captura das descargas naturais do aquífero ocorre quase que simultaneamente ao declínio no seu armazenamento. Em consequência disto, as vazões do fluxo de base tendem a diminuir gradativamente até que um novo equilíbrio no sistema aquífero/rio seja alcançado. O significado desta inércia para efeitos de gestão é significativo, uma vez que outorgas atuais poderiam estar sendo concedidas desconsiderando efeitos de caráter cumulativo (Silva, 2007).

Internacionalmente, preocupações quanto aos impactos da sobreexploração de água subterrânea nas vazões fluviais podem ser verificadas em estudos desenvolvidos pelo *Groundwater and River Resources Action Program at a European Scale - GRAPES* da Comissão Européia (ACREMAN, 2006) e pelo *Impact Of Groundwater In River Flow - IGARF* do Water Resource Systems Research Laboratory da Universidade de Newcastle na Inglaterra (NCL, 2006 *apud* SILVA, 2007).

Vários autores, dentre eles (DIAS, 2013), tem relatado problemas de contaminação da água subterrânea em razão das diversas formas de uso e ocupação do solo. A proteção e preservação da qualidade das águas subterrâneas, tanto para consumo humano quanto para seus usos múltiplos, tem se tornado relevante, principalmente devido à disponibilidade limitada, a deterioração progressiva da qualidade, o aumento da demanda e a reposição limitada. As fontes de contaminação das águas subterrâneas podem ter origens distintas, as mais comuns se relacionam às atividades humanas, como usos industriais, domésticos e agrícolas.

Menezes (2012) avaliou a qualidade da água subterrânea descrevendo a correlação entre diferentes tipos de uso do solo e os parâmetros de qualidade da água no município de Alegre,

sul do Estado do Espírito Santo. Foram utilizados métodos da American Public Health Association - APHA para análise de 60 amostras coletadas em poços tubulares na área especificada. Ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) foram utilizadas para delimitação da área de influência dos poços e para geração de mapas de uso do solo. O autor concluiu que houve uma correlação significativa entre índice de uso e ocupação do solo e o índice de degradação da água. Por fim, foi possível afirmar que a atividade agropecuária na região causou impactos consideráveis na qualidade da água subterrânea devido ao incremento dos teores de nitrato.

O tipo de cobertura vegetal também implica em diferentes comportamentos nos atributos do solo e da água. Segundo Resende (2002) a atividade agrícola estimula o aumento da área cultivada e da produtividade, o que conseqüentemente altera as condições geoquímicas naturais de áreas próximas a poços de abastecimento, como o pH, concentração de nitrato, concentração de metais pesados, entre outros. Esse fato é extremamente preocupante, uma vez que pode limitar o uso da água para o consumo humano como também para a produção de alimentos (POSSAVATZ, ZEILHOFER, PINTO, TIVES E DORES, 2014). Algumas práticas de cultivo do solo agrícola podem causar contaminação difusa, sobretudo por fertilizantes, corretivos e agrotóxicos. Estes podem ficar adsorvidos nas partículas dos solos e através da drenagem em sistemas agrícolas, podem ser carregados pela água até o aquífero, através da infiltração.

Dentro deste contexto, Peixoto (2016), investigou a relação entre o uso e ocupação do solo (aspectos de taxa de ocupação, impermeabilização do solo e atividades agrícolas, diagnóstico do esgotamento sanitário local) e as concentrações de compostos nitrogenados nas águas subterrâneas, em quatro sub-bacias hidrográficas contínuas situadas em uma área periférica no sudeste do Município de Fortaleza - CE. Para tal avaliação, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento. O autor concluiu que as elevadas taxas de ocupação juntamente com o aumento da densidade de fossas sépticas irregulares, atuaram como áreas fontes de contaminação por nitrato, caracterizando um tipo de contaminação difusa na camada sub-saturada do aquífero livre.

O uso sustentável dos recursos hídricos, em especial os subterrâneos, não requer apenas estudos sobre a vulnerabilidade de aquíferos à contaminação como vem ocorrendo de forma sistemática nos últimos anos, mas também o conhecimento dos componentes que atuam em seu comportamento hidráulico é de sua importância para o estabelecimento de medidas preventivas e/ou corretivas na sustentabilidade destes recursos (FORMAGGIO, 2009). Dambrós (2011) entende que, qualquer modificação ou interferência no sistema, pode

comprometer seu equilíbrio como, por exemplo, o uso dos recursos naturais de forma não planejada.

3.5 ASPECTOS LEGAIS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

O Código das Águas, promulgado em 10 de julho de 1934 foi uma das primeiras medidas legais sobre recursos hídricos subterrâneos no Brasil e que ainda está vigente, apesar de ter sido alterado por leis posteriores.

Anos mais tarde, a Constituição Federal de 1988 modificou o texto do Código de Águas de 1934. Dentre as alterações propostas, observa-se a inclusão das águas subterrâneas como bens dos Estados e do Distrito Federal. Diante disso, as águas subterrâneas, designadas como recursos hídricos, são regulamentadas por leis estaduais.

Em 8 de janeiro de 1997 foi instituída a Lei 9.433 - Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) - que consiste em um importante instrumento que orienta a gestão das águas no Brasil. A referida lei inovou ao assegurar o acesso e usos múltiplos dos recursos hídricos e; ao abrir o processo decisório para a participação dos diferentes agentes interessados, baseada na criação de instrumentos, como: o Plano de Bacias Hidrográficas, o Enquadramento dos Recursos Hídricos em Classes, a Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos, a Cobrança pelo Uso da Água e o Sistema de Informações (CAROLO, 2007; SANTOS E GUSMÃO, 2013).

Prandi (2010) aponta que a gestão das águas no tocante à interação aquífero-rio representa um grande desafio na prática, uma vez que a aplicação da Lei 9.433/1997 e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos tem como unidade a bacia hidrográfica. E, normalmente os aquíferos ultrapassam os limites das bacias, delimitadas a partir da topografia. Mesmo com a prerrogativa de que as águas subterrâneas e superficiais devem ser gerenciadas como um único recurso, na prática das normativas as águas superficiais ainda estão em evidência.

No Estado do Tocantins, a Lei Estadual nº 1.307 refere-se à gestão dos recursos hídricos, tendo sido aprovada em 22 de março de 2002. A citada lei trata das águas subterrâneas, no capítulo IV, trazendo algumas restrições referentes às Áreas de Proteção Máxima, de Restrição e Controle e de Proteção de Poços e outras Captações.

Chiesa, Costa e Vergara (2015), avaliaram a efetividade dos cinco instrumentos de gestão definidos na Política Estadual de Recursos Hídricos - PERH, no Estado do Tocantins, através de levantamento de informações no órgão estadual gestor de recursos hídricos e em

secretarias correlatas. Os dados analisados demonstraram que: apenas 6 (seis) bacias hidrográficas do Estado foram contempladas com Planos de Bacias Hidrográficas, o que equivale a 20% das bacias hidrográficas; a maioria dos cursos de água inseridos no território estadual não foi classificada quanto a seu uso preponderante; a outorga segue em processo simplesmente burocrático; e o Sistema de Informação sobre os Recursos Hídricos ainda é inexistente, já a cobrança do uso da água está em fase inicial de planejamento para ser implementada.

Diante disso, verifica-se que Estado do Tocantins ainda passa por desafios à execução e efetivação da PERH. Várias são as questões a avançar e discutir, principalmente com relação às águas subterrâneas cuja gestão encontra-se relativamente defasada em relação às águas superficiais, além de ser desconectada da mesma e vice-versa, na ampla maioria dos Estados brasileiros.

3.6 LEGISLAÇÕES ESPECÍFICAS SOBRE A ÁGUA SUBTERRÂNEA (CNRH) NO CONTEXTO BRASILEIRO

A Lei 9.433/1997 instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), composto por um conjunto de órgãos e colegiados cujo papel principal é fazer a gestão dos usos da água de forma democrática e participativa.

O SINGREH é composto pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), pela Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental (SRQA), pela Agência Nacional de Águas (ANA), pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERH), pelos Órgãos gestores de recursos hídricos estaduais (Entidades Estaduais), pelos Comitês de Bacia Hidrográfica e pelas Agências de Água.

Os principais documentos disciplinadores da temática das águas subterrâneas no Brasil são as resoluções específicas do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), editadas no intuito de suprir lacunas da Lei de Águas para a gestão desse recurso, bem como para a gestão integrada dos recursos hídricos em geral.

Na estrutura do CNRH, está a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas – CTAS, instituída pela Resolução nº 9, de 21 de junho de 2000 cuja responsabilidade é a elaboração de documentos através de discussões técnicas e científicas sobre os mais diversos temas que envolvem a exploração e a preservação de aquíferos.

O Quadro 1, apresentado na sequência, traz as Resoluções do CNRH, referentes às águas subterrâneas:

Quadro 1 - Resoluções do CNRH aplicadas à gestão das águas subterrâneas no território brasileiro

Resoluções CNRH	Diretrizes Gerais
Resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001	Estabelece diretrizes gerais para a gestão das águas subterrâneas.
Resolução nº. 29, de 11 de dezembro de 2002	Define diretrizes para a outorga de uso dos recursos hídricos para o aproveitamento dos recursos minerais.
Resolução nº. 22, de 24 de maio de 2002	Estabelece diretrizes para a inserção das águas subterrânea no instrumento dos Planos de Recursos Hídricos.
Resolução nº. 55, de 28 de novembro de 2005	Estabelece diretrizes para elaboração do Plano de Utilização da Água na Mineração PUA, conforme previsto na Resolução 29, de 2002.
Resolução nº 76, de 16 de outubro de 2007	Estabelece diretrizes gerais para a integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários.
Resolução nº 92, de 05 de novembro de 2008	Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro
Resolução nº 91, de 05 de novembro de 2008	Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.
Resolução nº 107, de 13 de abril de 2010	Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para planejamento, implantação e operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.
Resolução nº 107, de 13 de abril de 2010	Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para planejamento, implantação e operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.
Resolução nº 107, de 13 de abril de 2010	Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para planejamento, implantação e operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.
Resolução nº 202, de 16 de outubro de 2018	Estabelece diretrizes para a gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneo que contemplem a articulação entre a União, os Estados e o DF com vistas ao fortalecimento dessa gestão.

Fonte: CNRH, 2019.

3.7 DEMANDAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL

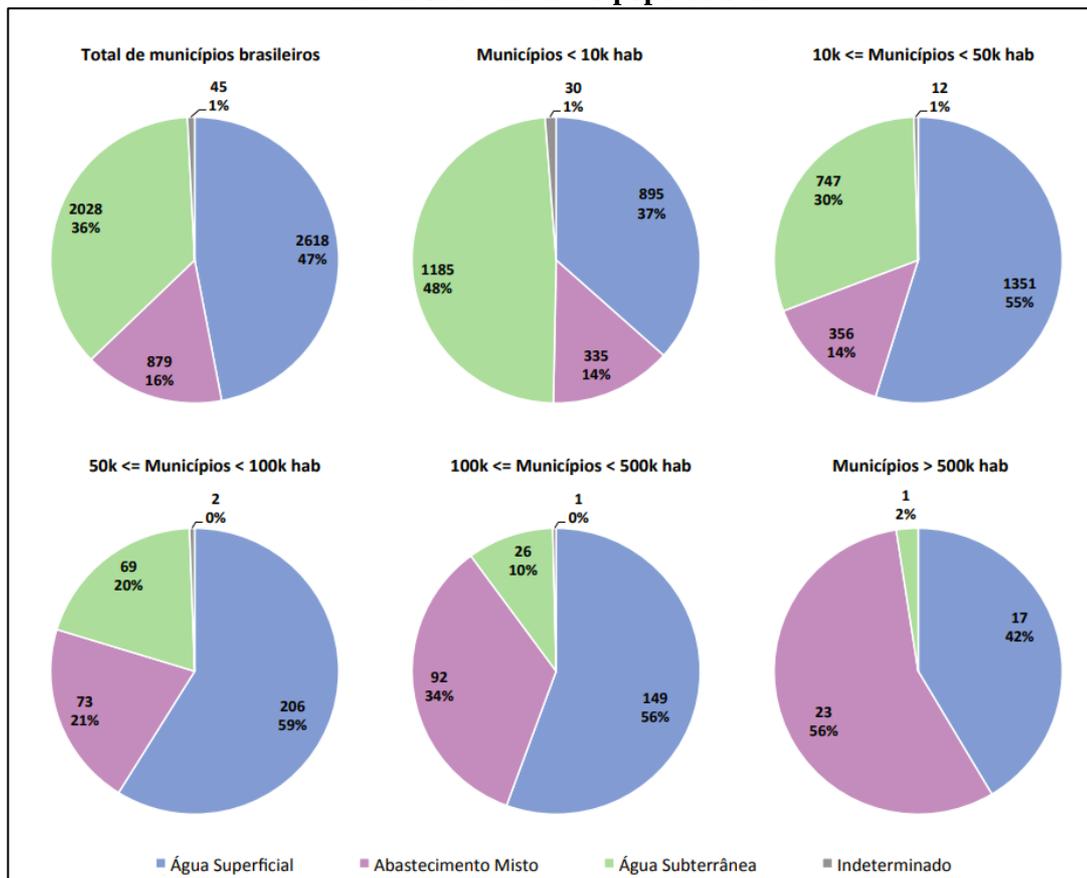
Em função da crescente demanda, as águas subterrâneas estão sob forte pressão. Ou seja, a extração da água está ocorrendo em volume maior do que o reposto pela natureza. Este fato pode provocar a redução da quantidade de água que abastece os rios, ocasionando a seca

de nascentes, entre outros impactos negativos. Além disso, há ainda os problemas relacionados à contaminação destas águas pela ação antrópica.

As águas subterrâneas contribuem efetivamente para o abastecimento público e privado, suprindo as mais variadas necessidades de água. Também são indispensáveis para manutenção de cursos d'água superficiais pois o regime perene da maior parte dos rios, lagos e pântanos é dependente da descarga de aquíferos, por meio dos fluxos de base (HIRATA *et. al.*, 2010). Segundo Martelli (2012) o aumento da demanda de águas subterrâneas deve-se em grande parte, ao comprometimento e poluição das reservas superficiais.

Segundo dados da ANA (2010), 52% dos 5.570 municípios brasileiros são abastecidos total (36%) ou parcialmente (16%) por águas subterrâneas. A exploração desse recurso hídrico é inversamente proporcional ao tamanho das cidades. As águas subterrâneas são a opção exclusiva para 48% dos municípios com população menor que 10 mil habitantes e para 30% daqueles com 10 a 50 mil habitantes. A Figura 3 representa essa situação.

Figura 3 - Municípios brasileiros abastecidos por águas subterrâneas - total e por intervalos de tamanho populacional

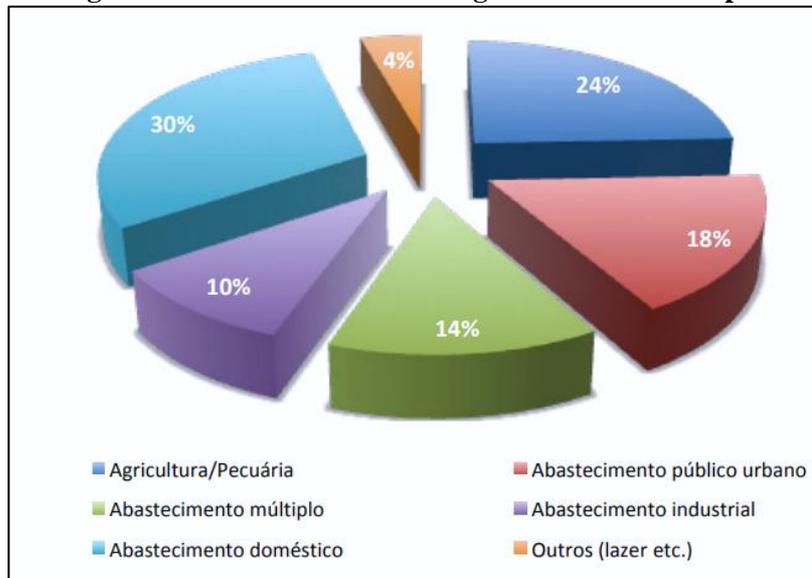


Fonte: ANA, 2010.

Hirata, Zobbi e Oliveira (2010) afirmam que os aquíferos servem ao abastecimento de 30-40% da população do Brasil, principalmente em cidades de médio e pequeno porte. Neste caso, a água subterrânea supre os mais variados usos como: residenciais, industriais, rurais, setor de serviços, irrigação agrícola, lazer, turismo através das águas termais, entre outros.

Segundo dados do Serviço Geológico Brasileiro - CPRM (2018) inúmeras atividades econômicas utilizam as águas subterrâneas para suprir suas necessidades pelo país, sendo o seu uso distribuído entre atendimento doméstico (30%), agropecuário (24%), abastecimento público urbano (18%) e abastecimento múltiplo (14%), no qual o destino da água é em grande parte diversificado para a prestação de serviços urbanos. A Figura 4 apresenta o perfil dos usuários de água subterrânea no país.

Figura 4 - Perfil de usuários de água subterrânea no país



Fonte: CPRM, 2018.

Segundo estudo de Chiesa, Costa e Vergara (2015), no Estado do Tocantins, ente 2009 e 2014, o quantitativo de outorgas emitidas pelo Instituto Natureza do Tocantins - NATURATINS (órgão responsável pela fiscalização dos recursos hídricos segundo Decreto Estadual nº 2.432, de 06 de junho de 2005) foi equivalente a 1.821 Portarias, das quais 62,4% estavam relacionadas a captações em mananciais subterrâneos e 37,6% a mananciais superficiais. Além disso, verificou-se que os usos predominantes foram: as obras de infraestrutura (barragens, pontes e bueiros), seguida das atividades agropecuárias (irrigação, dessedentação animal e piscicultura), abastecimento comercial, abastecimento industrial, abastecimento doméstico, mineração e paisagismo.

De um modo geral, verifica-se a necessidade da compatibilização entre oferta e demanda de água subterrânea, além da conservação e preservação das áreas dos aquíferos, sendo necessário o conhecimento de informações detalhadas sobre disponibilidades e demandas hídricas, bem como o estudo de suas interações, para o efetivo planejamento e gestão adequados dos recursos hídricos, o que favorece a sustentabilidade do uso da água.

3.8 HIDROGEOLOGIA NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A fragilidade da disponibilidade dos recursos hídricos superficiais versus demanda hídrica faz com que os recursos hídricos subterrâneos sejam cada vez mais procurados para complementar o abastecimento superficial ou até mesmo substituí-lo por completo (CAMADURO, 2005).

Como visto anteriormente, atualmente muitos municípios, atividades industriais, agrícolas e pecuárias são integralmente abastecidas por água subterrânea por intermédio de poços tubulares profundos. Devido a isso, há necessidade de um constante avanço do conhecimento e avaliação do arcabouço hidrogeológico, visando à gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, recurso renovável, porém finito. Ou seja, um dos principais problemas ligado às águas subterrâneas refere-se ao pouco conhecimento hidrogeológico disponível para uso e proteção dessas águas contra os agentes de poluição, seja de origem doméstica, industrial ou agrícola, tanto no meio urbano quanto rural, sendo preocupante a falta de conhecimento sobre os volumes exploráveis.

O conhecimento e a compreensão dos processos hidrogeológicos são fundamentais para fornecer bases científicas que auxiliem no gerenciamento das águas subterrâneas, incluindo a previsão de riscos de contaminação, caracterizando possíveis pontos de exploração excessiva dos aquíferos e propondo medidas visando eliminar ou mitigar os impactos negativos em desenvolvimento. Estes estudos auxiliam, ainda, no fornecimento de subsídios para zoneamentos urbanos por intermédio de uma análise da vulnerabilidade dos aquíferos, da disponibilidade dos recursos hídricos e da integração entre águas superficiais e subterrâneas.

A título de exemplo, o estudo de Cunha (2017) se propôs a desenvolver um modelo para avaliar a dinâmica de fluxo e a interação entre as águas superficiais da bacia hidrográfica do Rio das Fêmeas e as águas subterrâneas do Aquífero Urucuia, no oeste do estado da Bahia, utilizando o software MIKE SHE. Para tal, foi fundamental utilização do conhecimento referente à hidrogeologia, geologia, hidrologia, bem como os dados da Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas - RIMAS e Rede Hidrometeorológica Nacional –

RHN, da bacia do Rio das Fêmeas, situada no contexto hidrogeológico do Sistema Aquífero Urucuia (SAU).

No Brasil, em virtude da escassez de informações hidrogeológicas, sobretudo quanto a caracterização dos aquíferos, incluindo a suas respectivas áreas de recarga, bem como incipiente os estudos na literatura sobre a interconectividade entre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, torna-se necessário, por isso, o emprego de metodologias simples que permitam a gestão integrada dos recursos hídricos e o manejo do uso do solo em áreas de recarga de aquífero (SILVA, 2007 e VASCONCELOS, 2014).

Diante das informações supracitadas, constata-se que para a efetivação da gestão integrada, é necessário avançar no conhecimento hidrogeológico nacional, de forma a prover informações suficientes para subsidiá-la.

3.9 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG APLICADO AOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

Os Sistemas de informações Geográficas - SIGs permitem a criação e o gerenciamento de bancos de dados georreferenciados, a digitalização de mapas, o processamento de imagens, análises estatísticas de dados espaciais e atributos e análises geográficas, além da determinação da evolução espacial e temporal de um determinado fenômeno geográfico (ROCHA, 2000). Logo, através da produção de documentos cartográficos pode-se identificar situações e padrões difíceis de serem percebidos por meio dos métodos convencionais. Ou seja, os SIGs podem ser utilizados em estudos relativos aos recursos naturais, na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio à gestão ambiental, considerando que os dados armazenados representam um modelo da realidade.

O uso dos SIGs na área de recursos hídricos tem sido cada vez mais intensificado e difundido, pelo fato de auxiliar na identificação da variabilidade espacial das características de áreas de interesse, obtendo-se resultados significativos (FONSECA, 2006).

A combinação das tecnologias de Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informações Geográficas permite uma abordagem analítica e de integração de dados em estudos diagnósticos e simulações futuras. Os resultados produzidos, por meio das análises espaço-temporal, podem fornecer subsídios à gestão de órgãos públicos, oferecendo aos gestores, um panorama do ambiente para a tomada de decisões, no que se refere aos recursos hídricos subterrâneos e suas áreas de recarga e proteção (MORENO, TEJADA, 2003).

Diante disso, a aplicação dos SIG's ao estudo das águas subterrâneas tem se apresentado como excelente ferramenta para proteção das mesmas. Alguns exemplos de aplicações desta ferramenta incluem: mapeamento de áreas de risco, análise de vulnerabilidade à contaminação de aquífero, gestão de outorga e uso, delimitação de perímetros de proteção de captação, entre outros.

Dentro deste cenário, Milek, Kishi e Gomes (2014) utilizaram ferramentas de SIG para a geração de mapas temáticos de vulnerabilidade, perigo e risco a fim de avaliar o risco de contaminação de um aquífero cárstico, localizado em Almirante Tamandaré, Paraná. Como resultado do trabalho, concluiu-se que apenas 6,9% da área do município de Almirante Tamandaré foi classificada como de risco alto ou moderadamente alto, onde se localizam dois poços em exploração.

Rossetti (2007), em seu estudo, quantificou a alteração da taxa de recarga de uma sub-bacia urbana do município de Rio Claro – SP, no período entre 1962 e 2006. Essa quantificação foi obtida utilizando ferramentas do SIG para o tratamento de planilhas de cadastro do uso e ocupação do solo, cartas temáticas do tipo de solo e geologia da área. O autor concluiu que houve variação da taxa recarga de água subterrânea ao longo do tempo, devido à impermeabilização dos solos devido ao incremento de construções na cidade.

Melo Neto *et. al* (2013) utilizou metodologia por meio de SIG para delimitação de áreas de recarga subterrânea para a bacia do Rio Siriri, tomando como base informações fisiográficas e edafoclimática peculiares a região. Para os autores a metodologia empregada mostrou-se de fácil aplicação, permitindo resultados coerentes com as características da região, obtendo resultados úteis para o manejo da bacia e do uso racional da água subterrânea.

3.10 ÁREAS POTENCIAIS DE RECARGA SUBTERRÂNEA

Para um melhor entendimento quanto à preservação dos recursos hídricos subterrâneos, iniciaremos este item chamando atenção à proposição feita por Chiaranda (2002), em relação as áreas de armazenamento de água subterrânea e áreas de recarga de aquíferos. Para o autor,

[...] áreas de armazenamento de água subterrânea não podem ser considerados como medida direta da capacidade de recarga de um aquífero, mas, sim, como uma indicação, pois a capacidade potencial de armazenamento refere-se ao volume de água que pode ser acumulado ou retido temporariamente no meio poroso. A capacidade de recarga está relacionada ao balanço existente entre a precipitação incidente e o escoamento superficial, ou seja, a quantidade de água que é necessária para atender as demandas da interceptação, do armazenamento nas depressões superficiais, no solo e no lençol freático (CHIARANDA 2002).

Partindo dessa definição, é importante salientar a importância de gerenciamento das áreas de armazenamento de água subterrânea, uma vez que as mesmas são uma importante indicação da localização de áreas de recarga de aquífero em uma determinada região. Ao analisar que estas áreas estão localizadas em territórios e que supostamente o fazem uso do solo é importante salientar a necessidade de localização e preservação destas áreas para um melhor gerenciamento dos recursos hídricos.

Para tanto, a poluição dos recursos hídricos subterrâneos está diretamente relacionada com o uso que se faz do solo sob o qual se encontra o aquífero. A falta de infraestrutura, o uso intensivo e indiscriminado de insumos químicos na agricultura, a crescente industrialização e, conseqüentemente a poluição gerada por estas situações, são os principais fatores de ameaça a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

Desta forma, preocupados com a degradação dos recursos hídricos, pesquisadores e responsáveis pela gestão das águas subterrâneas, têm procurado desenvolver métodos que avaliem o quanto um aquífero é vulnerável à poluição, bem demonstrar que o uso do solo de forma desordenada é passível de provocar prejuízos quantitativos aos recursos hídricos subterrâneos e conseqüentemente as águas superficiais.

Segundo Rabelo (2006), a atividade antrópica é, em alguns casos, também elemento a interferir na recarga. O autor substancia a ideia ao comentar que:

[...] essa interferência se dá, essencialmente, através de alteração das condições de permeabilidade do solo e da redistribuição espacial de recarga (decorrentes de construções e atividades em áreas urbanas), uso de irrigação (mananciais subterrâneos ou de superfície), desmatamento ou troca de cobertura nativa por vegetação de necessidade hídrica naturalmente incomum. Todas essas atividades alteram a recarga, inclusive, por, na maioria das vezes, modificarem a interação entre os recursos hídricos subterrâneos e de superfície (RABELO, 2006).

Numa breve, porém importante observação, Barreto (2006) chama atenção ao comentar que:

[...] a quantificação da recarga das águas subterrâneas é um pré-requisito básico para um eficiente manejo dos recursos hídricos e é particularmente vital em regiões semi-áridas e áreas onde há superexploração, já que tais recursos são freqüentemente a chave do desenvolvimento econômico (BARRETO, 2006).

Chiaranda (2002) estudou os efeitos dos usos da terra nos processos de armazenamento de água subterrânea, na Bacia do Rio Cuiabá-MT, no período de 1966 a 1998. O autor concluiu que os usos da terra modificaram as características da capacidade potencial de armazenamento subterrâneo da bacia e seus processos hidrológicos.

Da mesma forma, Braun (2007), em pesquisa realizada na Bacia do Rio Itajaí-SC, verificou uma diminuição significativa das áreas com maior capacidade de armazenamento de água subterrânea, consequentes áreas de recarga de aquíferos, causada pela forma de ocupação e uso do solo ocorrido durante os últimos 150 anos na bacia em apreço.

