

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL

CENTRO DE TECNOLOGIA – CTEC

ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Alexandre Barbosa Lopes Sobrinho

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS  
DE RECARGA SUBTERRÂNEA DA BACIA DO PRATAGY EM MACEIÓ-AL**

Maceió

2021

Alexandre Barbosa Lopes Sobrinho

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS DE  
RECARGA SUBTERRÂNEA DA BACIA DO PRATAGY EM MACEIÓ-AL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

**Orientador:** Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim

**Co-orientador:** Rodrigo Perdigão Gomes Bezerra

Maceió

2021

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade – CRB-4 - 1251

L864p Lopes Sobrinho, Alexandre Barbosa.

Proposta metodológica para identificação de áreas potenciais de recarga subterrânea da Bacia do Pratagy em Maceió-AL / Alexandre Barbosa Lopes Sobrinho. – 2021.  
46 f.

Orientador: Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim.

Coorientador: Rodrigo Perdigão Gomes Bezerra.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Bacharelado em Engenharia Ambiental e sanitária) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, 2021.

Bibliografia: f. 42-46.

1. Aquíferos. 2. Águas subterrâneas - Sustentabilidade. 3. Sistema de informação geográfica. 4. Planejamento urbano. I. Título.

CDU: 628.112

## **Folha de Aprovação**

**AUTOR: ALEXANDRE BARBOSA LOPES SOBRINHO**

### **PROPOSTA METODOLÓGICA PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS DE RECARGA SUBTERRÂNEA DA BACIA DO PRATAGY EM MACEIÓ-AL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

---

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim – Universidade Federal de Alagoas

---

Co-orientador: Rodrigo Perdigão Gomes Bezerra

#### **Banca Examinadora:**

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cleuda Custódio Freire – Universidade Federal de Alagoas

---

Dr. Pedro Lucas Cosmo de Brito

## **AGRADECIMENTOS**

Esse é mais um ciclo que se encerra em minha vida, e não poderia deixar de agradecer as pessoas tão especiais que fizeram parte tanto dentro quanto fora da universidade.

Agradeço primeiro a Deus por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa, com saúde e forças para chegar até o final, além de me guiar em todo o trajeto acadêmico. Ele é meu guia e meu porto seguro, é quem me mantém de pé.

Sou grato aos meus familiares por toda paciência e contribuição em momentos difíceis, em especial à minha mãe, irmã, cunhado e padrasto por se fazerem presentes em todos os momentos da minha vida e por serem meu modelo de personalidade, dedicação e humildade.

Agradeço ao meu orientador Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim por todos os ensinamentos passados e por ter me dado a possibilidade de participar de tantos projetos enriquecedores. Não poderia deixar de agradecer também à professora Nélia Henriques Callado, a qual me abriu as portas ao mundo dos projetos e me auxiliou com inúmeros ensinamentos.

Agradeço também, especialmente, ao meu co-orientador Rodrigo Perdigão, que desde nosso primeiro contato sempre se mostrou prestativo e solícito às minhas dúvidas e se fez presente em todo o projeto.

Agradeço à minha namorada Elisabeth Maria Accioly Laranjeira que esteve presente em todo esse processo, antes mesmo de ingressar na Universidade Federal de Alagoas. Muito obrigado pelo companheirismo e cumplicidade depositada em mim.

Agradeço também aos meus colegas de curso tanto os alunos da minha turma, quanto os integrantes do PET e CAEAMB, os quais, nos períodos letivos, tive mais convívio que meus próprios familiares e que me abraçaram como verdadeiros irmãos. Em especial, gostaria de agradecer à Adelson Junior, Ana Letícia, Heloisa Vital, Heloize Nascimento, Ingrid Jesus, Lucas Silva, Matheus de Sousa e Nicolas Jatobá.

Por último, quero agradecer à Universidade Federal de Alagoas e todo seu corpo docente que tem excelência em suas atribuições.

## RESUMO

Em decorrência do aumento populacional, o qual necessitava de vários recursos, incluindo a água, houve diversos estudos com o intuito de promover a evolução das tecnologias para captação de águas subterrâneas, que representa cerca de 26% da captação de água no mundo e vem crescendo durante os últimos anos (WWAP, 2012). Uma das alternativas para delimitar as áreas de recarga dessa água é por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que têm potencial de estimar, a partir de mapas temáticos, as áreas que podem ser prioritárias para o abastecimento de aquífero. O objetivo do estudo, portanto, foi avaliar uma proposta metodológica de delimitação das áreas de recarga de água subterrânea na Bacia do Pratygy, em ambiente SIG. Para que fossem avaliadas as regiões com maior suscetibilidade à infiltração no solo, e posterior recarga de aquífero, reuniu-se informações das características ambientais como geologia, geomorfologia, tipo de solo, uso e ocupação do solo e a precipitação, disponibilizadas por entidades da administração pública e em seguida classificou-as em relação à facilidade que cada um tem de recarregar o aquífero, com seus respectivos pesos. Todo esse manejo e operação dos dados foi realizado a partir do software de geoprocessamento QGIS v. 3.10.14. O resultado apontou que a maior parte da área da Bacia do Pratygy é de médio e baixo potencial de recarga correspondendo a 46,6% e 43,2% da área total da bacia, respectivamente. Apenas 10,2% da área tem alto potencial de recarga e essa região está próxima dos cursos d'água. Dentre os fatores estudados, o uso e ocupação do solo foi o fator ambiental que determinou as principais áreas de alto potencial de recarga, pois em sua maior extensão é composto por classificações com baixa permeabilidade do solo e no perímetro próximo ao curso d'água por vegetação nativa, que tem alto coeficiente de recarga.

**Palavras-chave:** recarga de aquífero, sistema de informação geográfica, planejamento urbano e sustentabilidade

## **ABSTRACT**

As a result of the population increase, which required several resources, including water, there were several studies in order to promote the evolution of technologies for groundwater pump, which represents about 26% of water abstraction in the world and has been growing during the last few years (WWAP, 2012). One of the alternatives to delimit the recharge areas is through Geographic Information Systems (GIS), which have the potential to estimate, from thematic maps, the areas that might be priority for aquifer supply. The aim of the study, therefore, was to evaluate a methodological proposal for the delimitation of groundwater recharge areas in the Pratagy watershed, in a GIS environment. In order to assess the regions which have the greatest susceptibility to infiltration into the soil, and subsequent aquifer recharge, was gathered information from environmental characteristics, such as geology, geomorphology, soil type, land use and occupation and precipitation, provided by administration entities, and then this information has been classified, with their respective weights, in terms of how easy it is to recharge the aquifer. All this data handling and operation was performed using the QGIS geoprocessing software v. 3.10.14. The result showed that most of the area of the Pratagy watershed has medium and low recharge potential, corresponding to, respectively, 46.6% and 43.2% of the total area of the basin. Only 10.2% of the area has a high potential for recharge and this region is close to water courses. Among the factors studied, land use and occupation were the environmental factor that determined the main areas of high recharge potential, as in its greatest extent it is composed by classifications with low soil permeability and in the perimeter close to the watercourse by native vegetation, which has a high recharging coefficient.