Martins Junior (1998) propõe, como um caminho de integração interdisciplinar, que os campos de saber oriundos das geociências possam ser articulados no que denomina “Geociências Agrárias e Ambientais”, como forma de trazer soluções interdisciplinares para a uma gestão sustentável do território. Nessa abordagem, foram desenvolvidos diversos trabalhos de cunho ambiental e epistemológico (MARTINS JUNIOR 2006, MARTINS JUNIOR *et al.*, 2012) mostrando como a gestão do uso do solo pode colher diversos subsídios a partir de uma análise conjugada entre os aspectos das áreas de recarga de aquíferos, aptidão agrícola e conectividade vegetacional, com reflexos em resultados econômicos e ecológicos.

Para este trabalho, optou-se pela utilização da nomenclatura áreas potenciais de recarga subterrânea, frente a nomenclatura áreas de armazenamento de água subterrânea.

3.11 PROTEÇÃO DO USO DO SOLO COM VISTAS A PROTEÇÃO DAS ÁREAS DE RECARGA SUBTERRÂNEAS

Segundo Alcântara (2014) as atividades com significativo potencial poluidor devem ser restringidas ou proibidas no interior da área de recarga. Ou seja, a restrição de uso da área é inversamente proporcional à distância da fonte de captação.

Em 1993, Hirata em uma explanação sobre a sustentabilidade dos recursos hídricos subterrâneos, comenta que para um efetivo programa de proteção para os aquíferos, de forma integrada, poderá ocorrer sob duas linhas de ação: uma voltada à obra de captação, como estabelecimento de perímetros de proteção de poços, e a outra voltada ao aquífero, definido áreas de maior e menor susceptibilidade de contaminação por eventos antrópicos, sendo necessária a identificação das áreas de maior risco de contaminação.

Para Dias *et. al* (2004), o controle do uso e ocupação do solo em uma determinada área é uma das estratégias de proteção da água subterrânea. Para os autores, esse controle pode ser regional para proteção de áreas suscetíveis à poluição em um aquífero, ou pontual, voltado a uma captação de água subterrânea.

Em recente Relatório, divulgado em 2015, a Organização das Nações Unidas – ONU mencionou as ameaças de escassez hídricas à que a sociedade estará sujeita às formas de exploração dos recursos hídricos e aos padrões de ocupação do solo. Destaca-se o impacto

causado pelas mudanças dos padrões de cobertura do solo, devido à conversão de áreas naturais em áreas agrícolas e áreas urbanizadas, amplamente impermeabilizadas e sem proteção, devido ao desmatamento (UNESCO, 2015).

Especialistas brasileiros, em concordância com o Relatório da ONU, deduzem que as crises hídricas ocorridas no Brasil, possui relação não apenas com a redução da disponibilidade hídrica, devido às variações dos padrões de chuvas, mas também com a ineficiência do planejamento hídrico e gestão territorial de áreas sensíveis a manutenção da quantidade e qualidade da água disponível, como áreas próximas a mananciais, áreas de nascentes e áreas propícias à recarga de aquíferos (CISCATI, 2017)

De um modo geral, observa-se que poucos estudos e esforços práticos que articulem a gestão do uso do solo com vistas a proteção da dinâmica hídrica de uma bacia hidrográfica. À exemplo o planejamento urbano pouco considera seu impacto sobre a qualidade e quantidade de água no meio urbano. Seraphim (2018) chama atenção, principalmente pela função de recarga de aquífero, para a autora a incerteza quanto à disponibilidade de recursos hídricos subterrâneos e suas taxas de reabastecimentos representam um sério desafio a gestão sustentável, devido (i) a semelhança entre as áreas propícias as áreas de recarga e as áreas de urbanização; (ii) o destaque que adquire os padrões de uso e ocupação do solo para manutenção das águas subterrâneas, devido a diminuição da infiltração natural.

Assim, observa-se a importância de ordenamento do uso do solo, incluindo a articulação da gestão dos recursos hídricos com a do uso do solo, com vistas a proteção dos compartimentos hídricos de uma bacia hidrográfica e notoriamente, a sustentabilidade ambiental de uma determinada região.

No Brasil, a Política Nacional de Recursos hídricos, propõe, como um dos seus objetivos a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo (inciso V do artigo 3º), devendo constar nos Planos de Recursos Hídricos, propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso, com vistas à proteção de recursos hídricos (inciso X do artigo 7º).

Ainda no âmbito Federal, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos publicou a Resolução CNRH nº15/2011, cujo artigo 6º estabelece que os Estados devem orientar os municípios sobre as diretrizes de gestão integrada das águas subterrâneas, propondo mecanismos de estímulo para a proteção das áreas de recarga dos aquíferos. Publicou também a Resolução CNRH nº22/2002 que estabelece em seu artigo 6º que os planos de bacia devem explicitar as medidas de prevenção, proteção, conservação e recuperação dos aquíferos, sendo que a criação de áreas de uso restritivo poderá ser adotada como medida para alcance dos objetivos propostos.

3.12 PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DE POÇOS: LEGISLAÇÃO BRASILEIRA E INTERNACIONAL

Os aquíferos possuem duas funções, uma de armazenar água e a outra de transmiti-la. A função de armazenar depende da porosidade e do volume da camada aquífera, enquanto a capacidade de transmitir água depende da variável transmissividade entre as áreas de recarga e descarga. A sustentabilidade do uso da água subterrânea é garantida, em partes, por meio da identificação das áreas de recarga de aquífero. Regiões onde ocorrem muitas chuvas, a bacia hidrográfica é potencialmente uma área de recarga, sendo que os pontos principais são os locais de maior capacidade de infiltração de camadas permeáveis (CABRAL *et. al*, 2001).

A proteção de poços deve ser realizada através de medidas legais e ações no sentido de prevenir os efeitos adversos para a saúde humana e para o meio ambiente, uma vez que os problemas provenientes da contaminação dos aquíferos são de difícil controle devido a escala com que os problemas ocorrem, a exemplo contaminações difusas provenientes do uso de agrotóxicos. Não diferente, fontes pontuais de poluição, localizados em áreas de vulnerabilidade ambiental, correm o risco de poluição dos aquíferos, quando medidas de controle e proteção não são devidamente tomadas.

As áreas de proteção de poços são definidas através de estudos hidrogeológicos e, limitam a região ao redor de um poço em que as atividades de uso e ocupação têm influência tanto na qualidade como na quantidade da água subterrânea.

O tipo e a quantidade de zonas de proteção dos aquíferos variam de acordo com cada país. No Brasil, quando a água subterrânea é utilizada para fins comerciais, em que seu uso se destine a envase, balneário e estância hidromineral, é necessária a concessão da União Federal, atualmente regulamentado pela Agência Nacional de Mineração - ANM, extinto Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, por meio da Portaria nº 231, de 31 de julho de 1998, que estabelece zonas de proteção, tais como descrito a seguir:

- Zona de Contribuição (ZC): São grandes áreas de captação da água da chuva e consequente recarga do aquífero. Para a delimitação desta zona, as características hidrogeológicas do aquífero devem ser analisadas pois estas influenciam nas direções do fluxo da água subterrânea.
- Zona de Influência (ZI): É a área afetada pelo bombeamento de um poço, formando o cone de depressão no nível estacionário da água subterrânea. Para a delimitação desta zona é necessário modelar o cone de depressão. Para tanto é executado um teste

específico em que o bombeamento do poço é acompanhado pelo monitoramento de um ou mais poços de observação.

- Zona de Transporte (ZT): É a área do terreno que vai da zona de contribuição até a captação. É determinada pelo tempo de trânsito que um contaminante leva para atingir o ponto de captação, o que depende das características hidráulicas do aquífero, gradientes hidráulicos e tipos de contaminantes.

A delimitação dos perímetros ou áreas de Proteção de Poços pode ser efetuada utilizando diversos métodos diferem em complexidade, precisão e também em custos.

A escolha do método dependerá de fatores como: características do local, tempo de execução, dados disponíveis, experiência do usuário, entre outros. Salienta-se ainda que o monitoramento hidrogeológico da área deve ser constante, isso porque o regime da água subterrânea é dinâmico (FOSTER et al.; 2006).

As primeiras experiências de definição de áreas ou perímetros de proteção de captações surgiram nos anos de 1930, em países europeus como Alemanha, Dinamarca, França, Holanda, Hungria, Itália, por dependerem fortemente da água subterrânea para o abastecimento público (ALEMANHA, 2009).

Atualmente, ainda não são todos os países que possuem legislação estabelecendo perímetros de proteção e controle de atividades potencialmente poluidoras em torno de captações de água subterrâneas, mas vários deles já adotam como medida visando à preservação dos recursos hídricos.

Na França, por exemplo, o estabelecimento de zonas de proteção de captação existe desde 1902, com a Lei de 15 de fevereiro. Mais recentemente, o Decreto nº 2.007 – 49, de 11 de janeiro, dispõem sobre a segurança da água destinada ao consumo humano. Essa lei estabelece a definição obrigatória de perímetro de proteção e divide o mesmo em três zonas:

- Perímetro de proteção imediato: área próxima ao ponto captação. Tem o objetivo de garantir segurança das instalações de amostragem contra todas as formas de desgaste e evitar derrames ou vazamentos de substâncias poluentes próximos ao local.

- Perímetro de proteção próximo: Certas atividades e instalações podem ser restringidas ou proibidas caso possam prejudicar a qualidade da água na área.

- Perímetro de proteção remoto ou zona de vigilância: Tem o objetivo de proteger as águas subterrâneas contra qualquer poluição pontual ou difusa que afete a qualidade da água a longas distâncias. Esta área é definida para que haja tempo e espaço adequados para intervenção, em caso de perigo iminente.

Já na Alemanha a Lei de Gestão da Água (Wasserhaushaltsgesetz WHG), de 1957 (revisada no ano de 2009), dispõe sobre a proteção e utilização de águas subterrâneas e superficiais. Conforme a referida lei, cada estado ficou responsável por elaborar leis próprias para proteção dos recursos hídricos. A Associação Técnica e Científica Alemã de Gás e Água (responsável pela regulação da gestão das águas) publicou um guia técnico para elaboração de zonas de proteção, denominado W 101, cuja última revisão e edição foi em 2006. Para cada tipo de aquífero propõe subdivisões das zonas, distâncias e o tempo de trânsito. Após a delimitação das áreas, foram restringidas ou controladas algumas atividades potencialmente poluidoras nas mesmas (ALEMANHA, 2009).

De acordo com o citado guia, definem-se três zonas de proteção:

- Zona de faixa de detecção: determinada com uma distância maior que 10 metros do poço e não menos que 20 metros na direção montante de uma nascente. No caso de aquíferos cársticos não pode ter menos de 30 metros;

- Zona de proteção próxima: O objetivo desta zona é proteger o poço contra micro-organismos patogênicos. Para isso, determina-se um tempo de trânsito de 50 dias e distância de mais de 100 metros do poço ou nascente;

- Zona de proteção externa: objetiva a proteção contra contaminação a longas distâncias, por exemplo, no caso de substâncias radioativas ou produtos químicos de difícil degradação. Abrange a totalidade da zona de contribuição relativa à área de captação.

Ainda neste contexto, na Itália, o Decreto Legislativo nº 152 de 2006, estabelece três zonas de proteção: zona de segurança absoluta (raio de 10 metros), zona de respeito (tempo de transporte de 60, 180 ou 365 dias, dependendo das condições de perigo à contaminação) e zona de proteção (estabelecida através de conhecimento hidrogeológico da área). O decreto relaciona uma lista de atividades proibidas na zona de respeito, como por exemplo: dispersão de lama e águas residuais, construção de cemitérios e aberturas de alguns poços, entre outros.

No caso de Portugal, o Decreto Lei nº 90 de 1990, artº 12 determina a fixação de perímetros de proteção a fim de garantir a disponibilidade da água, bem como condições para sua boa exploração. Foram determinadas três zonas: imediata, intermediária e alargada. Nos artigos 42º ao 44º do referido decreto lei estão dispostas as proibições ou condicionantes de exercício para algumas atividades.

Para as águas destinadas ao abastecimento público, outro Decreto Lei nº 382 de 1999, rege normas e critérios para a delimitação de perímetros de proteção de captações, determinando três zonas de proteção (PORTUGAL, 1999):

- Zona de proteção imediata: qualquer atividade é proibida para proteção direta das instalações da captação. Com exceção das atividades que visam à conservação, manutenção e eficiência na exploração da captação;
- Zona de proteção intermediária: é exterior à zona de proteção imediata em que devem ser analisadas as condições geológicas e estruturais do aquífero. As atividades potencialmente poluidoras devem ser proibidas. Nesta zona, alguns usos do solo são interditados ou condicionados, como por exemplo: pecuário, estradas, oficina, entre outros;
- Zona de proteção alargada: exterior à zona intermediária. Tem o objetivo de proteção contra poluentes persistentes. Algumas atividades devem ser proibidas ou ter o uso condicionado nesta área, por exemplo: materiais radioativos, depósitos de sucatas, cemitérios, entre outros.

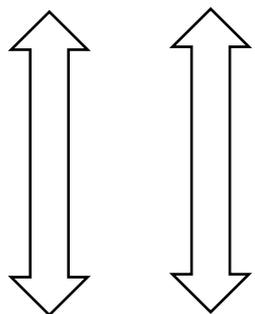
A Agência de Proteção Ambiental Americana (U.S.EPA) reconhece alguns métodos para definição de zonas de proteção. A confiabilidade e os custos de cada método são diretamente proporcionais a sua complexidade (Quadro 2).

Finalmente, nos Estados Unidos, a *Lei Safe Drinking Water Act* (SDWA), aprovada em 1974 (com última alteração em 2016), determina que cada estado elabore um perímetro de proteção de poço. Dessa forma, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) publicou o “*Guidelines for Delineation of Wellhead Protection Areas (WHPA)*” que dispõe sobre critérios técnicos e métodos para elaboração das áreas de proteção, orientando que cada estado determine as áreas de proteção a partir das características hidrogeológicas do ambiente. Neste guia foram definidas três zonas de proteção para aquífero poroso: zona de influência (ZI), que se relaciona com o cone de depressão; zona de contribuição, que representa todo o sistema de fluxo que fornece água para o poço; e a zona de transporte (ZT), relacionada ao tempo que o contaminante leva para chegar ao poço.

No Brasil, convém salientar que a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH/1997) pouco se refere às águas subterrâneas, o que inviabiliza a proteção ou uso sustentável das mesmas de forma satisfatória. As legislações referentes às áreas de proteção de poços ou nascentes para águas destinadas ao abastecimento público são de responsabilidade de cada estado e sua aplicação está longe de ser uma realidade no país.

O Estado do Tocantins em sua Política Estadual de Recursos Hídricos, por meio do Art. 27, instituiu áreas de proteção de poços e outras captações em um perímetro imediato de proteção sanitária cujo raio é 50 metros a partir do ponto de captação, cercado, protegido e com o interior resguardado da entrada ou infiltração de poluentes (TOCANTINS, 2002).

Quadro 2 - Descrição e avaliação dos métodos para definição de zonas de proteção

Método	Descrição do método	Custo	Confiabilidade
Raio Arbitrário Fixo/ calculado	Método mais simples e frágil. É escolhido um raio no qual é determinada uma circunferência ao redor da captação. São indispensáveis as informações hidrogeológicas do local. Sua vantagem está na rapidez, baixo custo e necessidade de poucos dados.	Baixo	Menor
Formas Variáveis Simplificadas (FVS)	Combina equações analíticas de fluxo uniforme com tempo de trânsito e contorno de fluxo a fim de gerar formatos- padrão ao redor do poço. O formato deve ser definido por um hidrogeólogo experiente.		
Modelos Analíticos (MA)	São utilizadas equações hidrogeológicas que simulam o fluxo de água subterrânea e o transporte de poluentes. As equações são simples e exigem parâmetros hidrogeológicos. A EPA desenvolveu diversos softwares para simular fluxo hidráulico subterrâneo.		
Mapeamento Hidrogeológico (MH)	Utilizado em aquíferos porosos, cársticos e fraturados. Baseia-se nas características físicas e hidrológicas que influenciam o fluxo de água subterrânea. A análise de vulnerabilidade do aquífero à contaminação pode ser considerada uma técnica de mapeamento.		
Modelos Numéricos (MN)	Baseia-se em um modelo numérico, que utiliza equações de fluxo e transporte para definir o tempo de trânsito de partículas no aquífero.	Alto	Maior

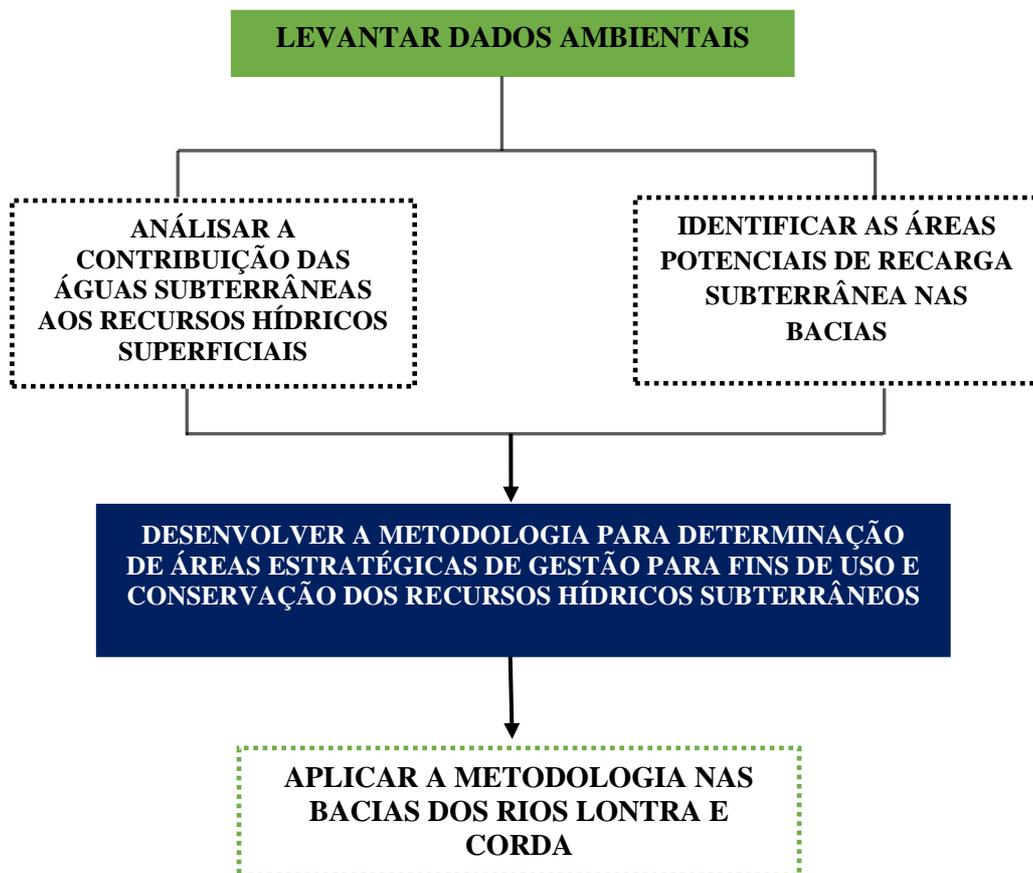
Fonte: Adaptado de Foster et al (2006).

Não obstante, observa-se que a proteção das áreas de recarga, ou potenciais áreas de recarga subterrânea é essencial para a garantia da reposição da água e recuperação dos níveis dos lençóis subterrâneos, como também para evitar a percolação dos contaminantes que venham degradar a qualidade das águas subterrâneas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos adotados para atingir o objetivo proposto nesta pesquisa, estão fundamentados por meio de uma abordagem sistêmica, conjugando conhecimento teórico e reflexões no objeto do estudo. A Figura 5 apresenta as etapas desenvolvidas no trabalho.

Figura 5 – Fluxograma das atividades desenvolvidas na pesquisa.



Fonte: Autora, 2020.

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

Para o desenvolvimento do trabalho, os dados e procedimentos, foram obtidos das seguintes fontes:

- Os dados referentes às características físicas, sociais e econômicas das bacias estudadas foram adquiridos da base de dados da Secretaria de Estado da Fazenda e Planejamento - SEPLAN e Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH do Estado do

Tocantins. Serviram como base de pesquisa o Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Lontra e Corda, bem como o Plano Estadual de Recursos Hídricos e o Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins. Em relação aos dados geológicos, os mesmos foram obtidos do site do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, especificamente do banco de dados de Geodiversidade do Tocantins;

- Para análise da contribuição das águas subterrâneas aos recursos hídricos superficiais, utilizou-se dados de séries hidrológicas de uma estação fluviométrica presente na região de estudo. Os dados hidrológicos foram obtidos pelo Sistema Nacional de Informações Hidrológicas – Hidroweb/ANA;
- Para identificação das potenciais áreas de recarga subterrânea na área de estudo, utilizou-se arquivos em formato *shapefiles* referentes à geologia, geomorfologia, uso da terra, arquivos estes pertencentes ao banco de dados do projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico do Tocantins e Serviço Geológico do Brasil – CPRM;
- Os métodos e materiais utilizados para elaboração da proposta metodológica para delimitação de áreas estratégicas de proteção e as potenciais áreas de recarga subterrânea estão resumidas nas seguintes etapas: (i) Revisões bibliográficas e referenciais teóricos sobre conceitos, legislação, aplicações, métodos e critérios. Os principais materiais consultados foram artigos, livros, leis e trabalhos científicos em geral; (ii) Análise e determinação dos critérios técnicos, a partir da observância dos mapas temáticos elaborados na etapa de identificação das áreas potenciais de recarga subterrânea, que influenciam na proposição de áreas de proteção.

4.2 ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS AOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS

Para a análise dos resultados foram obtidos dados referentes às séries histórias de vazão, às bacias hidrográficas delimitadas, às informações acerca do uso e ocupação do solo, declividade e tipologia de solos da área estudada e um software de cálculo. A seguir estão descritos mais detalhadamente as etapas do processo.

4.2.1 Dados Hidrológicos

Inicialmente, todas as estações fluviométricas localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Lontra e Corda foram selecionadas para análises de consistência das séries históricas de

vazão. As séries históricas da base hidrológica da Agência Nacional de Águas - ANA foram obtidas através do sistema web “*Sistema HIDRO – Telemetria*”, que tem por objetivo realizar a aquisição, qualificação e gestão dos dados hidrometeorológicos, transmitidos em tempo quase real, do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH. Foram identificadas quatro estações fluviométricas na região de estudo.

A partir do levantamento das séries históricas de vazões, verificou-se que a maioria das estações não possui disponíveis dados de vazão consistentes. Ou seja, possuem apenas dados de cota (sem curva-chave), dados descontínuos e sem as correções de erros na série.

Um resumo das estações fluviométricas identificadas na área de estudo é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Estações fluviométricas identificadas nas bacias.

Código	Estação	Rio	Operadora	Área (Km²)	Latitude	Longitude
28200000	Ponte Rio Lontra	Ribeirão Lontra	CPRM	1330	-7,2075	-48,2958
28190080	PCH Lajes Corujão Jusante	Ribeirão Lontra	Alvorada Energia S.A	440	-7,2133	-48,2364
28180000	PCH Lajeado Ribeirão Lontra	Ribeirão Lontra	Alvorada Energia S.A	216	-7,2517	-48,1603
28318000	Rio Corda Riachinho	Rio Corda	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	Sem dado	-6,5178	-48,1514

Fonte: ANA, 2019.

Diante disso, as Estações 28190080 e 28180000 (ambas localizadas na bacia do rio Lontra) não foram utilizadas no estudo pois apresentaram falhas na série histórica e sem as correções de erros. Além disso, foram desativadas nos anos de 2016 e 2015, respectivamente. A estação Rio Corda Riachinho (28318000) também não foi utilizada pois não apresenta monitoramento de vazão. Logo, apenas a estação Ponte Rio Lontra (28200000) foi utilizada para a pesquisa. Apesar da série histórica da referida estação apresentar registros de vazão de abril de 2000 à dezembro de 2018, apenas quatro anos possuem observações diárias contínuas (2015 – 2018) necessárias às análises estatísticas de vazões. Com relação à bacia do rio Corda, onde nenhuma estação fluviométrica encontra-se em operação, recomenda-se a instalação de ao menos duas.

Posteriormente foram calculadas as vazões ($Q_{90\%}$ e $Q_{50\%}$) através da série histórica diária da estação 28200000. Para o cálculo utilizou-se a metodologia da curva de permanência (TUCCI, 2002), elaborada através de planilhas do Excel.

4.2.2 Separação do Escoamento de Base

A metodologia utilizada para separação do escoamento de base foi a aplicação do Filtro Digital Recursivo de Eckhardt. Este método foi escolhido pela simplicidade de sua aplicação e a disponibilidade de dados de postos fluviométricos com longas séries históricas. Sua descrição está detalhada no item 4.3 deste trabalho. Tais filtros configuram-se como um método objetivo e de rápida aplicação e pouco trabalhoso (PAIVA *et. al*, 2005; COLLISCHONN, 2006).

Segundo Misstear (2000), existem várias razões pelas quais a necessidade da quantificação precisa da recarga se torna fundamental, dentre as quais podem ser citadas:

- Quantificação da oferta para concessão de outorga de uso;
- Conhecimento da contribuição subterrânea ao escoamento superficial de cursos d'água e às áreas úmidas naturais;
- Conhecimento da vulnerabilidade das águas subterrâneas (uma alta taxa de recarga implica em uma alta vulnerabilidade);
- Identificação de eventuais consequências de mudanças climáticas e de uso do solo aos recursos hídricos.

No entanto, a despeito de sua importância, ainda não há um método universal preciso para a sua estimativa. Existe um considerável número de abordagens, cujo nível de complexidade pode variar do extremo ao relativamente simples.

Apesar de serem carregadas de incerteza, estimativas de escoamento superficial de base são muito utilizadas para calibração e/ou avaliação de outros métodos aplicados ao estudo da recarga natural de águas subterrâneas (ELY, 2006).

Mesmo apresentando uma série de limitações, os referidos métodos possuem vantagens, como simplicidade, praticidade e baixo custo, que ainda os mantêm entre as alternativas potencialmente aplicáveis, conforme demonstram trabalhos publicados entre 2010 e 2012, dentre os quais alguns foram citados nas seções anteriores (SANTOS, 2012).

Na aplicação de filtros supõe-se que a vazão total do hidrograma (y) num certo intervalo de tempo (i) é formada por duas componentes: escoamento superficial (f) e escoamento subterrâneo (b). Isto significa que num intervalo de tempo qualquer (Equação 5):

$$y_i = f_i + b_i \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

y_i – vazão total do hidrograma no intervalo de tempo i ;
 f_i – componente do escoamento superficial no intervalo de tempo i ; e
 b_i - componente do escoamento subterrâneo no intervalo de tempo i .

No caso de bacias com contribuição subterrânea maior, como é o caso das bacias hidrográficas dos rios Lontra e Corda, Eckhardt apud Collischonn & Tassi (2008) propôs um filtro com dois parâmetros, conforme Equação 6:

$$b_i = \frac{(1 - BFI_{max}) * a * b_{i-1} + (1 - a) BFI_{max} * y_i}{1 - a * BFI_{max}}, \quad (\text{Equação 6})$$

sendo $a = e^{\frac{-\Delta t}{k}}$ (Equação 7)

Onde:

b_i - componente do escoamento subterrâneo no intervalo de tempo i ;
 BFI_{max} - é o máximo percentual de escoamento subterrâneo que o filtro permite calcular;
 y_i – vazão total do hidrograma no intervalo de tempo i ;
 k - constante de recessão;
 Δt - tamanho do intervalo de tempo entre i e $i+1$.

A constante de recessão (k) será estimada por:

$$k = \frac{-\Delta t}{\ln\left(\frac{Q(t + \Delta t)}{Q(t)}\right)} \quad (\text{Equação 8})$$

Os valores sugeridos para BFI_{max} são (COLLISCHONN, 2008):

Q = Vazão

t = Tempo

$BFI_{max} = 0,80$ (rios perenes e aquíferos porosos);

$BFI_{max} = 0,50$ (rios efêmeros ou intermitentes e aquíferos porosos);

$BFI_{max} = 0,25$ (rios perenes e aquíferos impermeáveis).