**Keywords:** aquifer recharge, geographic information system, urban planning and sustainability

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema dos tipos de interação de água no solo.....	9
Figura 2: Representação vetorial e matricial de um mapa temático.....	16
Figura 3: Fluxograma operacional do projeto.....	18
Figura 4: Adaptação do fluxograma da metodologia para o projeto.....	21
Figura 5: Região hidrográfica do Pratygy.....	22
Figura 6: Bacia utilizada no estudo.....	22
Figura 7: Mapa temático de hipsometria da bacia do Pratygy.....	23
Figura 8: Mapa temático da declividade da bacia do Pratygy.....	24
Figura 9: Mapa temático da rede de drenagem da Bacia do Pratygy.....	25
Figura 10: Mapa temático da geologia da bacia.....	27
Figura 11 Mapa temático da geomorfologia da bacia.....	28
Figura 12: Mapa temático do solo da bacia.....	30
Figura 13: Mapa temático do uso e ocupação do solo da bacia.....	32
Figura 14: Mapa temático da Vegetação da Bacia do Pratygy.....	33
Figura 15: Mapa temática da precipitação da Bacia do Pratygy.....	34
Figura 16: Mapa temático com as Áreas Potenciais de Recarga da bacia do Pratygy....	36

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fatores influentes para a estimativa de recarga de aquífero .....	11
Quadro 2: Resoluções do CNRH referente às águas subterrâneas no contexto nacional	14
Quadro 3 - Resoluções do CERH referente às águas subterrâneas .....	14
Quadro 4: Interferência das variáveis ambiental na armazenagem de água subterrânea.	19
Quadro 5: Referência das informações coletadas para criação dos mapas temáticos ....	22
Quadro 6: Características hipsométricas, de declividade e rede de drenagem da Bacia do Pratagy.....	25
Quadro 7: Tipos de Sistema Aquífero existente na bacia do Pratagy.....	27
Quadro 8: Tipos de Geomorfologia existente na bacia do Pratagy .....	28
Quadro 9: Tipos de Solo na bacia do Pratagy .....	30
Quadro 10: Tipos de Uso do Solo na bacia do Pratagy .....	32
Quadro 11: Classificação das precipitações na Bacia do Pratagy .....	34
Quadro 12: Classificação do potencial das áreas de recarga subterrânea.....	36
Quadro 13: Distribuição das áreas potenciais de recarga da Bacia do Pratagy.....	37

# Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	6
2.	OBJETIVOS .....	8
2.1.	Objetivo geral .....	8
2.2.	Objetivo Específico.....	8
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1.	Infiltração de água no solo .....	9
3.2.	Recarga de aquíferos, vulnerabilidade e suas áreas potenciais .....	10
3.3.	Localização da área a ser estudada e suas características hidrogeológicas ....	12
3.4.	Legislação específica sobre água subterrânea .....	13
3.5.	Sistema de Informação Geográfica (SIG) .....	15
3.6.	Estado da arte.....	16
4.	METODOLOGIA.....	18
4.1.	Delimitação das áreas potenciais de recarga .....	18
4.2.	Aplicação da metodologia em um ambiente SIG .....	20
4.3.	Levantamento de dados e classificação.....	22
4.3.1.	Bacia hidrográfica .....	22
4.3.2.	Hipsometria, declividade e rede de drenagem .....	23
4.3.3.	Geologia.....	26
4.3.4.	Geomorfologia .....	27
4.3.5.	Solo.....	29
4.3.6.	Uso e ocupação do solo .....	30
4.3.7.	Vegetação.....	33
4.3.8.	Precipitação.....	33
5.	RESULTADOS .....	35

5.1.	Identificação das áreas potenciais de recarga na Bacia do Pratygy .....	35
5.1.1.	Principais fatores que influenciaram nas áreas de recarga .....	37
6.	CONCLUSÕES.....	39
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA .....	42

## 1. INTRODUÇÃO

A água tem papel essencial para sobrevivência humana e para o desenvolvimento das sociedades, tendo em vista que ela pode ser usada desde o abastecimento doméstico/industrial e irrigação até a geração de energia hidroelétrica e diluição e afastamento de efluentes. (HELLER, 2006).

Durante milhares de anos, todas as forças em desenvolver tecnologias para captação de água eram voltadas para as águas superficiais. Porém, durante o século XX, houve a necessidade de avanço na exploração da captação das águas subterrâneas ocasionada pelo crescimento populacional, o qual necessitava de água, comida e renda. (WWAP, 2012).

A taxa global de captação de água subterrânea triplicou nos últimos 50 anos e continua a aumentar a uma taxa anual de 1 a 2%. Sugere-se que a captação de águas subterrâneas é responsável por aproximadamente 26% de retirada total de água global e equivale a cerca de 8% da recarga das águas subterrâneas globais (WWAP, 2012).

Segundo FAGUNDES apud CETESB (2010), as águas subterrâneas estão contidas em unidades geológicas chamadas de aquíferos. Essas estruturas são suficientemente permeáveis e capazes de armazenar e transmitir água em quantidades que possam ser aproveitadas como fonte de abastecimento. A infiltração é o fenômeno de entrada de água no solo através da superfície, e que depende da ocorrência, intensidade e duração da precipitação, temperatura, umidade, velocidade do vento, características e espessura do solo, superfície topográfica, vegetação e uso do solo (MEMON, 1995).

A maioria dos aquíferos tem uma considerável capacidade de armazenamento, o que os mantém com volume disponível para retirada, mesmo durante longos períodos sem chuva. Contudo, não importa o quão grande seja o volume de água contido nestes aquíferos, por eles não serem renováveis, podem eventualmente ser captados até sua exaustão, se seu uso não for administrado adequadamente (WWAP, 2012).

As alterações derivadas do uso do solo, promovidas pelo crescimento populacional, são alguns dos fatores que colocam 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 (OHOFUGI, 2020).

Uma grande ferramenta para estimar as zonas potenciais de recarga de aquífero é por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), os quais permitem analisar as áreas com potencial de permeabilidade do solo por meio da sobreposição de mapas temáticos, indicando onde os contaminantes podem penetrar mais facilmente.

A área a ser estudada no projeto contempla a bacia hidrográfica do Rio Pratagy. Sua formação geológica está contida numa faixa predominantemente de materiais das bacias sedimentares costeiras com vegetação da Mata Atlântica e Restingas (ANA, 2011).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliação de uma proposta metodológica e posterior delimitação de áreas com potencial de recarga de aquífero da Bacia do Pratagy, por meio de Sistema de Informação Geográfica utilizando mapas temáticos das características físicas da região.

### **2.2. Objetivo Específico**

- Gerar mapas temáticos sobre características geológicas, hidrológicas, geomorfológicas, do solo, declividade da bacia, uso e ocupação do solo e precipitação atribuindo-lhes classes e pesos;
- Utilizar ferramentas de geoprocessamento para avaliar a proposta metodológica das possíveis áreas de recarga e contaminação.

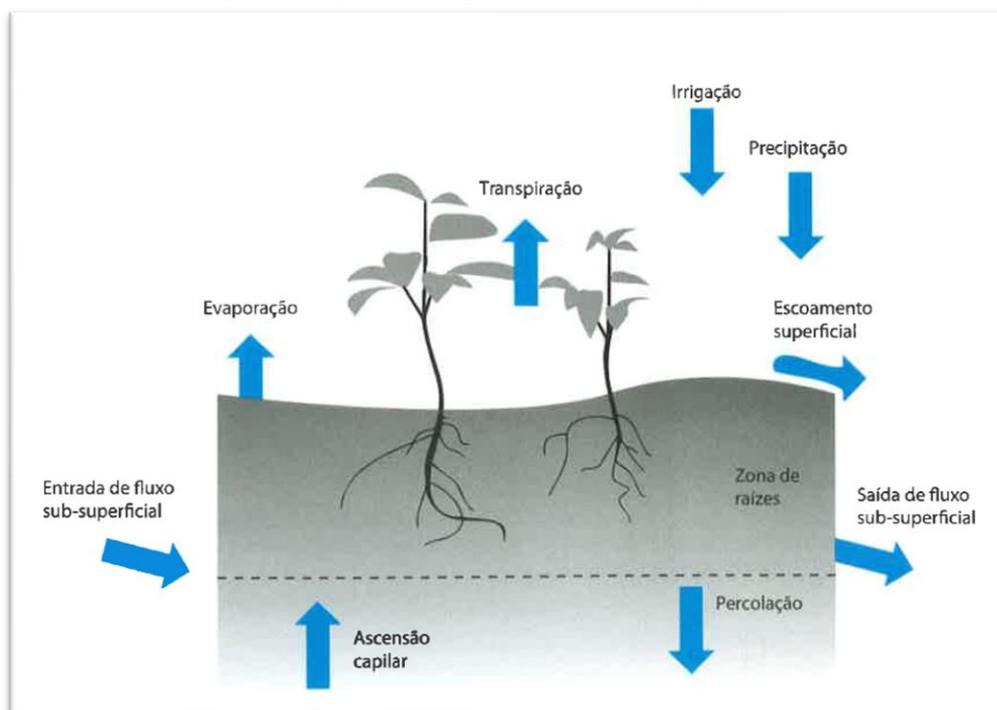
### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este item se inicia com a premissa de abordar conceitos fundamentais relativos à água subterrânea, sua infiltração, recarga, vulnerabilidade e armazenamento, haja vista a importância desses conceitos basilares, para em seguida delimitar a área a ser estudada e desenvolver o estudo em ambiente computacional. Apresenta-se também o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e os principais estudos envolvendo-o com aspectos relacionados à água subterrânea. Além disso, de forma breve, explicitar as principais normas correlatas à água subterrânea e seu uso.

#### 3.1. Infiltração de água no solo

A água no solo é sujeita a diversos processos como a infiltração, percolação, ascensão capilar e redistribuição interna. A infiltração é considerada como o momento de penetração da água na camada mais superficial do solo. A percolação é o movimento descendente da água no solo. A ascensão capilar é a movimentação para cima, a partir da camada mais úmida, por efeito da capilaridade do solo. O processo de redistribuição interna pode incluir fluxos laterais e verticais, no solo (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Figura 1: Esquema dos tipos de interação de água no solo



Fonte: COLLISCHONN; DORNELLES, 2013

Esses processos dependem fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da sua superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presentes no interior do solo. À medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superiores vão se umedecendo de cima para baixo e, enquanto houver aporte de água o perfil de umidade tende a saturar, sendo a superfície o primeiro nível a atingi-lo.

Caso a precipitação atinja o solo numa intensidade menor que sua capacidade de infiltração, toda a água será absorvida. Porém, se a precipitação continuar, pode chegar num momento em que sua capacidade de infiltração diminui a tal ponto que se iguala à precipitação, e é a partir desse momento que a capacidade de infiltração decresce exponencialmente no tempo, tendendo a um valor mínimo. Toda a parcela não infiltrada gera filetes de água chamados de escoamento superficial (TUCCI, 2001).

### **3.2. Recarga de aquíferos, vulnerabilidade e suas áreas potenciais**

Segundo Xu e Beekman (2003), a recarga de água subterrânea pode ser definida como a entrada de água para o aquífero. Esse fenômeno pode ocorrer de quatro formas distintas: por meio de um fluxo descendente de água através da zona não saturada, fluxo interno do aquífero nas direções horizontal e/ou vertical, através de corpos d'água superficiais próximos e recarga artificial.

Existe um conjunto de fatores que determinam a ocorrência de água subterrânea em uma região tais como geologia, morfologia, clima, hidrologia, vegetação e solos, dentro os quais a geologia é o fator de destaque na determinação da distribuição e importância das estruturas armazenadoras (CABRAL, 2008).

Segundo Healy e Scanlon (2010), a taxa, o momento e a localização da recarga são questões importantes nas áreas de abastecimento de água subterrânea. Em geral, a probabilidade de contaminação do lençol freático aumenta à medida que a taxa de recarga aumenta. Áreas de alta recarga são frequentemente equiparadas a áreas de alta vulnerabilidade de aquíferos à contaminação.

A vulnerabilidade pode ser definida como um conjunto de características físicas, químicas e biológicas da zona não saturada e/ou aquífero confinante que controlam a chegada do contaminante no aquífero simultaneamente. Tendo em vista a maior facilidade de prevenir a

contaminação do que remediá-la, houve uma crescente preocupação em estudar as áreas vulneráveis a partir de técnicas de mapeamento como uma ferramenta para proteção dos recursos hídricos subterrâneos (CABRAL, 2008).

Diante disso, faz-se necessário o gerenciamento das áreas potenciais de recarga de água subterrânea, uma vez que essas são importantes na localização de áreas de recarga do aquífero e de possível contaminação, em uma determinada região.

Vale ressaltar que as áreas de armazenamento de água subterrânea não podem ser consideradas 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).

Para estimar a recarga dos aquíferos, é importante entender alguns fatores que controlam e limitam as possíveis áreas de recarga de aquífero, como a irrigação, ambiente externo, rios, entre outros, mostrados no Quadro 1.

Quadro 1: Fatores influentes para a estimativa de recarga de aquífero

<b>Ambiente Externo</b>	Precipitação (magnitude, intensidade, duração e distribuição espacial), topografia, escoamento, formação de poças de água, uso e ocupação do solo e evapotranspiração
<b>Irrigação</b>	Frequência, perda d'água proveniente de canais, forma de aplicação, preparação do terreno.
<b>Rios</b>	Se entram ou saem da área de estudo e se são influentes ou efluentes em relação ao aquífero
<b>Solo</b>	Composição, espessura, características hidráulicas, umidade, profundidade da zona de raízes

<b>Zona</b>	Não saturada: mecanismo de fluxo, condutividade hidráulica e heterogeneidade
<b>Aquífero</b>	Profundidade do nível de água, capacidade de armazenar a água

Fonte: MALDENER apud LERNER, 2010

### 3.3. Localização da área a ser estudada e suas características hidrogeológicas

A região em estudo é a bacia do Pratagy, que engloba os municípios de Maceió, Rio Largo e Messias que são componentes do estado de Alagoas . Essa bacia hidrográfica é muito importante pois ela fornece água para uma parte de Maceió. Segundo a Companhia de Saneamento de Alagoas, a vazão de captação do Sistema Pratagy é de 600 litros por segundo e abastece: Pajuçara, Jaraguá, Ponta verde, Jatiúca, Mangabeiras, Jacarecica, Ponta da terra, Poço, Cruz das almas, Jacintinho e Feitosa (Casal, 2021). A delimitação da Bacia hidrográfica do rio Pratagy está ilustrada na Figura 6.