Para a região em estudo, adotou-se o $BFI_{max} = 0,80$, pois de acordo com levantamento realizado na área, os rios da região são perenes e os aquíferos porosos.

4.3 DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS POTENCIAIS DE RECARGA SUBTERRÂNEA

Para a delimitação das áreas potenciais de recarga subterrânea nas bacias, adaptou-se a metodologia proposta por Melo Neto *et. al* (2013), em que foi acrescida a variável precipitação ao modelo empregado. A metodologia consiste na geração de mapas temáticos, a partir da observância de variáveis ambientais que se relacionam com a capacidade de armazenamento de água subterrânea em uma bacia hidrográfica. Para cada mapa gerado, foram estabelecidos diferentes pesos e cargas, de acordo com o seu grau de influência na ocorrência de água subterrânea.

As variáveis ambientais consideradas neste trabalho são a representação da expressão hidrológica das seguintes características físicas presentes em uma bacia hidrográfica, a saber:

- Geologia;
- Geomorfologia;
- Solos;
- Uso da terra; e
- Precipitação.

O Quadro 3 apresenta as relações das variáveis ambientais de uma bacia hidrográfica com o componente de armazenagem de água, conforme descrita por diferentes autores, a saber:

Quadro 3 - Relações das variáveis ambientais de uma bacia hidrográfica com a componente de armazenagem de água

Variável Ambiental	Função Hidrológica	Propriedades relacionadas ao processo de armazenagem de água em uma bacia hidrográfica
Geologia	Permeabilidade das Rochas	Refere-se à propriedade que esse meio poroso apresenta para transmitir água sob determinada temperatura e viscosidade. Essa propriedade é dependente da viscosidade do fluido e da porosidade do meio rochoso com termos de volume total e particionamento por tamanho. Também ocorrem dependências em relação à forma, a compactação e a distribuição do tamanho das partículas. A forma das partículas afeta na maneira como as mesmas se arranjam entre si com as formas irregulares resultando em porosidades maiores que as formas arredondadas. Matérias granulares com distribuição uniforme de grãos têm porosidade maior que os materiais com distribuição irregular. O grau de cimentação ou de compactação influi diretamente no valor porosidade, de maneira que quanto mais cimentada estiver uma formação, menor será o valor da porosidade. Na bacia hidrográfica, as rochas encontram-se diretamente relacionadas com a função hidrológica de armazenagem, através da armazenagem no lençol freático e com o escoamento de base dos sistemas de fluxo hidrológico. Condicionam, em parte, a capacidade de armazenagem de água dos solos e o escoamento superficial.
Geomorfologia	Fluxo Preferencial em Profundidade	É uma expressão hidrológica das formas de relevo. Indica qual é a rota preferencial do fluxo que tenderá a predominar nas diversas formas de relevo que ocorrem na bacia hidrográfica, encontrando-se, dessa maneira, relacionados ao tempo de permanência da água. Como consequência da rota preferencial, pode-se acelerar ou retardar a saída da água da bacia hidrográfica. A aceleração ocorreria pela predominância de fluxos rápidos, como o escoamento superficial, e o retardamento pela predominância de fluxos lentos, como a percolação e o escoamento de base e pelo armazenagem nos solos e nas rochas. O fundamento hidrológico utilizado é o da função de armazenagem. Superfícies tabulares tendem a favorecer a infiltração, a percolação e o escoamento de base, enquanto os de topo aguçados, pela sua configuração, e os de acumulação, pelo seu posicionamento no terreno, tendem a favorecer o escoamento superficial e os sub superficiais.
	Declividade	Refere-se à inclinação que os terrenos da bacia apresentam e constitui-se também em uma expressão hidrológica ao representar as diferentes quantidades de energia que podem interferir na velocidade de escoamento dos fluxos da água pela transformação de energia potencial em cinética. É um dos parâmetros que poderá influenciar nos níveis de escoamento superficial e subsuperficial da precipitação, deste modo na disponibilidade de água que infiltra no solo.

(Continua...)

Quadro 3 - Relações das variáveis ambientais de uma bacia hidrográfica com a componente de armazenagem de água (Continuação)

Variável Ambiental	Função hidrológica	Propriedades relacionadas ao processo de armazenamento de água em uma bacia hidrográfica
Solos	Potencial de infiltração dos solos	É uma expressão hidrológica do solo referente à penetração de água no seu perfil, que dentre outros fatores, é dependente da textura. Solos com textura arenosa apresentam potencial de infiltração muito alta devido ao seu espaço poroso ser composto predominantemente por macro-poros, o que os torna bem a excessivamente drenados, e permitem que apresentem como rota preferencial de fluxo a percolação ao invés do escoamento superficial. Os de textura argilosa, por outro lado, devido à predominância de micro-poros, tendem a ser mal a moderadamente drenados, o que permite que apresentem como rota preferencial de fluxo o escoamento superficial.
	Potencial da profundidade para armazenagem:	A profundidade, outra característica do elemento solos, será tratada como expressão hidrológica, no sentido de que quanto maior ela for, maior será o espaço disponível para o caminhamento e armazenagem de água, permitindo que a rota preferencial de fluxo seja composta pela percolação, o que tende a aumentar a atenuação dos eventos de precipitação. À semelhança do potencial de infiltração, diversos fatores afetam essa variável, como as condições de umidade do solo, camadas de impedimento, porosidade, sistema radicular, etc.
Uso e ocupação do Solo	Grau de proteção e tipos de uso do solo	No âmbito da função hidrológica de armazenagem da bacia hidrográfica, a proteção advém da retenção temporária dos eventos de precipitação e da diminuição da quantidade de água que chega ao solo devido à evaporação. Nesse processo, os diferentes estratos da vegetação agem como barreira ao livre caminhamento da precipitação, diminuindo sua energia cinética. Papel semelhante é efetuado pela manta orgânica. Esta última, conjuntamente com o sistema radicular e a fauna melhoram as condições superficiais de infiltração, por melhoria das propriedades físico-químicas do solo. Neste contexto, a rota preferencial de fluxo tende a ser a da infiltração, percolação e a do armazenamento, com os eventos de escoamento superficial ocorrendo ocasionalmente em função da maior intensidade da precipitação, de forma que o processo erosivo tende às taxas naturais dentro da faixa de amplitude de estabilidade do sistema.
Precipitação	Entrada de água no sistema Hídrico	A precipitação é entendida como toda a água proveniente do meio atmosférico, que atinge a superfície terrestre. As características principais da precipitação são o seu total, duração e distribuição temporal e espacial. A recarga natural das águas subterrâneas depende fundamentalmente do regime pluviométrico (quantidade de chuvas).

Fonte: Adaptado de BRAUN (2007)

4.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA EM UM AMBIENTE SIG

Os dados secundários utilizados na elaboração do mapa das potenciais áreas de recarga subterrâneas foram processados por meio do uso do Sistema de Informações Geográficas ArcGIS® em sua versão 10.3. Para facilitar o entendimento da metodologia proposta por Neto (2013) a Figura 6 apresenta o fluxograma adaptado para a presente pesquisa.

O mapa hipsométrico da bacia foi gerado a partir de dados do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), com resolução de 90 x 90 m, para construção do MDE (Modelo Digital de Elevação). O mapa hipsométrico é resultante do fatiamento dos dados de cotas obtidos do MDE, onde foram construídas 5 classes de 120 a 597 m.

Os mapas das bacias hidrográficas, declividade, geomorfologia, solos, precipitação, uso do solo foram recompilados pela SEPLAN – TO. Uso do solo na escala de 1:100.000 do ano de 2008 elaborado a partir da classificação de imagens de satélite, a declividade foi gerada foram utilizados modelos de elevação, obtidos a partir do radar SRTM. Os modelos digitais de elevação foram obtidos por interferometria de radar com 90 metros de resolução espacial. Os dados originais foram obtidos em formato raster, com resolução radiométrica de 16 bits, em formato geotiff, projeção geográfica, elevações referenciadas para o datum horizontal WGS 84.

A precipitação advém do de dados pluviométricos da Base da ANA - HidroWeb. O mapa de geologia foi elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM, conjunto de dados Geodiversidade do Tocantins, em escala 1:1000.000.

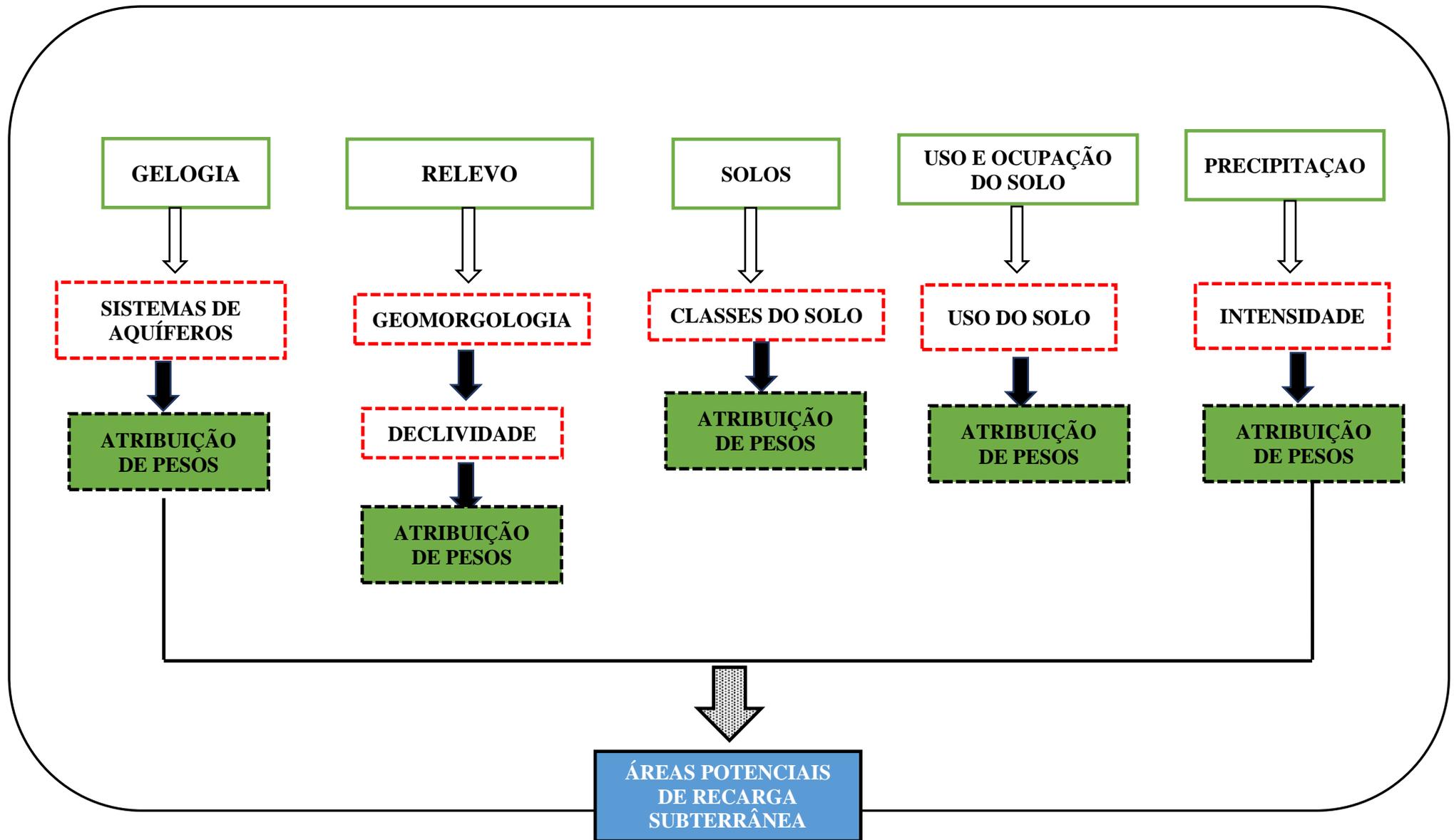
Para as classes dos mapas temáticos foram atribuídos pesos, e o menor valor do peso significa, em termos qualitativos, uma menor chance de favorecer o processo de recarga na bacia hidrográfica, e o peso máximo indica uma maior chance de favorecer o referido processo. Valores intermediários dos pesos representam possibilidades medianas da classe favorecer o processo de recarga.

Os dados vetoriais dos mapas temáticos foram todos convertidos para o formato *raster*, no *ArcToolbox – Conversion Tools – To Raster – Polygon to Raster*.

Pelo método de álgebra de mapas os valores dos pesos para cada classe temática foram trabalhados pixel a pixel, no *ArcToolbox - Spatial Analyst Tools – Map Algebra 0 Raster Calculator*, segundo a Equação 9:

$$AR_{Sub} = P_{GEO} \times P_{HIP} \times P_{DEC} \times P_{US} \times P_{CS} \times P_{GEO} \times P_{PREC} \quad (\text{Equação 9})$$

Figura 6 – Fluxograma adaptado para pesquisa



Fonte: Adaptado de Neto (2013)

Em que:

AR_{sub} = valor do potencial de recarga subterrânea;

P_{GEO} = peso associado à categoria geomorfologia;

P_{HIP} = peso associado à categoria hipsometria;

P_{DEC} = peso associado à categoria declividade;

P_{US} = peso associado à categoria uso e cobertura do solo;

P_{CS} = peso associado à categoria classe de solo;

P_{GEO} = peso associado à categoria geologia;

P_{PREC} = peso associado à categoria Precipitação.

O resultado da Equação 9 foi reclassificado, no *ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Reclass - Reclassify*, para o intervalo do mapa de Potencial das Áreas de Recarga em Baixo Potencial, Médio Potencial e Alto Potencial.

Para o cálculo das áreas realizou-se a conversão do mapa de Potencial das áreas de recarga, em formato *raster* para o tipo de dados vetorial, no *ArcToolbox - Conversion T*.

4.5 PROPOSTA METODOLÓGICA PARA DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS ESTRATÉGICAS DE GESTÃO PARA FINS DE USO E CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

O objetivo principal deste trabalho é a proposição de uma metodologia para determinação de áreas estratégicas de gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, a partir da delimitação de áreas de proteção das potenciais áreas de recarga subterrânea.

A partir do entendimento das inter-relações existentes entre os compartimentos hídricos de uma bacia hidrográfica, incluindo suas características físicas naturais, observa-se a necessidade de preservação de áreas estratégicas, visando a gestão integrada dos recursos hídricos.

Esta proposta metodológica sugere a utilização de dados secundários (áreas potenciais de recarga subterrânea; carta topográfica; mapa geológico; mapa de declividade; mapa de solos; uso e ocupação do solo e informações sobre os poços subterrâneos localizados nas bacias).

No caso específico deste trabalho, utilizou-se o plano de informações ambientais elaborados na etapa referente a identificação das áreas de recarga subterrânea. Propõe sua aplicação por meio de procedimentos simples e de forma eficaz. Ressalta-se que a determinação de áreas de proteção deve levar em consideração os aspectos sociais, econômicos e ambientais de uma determinada região. Considerando que a determinação de áreas estratégicas tem como objetivo a restrição do uso do solo, por vezes localizadas em áreas economicamente ativas. Ressalta-se que esta pesquisa, no momento da aplicação da sua metodologia, deverá observar a extensão dos limites de suas proposições em áreas a serem restringidas.

A Figura 7 apresenta de forma simplificada o processo metodológico para desenvolvimento da metodologia.

4.5.1 Levantamento de Dados Secundários

A partir da análise das variáveis físicas ambientais que contribuem com o processo de recarga subterrânea em uma bacia hidrográfica, buscou-se obter informações sobre as condições ambientais básicas das bacias estudadas. Os principais temas levantados, de interesse para determinação das áreas estratégicas de gestão foram:

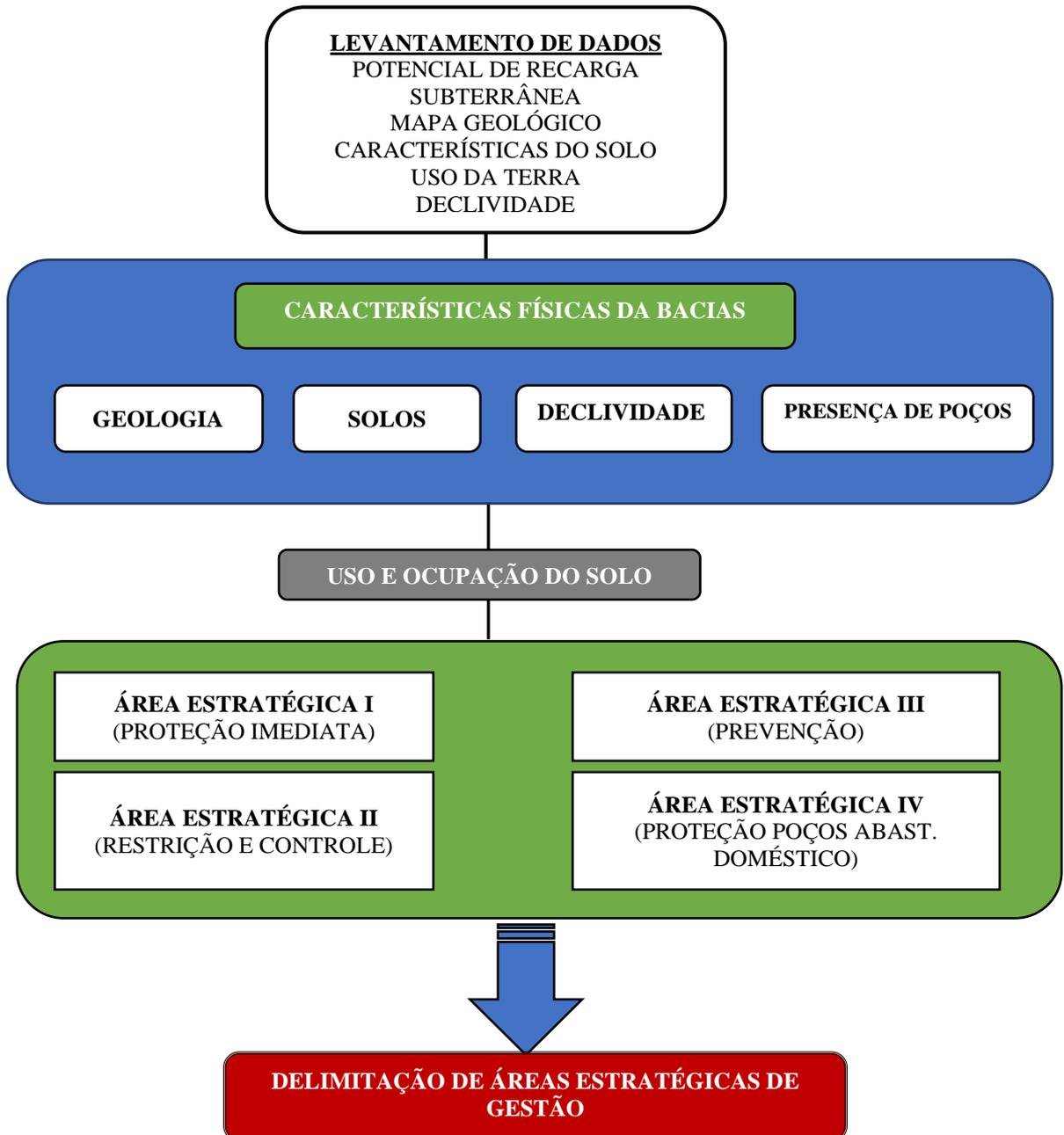
- Potencial de Recarga Subterrânea;
- Geologia;
- Solos;
- Declividade;
- Uso e Ocupação do Solo;
- Poços de Abastecimento localizados nas Bacias.

Após obtenção dos temas, executou-se a integração e tratamento dos dados, por meio de um Sistema de Informações Geográficas – SIG (Programa ArcGis® versão 10.3), utilizando técnicas de Geoprocessamento para dados *Raster*, com uso de classificações dos dados, a partir do uso do *Raster Calculator* para intersecção das áreas estratégicas.

A base de dados utilizada para localização dos poços de abastecimento de água subterrânea nas bacias o SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, banco de dados desenvolvido no SGB – Serviço Geológico do Brasil/CPRM, composto por uma base permanentemente atualizada, além de módulos capazes de realizar consultas, pesquisas, extração e geração de relatórios. Facilita a gestão adequada da informação hidrogeológica e a

sua integração com outros sistemas. Utilizou-se ainda a base de informações do Sistema de Informações de Qualidade de Água – SISÁGUA do Ministério da Saúde.

Figura 7 - Processo metodológico para Determinação das Áreas Estratégicas de Gestão



Fonte: Autora, 2020.

4.5.2 Definição das Áreas Estratégicas de Gestão

As definições adotadas para as Áreas Estratégicas de Gestão – AEG foram adaptadas das normas estabelecidas para a proteção de poços e áreas de recarga de aquífero. Ressalta-se que,

para este trabalho, foram consideradas e propostas a proteção das potenciais áreas de recarga subterrânea, tendo em vista a escassez de informações hidrogeológicas das bacias, o que impossibilitou a efetiva localização das áreas de recarga de aquíferos propriamente ditas. Assim, foram propostas as seguintes Áreas Estratégicas de Gestão, conforme Quadro 4 abaixo, que apresenta as características ambientais associadas.

As considerações acerca das características ambientais em bacias hidrográficas e sua relação com o processo de infiltração subterrânea podem ser observadas no Quadro 4. Suas características foram a base para consideração das condicionantes ambientais das áreas estratégicas propostas.

Quadro 4 - Condicionantes ambientais das Áreas Estratégicas propostas

Áreas Estratégicas	Condicionantes Ambientais
Área Estratégica I (Proteção Imediata)	a) Compreendem, áreas de alto potencial de recarga subterrânea; b) Áreas que possuem sistema aquífero granular/fissural; c) Declividades AB; d) Presença de solos Neossolo; e) Presença de vegetação nativa.
Área Estratégica II (Restrição e Controle)	a) Compreendem, áreas de alto e médio potencial de recarga subterrânea; b) Áreas que possuem sistema aquífero granular; aquífero granular/fissural; c) Declividades AB e B; d) Presença de solos Latossolo e Neossolo; e) Presença de vegetação nativa e áreas urbanizadas.
Área Estratégica III (Prevenção)	a) Áreas de médio e baixo potencial de recarga subterrânea; b) Áreas de sistema aquífero fissural; c) Declividade B e BC; d) Presença de solos Latossolo e Neossolo; e) Presença de vegetação nativa e áreas urbanizadas.
Área Estratégica IV (Proteção de Poços destinados ao Abastecimento Público)	a) Toda e qualquer área de poços para abastecimento público; b) Presença de vegetação nativa e áreas urbanizadas.

Fonte: Autora, 2020.

Mais detalhes foram inseridos no ANEXO B do presente trabalho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista o resultado obtido com o emprego das diferentes metodologias utilizadas nesta pesquisa (p.ex.: métodos matemáticos e modelos em ambiente SIG), julgou-se ser necessário apresentar, neste item, somente os resultados finais de cada metodologia, estando os demais resultados, como cálculos, tabelas e mapas temáticos citados aqui.

5.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

5.1.1 Caracterização das bacias dos rios Lontra e Corda

Buscar-se-á, neste item, apresentar, de forma sucinta as características físicas, os aspectos bióticos e ambientais, aspectos socioeconômicos, bem como informações sobre a Geologia, Geomorfologia e Hidrogeologia da região. Ressalta-se que as informações necessárias para caracterizar a área de estudo foram obtidas do Zoneamento Ecológico Econômico do Tocantins, bem como do Plano das Bacias Hidrográficas.

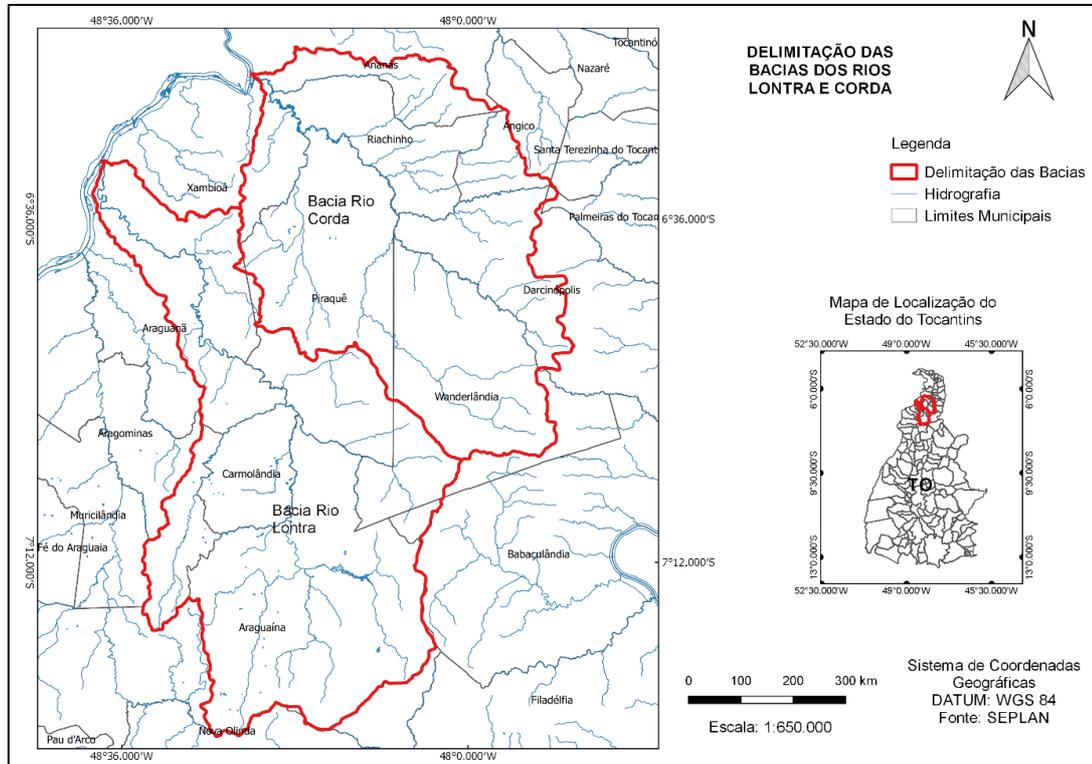
Em relação aos usos atuais dos recursos hídricos das bacias, as informações foram fornecidas pelo Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS, órgão pertencente ao Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado, responsável pela emissão das outorgas de direito de uso dos recursos hídricos no Estado.

As bacias dos rios Lontra e Corda estão inseridas no sistema hidrográfico do rio Araguaia, na Região Norte do Estado do Tocantins, entre as coordenadas geográficas – 06°18'00" e 07°31'12" de latitude sul; e – 47°49'12" e 48°38'24" de longitude oeste. A Figura 8 apresenta a localização das bacias dos rios Lontra e Corda. Os rios Lontra e o Corda drenam áreas de 3.870 km² e 3.484 km², respectivamente. Contribuem à margem direita do rio Araguaia, já no seu curso inferior, na Região Norte do Estado do Tocantins.

De acordo com o Zoneamento Ecológico Econômico – ZEE do Estado do Tocantins, o rio Lontra e o rio Corda configuram as sub-bacias identificadas como A14 e A15, respectivamente. O rio Lontra apresenta suas nascentes a oeste da serra dos Cavalos e ao norte da serra do Estrondo, em áreas do município de Araguaína, desenvolvendo-se no sentido geral Sudeste-Noroeste para contribuir, depois de percorrer cerca de 200 km, à margem direita do rio Araguaia, entre Araganã e Xambioá. Pela margem direita, os principais afluentes do rio Lontra são: o córrego Cuia, o ribeirão Jacuba, o ribeirão Brejão, o córrego Curiti, o córrego Ouro Fino

e o córrego Gameleira. Pela margem esquerda, os principais afluentes são: o rio Pontes, o ribeirão Gurguéia, o ribeirão João Aires e o ribeirão Boa Sorte.