Conforme a CASAL (2021), em Maceió existem cerca de 200 unidades de poços perfurados, que totalizam uma vazão de cerca de 1.880 l/s. A captação subterrânea corresponde a 68% da vazão de água potável da capital, na qual está incluso tanto os poços de sistemas isolados (que atendem conjuntos habitacionais específicos) quanto os que estão interligados ao macro sistema de abastecimento de Maceió.

Segundo o plano diretor da Região Hidrográfica do Pratagy (2006), a geologia da bacia do Pratagy é formada majoritariamente por rochas sedimentares de cronologia terciário-quaternário e, em uma pequena porção, por rochas magmáticas. Geomorfologicamente, a bacia do Pratagy é composta por tabuleiros costeiros e suas características pedológicas são divididas entre latossolos e argissolos. Segundo a classificação de Köppen, apresenta um clima tropical quente e úmido do tipo As', com ocorrência de chuvas no outono e inverno e com temperaturas elevadas e baixa amplitude térmica, com temperaturas anuais médias sempre superiores a 20°C (COHIDRO, 2006).

O resultado das características geomorfológicas, pedológicas e hidrogeológicas gera um aquífero fissural - na região do alto curso do rio Pratagy - caracterizado pela inexistência ou presença muito reduzida de espaços intergranulares nas rochas, sendo essas muito heterogêneas e anisotrópicas, gerando vazões em poços muito baixas. Sobreposto a essa estrutura, há o

domínio intersticial ou poroso, com o protagonismo da formação Barreiras-Marituba como aflorante, que é o principal manancial na região dos tabuleiros (COHIDRO, 2006).

### **3.4. Legislação específica sobre água subterrânea**

A primeira medida legal implementada nos recursos hídricos subterrâneos do Brasil foi o Código das Águas – promulgado em 10 de julho de 1934 - e que ainda está vigente, apesar de posteriores alterações promovidas por leis.

A constituição promulgada em 1988 modificou o Código das Águas. Dentro do escopo do texto das alterações propostas, observa-se a inclusão das águas subterrâneas como bens dos estados e distrito federal. Em função disso, o embasamento legal que rege as águas subterrâneas, como recursos hídricos, tem amplitude estadual.

Em 8 de janeiro de 1997 foi instituída a Lei 9.433 - Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) – que tem como finalidade: assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais; incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

A referida lei foi inovadora ao assegurar o acesso e múltiplos usos dos recursos hídricos no longo do prazo e na abertura do processo decisório para a participação dos diferentes agentes interessados, baseada na criação de instrumentos, como: o enquadramento dos corpos de água em classes, o plano de bacias hidrográficas, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o sistema de informações (SANTOS E GUSMÃO, 2013).

A Lei Federal nº 9433/1997 institui o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), o qual é composto por um conjunto de órgão e colegiados com o intuito de fazer a gestão dos usos da água de forma democrática e participativa. Dentro sua composição, Conselho Regional de Recursos Hídricos (CNRH) faz parte e contribui com os principais documentos disciplinadores da temática de águas subterrâneas no Brasil (OHOFUGI, 2020). O Quadro 2 traz as principais resoluções do CNRH.

Quadro 2: Resoluções do CNRH referente às águas subterrâneas no contexto nacional

<b>Resoluções CNRH</b>	<b>Diretrizes Gerais</b>
Resolução nº 09, de 21 de junho de 2000	Institui a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas.
Resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001	Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas.
Resolução nº 22, de 24 de maio de 2002	Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos.
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 107, de 13 de abril de 2010	Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo, Quantitativo de Águas Subterrâneas.

Fonte: CNRH, 2021

Além da legislação a nível nacional, existem também normas estaduais como a Lei Estadual nº 5965/97 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, instituindo um sistema estadual de gerenciamento integrado de recursos hídricos e dá outras providências.

O órgão deliberativo e normativo central do Sistema Estadual de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos é o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), que pode, por meio de regulamentos, definir a captação da água, subterrânea ou superficial, no âmbito das bacias. Alguns desses regulamentos estão dispostos no Quadro 3.

Quadro 3 - Resoluções do CERH referente às águas subterrâneas

<b>Resoluções CERH</b>	<b>Diretrizes Gerais</b>
Resolução nº 04, de 15 de dezembro de 2004	Cria o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Pratagy e dá outras providências.
Resolução nº 06, de 24 de maio de 2005	Cria as Regiões Hidrográficas do Estado de Alagoas e dá outras providências.

Resolução nº 07, de 15 de dezembro de 2005	Cria a Câmara Técnica para assessoramento técnico da execução do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Alagoas.
Resolução nº 002, de 23 de dezembro de 2014	Reconhece a Associação Pró-gestão de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica da Região do Rio Coruripe - AGERH como Secretaria Executiva do Comitê da Bacia Hidrográfica do Pratygy e dá outras providências.
Resolução nº 04, de 17 de setembro de 2019	Reconhece e convalida as eleições dos Comitês de Região Hidrográfica do CELMM, do Rio Coruripe, do Rio Piauí e do Rio Pratygy.

Fonte: SEMARH, 2021.

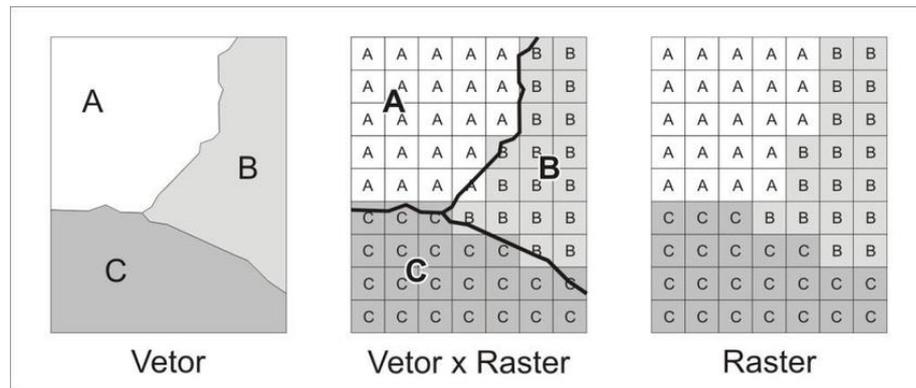
### 3.5. Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Segundo Paranhos Filho *et. al.* (2020), geoprocessamento pode ser compreendido como o conjunto de técnicas de processamento e análise de dados espaciais, dados ou informações geográficas. Dessa forma, permite classificar e quantificar os recursos naturais, incluindo os recursos hídricos. O geoprocessamento compreende a cartografia, sensoriamento remoto, Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um sistema que processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies (SPRING, 2021). Os SIGs possibilitam a digitalização de mapas, o processamento de imagens, o gerenciamento de bancos de dados georreferenciados, análises estatísticas de dados espaciais e atributos e análises geográficas, podendo ainda determinar a evolução espacial e temporal de um determinado fenômeno geográfico (ROCHA, 2000)

Os mapas temáticos são poderosas ferramentas de representação de regiões geográficas definidas por um ou mais polígonos, que têm viés representativo contendo informações inerentes à forma. Pode também ser representado por meio de dados matriciais que possuem informação específica para cada célula.

Figura 2: Representação vetorial e matricial de um mapa temático



Fonte: PEREIRA (2013)

Logo, os SIG permitem identificar situações e padrões reais, porém, de forma remota. Ou seja, eles podem ser utilizados em estudos direcionados 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 (OHOFUGI, 2020).

Uma ferramenta importante no geoprocessamento, são os Modelos Digitais de Elevação (MDE), disponível nos formatos de arquivos matriciais (TIF), pois representa as altitudes da superfície topográfica agregada aos elementos geográficos existentes sobre ela, como cobertura vegetal e edificações. No Brasil esses dados estão disponibilizados de diversas formas e uma delas, que foi utilizada no estudo, é por meio do MDE do TOPODATA, fornecido pelo INPE com resolução espacial 30x30 metros.

Sendo assim, as ferramentas SIG têm sua aplicação com assuntos correlatos às águas subterrâneas e aquíferos. Como exemplo o estudo desenvolvido por ZACHARIAS, DIMITRIOU, KOUSSOURIS (2003), que visou calcular a contribuição de águas subterrâneas em um lago usando um modelo de balanço hídrico, medições do nível de água, fotografias aéreas e ferramentas SIG. Vários estudos foram desenvolvidos no âmbito de mapeamento de risco (SIIVEIRA *et. al.*, 2008), análise de vulnerabilidade à contaminação do aquífero (MIRANDA, 2013), mapeamento de áreas de recarga de aquífero (ALVES, 2009), entre outros.

### 3.6. Estado da arte

Em 2013, Reginato apresentou um mapeamento, e conseqüente estudo, da vulnerabilidade de aquíferos fraturados na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, o qual é composto por diferentes rochas vulcânicas que pertencem à formação Serra Geral. Foi

utilizado no estudo os métodos DRASTIC e GOD e que indicou a ocorrência de três classes de vulnerabilidade: baixa (45,6%), intermediária (54,1%) e alta (0,4%) para o primeiro método e baixa (79,1%) e média (20,9%) para o GOD. Dessa forma, o método DRASTIC, foi considerado melhor por apresentar um maior número de classes, que foi uma consequência de ter utilizado mais parâmetros hidrológicos que o método GOD.

Em perspectiva internacional, um estudo apresentado por Arnous (2016) teve como objetivo identificar, modelar e mapear zonas potenciais de água subterrânea na zona árida do Sinai do Sul (Egito), usando dados de sensoriamento remoto e um sistema de informação geográfica (SIG) para gerar vários mapas temáticos hidromorfogeológicos. Ao fim, foi construído um mapa de prospecção de água subterrânea usando uma combinação linear de fatores em uma base raster, por meio do software ArcGIS. O resultado integrado foi classificado em quatro categorias - de zonas potenciais de água subterrânea - de alta a baixa probabilidade, o qual foi validado a partir de análises geofísicas auxiliares de campo.

Silva (2020) objetivou seu estudo em mapear a vulnerabilidade natural e antrópica à contaminação do Sistema Aquífero Barreiras (SAB) na Bacia do Rio Pirangi, aplicando os métodos GOD, DRASTIC e IS. A aplicação dos métodos GOD, DRASTIC e IS gerou resultados predominantemente distintos, devido aos diferentes parâmetros considerados em cada método e da relevância de cada na análise. Enquanto o método DRASTIC considera a profundidade ao lençol freático e o impacto da zona não saturada como principais fatores controladores, o método IS prioriza a litologia do aquífero e o impacto antrópico. No método GOD, apesar de não atribuir pesos para os parâmetros analisados, tendo em vista sua simplicidade, desconsidera características importantes da zona saturada como o material do aquífero e a condutividade hidráulica.

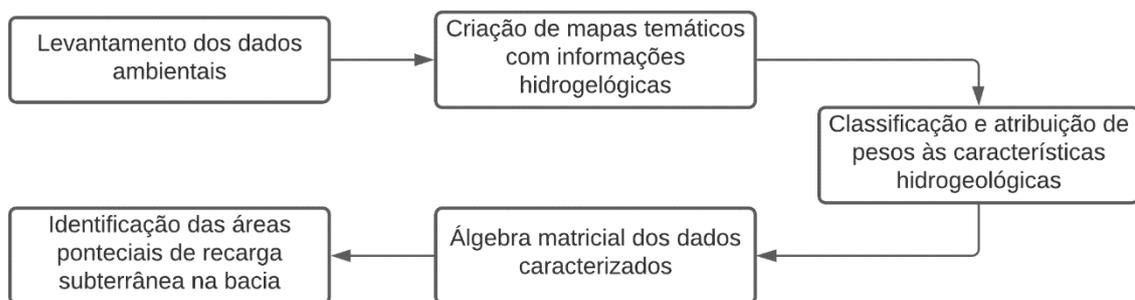
Ohofugi (2020) desenvolveu um trabalho cujo objetivo foi elaborar uma proposição metodológica para determinação de Áreas Estratégicas de Gestão (AEG), com finalidade de conversão, uso e manutenção das disponibilidades hídricas das bacias hidrográficas dos Rios Lontra e Corda, localizada na região Norte do Estado do Tocantins, afluente da Bacia do Rio Araguaia. Ao fim, foi concluído que a metodologia, empregada a partir de ferramentas SIG, permitiu a obtenção de resultados coerentes com as características da região, com a facilidade de que as informações utilizadas estão disponíveis em bancos de dados públicos.

## 4. METODOLOGIA

A metodologia que será empregada é uma adaptação baseada nos trabalhos feitos por Melo Neto *et. al* (2013) e Ohofugi (2020) os quais desenvolveram uma metodologia baseada em SIG para delimitar as áreas potenciais de recarga de água subterrânea nas bacias hidrográficas do Rio Siriri e Rio Lontra e Corda, respectivamente.

Os procedimentos que serão utilizados para atingir o objetivo do projeto serão fundamentados numa abordagem sistêmica, a qual conjugará o conhecimento teórico com reflexões no objeto de estudo (OHOFUGI, 2020). A Figura 3, mostra como serão os passos seguidos pelo projeto para obter os resultados das áreas de recarga do aquífero.

Figura 3: Fluxograma operacional do projeto



Fonte: Autor, 2021.

O software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizado no trabalho foi o QGIS 3.10.14, que disponibiliza por meio de seus recursos todas as ferramentas necessárias para encontrar as informações objetivadas no trabalho.

### 4.1. Delimitação das áreas potenciais de recarga

Para a delimitação das áreas potenciais de recarga subterrânea nas bacias, adaptou-se as metodologias propostas por Melo Neto *et. al* (2013) e Ohofugi (2020). A metodologia é baseada na geração de mapas temáticos das características hidrogeológicas da região, a partir de variáveis ambientais que se influenciam a capacidade de armazenamento de água subterrânea em uma bacia hidrográfica.