Figura 8 - Localização geográfica das bacias Lontra e Corda



Fonte: SEPLAN, 2012.

O rio Corda nasce ao norte das serras da Correntinha e do Cercado Grande, em áreas do município de Wanderlândia, apresentando o mesmo sentido geral de desenvolvimento descrito para o rio Lontra (Sudeste-Noroeste). Após percorrer cerca de 135 km, contribui à margem direita do rio Araguaia, servindo de divisa aos municípios de Xambioá e Ananás. Pela margem direita, os principais afluentes do rio Corda são: os córregos Canoa e Grotão, o ribeirão da Faca, o ribeirão dos Porcos e o ribeirão Tapuio. Pela margem esquerda, destacam-se o ribeirão das Lages e o ribeirão Lago Grande. Compõem as bacias, total ou parcialmente, doze municípios, conforme Tabela 2.

5.1.1.1 Clima

No que se refere à caracterização climática das bacias, identificou-se o predomínio do tipo climático B1wA'a' (classificação de Thornthwaite), descrito como clima úmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial apresentando uma variação média anual entre 1.400 e 1.700 mm, distribuindo-se no verão em torno de 390 e 480

mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

Tabela 2 - Abrangência dos municípios nas bacias dos Rios Lontra e Corda

Municípios	Área Total (km ²)	Área dentro das Bacias (km ²)	Área dentro das Bacias (%)
Ananás	1579,5	286,82	18,16
Angico	452,68	160,31	35,41
Aragominas	1174,1	266,8	22,72
Araguaína	4004,39	1692,41	42,26
Araguanã	836,91	391,96	46,83
Babaçulândia	1792,39	45,58	2,54
Carmolândia	339,84	339,84	100
Darcinópolis	1643,04	520,1	31,65
Piraquê	1371,8	1371,8	100
Riachinho	518,35	517,98	99,93
Wanderlândia	1375,7	1134,63	82,48
Xambioá	1187,81	635,97	53,54

Fonte: NATURATINS, 2018.

Pela classificação de Koppen, a área encontra-se sob o domínio do tipo climático “Aw”, descrito como tropical de savana e inverno seco. Com efeito, o exame dos dados permitiu observar a ocorrência de um período de até quatro meses onde as precipitações são insignificantes. A estiagem inicia-se em maio e pode se estender até outubro, sendo que de junho a setembro tem-se os menores totais precipitados (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

As temperaturas pouco variam no espaço das bacias e ao longo do tempo, sendo extremamente raras as penetrações de massas de ar frio, em virtude da continentalidade e das latitudes altas. A média anual observada para o conjunto das estações avaliadas foi de 25,9°C, sendo menor em Araguaína (24,9°C) (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

Embora a variabilidade das temperaturas ao longo dos meses do ano seja pouco significativa, foram observadas as médias mais baixas em janeiro e fevereiro, na estação chuvosa, e as mais elevadas em setembro, já no final do período seco (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

Os valores médios de umidade relativa do ar apresentam-se claramente correlacionados com os de precipitação, ocorrendo menores valores de umidade no inverno quando as precipitações são menos frequentes. A média anual ficou no entorno de 80%, baixando para

cerca de 60% no inverno. Já para o elemento evaporação, observou-se um padrão inverso ao das precipitações. Com efeito, no período seco, com maior insolação e menor nebulosidade, são observados os maiores valores de evaporação (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

5.1.1.2 Características Hidrológicas

De um modo geral, o comportamento hidrológico das bacias dos rios Lontra e Corda reflete as características do comportamento climático, que tem na variabilidade temporal das precipitações o seu principal definidor. Com efeito, a sazonalidade pronunciada que se observa nas precipitações, com um semestre notadamente mais seco (maio a outubro), no qual ocorrem apenas 17% das precipitações anuais, faz com que os escoamentos apresentem esta mesma sazonalidade (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

As vazões específicas médias de longo período oscilam, para as diferentes sub-bacias, entre 22 e 26 L/s.km². Considerando apenas o semestre mais chuvoso (novembro-abril), as vazões específicas médias passam para a faixa de 32 a 40 L/s.km², enquanto que considerando apenas o semestre mais seco tem-se vazões específicas médias situadas no entorno dos 13 L/s.km². Os meses de agosto e setembro são os mais secos, com vazões específicas médias no entorno dos 7 L/s.km² (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

5.1.1.3 Características Geomorfológicas

Geomorfologicamente, parte das bacias dos rios Lontra e Corda insere-se na Depressão Ortoclinal do Médio Tocantins e parte na Depressão Periférica do Sul do Pará. Na Depressão Ortoclinal do Médio Tocantins, o relevo varia de aplainado, constituído por pequenas escarpas que desenvolvem patamares com caimento suave para leste, a colinoso, de formas alongadas. Estas feições foram construídas, respectivamente, às expensas das sequências arenosas e pelíticas dos sedimentos da Bacia do Parnaíba. Os drenos apresentam padrão retangular aberto, com densidade média (CPRM, 2019).

A Depressão Periférica do Sul do Pará constituída por terrenos rebaixados, adjacentes às bacias sedimentares do Parnaíba e do Amazonas e resultante de processos de pediplanação pleistocênica que atuaram sobre parte do planalto dissecado do sul do Pará e Depressão Ortoclinal do Médio Tocantins, sob a forma de amplos patamares estruturais, edificados sobre as formações paleozóicas da Bacia do Parnaíba e retrabalhados por pediplanação pleistocênica apresentam caimento suave em direção à calha do rio Tocantins (CPRM, 2011).

O anexo A deste trabalho apresenta as Unidades Geomorfológicas presentes nas bacias dos Rios Lontra e Corda.

5.1.1.4 Geologia

O substrato das Bacias é constituído por rochas do Complexo Colméia e da Formação Xambioá. A densidade de drenagem é média, com padrões dendríticos, por vezes radiais, em consequência do controle radial. Observa-se, ainda, uma área de ocorrência de quartzitos da Formação Morro do Campo, conformando um relevo montanhoso dissecado em cristas e ravinas.

Do ponto de vista geológico, a bacia do rio Corda está inserida, predominantemente, na Bacia Sedimentar do Parnaíba, que compreende arenitos, folhelhos, argilitos, conglomerados, cherts, calcários, dolomitos, níveis de gipsita, sedimentos clasto-químicos, níveis de sílex, basaltos e diabásios. Tais litologias derivam de sedimentação continental e marinha com participações lacustre e fluvial, além de esporádicos eventos eólicos.

Já a bacia do rio Lontra insere-se, de forma similar à bacia do rio Corda, no seu trecho inicial, das nascentes até parte de seu curso médio, na Bacia Sedimentar do Parnaíba, cujas características já foram acima descritas. O restante da bacia está inserido na Faixa de Dobramentos do Proterozóico Médio e Superior, compreendendo, basicamente, xistos, quartzitos, folhelhos e siltitos. Ocorrem, ainda, conforme acima comentado, rochas do Complexo Colméia, relacionadas aos Complexos Metamórficos do Arqueano e Proterozóico Inferior.

5.1.1.5 Características Hidrogeológicas

A potencialidade hidrogeológica da região concentra-se nas rochas sedimentares pertencentes à Bacia Sedimentar do Parnaíba, cuja província hidrogeológica se estende por mais de 110.000 km² no estado de Tocantins. De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, a província do Parnaíba, com uma sequência alternada de aquíferos e aquíferos, apresenta reservatórios compartimentados moldados por eventos tectônicos.

Das rochas que ocorrem na região em estudo, o aquífero Sambaíba, pertencente à Bacia Sedimentar do Parnaíba, caracteriza-se como a unidade geológica mesozóica mais promissora à exploração de água subterrânea. A unidade é constituída, predominantemente, por arenitos

róseos a esbranquiçados, finos a médios, bem selecionados, grãos subangulosos a arredondados.

As bacias e seu entorno estão assentada sobre rochas pertencentes a Bacia Sedimentar do Parnaíba, representando uma ampla depressão intracratônica, cuja característica original é a deposição horizontalizada de seus estratos, tendo sido implantada, provavelmente, durante o siluriano, com a subsidência da área cratônica devido a fraturamentos N-S, NE-SW e NW-SE, responsáveis pela evolução estrutural da bacia, originados a partir dos primeiros pulsos tectônicos que ocasionaram a separação da América do Sul do Continente Africano. Afloram nos domínios das bacias, rochas pertencentes às Formações Motuca, Sambaíba e Mosquito, que serão descritas mais detalhadamente por serem mais importantes do ponto de vista hidrogeológico.

Ocorrem nas bacias, a presença dos sistemas de Aquífero Granular/Fissural (91,11%); Fissural (6,50%) e Granular (2,39%) observados na Tabela 7 que favorecem o processo de recarga do aquífero devido a boa porosidade dessas litogias. Enquanto o aquífero granular superior é sempre livre, o aquífero fraturado, heterogêneo e anisotrópico, pode se apresentar livre a semiconfinado.

5.1.1.6 Características dos Solos

No que se refere aos recursos de solos, na bacia do rio Lontra predominam as Areias Quartzozas (Neossolos Quartzarênicos), Latossolo Vermelho Amarelo (LV2) e Podzólico Vermelho Amarelo (Argissolos), em classes de declividade AB (de 0 a 10 %, com predominância de 0 a 5 %) e, com menor ocorrência, CD (de 10 a 30 %, com predominância de 10 a 15 %).

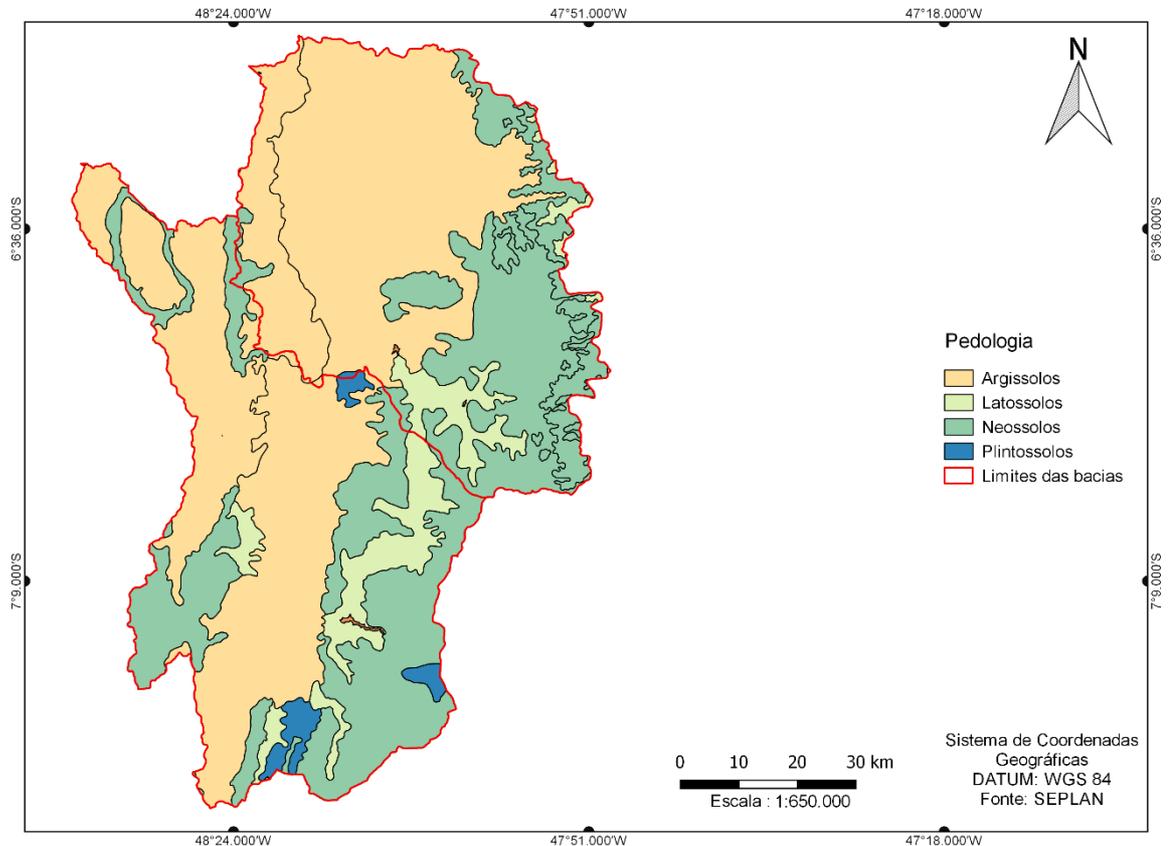
Na bacia do rio Corda predominam Latossolo Vermelho Amarelo (LV2) e Areias Quartzozas (Neossolos Quartzarênicos), quase que exclusivamente em classe de declividade AB (de 0 a 10 %, com predominância de 0 a 5 %). As características pertinentes aos solos das bacias estão dispostas na Figura 9 e quantificados na Tabela 3.

Tabela 3 - Quantificação, em porcentagem, dos tipos de solo predominantes em cada bacia

CLASSES DE SOLOS %	
Bacia Rio Lontra	Bacia Rio Corda
Argissolo - 49,70 %	Argissolo - 46,37 %
Neossolo - 34,14 %	Neossolo - 33,37 %
Latossolo - 14,89%	Latossolo - 19,75 %
Plintossolo - 1,30 %	Plintossolo - 0,56 %

Fonte: Autora, 2020.

Figura 9- Mapa Pedológico das bacias dos rios Lontra e Corda



Fonte: SEPLAN, 2012.

Em que, segundo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS da Embrapa (2018), conforme Quadro 5.

5.1.1.7 Declividade das Bacias Hidrográficas

O Zoneamento Agroecológico do Estado do Tocantins, elaborado em 1998 pela EMBRAPA Monitoramento por Satélite em parceria com a Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DEZ), dividiu o Estado em 06 classes principais de declividades. Essa compartimentação do espaço geográfico baseou-se na análise das relações existentes entre seus principais componentes: rochas, relevo, solos, topografia, rede de drenagem, clima, dinâmica da paisagem, vegetação natural e uso atual das terras (MEDEIROS, 1998).

Quadro 5 - Características das classes de solos existentes nas bacias dos rios Lontra e Corda

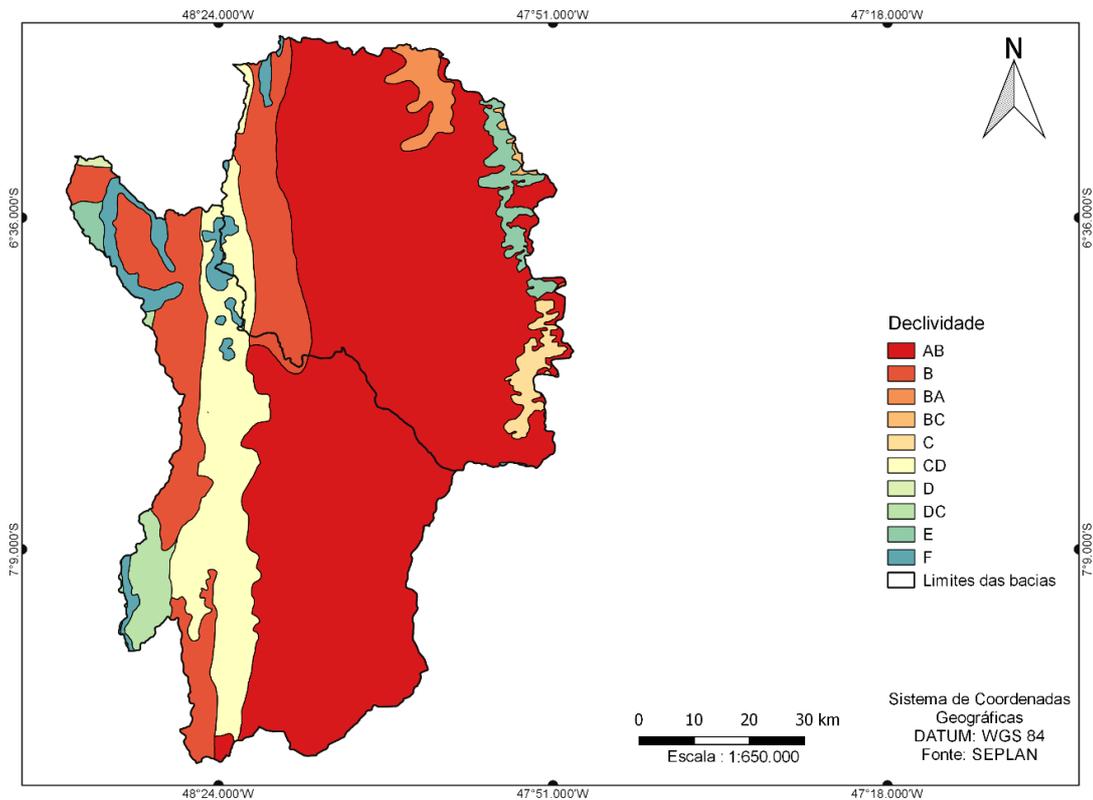
Classes de solos	Características
Argissolo	São solos minerais, não hidromórficos, com horizontes B textural, de cor vermelho-amarelada com diferenciação entre os horizontes no tocante a cor, estrutura e textura, principalmente. São profundos, com argila de atividade baixa e horizonte A dos tipos moderado e chernozêmico e textura média/argilosa em sua maioria. De maneira geral, pode-se dizer que os argissolos são bastante susceptíveis à erosão, sobretudo quando há maior diferença de textura do A para a B, presença de cascalhos e relevo mais movimentado com fortes declividades. Quando isso ocorre, não são recomendados para agricultura, prestando-se para pastagem e reflorestamento ou preservação da flora e fauna. Do contrário, quando localizados em áreas de relevo plano e suavemente ondulado, livres de cascalhos, pedras e outros impedimentos físicos, estes solos podem ser usados para diversas culturas, desde que sejam feitas correções da acidez e adubação, principalmente quando se tratar de solos distróficos ou álicos.
Latossolo Vermelho Amarelo	São solos minerais, não-hidromórficos, profundos (normalmente superiores a 2 m), horizonte B muito espesso (> 50 cm) com sequência de horizontes A, B e C pouco diferenciados; as cores variam de vermelhas muito escuras a amareladas, geralmente escuras no A, vivas no B e mais claras no C. Apresentam teor de silte inferior a 20% e argila variando entre 15% e 80%. São solos com alta permeabilidade à água, podendo ser trabalhados em grande variação de umidade. Apresentam tendência a formar crostas superficiais devido à flocculação das argilas que passam a comportar-se funcionalmente como silte e areia fina. A fração silte desempenha papel importante no encrostamento, o que pode ser evitado, mantendo-se o terreno com cobertura vegetal a maior parte do tempo, principalmente, em áreas com pastagens. Os latossolos são muito intemperizados, com pequena reserva de nutrientes para as plantas, representados normalmente por sua baixa à média capacidade de troca de cátions. Mais de 95% dos latossolos são distróficos e ácidos, com pH entre 4,0 e 5,5 e teores de fósforo disponível extremamente baixos, quase sempre inferiores a 1 mg/dm ³ . Em geral, são solos com grandes problemas de fertilidade.
Neossolo Quartzarênico	Solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso, com insuficiência de manifestação dos atributos diagnósticos que caracterizam os diversos processos de formação dos solos, seja em razão de maior resistência do material de origem ou dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo) que podem impedir ou limitar a evolução dos solos. Variam de solos rasos até profundos e de baixa a alta permeabilidade. Solos com presença de lençol freático elevado durante grande parte do ano, na maioria dos anos, imperfeitamente ou mal drenados e apresentando um ou mais dos seguintes requisitos: Horizonte H hístico; e/ou Saturação com água permanente dentro de 50 cm a partir da superfície do solo; e/ou Presença de lençol freático dentro de 150 cm a partir da superfície do solo durante a época seca; e/ou Presença do lençol freático dentro de 50 cm a partir da superfície do solo, durante algum tempo, na maioria dos anos, a menos que artificialmente drenados.
Plintossolo	São solos minerais hidromórficos com sérias restrições de drenagem, tendo como característica principal a presença de horizonte plúntico dentro de 40 cm da superfície ou a maiores profundidades quando subsequente ao horizonte E ou abaixo de horizontes com muitos mosqueados de cores de redução ou de horizontes petroplúnticos. Ocorrem geralmente em locais planos e baixos, com oscilação do lençol freático. A cobertura vegetal natural é de, Campo, Campo Cerrado e Floresta, via de regra em relevo plano ou suave ondulado. A limitação desse tipo de solo ocorre devido à má drenagem durante uma parte do ano, quando ficam saturados com água. Em condições naturais são mais usados como pastagens.

Fonte: Embrapa (2018).

As bacias em apreço apresentam em sua totalidade a predominância de classes de características AB e B. As informações relativas a declividade das bacias podem ser verificados no Anexo A desta pesquisa.

Observa-se na Figura 10 e Tabela 4, construídas a partir dos dados da SEPLAN (2012), que as bacias dos rios Lontra e Corda apresentam seus 387.022,23 ha e 357.988,91 ha, respectivamente, distribuídos entre as seguintes classes de declividade:

Figura 10 - Mapa de declividade das bacias dos rios Lontra e Corda



Fonte: SEPLAN, 2012.

Tabela 4 - Quantificação, em porcentagem, das classes de declividade predominantes em cada bacia

CLASSES DE DECLIVIDADE %	
Bacia Rio Lontra	Bacia Rio Corda
AB – 202.575,25 ha ou 52,34 %	AB – 268.487,42 ha ou 75,00 %
B – 69.763,58 ha ou 18,03 %	B – 40.470,20 ha ou 11,30 %
CD – 77.419,78 ha ou 20,00 %	E – 11.762,18 ha ou 3,29 %
F – 18.226,78 ha ou 4,71 %	BA – 11.574,57 ha ou 3,23 %
DC – 14.485,18 ha ou 3,74 %	CD – 10.938,73 ha ou 3,06 %
E – 3.603,59 ha ou 0,93 %	C – 10.152,93 ha ou 2,84 %
D – 948,06 ha ou 0,24 %	F – 3.549,39 ha ou 0,99 %
---	BC – 1.053,50 ha ou 0,29 %

Fonte: Autora, 2020.

A classificação das declividades consta no ANEXO B.

5.1.1.8 Características Bióticas

Na porção mais ocidental da região, a vegetação é do tipo floresta tropical latifoliada, aberta à densa, de difícil penetração. Essa floresta é exuberante e apresenta uma grande variedade de espécies vegetais como o jatobá, a Sumaúma, a Maçaranduba, a Castanheira, o Mogno etc. As árvores de médio a grande porte atingem às vezes, em torno de 50 metros de altura, principalmente nos vales, onde a umidade é maior (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

Esta floresta tropical, para leste, passa progressivamente para uma floresta de transição caracterizada por árvores de porte médio e pela presença da palmeira babaçu. A zona de babaçu é bem definida e estende-se até os arredores de Araguaína, às vezes sob forma de áreas restritas já dentro da zona de Cerrado (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

Nos vales e base das encostas, onde a umidade é maior, e principalmente quando os cursos d'água são perenes, ocorre uma vegetação bem desenvolvida, sob forma de mata de galeria bastante densa e fechada, com cipoais e árvores de pequeno porte, entre as quais se destacam as palmeiras, em particular o buriti (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

Na floresta de galeria úmida, onde o terreno é encharcado, a formação florística é pouco diversificada e a vegetação é tipicamente perenifólia ou com o processo perda/reposição muito rápido. O meio faunístico, de uma maneira geral, encontra-se bastante reduzido na área de interesse. As espécies que ali ainda sobrevivem, estão em estágio de adaptação, em redução ou em trânsito. As espécies florísticas locais, atrativas à fauna, contribuem positivamente para esta incipiente presença.

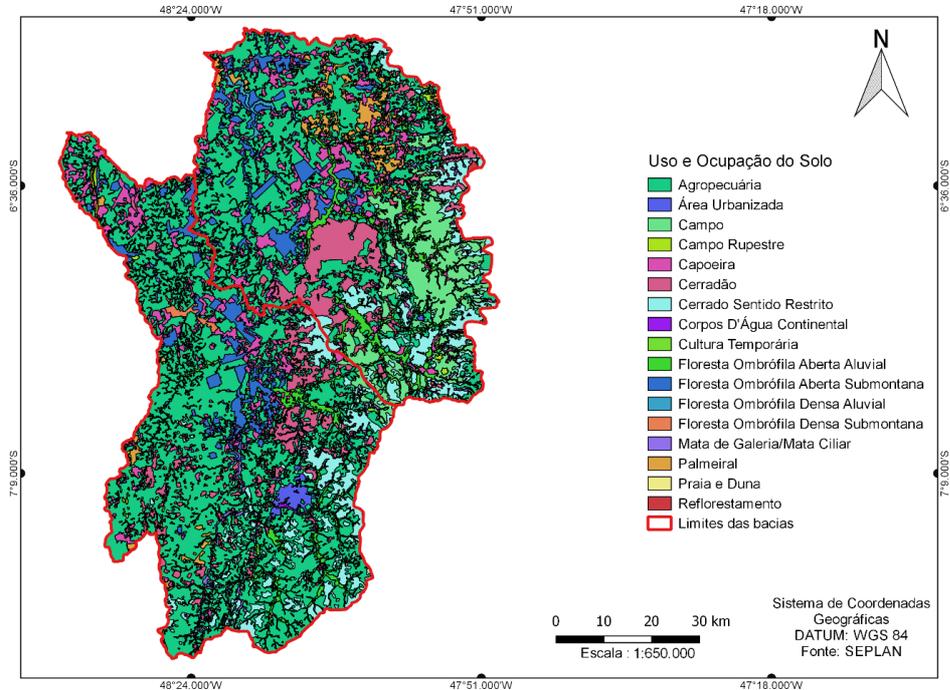
5.1.1.9 Usos da Terra

O perfil dos municípios integrantes da região em análise destaca-se a sua estrutura eminentemente agrícola, sobressaindo-se o setor pecuário, com atividade extensiva, que domina o panorama produtivo regional, como base de sustentação principal de toda sua estrutura econômica, tanto em nível municipal como regional.

A agricultura de sequeiro, com um nível tecnológico baixo, com predomínio da mão de obra familiar, sem capacitação para exercer atividades de uma agricultura mais tecnificada, como a agricultura irrigada, tem um papel econômico secundário nesse contexto. A Figura 11

e Tabela 5 apresentam a quantificação, em porcentagem, do uso e ocupação do solo predominante em cada bacia em análise.

Figura 11 - Mapa de Uso e Ocupação do solo das bacias dos rios Lontra e Corda



Fonte: SEPLAN, 2012.

Tabela 5 - Quantificação, em porcentagem, do uso e ocupação do solo predominante nas bacias dos rios Lontra e Corda

Uso e ocupação do Solo	Bacias dos Rios Lontra e Corda (%)
Agropecuária	23,70
Área Urbanizada	0,71
Campo	0,27
Campo Rupestre	2,14
Capoeira	8,05
Cerradão	12,34
Cerrado Sentido Restrito	38,61
Corpos D'Água Continental	-
Cultura Temporária	0,11
Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	4,19
Floresta Ombrófila Aberta Submontana	11,71
Floresta Ombrófila Densa Aluvial	0,06
Floresta Ombrófila Densa Submontana	0,63
Mata de Galeria/Mata Ciliar	7,04
Palmeiral	3,06
Praia e Duna	-
Reflorestamento	-

Fonte: SEPLAN, (2012).

O município de Araguaína, com uma população de 150.484 habitantes (IBGE, 2010), sendo, portanto, o maior e mais importante núcleo econômico e populacional, representa sem dúvida o grande centro urbano polarizador das atividades econômicas, sendo o gerador de oportunidades e serviços.

A sazonalidade da oferta de empregos, baseado na atividade econômica mais relevante, a agropecuária, e em menor escala, nas atividades industriais atreladas à produção agrícola, tem sido motivo das migrações sazonais de trabalhadores oriundos dos campos de pecuária e agricultura de sequeiro.

Grande parte do fluxo migratório tem na dinâmica e desenvolvimento das atividades econômicas, seu principal motivador. Portanto, Araguaína destaca-se pelas razões anteriormente descritas, contrapondo-se aos outros municípios integrantes, frágeis e incipientes, com infraestrutura deficiente, calcada em atividades tradicionais - pecuária extensiva e agricultura vinculada a subsistência - que, além de agregar baixo valor às economias municipais e regional, não geram postos de trabalho e tampouco apresentam capacidade de induzir a implantação de novas atividades e de dinamizar receitas públicas e investimentos, reforçando as desigualdades existentes.

5.1.1.10. Principais usos dos recursos hídricos nas bacias dos rios Lontra e Corda

Os principais usos dos recursos hídricos preponderantes na região estudada, conforme o Plano de Bacia Hidrográfica dos Rios Lontra e Corda, são o abastecimento populacional (54%) e a dessedentação de animais (39%), ficando o abastecimento industrial com apenas 7% das demandas totais (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

Apesar do abundante potencial hídrico superficial presente na região dos rios Lontra e Corda, observa-se a preponderância do manancial subterrâneo para suprimento de todas as demandas, com exceção da dessedentação animal. O município de Araguaína, como visto anteriormente o mais desenvolvido economicamente da região, detém cerca de 91,3% de seu abastecimento populacional e 100% de suas indústrias abastecidas por manancial subterrâneo, isto devido aos menores custos de captação e, principalmente, de tratamento (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

Como uso não consuntivo, destacam-se os aproveitamentos hidrelétricos, sendo identificadas a UHE Corujão, no rio Lontra, e a UHE Lajes, no rio Corda. Os cursos superficiais ainda apresentam outros usos caracterizados como não consuntivos, como áreas de lazer,

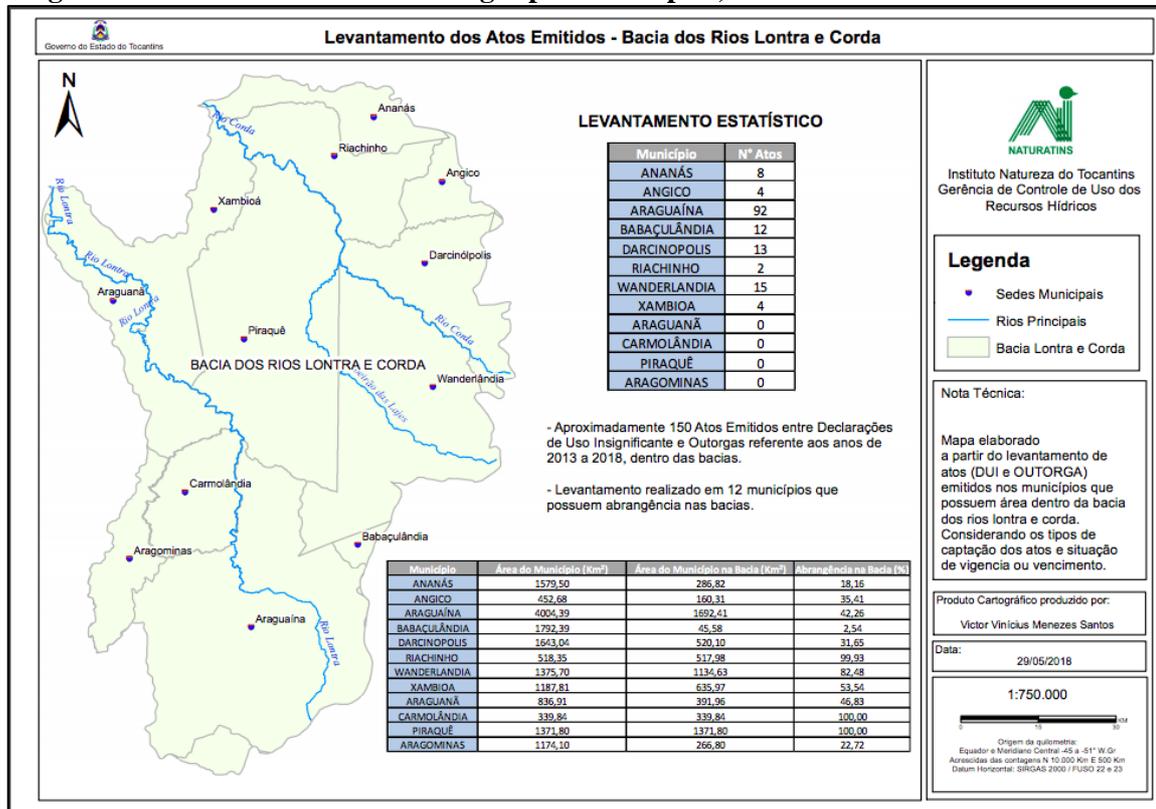
principalmente relacionadas à balneabilidade, e aquíicultura, representada por alguns pontos de desenvolvimento da piscicultura (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

Apesar da utilização atualmente empreendida pela economia da região, com o predomínio da pecuária extensiva e da agricultura, a irrigação não é considerada um uso preocupante no quesito quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos, visto que a região não apresenta práticas intensivas que demandem alguma prática de irrigação artificial significativa.

5.1.1.11 Demandas outorgadas em Domínio Estadual

Para o período compreendido entre 2013 a 2018, segundo informações do Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS, para as bacias dos Rios Lontra e Corda foram emitidos aproximadamente 150 atos administrativos. A Figura 12 apresenta o número de atos de outorga por municípios das bacias. Observa-se que o maior número de outorgas ocorre no município de Araguaína, seguido por Wanderlândia, compreendendo os municípios mais desenvolvidos da região.

Figura 12 - Número de atos de outorgas por municípios, nas bacias dos rios Lontra e Corda



Fonte: NATURATINS, 2018.

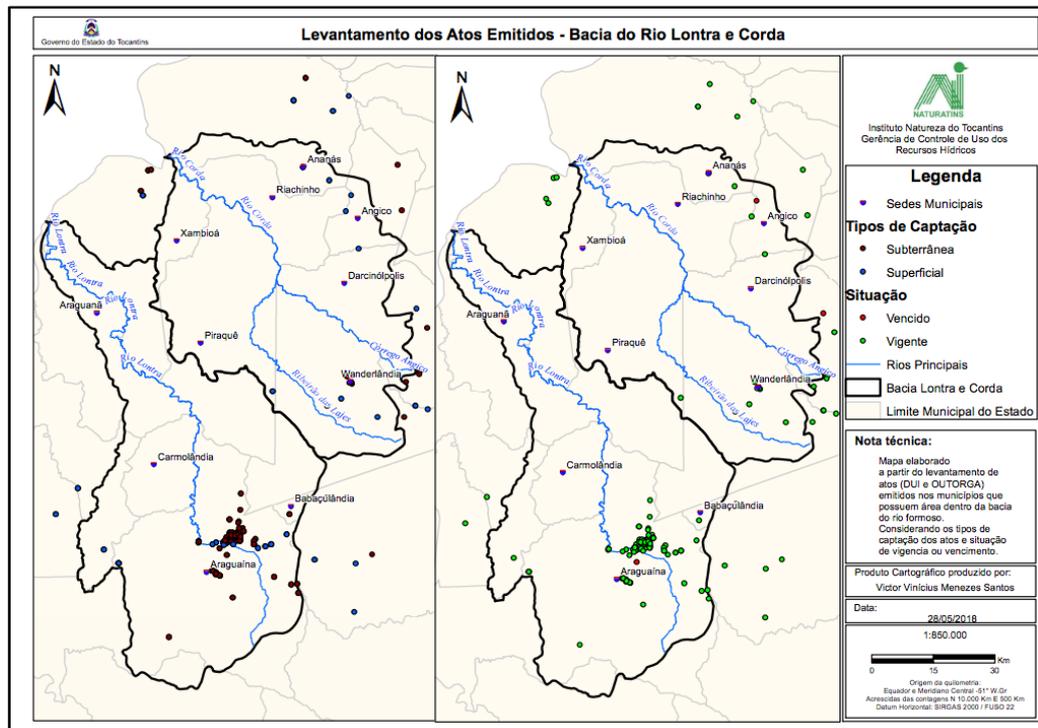
Em relação às vazões atuais outorgadas referentes ao ano de 2018, observa-se o atendimento aos usos prioritários: abastecimento público, irrigação e dessedentação de animais, sendo o principal tipo de captação na bacia o uso da água subterrânea, conforme apresentado no Quadro 6 e na Figura 13.

Quadro 6 - Vazões outorgadas (m³/s) em 2018, por tipo de manancial, dos recursos hídricos nas bacias dos Rios Lontra e Corda

Atividade	Tipo	m ³ /s	%
Abastecimento Público	Subterrâneo	1,0424	38,12
Acumulação	Barramento	0,0048	0,17
Aplicação de Herbicidas	Subterrâneo	0,0041	0,15
Aquicultura	Superficial/Barramento	0,0400	1,46
Aspersão em vias de pavimentação	Superficial	0,0062	0,23
Barramento	Acumulação	0,0423	1,55
Barrelamento de forno	Subterrâneo	0,1200	4,39
Dessedentação de animais	Subterrâneo/superficial	0,1609	5,89
Industrial	Subterrâneo	0,0562	2,06
Irrigação	Superficial	0,3422	12,51
Serviços	Subterrâneo	0,3552	12,99
Umectação de vias não pavimentadas	Superficial	0,5074	18,55
Uso para abate em bovinos	Subterrâneo	0,0529	1,94
Total		2,7346	100,00

Fonte: NATURATINS, 2018.

Figura 13 - Número de atos de outorga por tipo de captação nas bacias dos Rios Lontra e Corda



Fonte: NATURATINS, 2018.

5.2 ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS AOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS NAS BACIAS DOS RIOS LONTRA E CORDA

5.2.1 *Considerações Iniciais*

De um modo geral, os mananciais de superfícies têm seus fluxos alimentados diretamente pelos escoamentos superficiais e, mais especialmente nos períodos de estiagens, pela contribuição dos reservatórios subterrâneos (WINTER et al., 1998, REBOUÇAS, 2002; ARANTES, 2003). Conhecer a fração do escoamento dos rios que tem origem no escoamento subterrâneo é fundamental para subsidiar o planejamento regional, visando preservar as potenciais áreas de recargas em uma bacia hidrográfica.

Este trabalho apresentou diversos métodos propostos para estimar a separação do escoamento (item 4.3), conhecidos e habitualmente empregados. Para esta pesquisa a proporção de escoamento de base, ou subterrâneo, em relação ao escoamento total, foi estimada com a utilização de Filtros Digitais Recursivos de Eckhardt. Essa metodologia está descrita em Collischonn & Tassi (2008) e apresenta simplicidade em sua aplicação, tendo também a existência de casos de sucesso em sua utilização, conforme Collischonn e Fan (2012) e Dora (2013). Para realização dos cálculos e criação dos gráficos utilizou o aplicativo software Office Excel.

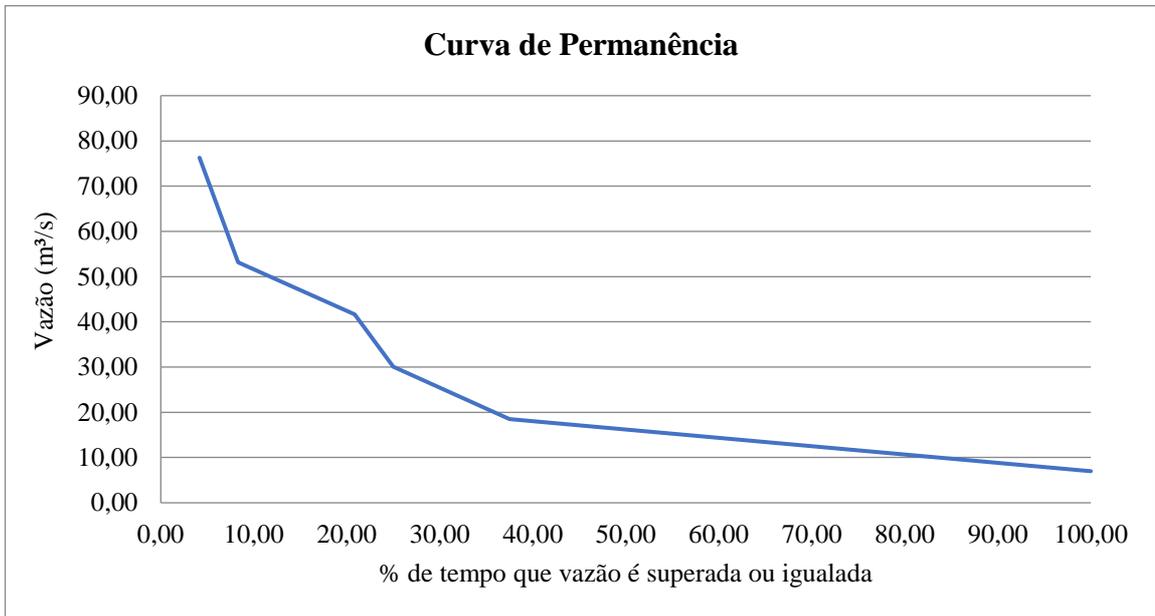
5.2.2 *Separação do Escoamento usando Filtros Digitais*

Por esse método, o escoamento de base foi estimado pela relação entre a Q_{90} e a Q_{50} , obtidos a partir da curva de permanência das vazões diárias da Estação 28200000 (Figura 14).

5.2.3 *Estimativa da Separação de Escoamento – usando filtros – Estação 2820000*

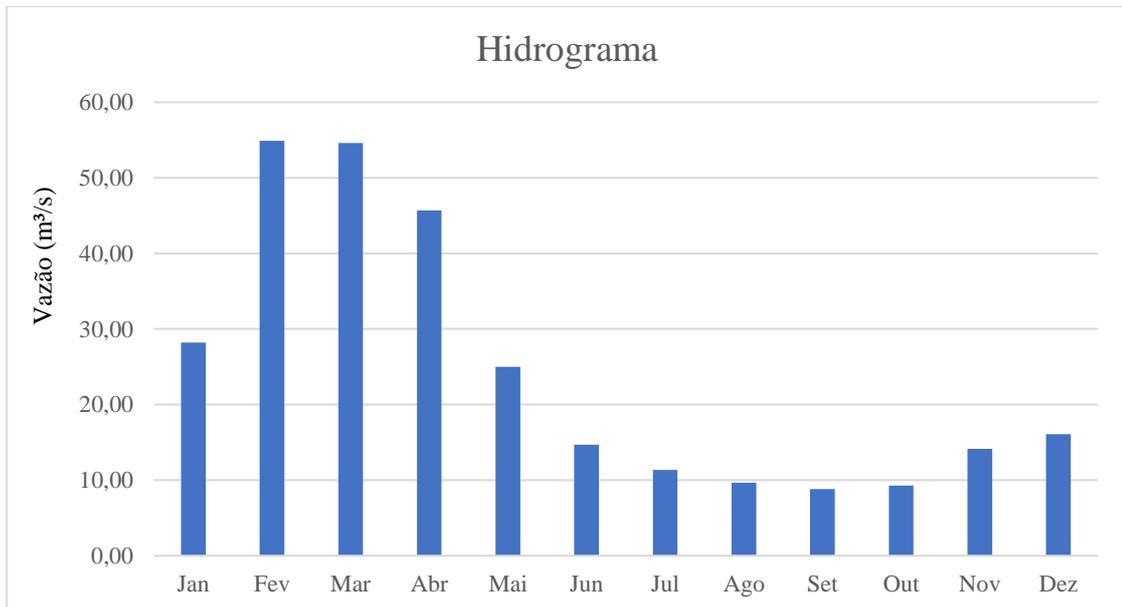
Na bacia hidrográfica do rio Lontra as chuvas se concentram no período entre dezembro e março, e o trimestre mais seco é de agosto a outubro. A Figura 15 apresenta o hidrograma das vazões médias da Estação, para o período compreendido entre janeiro de 2015 e dezembro de 2018.

Figura 14 - Curva de Permanência das vazões da estação 28200000 (Período: Jan/2015 a Dez/2018) ($Q_{90\%} = 7,62 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{50\%} = 19,91 \text{ m}^3/\text{s}$) – Esc. Base = 38 %



Fonte: Autora, 2020.

Figura 15 - Hidrograma das vazões médias da Estação 28200000 – Período: Jan/2015 a Dez/2018



Fonte: Autora, 2020.

Para a estimativa da constante de recessão (k) foi utilizado o período de estiagem compreendido entre os meses de agosto a outubro de 2017. Foram utilizadas as medições de vazões realizadas nos dias 27 ($7,60 \text{ m}^3/\text{s}$) e 28/09/2017 ($6,29 \text{ m}^3/\text{s}$), que correspondem aos menores valores observados, refletindo a ausência de chuva no período. Aplicando esses valores na Equação abaixo, tem-se:

$$K = \frac{(-1)}{\ln\left(\frac{6,29}{7,60}\right)} = 5,29 \text{ dias} \quad (\text{Equação 10})$$

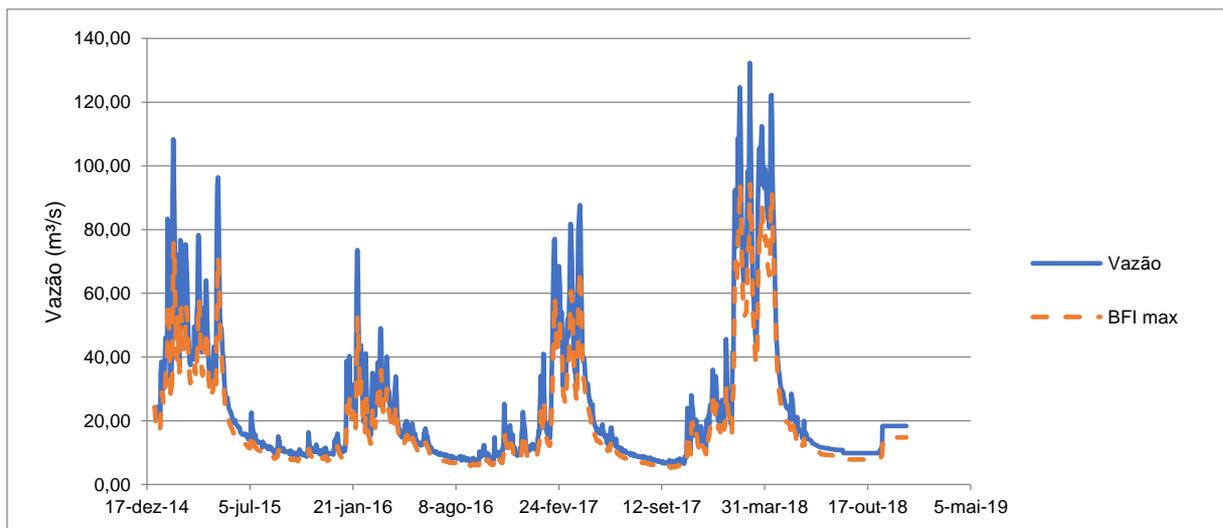
O valor de \underline{a} é obtido com a aplicação da Equação abaixo:

$$a = e^{-1/5,29} = 0,83 \quad (\text{Equação 11})$$

Para aplicação dos filtros foi utilizado o valor de BFI_{max} igual a 0,80, devido às características físicas das bacias hidrográficas dos rios Lontra e Corda.

A Figura 16 mostra o hidrograma das vazões do rio Lontra na Estação 2820000, com a separação do escoamento, durante o período janeiro de 2015 a dezembro de 2018.

Figura 16 - Hidrograma da Estação 2820000 com separação do escoamento



Fonte: Autora, 2020.

Os resultados obtidos com a aplicação do filtro indicam que a parcela do escoamento proveniente dos aquíferos é da ordem de 80%.

A região em estudo se configura por apresentar rios perenes, características de rios mantidos pelo escoamento de base, e a presença de aquíferos de boa potencialidade hidrogeológicas (aquíferos porosos), sendo o substrato predominante das bacias em apreço as rochas sedimentares (MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002).

De uma forma empírica, baseada no conhecimento da região, pressupõe-se que a vazão dos rios da área em estudo, mais precisamente dos rio Lontra (de forma inferida) e Corda, são

mantidos pelo escoamento de base, uma vez que é conhecida a sua perenidade, mesmo em época de estiagem. Buscou-se, no entanto, neste capítulo, constatar um fato físico existente na região.

5.2.4 Análise a partir das características naturais das bacias

A correlação entre a recarga aquífera e a distribuição das unidades geológicas no âmbito das bacias hidrográficas, pode ocorrer, hipótese esta que, entretanto, não se confirma a partir deste trabalho. No entanto, buscou-se analisar o resultado da separação do escoamento de base a partir das características naturais das bacias.

Tal comportamento pode ser explicado ao considerar que o efeito da geomorfologia e geologia na relação entre escoamento de base e a vazão dos cursos d'água, é indireto. Ou seja, a geomorfologia determina os tipos de solos e a morfologia do terreno nas bacias hidrográficas; e a geologia por sua vez determina o regime de infiltração, percolação e escoamento da água na superfície e no interior do solo (COSTA E BACELAR, 2010).

No presente estudo, a elevada participação do escoamento de base na vazão do rio deve-se às características físicas das bacias em estudo, entre elas a baixa declividade (predomínio de declividade entre 5 e 10%), o tipo de solo predominante na área (argissolo) e o predomínio de rochas sedimentares.

A declividade consiste na inclinação da superfície do solo em relação a um plano horizontal. Este parâmetro influencia os níveis de escoamento superficial e subsuperficial da chuva e conseqüentemente na disponibilidade de água infiltrada no solo. Segundo Morbidelli et al (2015), quanto maior a inclinação, maior é o fluxo superficial e menor é o fluxo em profundidade.

Já as características do solo são importantes para determinar a quantidade de água precipitada que é capaz de infiltrar e alcançar a zona saturada. A geologia desempenha um papel fundamental no movimento da água através dos espaços presentes na rocha e nos sedimentos.

Além disso, o clima da região, em sua maior parte, com moderada deficiência hídrica (B1wA'a'), com média anual entre 1700 e 1800 mm de pluviosidade e padrão de chuva regular (com o predomínio de média intensidade, grande duração, atingindo grandes áreas) contribui para infiltração da água no solo ao passo que chuvas finas e demoradas têm mais tempo para se infiltrarem.

Diante disso, as áreas podem acumular grande quantidade de água, permitindo a movimentação em direção ao aquífero, mesmo após o término do período chuvoso, proporcionando manutenção do escoamento de base.

5.3 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS POTENCIAIS DE RECARGA SUBTERRÂNEA NAS BACIAS DOS RIOS LONTRA E CORDA

Para identificação das potenciais áreas de recarga subterrânea na área em estudo, adotou-se a metodologia adaptada de Melo Neto *et. al* (2013), conforme descrito no item 5.3 deste trabalho.

Os dados e informações que adentram o fluxograma apresentado no item 5.4 têm sua origem em fontes de dados em arquivos *shapes file* disponibilizados pela SEPLAN-TO e CPRM, dados estes integrantes do banco de dados do Zoneamento Ecológico- Econômico do Norte do Tocantins e do banco de dados de Geodiversidade do Tocantins, respectivamente.

Após seleção e tratamento dos referidos dados, os mesmos resultaram em produtos denominados mapas temáticos. Estes constituíram a entrada de dados na segunda fase, onde foram atribuídos a todos os mapas temáticos graus de importância na ponderação do potencial de recarga para as bacias dos Rios Lontra e Corda.

Diante da quantidade de mapas gerados para confecção do mapa de interesse neste trabalho, será apresentado, neste capítulo, somente o mapa das potenciais áreas de recarga subterrânea nas bacias em estudo.

Foram definidos três intervalos para representar, qualitativamente, o potencial de recarga subterrânea para as bacias dos Rios Lontra e Corda. Para os valores de áreas de recarga menores ou iguais a 159 a área foi considerada como baixo potencial, já para os valores de áreas de recarga superiores a 160 e inferiores a 433, foram consideradas médio potencial e áreas cujos valores são superiores a 434 foram consideradas como alto potencial de recarga subterrânea. Os valores dos intervalos podem ser conferidos na Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação do potencial das áreas de recarga subterrânea

Classificação	Intervalo
Baixo Potencial	0 - 159
Médio Potencial	160 - 433
Alto Potencial	434 -1.093,5

Fonte: Autora, 2020.

Após análise dos aspectos físico-naturais das bacias dos rios Lontra e Corda, indispensáveis para observância das áreas potenciais de recarga subterrânea, obteve-se o mapa de interesse nesta pesquisa, que pode ser visualizado pela Figura 17.

5.3.1 Mapas temáticos e tabelas necessárias para confecção do mapa final das potenciais áreas de recarga subterrânea

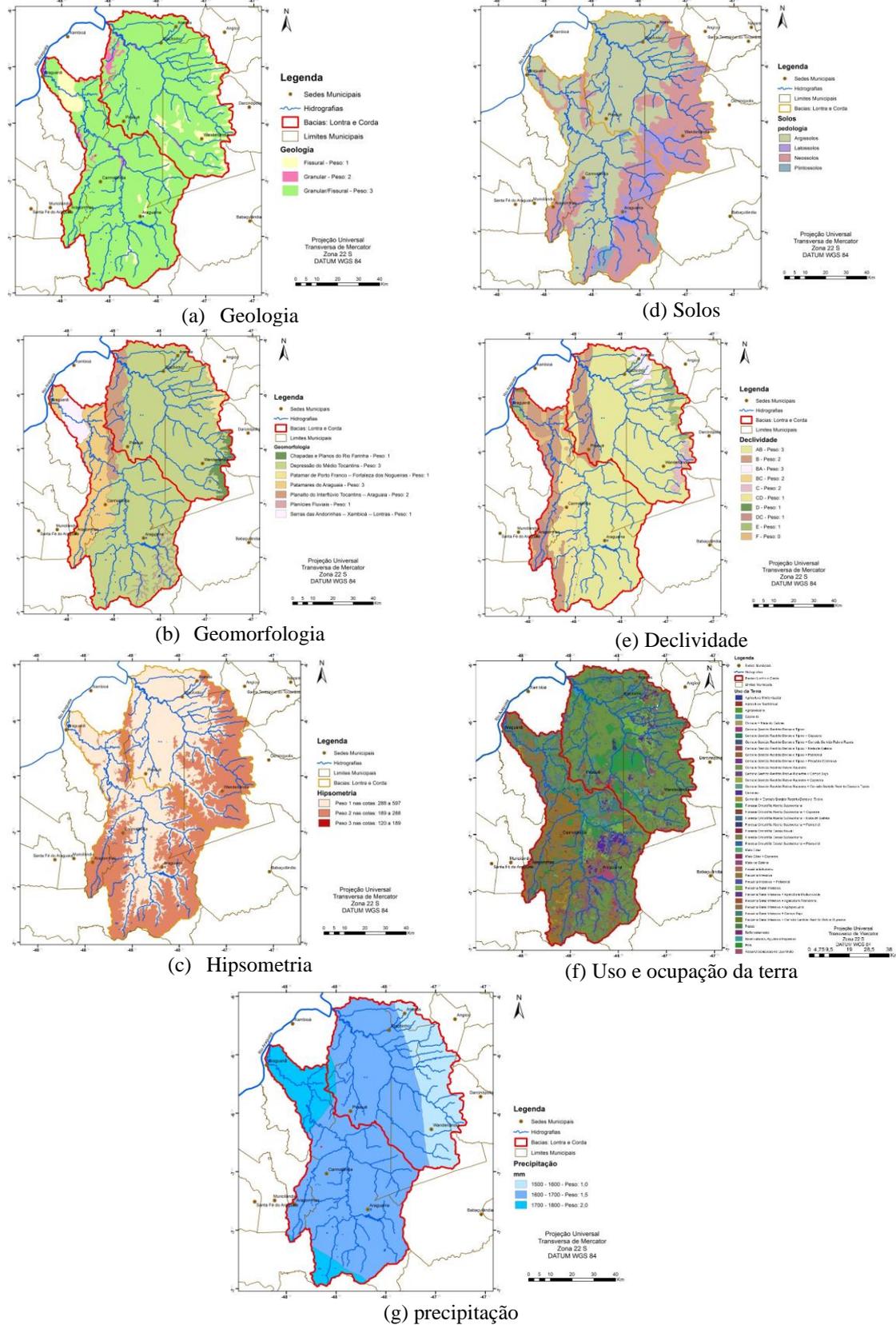
Para a identificação das áreas potenciais de recarga subterrânea nas bacias, adaptou-se a metodologia proposta por Melo Neto *et. al* (2013) em que foi acrescida a variável precipitação ao modelo empregado. A metodologia consiste na geração de mapas temáticos, a partir da observância de variáveis ambientais: geologia - sistema aquífero; unidades geomorfológicas; classe de solos; declividade; hipsométrico; uso e cobertura do solo e precipitação que se relacionam com a capacidade de armazenamento de água subterrânea em uma bacia hidrográfica. Para cada mapa gerado, foram estabelecidos diferentes pesos e cargas, de acordo com o seu grau de influência na ocorrência de água subterrânea, conforme descrito no item 5.4 desta pesquisa.