Cada mapa gerado terá uma distribuição de pesos e cargas, de acordo com a magnitude da influência que provocam na ocorrência das águas subterrâneas. As variáveis ambientais que serão consideradas no trabalho são a representação da expressão hidrológica das características físicas presentes em uma bacia hidrográfica. Cada uma dessas variáveis ambientais influencia de forma específica a movimentação da água no solo. O Quadro 4 apresenta a interferência de cada parâmetro na taxa de infiltração:

Quadro 4: Interferência das variáveis ambiental na armazenagem de água subterrânea

<b>Varáveis ambientais</b>	<b>Função hidrológica</b>	<b>Características físicas</b>
Geologia	Exprime a <b>permeabilidade das rochas</b>	Representa a capacidade que o meio poroso, ao qual é inerente ao solo, apresenta em transmitir águas em determinada temperatura e viscosidade. Essa característica condiciona a capacidade de armazenamento de água nos solos e o escoamento superficial. A forma, compactação e distribuição das partículas interferem diretamente na ocorrência da permeabilidade.
Geomorfologia	A <b>hipsometria</b> dita o fluxo preferencial em profundidade	Representa a rota preferencial do fluxo que tenderá a predominar nas diversas formas de relevo que ocorrem na bacia hidrográfica onde, superfícies tabulares têm maior capacidade de infiltração.
	A <b>declividade</b> dita o fluxo preferencial em declividade	Refere-se as diferentes declividades que as superfícies terrestres da bacia podem ter e que influencia na energia cinética promovida ao fluxo interferindo nos níveis de escoamento superficial e subsuperficial.
Solos	Potencial de <b>infiltração</b> dos solos	É referente à penetração de água em seu perfil, que, dentre outros fatores, é dependente da textura. As texturas que compõem os solos podem ser de arenosa a argilosa, onde um é bem ou excessivamente

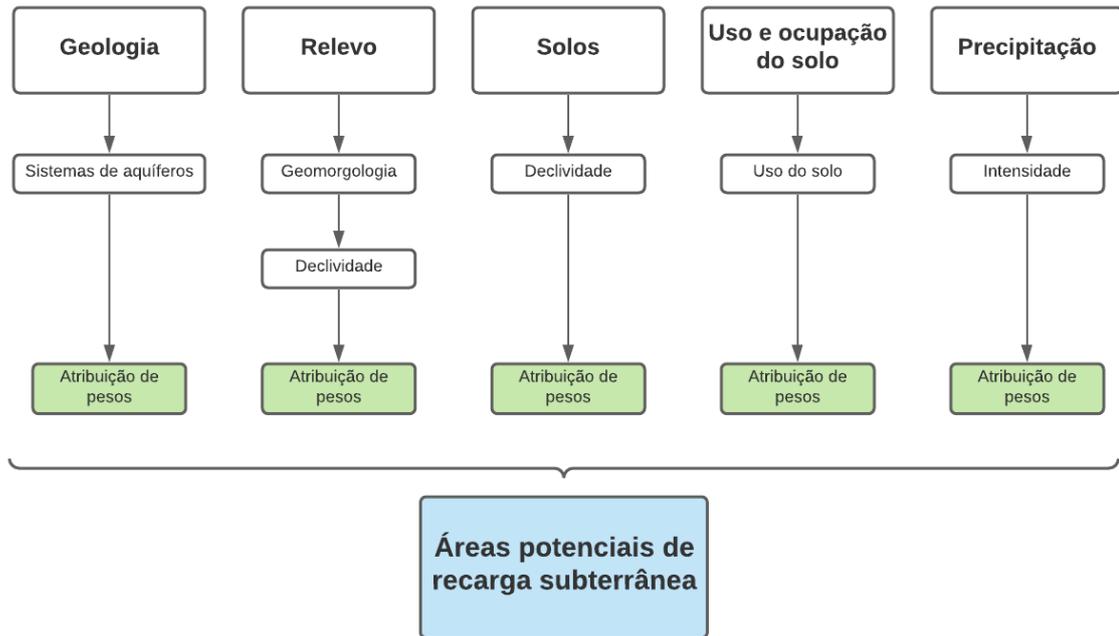
		drenado e o outro mal a moderadamente drenado, respectivamente.
Uso e ocupação do solo	Grau de <b>proteção</b> e tipo de uso do solo	Os diferentes tipos de vegetação exercem papéis específicos, sob o ponto de vista de função hidrológica, como barreira para o fluxo de água precipitada, diminuindo sua energia cinética. Ao ser interceptada, a água diminui sua velocidade e dá preferência para rotas de infiltração, percolação e armazenagem.
Precipitação	Entrada de água no sistema hídrico	A precipitação é toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. A recarga natural depende fundamentalmente do regime pluviométrico.

Fonte: adaptado de Ohofugi, 2020.

#### 4.2. Aplicação da metodologia em um ambiente SIG

O software a ser utilizado para a elaboração dos mapas e posterior processamento é o QGIS 3.10.14. Na Figura 4 está ilustrado um fluxograma da metodologia que será executada a partir do trabalho realizado por Ohofugi (2020).

Figura 4: Adaptação do fluxograma da metodologia para o projeto



Fonte: Adaptado de Ohofugi, 2020.

Serão atribuídos aos mapas temáticos pesos, os quais o menor peso significa, em termos qualitativos, menor chance de que o processo de recarga ocorra na bacia hidrográfica e o maior peso indicar maior chances de acontecê-la. Valores intermediários indicam chance mediana de ocorrer a recarga de água subterrânea no aquífero.

A partir da fixação dos pesos em cada píxel do raster é possível realizar uma álgebra de mapas utilizando a Equação 1:

$$AR_{SUB} = P_{GEO} \times P_{HIP} \times P_{DEC} \times P_{US} \times P_{CS} \times P_{GEO} \times P_{PREC}$$

Onde,

$AR_{SUB}$  = valor do potencial de recarga subterrânea;

$P_{GEO}$  = peso associado à geomorfologia;

$P_{HIP}$  = peso associado à hipsometria;

$P_{DEC}$  = peso associado à declividade;

$P_{US}$  = peso associado ao uso e ocupação do solo;

$P_{CS}$  = peso associado à categoria da classe do solo

$P_{GEO}$  = peso associado à categoria geologia

$P_{PREC}$  = peso associado à precipitação.

Por fim o resultado será reclassificado em intervalos de baixo, médio e alto potencial de recarga, a fim de obter as áreas com maior potencial de recarga.

### 4.3. Levantamento de dados e classificação

Este item teve como objetivo classificar e representar por meio de mapas os dados obtidos sobre a caracterização da bacia.

#### 4.3.1. Bacia hidrográfica

O arquivo vetorial utilizado da bacia foi disponibilizado pela Secretária de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH/AL). Essa delimitação (Figura 6) mostra que a bacia do Pratagy se entende por três municípios - Maceió, Rio Largo e Messias – e tem área em trono de 194,5 km<sup>2</sup>.

Entretanto, esse arquivo entrou em conflito com plano diretor, que foi feito em 2006, fruto de um contrato entre a Secretaria Executiva de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Naturais – SEMARHN e a COHIDRO – Consultoria, Estudos e Projetos S/C Ltda. Nesse arquivo (Figura 5), a bacia do Pratagy tem área de 151km<sup>2</sup>, indicando que o arquivo disponibilizado pela SEMARH/AL fornece área maior que a do plano diretor, por consequência, sua delimitação atinge maiores perímetros.

Tendo em vista que os demais dados foram disponibilizados pela SEMARH/AL, resolveu-se utilizar a delimitação demarcada pela mesma, pois creditou-se confiabilidade aos dados. Além disso, foi levado em consideração que essa delimitação vem sendo utilizada como base técnica nos processos internos da secretaria. No Quadro 5, apresentou-se a referência de cada um dos arquivos vetoriais (shp) adquiridos para realização do estudo.

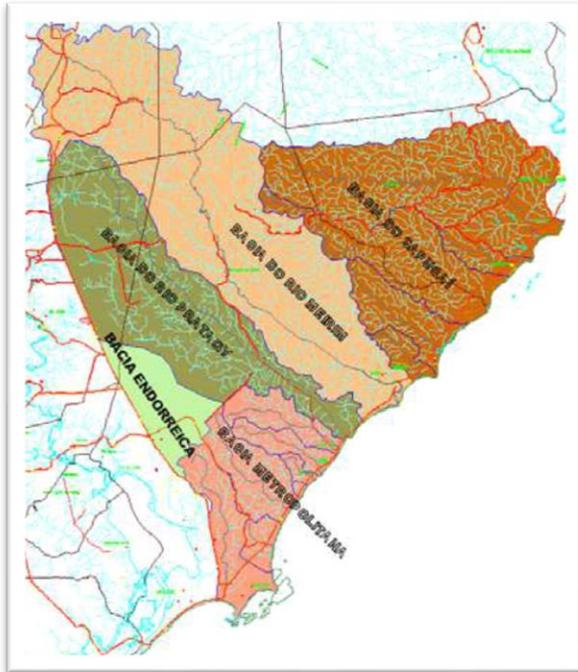
Quadro 5: Referência das informações coletadas para criação dos mapas temáticos

<b>Mapa temático</b>	<b>Instituição de referência</b>	<b>Tipos de arquivo</b>
Geologia	Serviço Geológico do Brasil -	Vetorial
Geomorfologia	CPRM	
Hipsometria	TOPODATA	Matricial

Declividade		
Rede de Drenagem		
Solos	Secretaria de Recursos	
Uso e Ocupação do Solo	Hídricos e Meio Ambiente -	Vetorial
Vegetação	SEMARH/AL	
Precipitação	Agencia Nacional de Águas -	Vetorial
	ANA	