As variáveis ambientais consideradas neste trabalho são a representação da expressão hidrológica dos seguintes componentes: (a) geologia; (b) geomorfologia; (c) solos; (d) declividade; (e) uso e cobertura da terra; e (f) precipitação. A Figura 17 apresenta os mapas temáticos necessários para confecção do mapa final das potenciais áreas de recarga subterrânea, elaborados a partir dos componentes acima citados.

(a) Geologia

Para valoração do mapa referente à Geologia das bacias dos rios Lontra e Corda, quanto ao potencial de armazenamento, utilizou-se uma escala de valores comparativos, com o menor correspondendo à classe de menor armazenamento e as demais classes intermediárias (Tabela 7). O resultado desta valoração é o mapa temático derivado da capacidade de armazenamento das rochas em função do tipo de Sistema Aquífero identificados nas bacias (Figura 18.a). Os tipos de aquíferos presentes nas bacias são os correspondentes ao Granular, correspondendo a 2,39% da área; Fissural (6,50%) e Granular/Fissural correspondendo a 91,11% das bacias.

Figura 17. Mapas temáticos necessários para confecção do mapa final das potenciais áreas de recarga subterrânea: (a) geologia; (b) geomorfologia; (c) hipsimetria; (d) solos; (e) declividade; (f) uso e ocupação da terra; (g) precipitação



FONTE: Autora, 2020.

Tabela 7 - Tipos de Sistema Aquíferos existentes nas bacias e valoração quanto ao armazenamento de água.

Tipos de aquíferos	Classe de potencial de armazenamento subterrâneo	Peso potencial de armazenamento subterrâneo
Fissural	Baixa	1
Granular	média	2
Granular/Fissural	Alta	3

Fonte: Autora, 2020.

(b) Unidades Geomorfológicas

A classificação e valoração das formas de relevo – unidades geomorfológicas, quanto ao fluxo preferencial em profundidade, são apresentadas na Tabela 8 e o resultado apresentado na Figura 18.b. O mapa hipsométrico (Figura 18.c) e de declividade das bacias foram associados ao mapa temático de geomorfologia.

Tabela 8 - Formas de relevo (Unidades Geomorfológicas) quanto ao fluxo preferencial em profundidade

Unidades geomorfológicas	Classe de potencial de armazenamento subterrâneo	Peso potencial de armazenamento subterrâneo
Planícies Fluviais	Baixa	1
Planalto do Interflúvio Tocantins - - Araguaia	Média	2
Depressão do Médio Tocantins	Alta	3
Patamares do Araguaia	Alta	3
Serras das Andorinhas -- Xambioá -- Lontras	Baixa	1
Chapadas e Planos do Rio Farinha	Baixa	1
Patamar de Porto Franco -- Fortaleza dos Nogueiras	Baixa	1

Fonte: Autora, 2020.

(c) Classes de Solos

No componente “Classes de Solos” foi determinada a variável potencial de infiltração, a partir do mapa temático base de classes de solos, dada a sua importância. Frente às características dos grupos de solos que ocorrem na bacia (Argissolos, Latossolos Vermelho Amarelo, Neossolos Quartzênicos) foram determinadas as classes de potencial de infiltração, que são apresentadas na Tabela 9. Posteriormente o Mapa Temático Básico de Solos foi

ponderado, levando-se em conta as classes de potencial de infiltração. O resultado desta valoração é o mapa temático derivado potencial de infiltração do solo (Figura 18.d).

(d) Declividade

O mapa temático derivado de declividade foi obtido a partir do mapa temático base de Geomorfologia. Os intervalos de classes de declividade utilizados para a classificação são os recomendados pela literatura. Optou-se por expressar as declividades em porcentagem devido a essa unidade de valor ser a mais utilizada no planejamento, implantação e condução das atividades no setor produtivo primário. Em função disso, os terrenos das bacias com declividade superior a 45 % são aqueles que apresentam inclinação de rampa superior a 24 %. As classes de declividade e seus respectivos pesos são apresentados na Tabela 9 e o mapa temático derivado de declividade na Figura 18.e.

Tabela 9- Declividade das vertentes das bacias dos Rios Lontra e Corda

Intervalo de classe de declividade	Classe de potencial de armazenamento subterrâneo	Peso potencial de armazenamento subterrâneo
BC	Médio	2
AB	Alto	3
BA	Alto	3
F	Baixa	1
B	Médio	2
CD	Baixa	1
D	Baixa	1
E	Baixa	1
DC	Baixa	1

Fonte: Autora, 2020.

(e) Uso e Cobertura da terra

Para o elemento Uso e Ocupação da terra, a variável de interesse é o grau de proteção que cada classe de uso impõe ao solo. Considerando o elevado número de uso e ocupação ocorrente nas bacias, nestes incluindo a fitofisionomia natural das bacias, em que predominam as características do bioma Cerrado. Por bem, avaliou-se de interesse para esta pesquisa, a variação das Classes de Potencial de Armazenamento Subterrâneo com o menor

correspondendo a classe de menor armazenamento e as demais classes intermediárias divididas em (i) Muito Baixa; (ii) Baixa; (iii) Média; (iv) Alta e (v) Muito Alta. Os pesos atribuídos compreendem ao intervalo de 0 a 3 tendo sido atribuídos (i) 0,5; (ii) 1; (iii) 2; (iv) 2,5 e (v) 3 respectivamente as suas Classes. A ponderação atribuída a cada classe de uso pode ser observada na Tabela 10.

Tabela 10 - Atribuição de pesos às classes de potencial de armazenamento subterrâneo relacionadas ao uso e ocupação da terra

Uso e ocupação	Classe de potencial de armazenamento subterrâneo	Peso potencial de armazenamento subterrâneo
Agricultura Modernizada	Muito baixa	0,5
Agropecuária + Capoeira	Muito baixa	0,5
Agricultura Tradicional	Muito Baixa	0,5
Agropecuária	Muito baixa	0,5
Áreas Urbanizadas de Uso Misto	Muito Baixa	0,5
Capoeira	Alta	2,5
Capoeira + Mata de Galeria	Alta	2,0
Cerradão + Cerrado Sentido Restrito Denso e Típico	Alta	3
Cerrado	Muito Alta	3
Cerrado + Mata de Galeria	Muito Alta	3
Cerradão	Muito Alta	3
Cerrado Sentido Restrito Denso e Típico	Muito Alta	3
Cerrado Sentido Restrito Denso e Típico + Capoeira	Muito Alta	3
Pecuária Semi Intensiva + Campo Sujo	Muito Baixa	0,5
Pecuária Semi Intensiva + Cerrado Sentido Restrito Ralo e Rupestre	Muito Baixa	0,5
Praias	Muito Baixa	0,5
Reflorestamento	Alta	2,5
Reservatórios, Açudes e Represas	Muito Baixa	0,5
Lagos	Muito Baixa	0,5
Rios	Muito Baixa	0,5

Fonte: Autora, 2020

A relação entre o uso e ocupação da terra com o potencial de armazenamento subterrâneo está associada a sua maior ou menor capacidade de infiltração. O mapa de uso e ocupação das bacias é apresentado pela Figura 18.f. A Tabela 11 apresenta as unidades

pedológicas e seu potencial de armazenamento subterrâneo para as bacias dos rios Lontra e Corda.

Tabela 11. Unidades Pedológicas e seu potencial de armazenamento subterrâneo para as bacias dos rios Lontra e Corda

Unidades pedológicas	Classe de potencial de armazenamento subterrâneo	Peso potencial de armazenamento subterrâneo
Argissolos	Baixa	1
Latossolos	Média	2
Neossolos	Alta	3
Plintossolos	Baixa	1

Fonte: Autora (2020)

Os pesos atribuídos a cada variável relacionada ao uso e ocupação, baseou-se em premissas presentes na literatura existente (SANTOS, 2012), relacionadas ao uso e ocupação da terra com o potencial de armazenamento subterrâneo em bacias cujo bioma predominante é o cerrado.

(f) Precipitação

Frente às características de precipitação foram obtidas as classes de intensidade de precipitação, apresentadas na Tabela 12. O resultado é o mapa temático derivado intensidade de precipitação (Figura 18.g).

Tabela 12 - Classes de intensidade de Precipitação

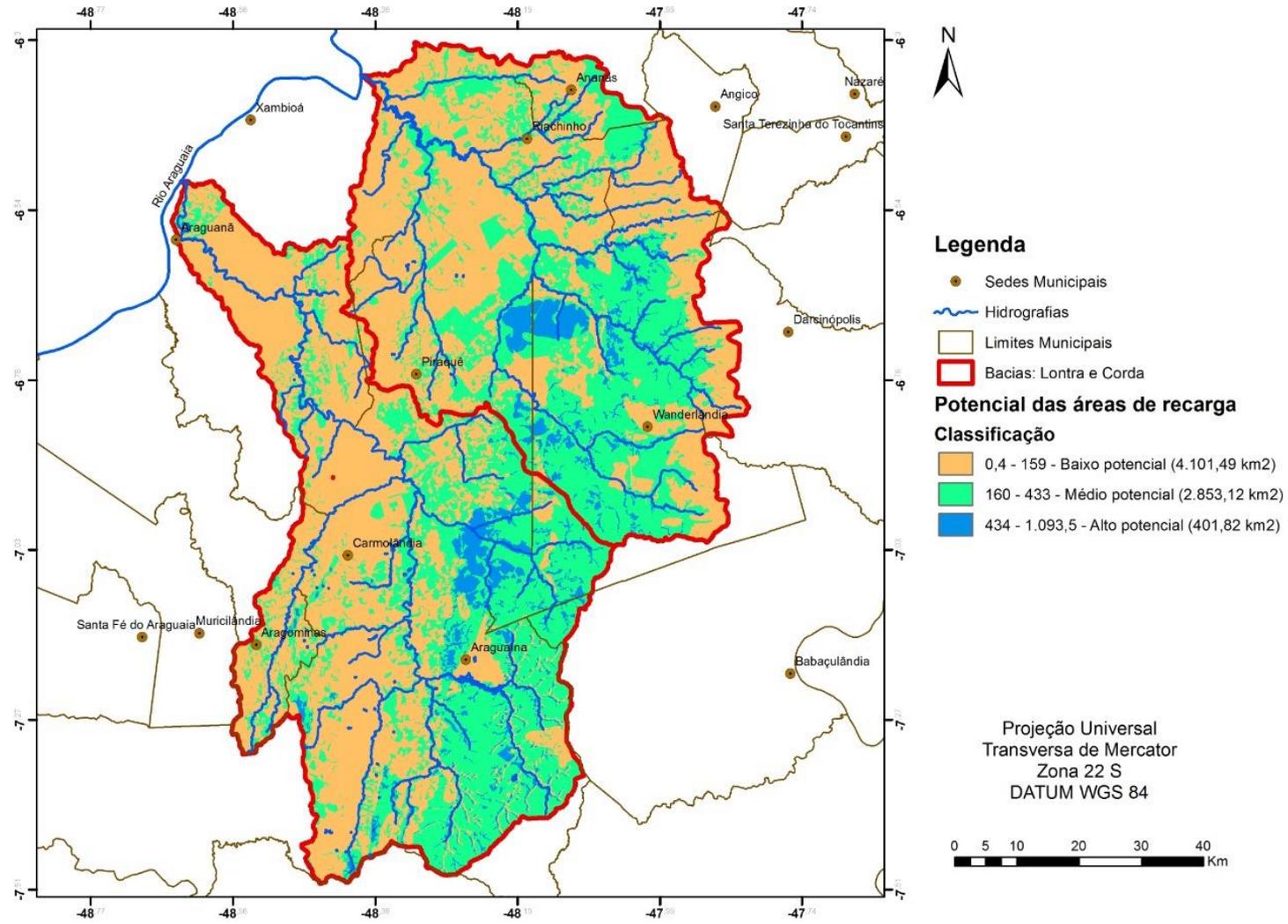
Precipitação anual (mm)	Classe de potencial de armazenamento subterrâneo	Peso potencial de armazenamento subterrâneo
1700 - 1800	Alta	3
1600 - 1700	Média	2
1500 - 1600	Baixa	1

Fonte: Autora, 2020.

5.3.2 Mapa de síntese final – áreas potenciais de recarga subterrânea nas bacias dos rios lontra e corda

O potencial de recarga da bacia foi definido a partir do cruzamento das classes entre os mapas temáticos conforme adaptação da metodologia proposta por Neto *et. al*, (2013). Foi atribuído a todos os mapas temáticos o mesmo grau de importância na ponderação do potencial de recarga para as bacias dos Rios Lontra e Corda. Portanto, o mapa final (Figura 18), é o resultado referente à aplicação da Equação (9), apresentada no item 5.4 referente à metodologia deste trabalho.

Figura 18 - Áreas Potenciais de Recarga Subterrânea



5.3.3 Análise das Potenciais Áreas de Recarga Subterrânea nas Bacias dos Rios Lontra e Corda

As bacias dos Rios Lontra e Corda apresentam um bom potencial de áreas de recarga subterrânea, tomando-se como base as informações geradas a partir da integração das expressões de armazenamento do meio poroso (rocha e solo), agregados à condição do relevo das bacias; intensidade da precipitação e uso da terra, consideradas como uma expressão da função de armazenagem da bacia.

No entanto, cuidados devem ser tomados na interpretação e no uso dos mapas da capacidade potencial de armazenamento, que não devem ser considerados como medida direta da capacidade de recarga de um aquífero, mas sim como uma indicação, pois a capacidade potencial de armazenamento refere-se ao volume de água que pode ser acumulado ou retido temporariamente no meio poroso (CHIARANDA, 2002).

A Tabela 13 apresenta as áreas e as representatividades correspondentes para cada uma das classes que exprimem o potencial de recarga das bacias dos rios Lontra e Corda.

Tabela 13 - Distribuição das áreas potenciais de recarga nas bacias dos Rios Lontra e Corda

Classes	Área	
	(Km ²)	(%)
Baixo Potencial	4.101,49	55,75
Médio Potencial	2.853,12	38,78
Alto Potencial	401,82	5,47

Fonte: Autora, 2020.

Deste modo, observa-se que os resultados da integração das expressões de armazenamento do meio poroso (rocha e solo), agregados à condição do relevo das bacias; intensidade da precipitação e uso do solo indicaram que as bacias dos rios Lontra e Corda possuem capacidade de **médio** (38,78%) a **alto potencial** (5,47%) de recarga subterrânea, totalizando uma área de 3.254,94 Km², o que corresponde a 44,25% da área das bacias. Já a Classe de **baixo potencial** compreende 55,75%, o que equivale a 4.101,49 Km² das bacias. Sobre os resultados observados, cabem as seguintes considerações:

5.3.4 Características físicas predominantes nas bacias dos Rios Lontra e Corda e sua relação com o Potencial de Armazenamento de Água Subterrânea

Em relação às características físicas das bacias e a capacidade de armazenamento subterrâneo identificados, pode-se concluir que o fator declividade, tipos de solos e o predomínio das rochas sedimentares nas bacias foram os principais fatores físicos que configuraram o potencial de armazenamento observado, sendo a precipitação o principal fator de entrada de água nas bacias estudadas.

Em relação à declividade, observa-se o predomínio do mosaico AB plano a ondulado suave (62,85%), o que acaba por configurar à área uma média potencialidade de recarga de aquíferos, a qual proporciona escoamento de base para a vazão da rede de drenagem da bacia, moldando-lhe caráter perene no período das secas na região.

Um fator de grande relevância na análise dos processos de recarga de água subterrânea é a classe de solo da área em análise. Solos com alta capacidade de infiltração, profundos e com boa drenagem, favorecem a recarga dos aquíferos, enquanto solos mal estruturados, apresentando camadas impermeáveis interferem negativamente no processo de recarga (SOUZA, 2003).

Das classes de solo presentes nas bacias observa-se a predominância de solos Argissolo (55,10%), que segundo a literatura especializada, são solos que influenciam negativamente no potencial de recarga da bacia, tendo em vista que apresentam, em geral, capacidade de infiltração reduzida, devido a presença do horizonte B textural, fazendo com que a capacidade de infiltração de água no solo seja reduzida (JACOMINE *et. al.*, 1975; EMBRAPA, 2018). Tal condição, provavelmente, confere à bacia a classe de baixo potencial de áreas potenciais de recarga subterrânea.

No entanto, observa-se também presença de solos Latossolos e Neossolos (Tabela 3). Os Latossolos apresentam características físicas que melhor favorecem a recarga subterrânea por serem profundos e bastante permeáveis devido a melhor agregação das suas partículas, ocasionando boas condições de infiltração da água. Em relação aos Neossolos, os mesmos se caracterizam favoráveis à infiltração, e encontram-se, nas bacias estudadas, distribuídos principalmente ao longo dos rios e nascentes (Figura 27).

Nas bacias observa-se o predomínio de rochas sedimentares, representadas pelo sistema de aquífero granular/fissural (91,11%); fissural (6,50%) e granular (2,39%) observados na Tabela 9, que favorecem o processo de recarga do aquífero devido a boa porosidade dessas litologias. Enquanto o aquífero granular superior é sempre livre, o aquífero fraturado,

heterogêneo e anisotrópico, pode se apresentar livre a semiconfinado. Independentemente da rocha que o constitui e da natureza do solo que o recobre, o aquífero fraturado está intercomunicado com o aquífero granular que o sobrepõe (COSTA, 2002). Assim, a recarga do aquífero fraturado ocorre, majoritariamente, pela infiltração de águas pluviais através das coberturas, isto é, através dos aquíferos granulares. Ressalta-se que não foi objeto deste trabalho a caracterização dos aquíferos e sua relação como o processo de recarga.

Tal fato deve-se às características físicas da bacia, entre elas destacam-se a baixa declividade; o tipo de solo presente na área (Areia Quartzosa e Latossolos) que apresentam profundidade, em grande parte superior a 200 cm; e o predomínio de rochas sedimentares, pertencentes à Bacia Sedimentar do Parnaíba. Isto implica em dizer que as áreas consideradas de classe alta podem acumular maior quantidade de água, permitindo a movimentação desta em direção ao aquífero, mesmo por algum tempo após o término do período chuvoso, proporcionando um maior abastecimento, e por consequência a manutenção do escoamento de base.

Nas bacias dos rios Lontra e Corda, conforme identificados na tabela de atributos relacionados ao Uso do Solo (Tabela 5) observa-se o uso predominante do solo para a atividade de agropecuária intensiva e extensiva, atividades estas que correspondem a 27,98% da área das bacias hidrográficas. Identificou-se que 8,05% do território das bacias são identificados por áreas de capoeira, que correspondem a áreas em estágio inicial de sucessão, após super exploração dos recursos naturais, tais como áreas degradadas para criação de gado ou áreas para fins agronômicos.

O uso e ocupação dos solos, de acordo com Sprol (2001) correspondem às atividades humanas que podem significar pressão ou impacto sobre os elementos naturais e tem a finalidade de identificar, quantificar e descrever os padrões de uso e ocupação de um território. É um elo de ligação importante entre as esferas ambientais e socioeconômicas, observa a autora. No entanto, essas alterações no uso impactam as paisagens e acabam afetando a produção de água.

Observa-se que a classe de baixo potencial de armazenamento de água nas bacias encontra-se localizada em áreas de predomínio de atividades de pecuária semi intensiva e agropecuária, sendo este, possivelmente um dos fatores a comprometer a infiltração da precipitação nas bacias. Chama atenção o fato de somente 0,71% das áreas das bacias serem destinadas à urbanização, no entanto, observa-se que a cidade de Araguaína, maior pólo de desenvolvimento na região norte do Estado do Tocantins, está localizada em áreas de médio a alto potencial de armazenamento de água subterrânea. Aqui cabe comentar que de acordo com

o Plano das Bacias Hidrográficas 91,3% do abastecimento doméstico e industrial das bacias ocorrem por fontes subterrâneas, sendo esta uma condição a ser considerada no processo de planejamento dos recursos hídricos da bacia.

Outro fato importante observado em relação ao uso do solo está relacionado à vegetação natural predominante nas bacias. Observa-se que 44,31% da área é composta pelo bioma cerrado, em seu estado natural, ora associado a áreas de capoeira, compreendendo as suas variações fisionômicas (cerrado restrito denso; cerrado ralo e rupestre).

A principal entrada de água nas bacias dos rios Lontra e Corda ocorre por meio da precipitação, uma vez que não se observa na região o incremento de água por meio da irrigação, sendo este um uso não preponderante nas bacias estudadas. Os índices pluviométricos nas bacias variam entre 1.500 a 1.800 mm, estando a estação chuvosa concentrada nos meses entre setembro e abril; possivelmente o período em que ocorre o aporte de água da superfície para a zona saturada do solo.

Ressalta-se, que a precipitação está intimamente relacionada a intensidade e a distribuição das chuvas, uma vez que regiões que possuem elevada pluviosidade anual mas concentram o período de chuva em alguns meses a tendência de produção da água é menor que em áreas com uma pluviosidade baixa mas bem distribuída durante o ano. Isto ocorre porque com a chuva intensa existe uma probabilidade maior da capacidade ou taxa de infiltração do solo atingir o seu máximo rapidamente, e a maior parte da água precipitada formar o escoamento superficial.

Em um contexto geral, apesar da classe baixa de potencial de armazenamento subterrâneo estar presente em maior extensão na área estudada, de um modo geral, pode-se dizer que as regiões das bacias dos Rios Lontra e Corda possuem uma área considerável (44,25% da área) de alta a média capacidade de armazenamento de água subterrânea. Isto denota a importância da preservação dessas áreas para manutenção dos recursos hídricos subterrâneos e consequentemente dos recursos hídricos superficiais, ao considerar a interação existente entre as duas componentes hídricas.

No entanto, há que enfatizar que o processo de armazenamento de água não é estático no decorrer de um dado período, o que é de fundamental importância para se compreender a dinâmica dos fluxos d'água nas bacias. Ocorrem variações nas taxas de infiltração em decorrência das características da precipitação, sua incidência em um dado local (função de captação), da umidade antecedente do solo que determina a tendência deste em saturar mais rapidamente ou não, dando origem a formação de poças e ao escoamento superficial. Essas variações podem ganhar maior amplitude quando se considera os diferentes tipos de usos do

solo com atividades sócio-econômicas devido à alteração da densidade aparente, agindo diretamente sobre a porosidade.

Dessa forma, a capacidade potencial de armazenamento da bacia deve ser vista como estável dentro de sua faixa natural de variação e, possivelmente, com capacidade de absorver mudanças das variáveis e persistir num regime de estabilidade dinâmica além do equilíbrio (resiliência).

5.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NAS BACIAS DOS RIOS LONTRA E CORDA

Visando a gestão integrada dos recursos hídricos no âmbito das bacias dos Rios Lontra e Corda, propôs-se a aplicação de uma metodologia, por meio da indicação de Áreas Estratégicas de Gestão, cuja finalidade é a proteção dos recursos hídricos da área em estudo, considerando os aspectos físicos das bacias, bem como as atividades alocadas a partir do uso do solo da região e suas áreas potenciais de recarga subterrânea. A Tabela 14 apresenta a delimitação das áreas estratégicas de Gestão nas bacias estudadas.

Tabela 14 - Áreas Estratégicas de Gestão identificadas nas bacias dos rios Lontra e Corda

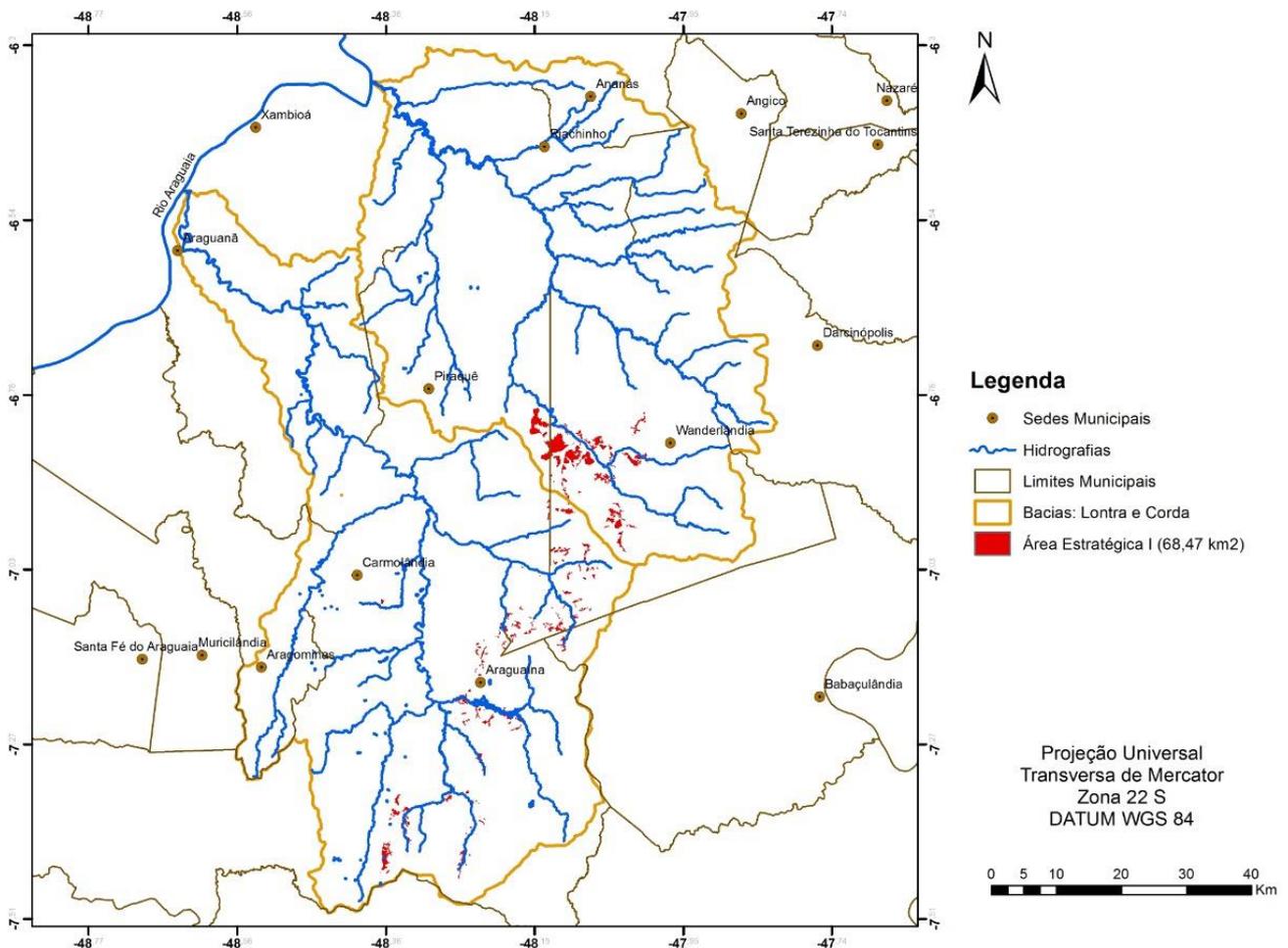
Classes	Área	
	(Km ²)	(%)
Área Estratégica I (Proteção Imediata)	68,47	0,93
Área Estratégica II (Restrição e Controle)	4.756,01	64,67
Área Estratégica III (Prevenção)	567,36	7,71
Área Estratégica IV (Proteção de Poços destinados ao Abastecimento Doméstico)	-	-

Fonte: Autora, 2020.

A Figura 19 apresenta o mapa gerado a partir da aplicação da metodologia para a área denominada Área Estratégica I (Proteção Imediata). A referida área configura-se como área de importante relevância, por apresentar características ambientais sensíveis, susceptíveis a sofrerem interferências no processo de recarga subterrânea, seja pela interferência pelo uso do solo ou pelo excessivo uso dos recursos hídricos subterrâneos. Para tanto, observa-se sua baixa representatividade nas bacias, totalizando o percentual inferior a 1% da área, estando presente nas áreas dos municípios de Wanderlândia, Araguaína e Carmolândia, fato este que chama atenção uma vez que os municípios concentram o maior adensamento populacional das bacias, tendo como principais atividades econômicas a agropecuária e a urbanização. Outro fator que

se destaca relaciona-se ao abastecimento doméstico, em que 98% dos municípios são abastecidos por poços tubulares profundos, sendo a água subterrânea a sua principal fonte de abastecimento. Em relação aos índices de atendimento da população aos serviços de saneamento, observa-se o índice de 25,2% de coleta e tratamento dos esgotos gerados pelo município, segundo a prestadora local de saneamento (BRK Ambiental, 2019). Nos demais municípios, há a inexistência do serviço de saneamento.

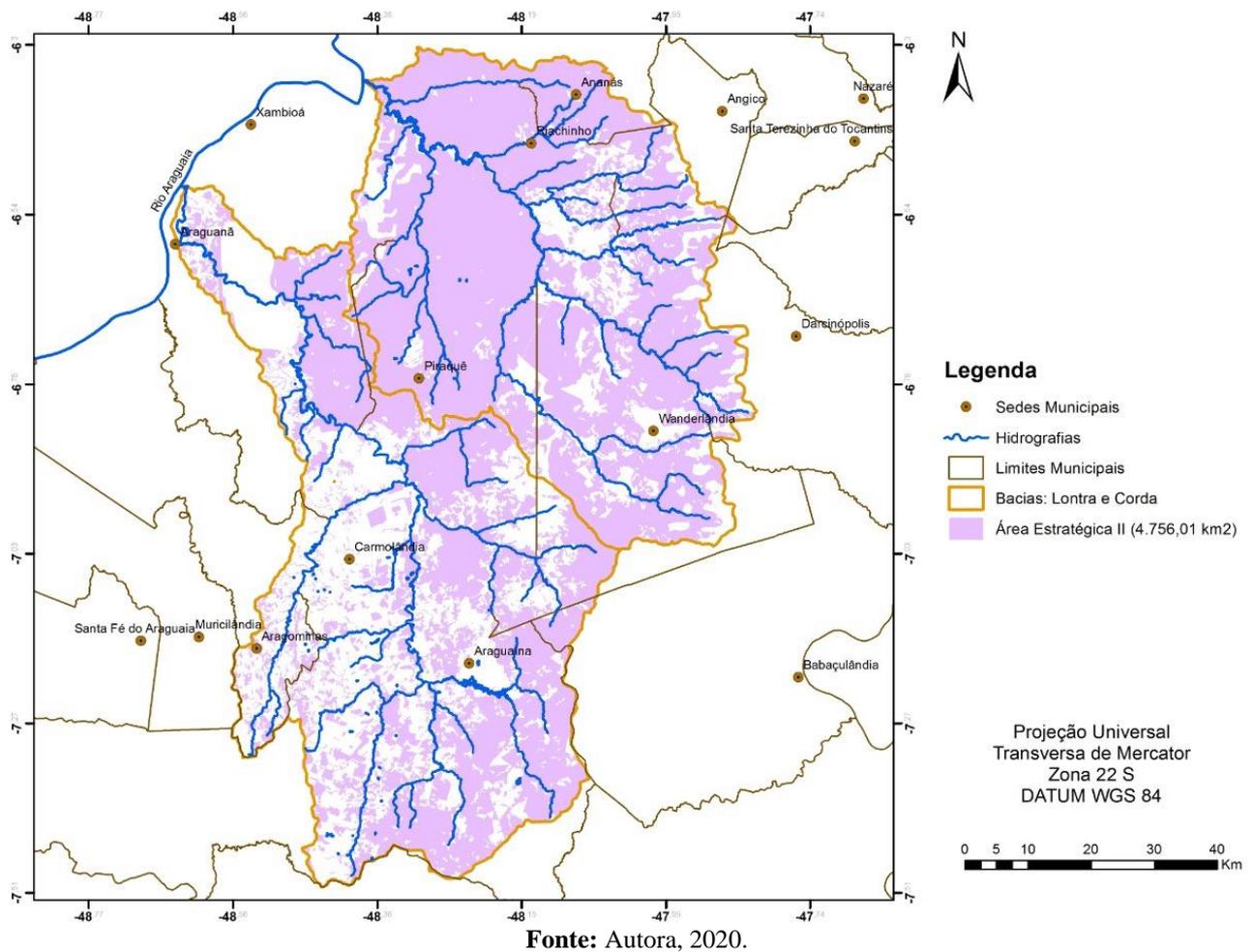
Figura 19 - Delimitação da Área Estratégica de Gestão I nas bacias dos rios Lontra e Corda



Fonte: Autora, 2020.

A Área Estratégica de Gestão II (Figura 20) presente em 64,67% das bacias, são consideradas Áreas de Restrição e Controle, por apresentarem características relevantes do ponto de vista da conservação dos recursos hídricos.

Figura 20 - Delimitação da Área Estratégica de Gestão II nas bacias dos rios Lontra e Corda



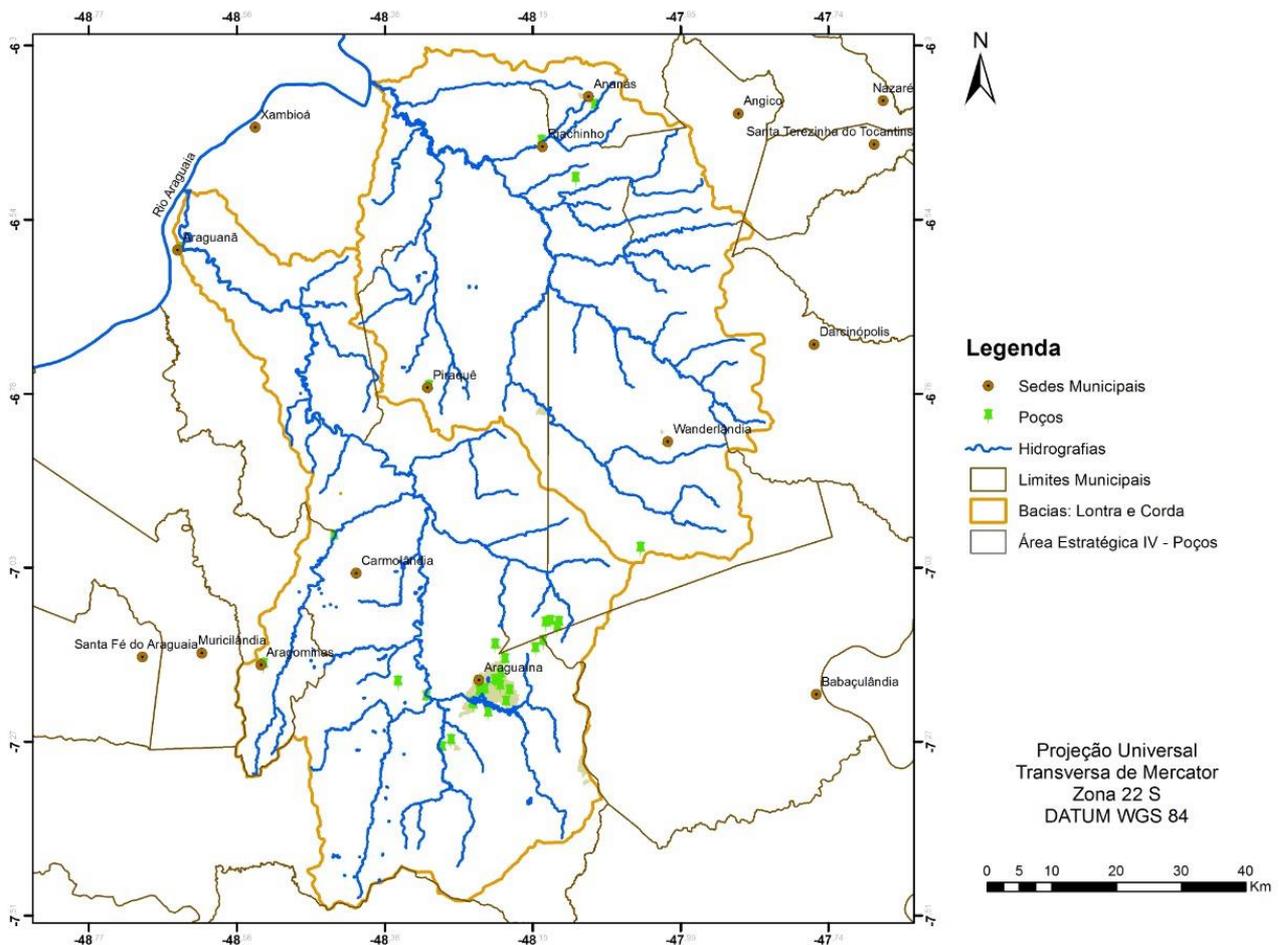
Observa-se, do ponto de vista do uso do solo, que 42% dos municípios inseridos nas bacias estão presentes na Área Estratégica II. Apesar dos municípios serem considerados de pequeno porte, em função do seu número de habitantes e nível de desenvolvimento econômico, observa-se que como um dos principais problemas urbanos a inexistência de sistemas de tratamento de esgotos, sendo que grande parte das residências utilizam fossas sépticas como sistema de saneamento, o que poderá acarretar poluição dos aquíferos da região.

Outro fator importante observado na área delimitada é a forte utilização do solo para fins agropecuários. A mudança da paisagem para o desenvolvimento econômico, acarreta em presença de áreas degradadas e retração dos remanescentes florestais, o que poderá vir a ocasionar impactos no processo de infiltração da água no solo, uma vez que o solo desprotegido aumenta o processo de escoamento superficial, diminuindo a infiltração da água e subsequentemente a possibilidade de abastecimento dos aquíferos da região.

público e uso industrial. Outras fontes que possuem alto potencial poluidor e que podem comprometer a qualidade da água subterrânea na área urbana, são os postos de venda de combustíveis, oficinas mecânicas, estabelecimentos de lavagem de automóveis e cemitérios. Assim, a Área Estratégica III preza pela necessidade de prevenção do uso dos recursos hídricos subterrâneos, a partir do disciplinamento das extrações e controle máximo das fontes poluidoras implantadas, bem como restrição a novas atividades potencialmente poluidoras a serem instaladas na região.

A Área Estratégica IV (Figura 22) é relevante quando se trata da proteção de poços, uma vez que se limita a região ao redor de um poço em que as atividades de uso e ocupação tem influência direta, tanto na qualidade como na quantidade da água subterrânea.

Figura 22 - Delimitação da Área Estratégica de Gestão IV nas bacias dos rios Lontra e Corda



Fonte: Autora, 2020.

A delimitação dos perímetros de proteção dos poços, prevista na Política Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins (Lei 1.307/2002) em seu Art. 27 prevê um perímetro imediato

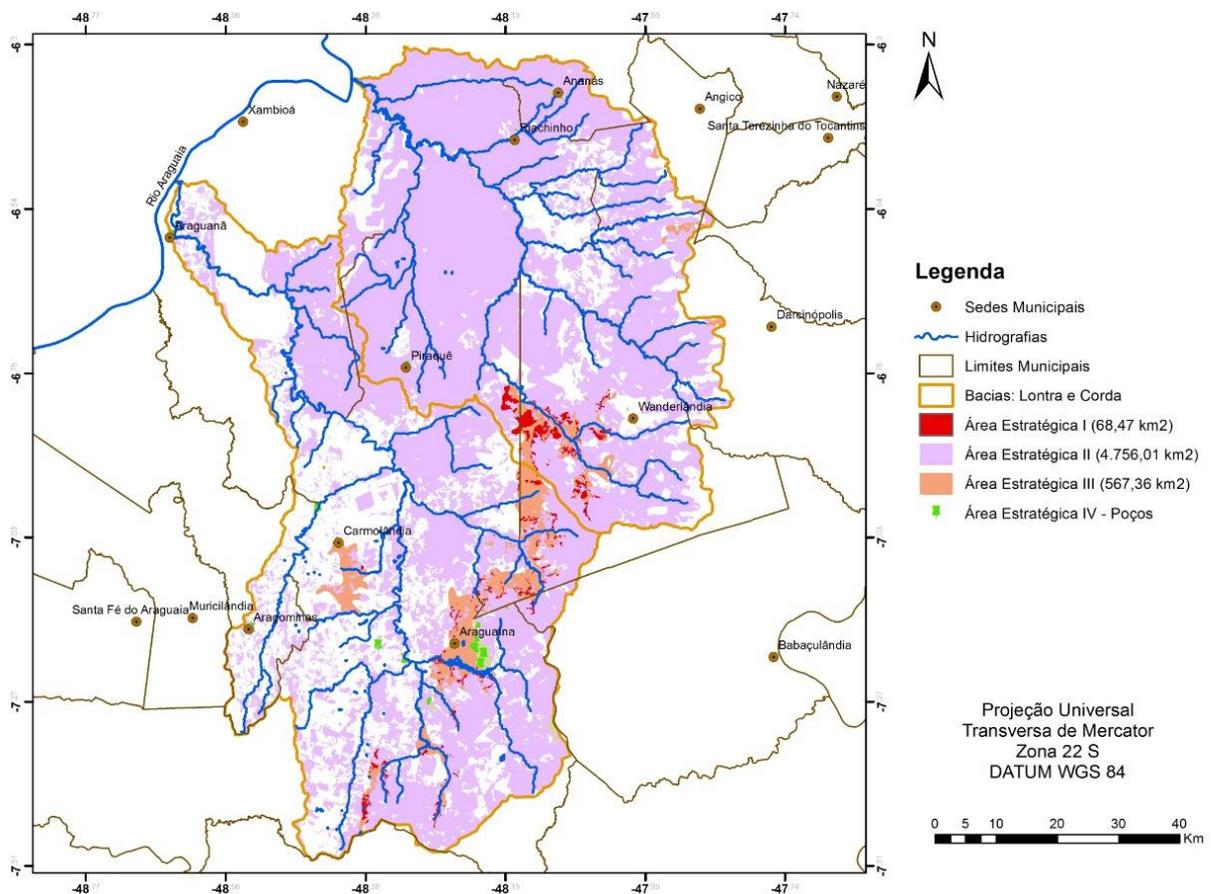
de proteção sanitária cujo raio é de 50 metros a partir do ponto de captação cercado, protegido e com o interior resguardado da entrada ou infiltração de poluentes (TOCANTINS, 2002).

Apesar do baixo adensamento de poços observados na região, chama a atenção o fato do uso predominante dos recursos hídricos subterrâneos, o que totaliza, de acordo com o Plano de Bacia dos Rios Lontra e Corda, uma utilização na ordem de 93,3% de toda água utilizada para as atividades humanas (abastecimento e usos industriais) serem provenientes da água subterrânea.

Não obstante, convém salientar a importância da implementação da Área Estratégica IV nas bacias estudadas, porém sua efetivação depende da ação do Poder Público Municipal e Órgãos Ambientais, que têm atribuições sobre o parcelamento do solo e podem resguardar as áreas de proteção em seus planos diretores e ambientais, respectivamente.

A Figura 23 apresenta a aplicação das quatro Áreas Estratégicas previstas neste trabalho, o qual tem como finalidade servir de base para implantação de estratégias de proteção das áreas potenciais de recarga subterrânea.

Figura 23 - Delimitação das Áreas Estratégicas de Gestão nas bacias dos rios Lontra e Corda



Fonte: Autora, 2020.

Cabe ressaltar que as Áreas Estratégicas propostas, quando definidas e aplicadas de forma adequada, tendo as suas características e limites respeitados, representam um eficiente instrumento para a garantia da sustentabilidade hídrica das bacias, pois impedem ou restringem, a partir da consideração das componentes ambientais, as atividades potencialmente poluidoras em regiões que lhe conferem maior vulnerabilidade ambiental. Convém ressaltar, que em algumas situações sua aplicabilidade não é salutar, já que a depender da característica do terreno, podem resultar em áreas muito extensas, sendo, portanto, necessário, a avaliação, pelo Poder Público da aplicabilidade e funcionalidade das Áreas Estratégicas propostas.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos a partir da pesquisa realizada apresentam-se as principais conclusões, as quais são apresentadas na sequência:

- ✓ Esta pesquisa analisou a interação existente entre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos das bacias dos rios Lontra e Corda constatando a forte relação existente entre os componentes rio-aquífero, em que, em alguns pontos, a vazão média anual do rio Lontra, chega a ser mantida em até 80% pelo escoamento de base, que corresponde à contribuição do aquífero às águas superficiais;
- ✓ A metodologia empregada mostrou-se eficaz e de aplicação imediata para o dimensionamento das taxas de recarga aquífera, uma vez que o referido método necessita de informações disponíveis em bancos de dados públicos, o que facilita a sua utilização. O resultado alcançado indica que há uma relação proporcional entre as características físicas das bacias, os dados de precipitação, distribuição das unidades geológica e do solo da região;
- ✓ Considerando a carência de dados hidrogeológicos na área de estudo, o emprego de metodologia baseada em SIG foi utilizada para delimitar as potenciais áreas de recarga de água subterrânea nas bacias, apresentando um bom potencial de recarga subterrânea, totalizando 44,1% de suas áreas classificadas como médio e alto potencial de recarga subterrânea;
- ✓ A metodologia empregada permitiu a obtenção de resultados coerentes com as características da região, sendo o emprego de ferramentas SIG, fundamental para a eficiência e a obtenção de resultados úteis ao manejo das bacias e do uso racional da água subterrânea, conseqüentemente sobre as águas superficiais;
- ✓ Ainda, é possível concluir que o emprego da metodologia é válida para a aplicação em diversas escalas de análise, sendo necessária, originalmente a existência de bases cartográficas e temáticas compatíveis com a área de estudo;
- ✓ A metodologia proposta foi desenvolvida com a premissa de ser uma ferramenta de fácil aplicação, onde os dados de entrada e análise sejam de simples aquisição, podendo serem obtidos a partir de pesquisas bibliográficas ou de trabalhos de campo;
- ✓ Acredita-se que o modelo proposto possa ser aplicado por técnicos e gestores que atuem na área de gestão ambiental e de recursos hídricos, não sendo necessariamente aplicada somente por profissionais de áreas de pesquisas

acadêmicas. Para tanto, a mesma foi desenvolvida prevendo a não utilização de software e/ou algoritmos complexos de difícil acesso e elevado custo, sob o risco de não alcançar o propósito maior, que é a sua fácil aplicabilidade;

- ✓ A proposta de critérios de restrição de uso e ocupação do solo, a partir da proposição das Áreas Estratégicas de Gestão para as bacias dos Rios Lontra e Corda, serve de base para uma discussão mais ampla sobre estratégias que podem ser adaptadas para qualquer município ou bacia hidrográfica, pelos órgãos de gestão ambiental. No entanto, para sua adequada aplicação é importante o conhecimento da caracterização ambiental e suas relações com o processo de recarga subterrânea em uma determinada região.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando a importância da interação água superficial e água subterrânea no contexto da gestão integrada dos recursos hídricos de uma determinada região, cabe aqui apontar os relevantes questionamentos ainda a serem pesquisados sobre a temática, especificamente no que concerne a gestão dos aquíferos. Recomenda-se, como decorrência deste trabalho o desenvolvimento dos estudos e pesquisas a seguir:

- i) Realização de estudos hidrogeológicos, que produzam informações sobre a hidrogeologia dos aquíferos e suas interações com os corpos hídricos superficiais, uma vez que a metodologia empregada mostrou-se ser eficaz para avaliar a distribuição das potenciais áreas de recarga subterrânea nas bacias estudadas, sendo, portanto, apenas uma indicação;
- ii) Atualização do Plano de Bacia dos Rios Lontras e Corda, por meio de estudos que identifiquem as áreas de recarga dos aquíferos a fim de que sejam propostas áreas de restrição de uso com foco na sustentabilidade hídrica da região;
- iii) Identificar os diversos usos e ocupação do solo e propor medidas administrativas de proteção das áreas de captações de poços de abastecimento, a serem incorporadas aos Planos Diretores dos municípios;
- iv) Estudos que apontem mapas regionais de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos;
- v) Criação de um Sistema de Suporte à gestão integrada de informações para os diferentes usos de recursos hídricos, associado à localização das áreas de proteção dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ACREMAN, M.C & Miller, F. **Hydrological impact assessment of wetlands**. Proceedings of the International Symposium on groundwater sustainability (ISGWAS). Alicante. Spain 24 – 27 January, 2006.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional/Agência Nacional de Águas**; Engecorps/ Cobrape - Brasília: ANA : Engecorps/Cobrape. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). Rede hidrometeorológica Nacional - Sistema HIDRO - Telemetria. Disponível em: <http://gestorpcd.ana.gov.br/Mapa.aspx>. Acesso em: 24/04/2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia : Relatório Síntese / Agência Nacional de Águas**. Brasília : ANA; SPR, 2009.

ALCANTARA, D. A. **Paisagem em Transformação: O Planejamento do Território como Catalisador do Equilíbrio entre Desenvolvimento Econômico e Socioambiental em Seropédica**. In: ABATE, C.; KAROL, J. L.; (orgs.). *UPEII Conducir las Transformaciones Urbanas*. Libro Digital – Tomo 1 Trabajos Completos. La Plata, Universidade Nacional de La Plata. 2014.

ALEMANHA. Lei de Gestão da Água, de 27 de julho de 1957, revisada em 31 de julho de 2009. **Dispõe sobre a proteção e utilização das águas superficiais e subterrâneas, assim como as regras relativas**. 2009.

BARRETO, C. E. A. G. **Balanço Hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir do Monitoramento Hidrogeológico em Bacia representativa**. 2006. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

BRASIL. **Plano estratégico TO – Araguaia Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia**. Brasília: MMA, 2006. Disponível em https://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao02032011035943.pdf. Acesso em 23/10/2019.

BRASIL. **Resolução nº 202, de 16 de outubro de 2018**. Estabelece diretrizes para a gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneo que contemplem a articulação entre a União, os Estados e o DF com vistas ao fortalecimento dessa gestão. 2018. Disponível em: < <http://www.cnrh.gov.br/>>. Acesso em 15 de fevereiro de 2019.

BRASIL. Decreto n 24.643, de 10 de julho de 1934. 1934. Decreta o código das águas.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988. 1988.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. 1997.

BRASIL. Portaria nº. 231 de 31 de julho de 1998 do DNPM. Regulamenta as áreas de proteção das fontes de águas minerais. 1998.

BRASIL. **Caderno da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos.** – Brasília: MMA, 2006.

BRAUN P. *et. al.*, **Uso de sistema de informações geográficas (SIG) para identificação de áreas de recarga de aquíferos na bacia do Itajaí.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3295-3302.

BRAUN, P.D.K, et al. Uso de sistema de informações geográficas (SIG) para identificação de áreas de recarga de aquíferos na bacia do Itajaí. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007**, INPE, p. 3295-3302. 2007

CABRAL, J. et al. Recursos Hídricos Subterrâneos. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. (Org.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** Porto Alegre: ABRH, 2003.

CABRAL, J. J. DA S. P. Movimento das águas subterrâneas. *In:* FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Eds.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** 3a. ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p. 77–91.

CADAMURO, A. L. M.; CAMPOS, J. E. G. **Recarga Artificial de Aquíferos Fraturados no Distrito Federal: Uma Ferramenta para Gestão dos Recursos Hídricos.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 89- 98, 2005.

CARDOSO, F.; OLIVEIRA, F.; NASCIMENTO, F.; VARELLA NETO, P.; FLORES, P. 2008. **Poços Tubulares Construídos no Brasil.** In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal/RN.

CAROLO, F. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: Instrumento para o desenvolvimento sustentável. Estudos das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.** 203 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília. 2007.

CARVALHO, A. M.; HIRATA, R. 2012. **Avaliação de métodos para a proteção dos poços de abastecimento público do Estado de São Paulo.** Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP, Sér. Cient., São Paulo, 12 (1): 53-70.

CASCETTO M; BARBIERI, M.; GALASSI, D.; Lucia MASTRORILLO; RUSI, S.Fabio Stoch, Alessia Di Cioccio, Marco Petitta. **Human alteration of groundwater–surface water interactions (Sagittario River, Central Italy): implication for flow regime, contaminant fate and invertebrate response.** Environmental earth sciences, 71, pg 1791-1807. 2014.

CHIARANDA, R. **Usos da Terra e Avaliação da Capacidade Potencial de Armazenamento de água na bacia do Rio Cuiabá – MT**. Curitiba: Tese (Doutorado em Eng. Florestal – UFP), 2002.

CHIESA, V.B.C.; COSTA, C.A.M.; VERGARA, F.E. **Avaliação da efetividade dos instrumentos de gestão de recurso hídricos no estado do Tocantins**. 2015. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília – DF.

CISCATI, Rafael. **Como a destruição do Cerrado pode fazer faltar água no Brasil inteiro - ÉPOCA | Blog do Planeta**. Disponível em: <<http://https://epoca.globo.com/ciencia-e-meio-ambiente/blog-do-planeta/noticia/2017/03/como-destruicao-do-cerrado-pode-fazer-faltar-agua-no-brasil-inteiro.html>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

CNRH. **Conselho Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2003.

COLLISCHONN, W. ; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Apostila do curso de Hidrologia), Porto Alegre, 2009.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. 2013. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Editora ABRH, 350p.

COLLISCHONN, W; FAN, F. 2012. **Defining Parameters for Eckhardt's Digital Base Flow Filter**. Hydrological Processes, 27 (18): 2614-1622.

COSTA, F. M.; BACELLAR, L. de A. P. **Caracterização hidrogeológica de aquíferos a partir do fluxo de base**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 15, p. 173-183, 2010. Disponível em:<<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=6&SUMARIO=81>>. Acesso em: 20 de dez. 2018.

CPRM. **SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. 2018. <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>

CUNHA, V. C. **Avaliação da Interação entre Águas Subterrâneas e Superficiais na Bacia do Rio Das Fêmeas, Sistema Aquífero Urucuia – Bahia**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais, CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR, Belo Horizonte-MG. 2017.

CUNHA, V. C. V.da. **Avaliação da interação entre águas subterrâneas e superficiais na bacia do rio das Fêmeas, sistema aquífero Urucuia – Bahia**. 2017. 124p. Dissertação de mestrado do programa de pós-graduação em ciência e tecnologia das radiações, minerais e matérias. Centro de desenvolvimento da tecnologia nuclear, Belo Horizonte – MG, 2017.

DAEE.- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Estudo de Águas Subterrâneas -Regiões Administrativas10 e 11 - Presidente Prudente e Marília**. São Paulo: DAEE, 1979. v.1 e 2.

DETZEL, V. Augusto; HARDT, Leticia Peret Antunes; OLIVEIRA Fabiano de; DALOTTO, Roque Sanchez. Secretaria de Planejamento e Orçamento (Seplan). **Gerência de Indicadores Econômicos e Sociais (GIES). Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins.** Prognóstico Ecológico-Econômico do Estado do Tocantins. Palmas: Seplan/GIES, 2017. vol. I.

DIAS C.L.;f IRITANI M.A., *et. al.*, 2004. **Restrições de uso e ocupação do solo em áreas de proteção de Aquíferos: Conceitos, Legislação e proposta de aplicação no Estado de São Paulo.** Anais XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2004.

DIAS, L. C. P. **Efeito da mudança na cobertura vegetal na evapotranspiração e vazão de microbacias na região do Alto Xingu.** Viçosa, 2013. 103p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Viçosa, 2013. Disponível em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/interthesis/article/viewFile/1807-1384.2013v10n2p360/25927>, acesso em 1 de maio de 2018.

DISTRITO FEDERAL. Decreto Lei 22.358 de 31 de agosto de 2001. Distrito Federal, 2001. Dispõe sobre a outorga de direito de uso de água subterrânea no território do Distrito Federal. Disponível em: <http://www.sema.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/Decreto-Distrital-n%C2%BA-22.358-de-2001.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2019.

DISTRITO FEDERAL. Lei 2.725 de 13 de junho de 2001. Distrito Federal, 2001. Disponível em: http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/panorama-dos-estados/df/lei-no2725-01_df.pdf. Acesso em: 23 abr. 2019.

DORA, A.S. **Quantificação de Reservas Renováveis de Águas Subterrâneas em Bacias Hidrográficas a Partir de Séries Históricas de Vazão: Uma Ferramenta para Gestão de Bacias.** 84p. Trabalho de conclusão de curso – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS. 2013.

ECKHARDT, K. **How to construct recursive digital filters for base flow separation.** Hydrological Process, 19: 507-515. 2005.

EILERS, V.H.M. **Estimativa de Recarga de Águas Subterrâneas Utilizando o Método do Balanço Hídrico.** In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Cuiabá/MS, 20p. 2004.

ELY, D. M. **Analysis of Sensitivity of Simulated Recharge to Selected Parameters for Seven Watersheds Modeled Using the Precipitation-Runoff Modeling System.** U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report, 2006-5041. 2006.

ESTADOS UNIDOS DA AMERICA. **Lei Federal Safe Drinking Water Act (SDWA), de 1974.** Estabelece padrões para a qualidade da água potável e implementa programas técnicos e financeiros para garantir a segurança da água potável. 1974.

FEITOSA, Fernando A. C. et al. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: Serviço Geológico do Brasil (CPRM, LABHID–UFPE), 1997.

FONSECA, G. P. da S. **Análise da poluição difusa na bacia do rio Teles Pires com técnicas de geoprocessamento**. 2006. 171f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de ciências Humanas e Sociais – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 2006.

FORMAGGIO, L.F. ; CAMPOS, J.E.G. ; AMARAL, B.D. **Estudo da Variabilidade da Potenciometria em Aquíferos Freáticos Através da Regressão Múltipla Espacial**. Revista Brasileira de Geociências, v. x, p. z-x, 2009.

FOSTER, S; HIRATA R.A.C; GÓMEZ D., D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agencias ambientais**. Mundi Prensa. 2006. (Banco Mundial, Washington, EUA), p.105.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ÉLIA, M.; PARIS, M. 2006. **Proteção da qualidade de águas subterrâneas – Guia para empresas de água, autoridades municipais e agências ambientais**. Banco Mundial, Washington/EUA. 104p.

FRANÇA. Lei de 15 de fevereiro de 1902. 1902. Lei sobre a proteção da saúde pública.

FRANÇA. Decreto n. 2.007-49, de 11 de janeiro de 2007. 2007. Dispõe sobre a segurança da água destinada ao consumo humano.

GWP. **Global Water Partnership**. Police Brief. Versão em Português. Comitê Científico (TEC). Autora: Sarah Carriger, 2006.

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. Academic Press. San Diego, E.U.A., 771p. 1998.

HIRATA, R.; ZOBBI, J.; OLIVEIRA, F. 2010. **Águas subterrâneas: reserva estratégica ou emergencial**. In: Bicudo, C.; Tundisi, J; Scheuenstuhl, M. (Org.). Águas do Brasil: análises estratégicas. 1. ed. São Paulo: Instituto de Botânica, v.1, p. 144-164.

HIRATA, Ricardo; SUHOGUSOFF, Alexandra Vieira; MARCELLINI, Silvana Susko; VILLAR, Pilar Carolina; MARCELLINI, Laura. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento**. [S.l: s.n.], 2019.

HIRATA. R. et al. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento**. Instituto TrataBrasil. 2018. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/aguas-subterraneas-e-saneamento-basico/Estudo_aguas_subterraneas_FINAL.pdf. Acesso em: 12/03/2019.

HOFFMANN, G. P. **Efeitos da modificação do uso da terra sobre o comportamento do escoamento em área de descarga do Sistema Aquífero Integrado Guarani/ Serra**

Geral. 2017. 259p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC.

KARMANN, I. **Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica.** In: TEIXEIRA, Wilson et al. Decifrando a terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 113-138. il. color. ISBN 8586238147.

KUNZLER, J. C. S. **Estimativa da recarga da bacia sedimentar do rio do Peixe através da modelagem matemática do fluxo subterrâneo.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. 86 f. 2007.

LARKIN, R. G.; SHARP Jr., J. M. **On the relationship between river-basin geomorphology, aquifer hydraulics, and ground-water flow direction in alluvial aquifers.** Geological Society of America Bulletin, vol. 104, p. 1608-1620. 1992.
Disponível em: <<http://www.gsjournals.org/archive/0016-7606/104/12/pdf/i0016-7606-104-12-1608.pdf>>. Acesso em: 23/11/2018.

LEAP, D. I. **“Geological occurrence of groundwater.”** In: Delleur, J. W. (ed.) The Handbook of Groundwater Engineering. CRC Press LLC. E.U.A., 2-53. 1999.

Leap, D. I. **“Geological occurrence of groundwater”** In: Delleur, J. W. (ed.) The Handbook of Groundwater Engineering. CRC Press LLC. E.U.A., 2-53.1999.

LEMOS, E. C. L. **Análise Integrada dos Efeitos da Expansão Urbana nas Águas Subterrâneas do Município de Fortaleza – Ceará.** Tese (Doutorado) 2013. 198 f. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2013.

LIAZI, A; et al. **Outorga Integrada Aguas superficiais e águas subterrâneas.** In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – São Paulo, 2006.

MAGNA ENGENHARIA LTDA, 2002. **Plano de Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Lontra e Corda, na região do Bico do Papagaio/TO – PDRHLC:** Relatório. Palmas. v1.

MAGNA ENGENHARIA LTDA. 2001. **Diagnóstico dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Lontra e Corda, na região do Bico do Papagaio – TO.** Relatório. Palmas.

MALDANER, C.H. **Recarga de aquífero em área urbana: estudo de caso de Urânia (SP).** Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 95p. 2010.

MARTELLI, G.V. **Monitoramento da Flutuação dos Níveis de Água em Aquíferos Freáticos para Avaliação do Potencial de Recarga em Áreas de Afloramento do Sistema Aquífero Guarani em Cacequi – RS.** 151p. 2012. Dissertação de mestrado em engenharia civil e ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS.

MARTINS JUNIOR, P.P.; COUTINHO, C.S.; VASCONCELOS, V.V.; CARNEIRO, J.A.; HADAD, R.M.; JANO, D.R.; MELO, J.W.; ALVARENGA, L.J.; FERNANDES, M.M.; BRITTO, L.O.O.; CLAUS, R.P.; MACHADO, J.L.; HORTA, M.M.X.; CORREA, T.DE O.; ENDO, I. **Projeto SACD - Sistemas de Arquitetura de Conhecimentos e de Auxílio à Decisão na Gestão Geo-Ambiental e Econômica de Bacias Hidrográficas e**

Propriedades Rurais. Ouro Preto e Belo Horizonte: Univ.Fed.OP-EM-DEGEO / Fundação CETEC. Relatório Final, Vol. I. 435p., Vol II. 266p. 2012.

MATTA, Milton Antônio da Silva. **Fundamentos hidrogeológicos para gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua - Pará, Brasil.** Orientador: Aldo da Cunha REBOUÇAS. 2002. 292 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/8165>. Acesso em: 12/02/2019.

MATTIUZI, C.D.P. **Estimativa de Recarga a partir da Separação de Escoamento de Base na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí/RS.** 72p. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2013.

MEDEIROS, K. A. **Perímetros de proteção de captações de águas subterrâneas: aplicação no Distrito Federal.** 138p. Dissertação de mestrado –Instituto de Geociências. Universidade de Brasília – DF. 2018.

MEDEIROS, R. **Recarga de águas subterrâneas em ambiente de cerrado: Estudo com base em modelagem numérica e simulação hidrológica em uma bacia experimental.** Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Brasília, 2011.

MEDEIROS, R.; **Recarga De Águas Subterrâneas Em Ambiente De Cerrado: Estudo com base em modelagem numérica e simulação hidrológica em uma bacia experimental.** Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos Brasília, Setembro de 2011.

MENEZES, J. P. **Influência do uso e ocupação da terra na qualidade da água subterrânea e sua adequação para consumo humano e uso na agricultura.** 2012. 84p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. Alegre – ES.

MILEK, C. B.; KISHI, R. T; GOMES, J. **Avaliação do Risco de Contaminação da Água Subterrânea do Aquífero Cárstico no Município de Almirante Tamandaré/PR com o Uso de Mapa de Índices de Risco.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.2 –Abr/Jun 2014, 89-100. 2014.

MIRA, T.; LOUSADA, G.; DECIO FILHO, T. **Integração entre áreas de proteção de poços, vulnerabilidade de aquíferos e uso e cobertura do solo como plano de gestão de recursos hídricos: um estudo de caso dos poços de Seropédica – RJ.** Revista Continentes (UFRRJ), ano 6, n. 10, 2017.

MIRANDA, E.E. de; BOGNOLA, I.A. **Nota sobre o andamento do Zoneamento Agroecológico do Estado do Tocantins: Parecer técnico.** Campinas: Embrapa-CNPM, Embrapa Monitoramento por Satélite-AMT. 1998. 3p.

MISSTEAR, B. D. R. **“Groundwater recharge assessment: a key component of river basin management.”** National Hydrology Seminar. Dublin. 2000.

MORBIDELLI, R., SALTALIPPI, C., FALAMMINI, A., CIFRODELLI, M., CORRADINI., and GOVINDARAJU,R.S. 2015. **Infiltration on sloping surfaces:**

Laboratory experimental evidence and implications for infiltration modelling. Journal of Hydrology, 523: 79-85.

MORENO, J.; TEJADA, K. S. **O uso de instrumental SIG na análise de parâmetros hidrológicos com vistas às ações de gestão territorial, estudo de caso: a bacia hidrográfica do Ribeirão do Piracicamirim - Piracicaba, SP.** Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004, Curitiba. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - CD. Curitiba: ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 18p.

MELO NETO J.O *et. al.* **Delimitação de áreas potenciais de recarga subterrânea na bacia hidrográfica do Rio Siriri, Sergipe.** Revista Scientia Plena, v. 9, N.7. 2013.

PAIVA, R. C. D. ; et al . **Utilização de filtros digitais na separação do escoamento de base de séries históricas de vazão.** In: XX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE 2005. Foz do Iguaçu-PR, 2005.

PEIXOTO, F.S. da. **Efeitos do uso e ocupação do solo nas águas subterrâneas a sudeste do município de Fortaleza – CE.** 2016. 130p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza – CE.

PIROLI, E. L.; PERUSI, M. C.; ZANATA, J. M. **Mudança no Uso da Terra e Impacto sobre o Solo da Microbacia Hidrográfica do Córrego Água da Veada, Ourinhos/SP.** Revista Geonorte, Edição Especial, v. 1, n. 4. p. 855-865, 2012.

PORTUGAL. Decreto Lei n. 90 de 16 de março de 1990. Disciplina o regime geral de revelação e aproveitamento dos recursos geológicos. 1990.

PORTUGAL. **Decreto-lei no 382, de 22 de setembro de 1999.** Estabelece as normas e os critérios para a delimitação de perímetros de proteção de captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público. Diário da República, Lisboa, 22 de setembro de 1999. 1999.

POSSAVATZ, J.; ZEILHOFER, P.; PINTO, A.A.; TIVES, A.L.; DORES, E.F.G.C. (2014). **Resíduos de pesticidas em sedimento de fundo de rio na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.** Ambiente & Água, v. 9, n. 1, p. 83-96.

PRANDI, E. C. **Gestão integrada das águas do sistema aquífero Bauru nas bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe/ SP.** 2010. Rio Claro - SP. 192p. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista.

RABELO, J. L. **Estudo de Recarga do Aquífero Guarani no Sistema no Sistema Jacaré-Tiête.** São Carlos: Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2006.

REBOUÇAS, A.C. **Importância da Água Subterrânea. In: Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações.** Fernando A.C. Feitosa (org.). 3a ed. CPRM. p.20-22. 2008.

RESENDE, A. V. **Agricultura e Qualidade da Água: Contaminação da Água por Nitrato.** Embrapa: Planaltina, DF. 2002.

RIO DE JANEIRO. **Lei Nº 3239, de 02 de agosto de 1999.** Rio de Janeiro, 1999.

Disponível

em:<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/b24a2da5a077847c032564f4005d4bf2/43fd110fc03f0e6c032567c30072625b>. Acesso em: 22 abr. 2019.

RIO DE JANEIRO. **Projeto de Lei Nº 408/2011.** Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/scpro1115.nsf/1e1be0e779adab27832566ec0018d838/bfe23d644342a19783257877006885b2?OpenDocument&ExpandSection=-1>. Acesso em: 23 abr. 2019.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.** Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000.

ROCHA, M. G. **Geodiversidade do Estado do Tocantins [Livro eletrônico].** / Maurício Gomes Rocha. — Goiânia: CPRM, 2019. 170 p. ; 1 livro digital. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. 2019. Acessado em 12 de agosto de 2019. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Gestao-Territorial/Mapas-de-Geodiversidade-Estaduais-1339.html>

ROSSETTI, L. A. F. G. **Geotecnologias aplicadas à caracterização e mapeamento das alterações da cobertura vegetal intra-urbana e da expansão urbana da cidade de Rio Claro (SP).** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, UNESP campus de Rio Claro. Área de Organização do Espaço. Rio Claro. 2007. 115 p.

SANTOS, B. B. M.; GUSMÃO, P.P. de. **Ampliando o debate sobre a lei das águas: uma consideração sobre os conflitos socioambientais.** In... XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, RS. 2013.

SANTOS, H. G. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2018. 356 p

SANTOS, R. M. **Recarga de Águas Subterrâneas em ambiente de Cerrado: Estudo com base em Modelagem Numérica e Simulação Hidrológica em uma bacia experimental.** Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 2012.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 32.955, de 7 de fevereiro de 1991. Regulamenta a Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1991/decreto-32955-07.02.1991.html>. Acesso em: 23 abr. 2019.

SERAPHIM, A. P. A. C. C. **Relações entre as áreas de recarga dos aquíferos e áreas destinadas a urbanização: estudos dos padrões de ocupação do solo da Unidade Hidrográfica do Paranoá – DF.** Brasília, 2018.

SILVA, F.C. **Análise integrada de usos de água superficial e subterrânea em macro-escala numa bacia hidrográfica: o caso do alto rio Paranaíba.** Dissertação de Mestrado do Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2007.

SILVA, F.C. **Análise integrada de usos de água superficial e subterrânea em macro-escala numa bacia hidrográfica: O caso do Alto Rio Paranaíba**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Hidráulica – IPH/UFRGS, Porto Alegre. 2007.

SOARES, P. V., PEREIRA S. Y., SIMÕES S. J. C., BERNARDE G. P., BARBOSA S. A. **Mapa de Infiltração do Alto e Médio Vale do Paraíba do Sul com Base em Elementos do Meio Físico e na Precipitação. Ambiente e Água** – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science Vol 3. N 001. 2008. p. 26-42.

SOPHOCLEOUS, M. **Interactions between groundwater and surface water: The state of the science**. Hydrogeology Journal, v. 10, n. 1, p. 52–67, 2002.

SPÖRL, C. **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo–Solo com Aplicação de três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. 2001. Dissertação (Mestrado), USP – Universidade de São Paulo, FFLCH, Departamento de Geografia, São Paulo, 2001.

TOCANTINS. **Plano de Zoneamento Ecológico-Econômico do Norte do estado do Tocantins**. Palmas: Seplan/DZE, 2004a. 202 p. (Zoneamento Ecológico-Econômico. Projeto de Gestão Ambiental Integrada da Região do Bico do Papagaio. Séries ZEE - Tocantins).

TOCANTINS. Lei n° 1.307, de 22 de março de 2002. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e adota outras providências. 2002. Disponível em: <http://www.al.to.leg.br/legislacaoEstadual>. Acesso em: 16 de abril de 2019.

TOCANTINS. Decreto n° 2.432 de 06 de junho de 2005. 2005. Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos de que dispõe os artigos 8º, 9º e 10 da Lei 1.307, de 22 de março de 2002. Acesso em: 16 de abril de 2019.

TÓTH, J. **A conceptual model of the groundwater regime and the hydrogeologic environment**. *Journal of Hydrology*, vol. 10, p. 164-176. 1970.

TÓTH, J. **A conceptual model of the groundwater regime and the hydrogeologic environment**. *Journal of Hydrology*, vol. 10, p. 164-176. 1970

TSCHIEDEL, W. M. **Aplicação de estudo geofísico como contribuição ao conhecimento da tectônica da Sub-Bacia Urucuia**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Brasília, 76 p. 2004.

TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil**. REGA, v. 1, n° 1, 2004, p. 59-73.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciências e Aplicação**. Ed. Universidade/UFRGS: ABRH. Porto Alegre, RS. 2ª ed.: 2ª reimpressão. 2001.

TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B.; ALMEIDA CAMPOS, D.; FERNANDES, J.; TREVISAN, P.; VIEIRA, V. **Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, p. 90. 2014.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos. **Água para um mundo sustentável- Sumário Executivo**. WWDR. 2015.

VASCONCELOS, V. V. **Recarga de aquíferos subsídios à gestão hídrica e ambiental bacia do rio Paracatu - SF7**. 2014. 276 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

VASCONCELOS, V.V., Martins Junior, P.P., Hadad, R.M., Koontanakulvong, S. 2013. **Aquífer Recharge: epistemology and interdisciplinarity. (Recarga de Aquíferos: Epistemologia e Interdisciplinaridade)**. Interthesis, v. 10, n. 2, jul-dez.

VILLAR, P.C. **Gestão das áreas de recarga do Aquífero Guarani: o caso do município de Ribeirão Preto, São Paulo**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo. 184p. 2008.

VILLAR, P.C. **Gestão das áreas de recarga do Aquífero Guarani: o caso do município de Ribeirão Preto, São Paulo**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo. 2008.

WWAP - United Nations World Water Assessment Programme. 2012. **The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk**. Paris, UNESCO. Disponível em: < <http://www.unesco.org/>>. Acesso em 13 de março de 2019.

XU, Y.; BEEKMAN, H. E. (2003). **Groundwater recharge estimation in Southern Africa**. UNESCO IHP Series No. 64, UNESCO Paris. 207p.

ANEXOS

ANEXO A

PLANO DE INFORMAÇÃO REFERENTE ÀS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS PRESENTES NAS BACIAS DOS RIOS LONTRA E CORDA

Unidades Geomorfológicas existentes nas Bacias dos Rios Lontra e Corda, conforme Banco de dados do ZEE do Tocantins

Unidades Geomorfológicas	Características
Planície Fluvial	Distribuem-se ao longo das margens dos principais rios das Bacias. Pelo seu caráter disperso ao longo dos rios, localiza-se predominantemente sobre áreas planas, ocorrendo também em áreas de relevo com ondulações variáveis. As cotas altimétricas apresentam variações em função da posição no contexto de uma determinada bacia hidrográfica. Corresponde à faixa de sedimentos marginais presentes nas principais drenagens do estado (lagos de barragens, lagos de meandros, meandros colmatados e diques fluviais), sendo ainda frequente a presença de ilhas e a formação de bancos de areia de grandes extensões.
Planalto do Interflúvio Tocantins – Araguaia	Apresenta-se longitudinalmente dispersa desde o norte até o centro do estado, apresentando trechos com largura variável. Por ser divisor de águas entre as bacias hidrográficas dos rios Tocantins e Araguaia, a unidade denota variadas declividades onde, próximo à borda oeste da área, tem-se as porções de maior inclinação, principalmente representando superfícies montanhosas ou fortemente onduladas. As áreas mais planas, por sua vez, localizam-se na borda leste, iniciando sobre a unidade vizinha. A unidade possui gradiente altimétrico de 527 metros, variando de 202 a 729 metros, acima do nível do mar.
Depressão do Médio Araguaia	A Depressão do Médio e Baixo Araguaia está disposta longitudinalmente desde o sul do estado, até aproximadamente limite com a região do Bico do Papagaio. Localiza-se sobre as áreas de 39 municípios, desde Araguaçu, no extremo sul, até os municípios de Muricilândia e Aragominas, no norte do estado, ocupando uma superfície de 42.224 km ² . Embora seja uma das maiores unidades geomorfológicas do estado, apresenta relativa homogeneidade quanto às formas de relevo. Em seu trecho sul, predominam formas erosivas, representadas por modelados do tipo superfície de pediplanos. Na metade norte, predominam modelados dissecados em colinas e ravinas. A superfície da Unidade é predominantemente plana a suavemente ondulada, sendo as áreas de maior declividade localizadas no extremo sul e na porção norte da área. O gradiente altimétrico é de 508 metros, variando de 132 a 640 metros, acima do nível do mar.
Serra das Andorinhas	A unidade Serra das Andorinhas - Xambioá - Lontras localiza-se no norte do território tocantinense, sobre os municípios de Araguaia e Xambioá, ocupando uma área de 300 km ² . O relevo da Unidade apresenta formas de dissecção representadas por modelados do tipo dissecado em colinas e ravinas. Representada por dois fragmentos, a unidade apresenta declividades mais elevadas nas bordas (cristas) e áreas mais planas do centro dos dois fragmentos. Apresenta um gradiente altimétrico de 363 metros, variando de 134 a 497 metros, acima do nível do mar.

(Continua...)

Unidades Geomorfológicas existentes nas Bacias dos Rios Lontra e Corda, conforme Banco de dados do ZEE do Tocantins

Unidades Geomorfológicas	Características
Chapadas e Planos do Rio Farinha	<p>Localiza-se se na porção nordeste do estado do Tocantins, pouco abaixo da região do Bico do Papagaio. Nas bacias, abrangem parte dos municípios de Babaçulândia, Darcinópolis e Wanderlândia. As formas predominantes são estruturais, destacando-se modelados do tipo patamares estruturais, também identificado com áreas aplanamento de pediplano degradado desnudado. Em menor proporção, mas ainda significativa, ocorrem modelados do tipo superfícies tabulares estruturais, predominando sobre a porção sudoeste da Unidade Geomorfológica. A Unidade apresenta-se em locais de variadas declividades, predominando a presença de áreas planas, e áreas fortemente onduladas. Limita-se a leste pelo rio Tocantins, nas suas margens ocorrem modelados do tipo terraços fluviais e áreas dissecadas em patamares.</p>
Patamar de Porto Franco - Fortaleza dos Nogueiras.	<p>Localiza-se no norte do território tocantinense, predominantemente na região do Bico do Papagaio. Nas bacias dos Rios Lontra e Corda, somente o município de Angico apresenta características da unidade. A mesma apresenta formas estruturais, representadas por patamares estruturais, desde faixa oeste até a região sul da unidade; e formas de dissecação, representadas por áreas dissecadas em patamares (principalmente) e dissecadas em colinas. Na unidade, predominam terrenos planos, mas sem a mesma expressividade de outras unidades geomorfológicas, onde ocorrem superfícies desde suavemente onduladas a montanhosas, sendo essas últimas localizadas na porção oeste da área analisada.</p>
Patamares do Araguaia	<p>A unidade Patamares do Araguaia apresenta área de 6.052 km² e localiza-se longitudinalmente sobre os municípios de Ananás, Aragominas, Araguaína, Araganã, Arapoema, Bandeirantes do Tocantins, Carmolândia, Colinas do Tocantins, Colméia, Couto Magalhães, Dois Irmãos do Tocantins, Fortaleza do Tabocão, Goianorte, Guaraí, Itaporã do Tocantins, Miranorte, Muricilândia, Nova Olinda, Pau d'Arco, Pequizeiro, Piraquê e Xambioá. A unidade apresenta-se em três fragmentos, sendo o maior ao sul, um no centro e outro ao norte. Destes, o fragmento sul apresenta menor declividade, enquanto o central, menor fragmento, é quase todo composto por áreas inclinadas a fortemente inclinadas, e o fragmento norte apresenta diversas formações no relevo, variando desde áreas planas a fortemente inclinadas. Somados os três fragmentos, o gradiente altimétrico é de 500 metros, variando de 110 a 610 metros, acima do nível do mar.</p>

Fonte: SEPLAN (2017).

ANEXO B

PLANO DE INFORMAÇÕES REFERENTE À DECLIVIDADE DAS BACIAS DOS RIOS LONTRA E CORDA

A (declive igual ou inferior a 5%): Predominância de áreas com declives suaves, nos quais, na maior parte dos solos, o escoamento superficial é lento ou médio. O declive, por si só, não impede ou dificulta o trabalho de qualquer tipo de máquina agrícola mais usual. A erosão hídrica não oferece maiores problemas. Em alguns tipos de solos, práticas mais simples de conservação são recomendáveis. Para aqueles muito erodíveis com comprimentos de rampa muito longos, práticas complexas podem ser necessárias, tais como sistemas de terraços e faixas de retenção.

B (declive maior que 5% e igual ou inferior a 10%): Predominância de áreas com superfícies inclinadas, geralmente com relevo ondulado, nos quais o escoamento superficial, para a maior parte dos solos, é médio ou rápido. O declive, por si só, normalmente não prejudica o uso de máquinas agrícolas. Em alguns casos, a erosão hídrica oferece pequenos problemas que podem ser controlados com práticas simples, mas na maior parte das vezes, práticas complexas de conservação do solo são necessárias para que terras com esse declive possam ser cultivadas intensivamente.

C (declive maior que 10% e igual ou inferior a 15%): Predominância de áreas inclinadas ou colinosas, onde o escoamento superficial é rápido na maior parte dos solos. A não ser que o declive seja muito complexo, a maior parte das máquinas agrícolas podem ser usadas. Solos desta classe são facilmente erodíveis, exceto aqueles muito permeáveis e não muito arenosos, como alguns latossolos. Em todas estas situações, práticas de conservação do solo são recomendadas e necessárias.

D (declive maior que 15% e igual ou inferior a 30%): Predominância de áreas inclinadas a fortemente inclinadas, cujo escoamento superficial é rápido a muito rápido na maior parte dos solos. Podem ser trabalhados mecanicamente apenas em curvas de nível por máquinas simples de tração animal ou com limitações e cuidados especiais por tratores de esteira. Em terras nessa situação não é recomendável a prática de agricultura intensiva. São mais indicadas para pastagem natural e/ou silvicultura.

E (declive maior que 30% e igual ou inferior a 45%): Predominância de áreas fortemente inclinadas, cujo escoamento superficial é muito rápido. Os solos podem ser trabalhados mecanicamente somente por máquinas simples de tração animal, assim mesmo com sérias

limitações. Terras nessa situação são impróprias para a agricultura e restritas para pastagem. São mais indicadas para silvicultura.

F (declive maior 45%): Predominância de áreas íngremes, de regiões montanhosas, onde nenhum tipo de máquina agrícola pode trafegar. O escoamento superficial é sempre muito rápido e os solos, extremamente suscetíveis à erosão hídrica. Não podem ser trabalhados mecanicamente, nem mesmo pelas máquinas simples de tração animal; somente trabalháveis com instrumentos e ferramentas manuais. Terras nessa situação são inadequadas para o uso agrícola.