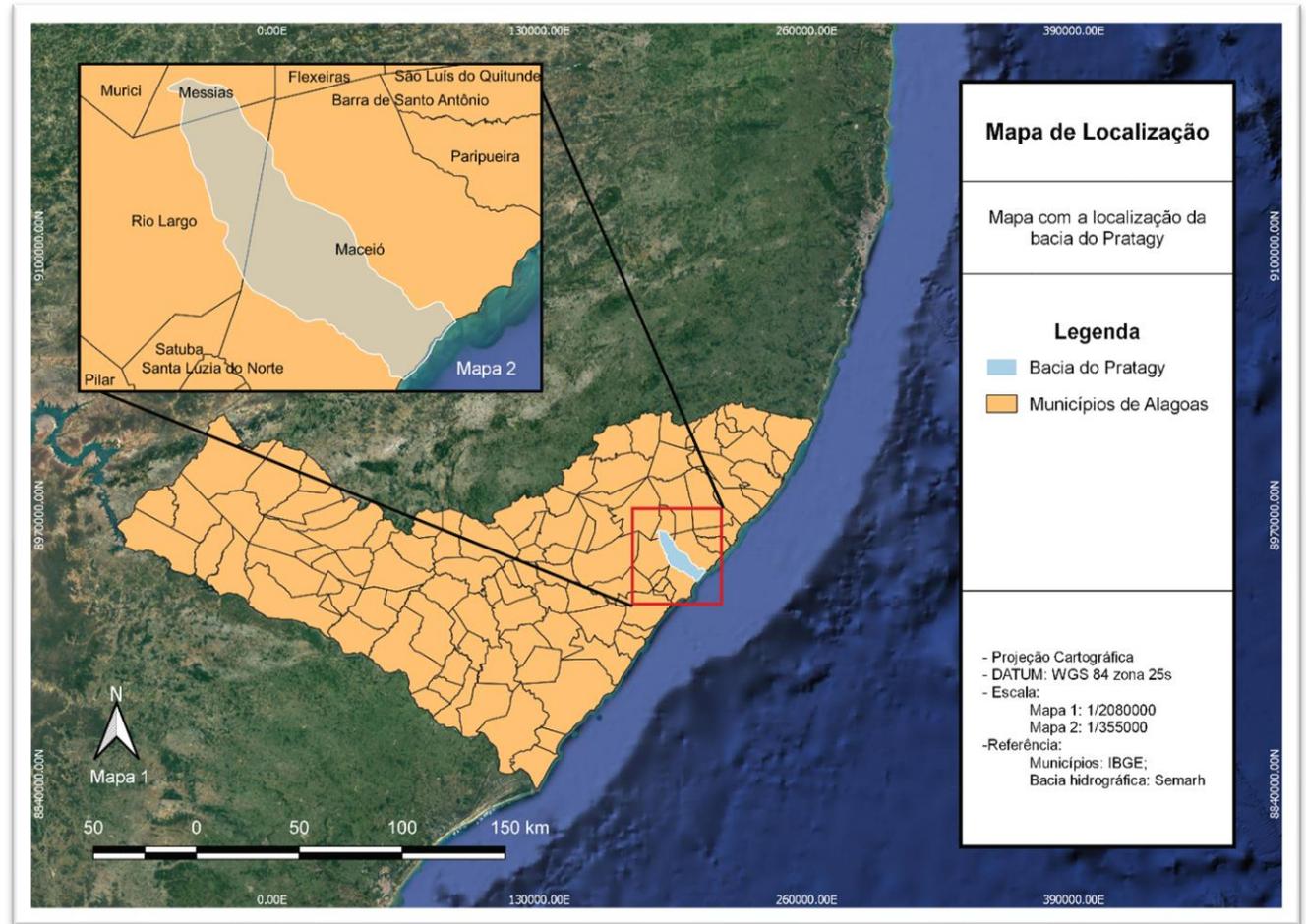
Fonte: Autor, 2021

Figura 5: Região hidrográfica do Pratygy



Fonte: COHIDRO, 2006

Figura 6: Bacia utilizada no estudo



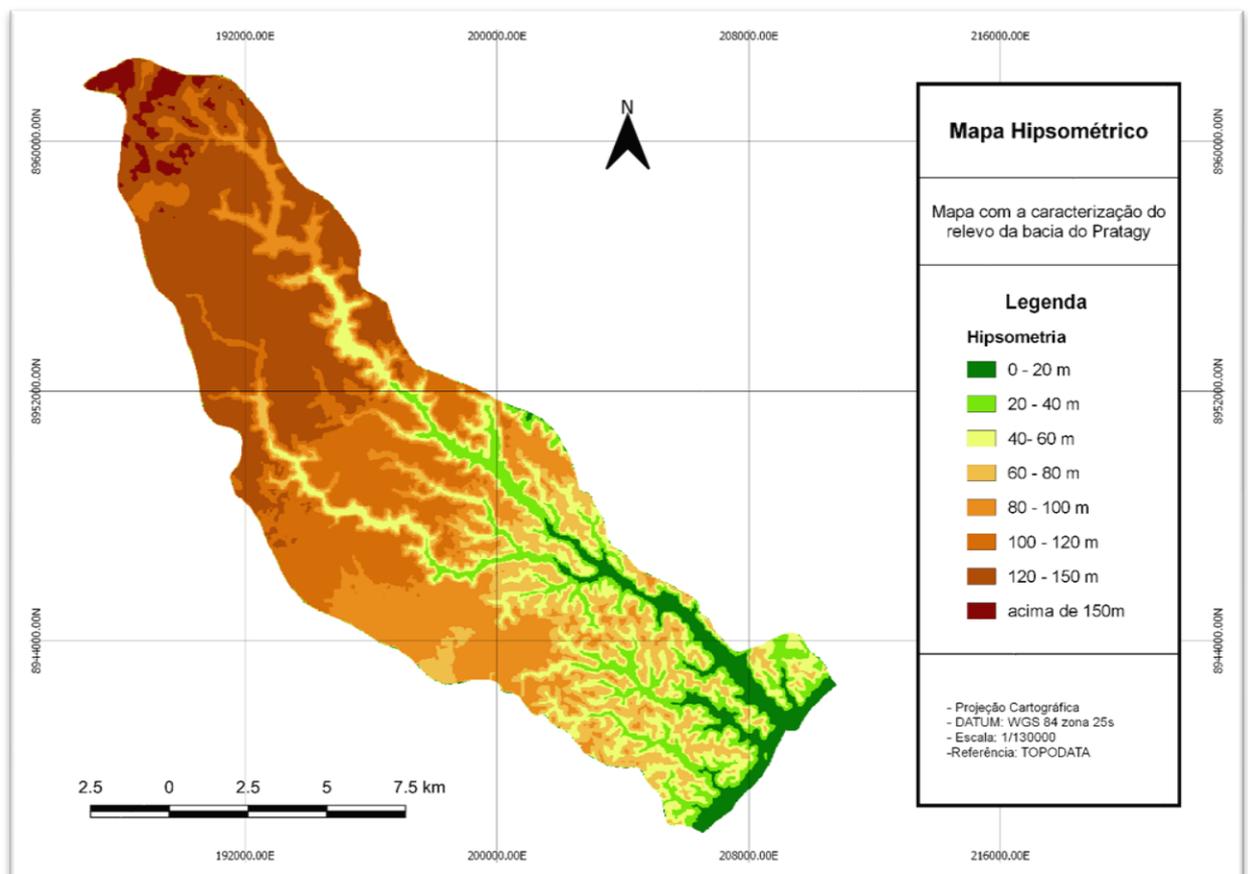
Fonte: Autor, 2021

### 4.3.2. Hipsometria, declividade e rede de drenagem

Os dados relativos à hipsometria, declividade e rede de drenagem foram criadas a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Esses arquivos foram obtidos por dados disponibilizados pelo TOPODATA e tratados para gerar as informações necessárias para o estudo.

O mapa hipsométrico, que é relativo às altitudes, pôde ser realizado por meio de uma categorização, das propriedades do arquivo, do MDE em faixas. Para facilitar a representação do relevo da bacia escolhida, o modelo foi subdividido em 8 categorias (Figura 7). Porém, no estudo e conseqüente cálculo das áreas de recarga, ele foi recategorizado em 3 classes, sendo elas 0-50 (i); 50-100 (ii) e 100-150 (iii). Essas classes terão, respectivamente, os seguintes pesos: 1 (i); 2 (ii) e 3 (iii).

Figura 7: Mapa temático de hipsometria da bacia do Pratagy

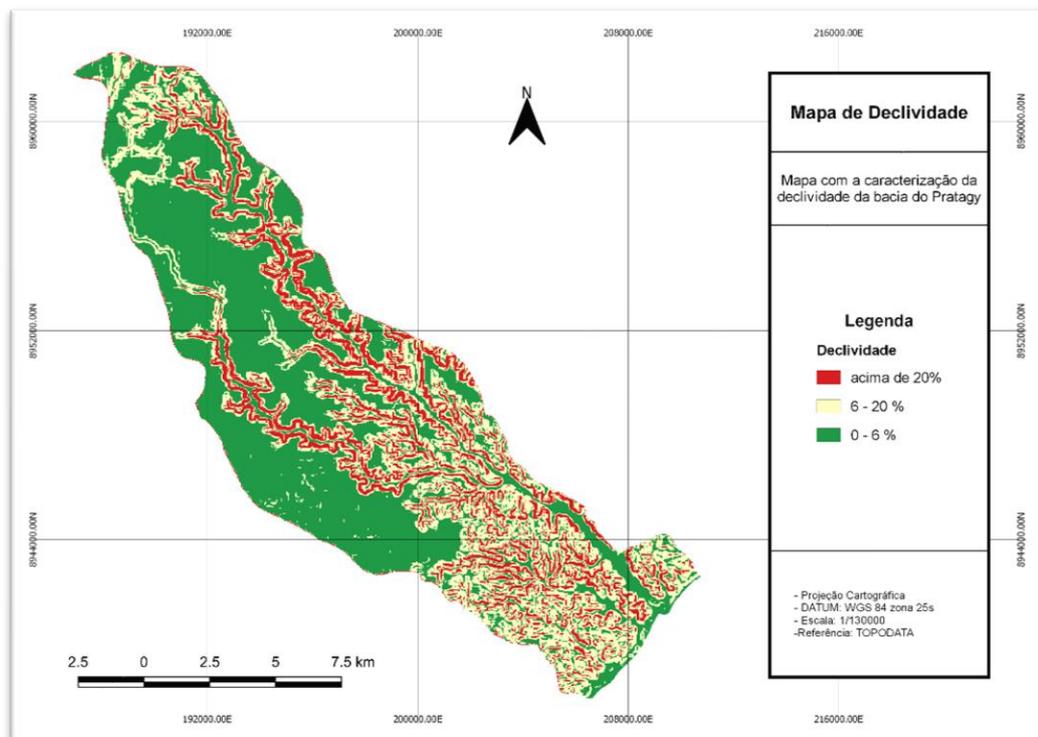


Fonte: Autor, 2021

A declividade também foi gerada a partir do MDE, porém com a utilização de algumas ferramentas suporte. Dentro do GRASS (ferramenta do QGIS) está disponível uma função chamada “r.slope.aspect” que, ao ser executada com a entrada do arquivo MDE, gera uma camada raster de declividade. Em seguida, foi executado os mesmos métodos de categorização utilizados no mapa hipsométrico e foi gerado o mapa da Figura 8.

As classes criadas seguiram o modelo adaptado por Melo Neto *et. al.* (2013), o qual dispõe três classificações distintas, sendo elas: 0-6% várzea, plano a suave ondulado (i); 6-20% suave ondulado a forte ondulado (ii); >20% forte ondulado a montanhoso (iii). Os pesos obtidos a partir das classes foram 3 (i), 2 (ii) e 1 (iii) respectivamnete.

Figura 8: Mapa temático da declividade da bacia do Pratagy



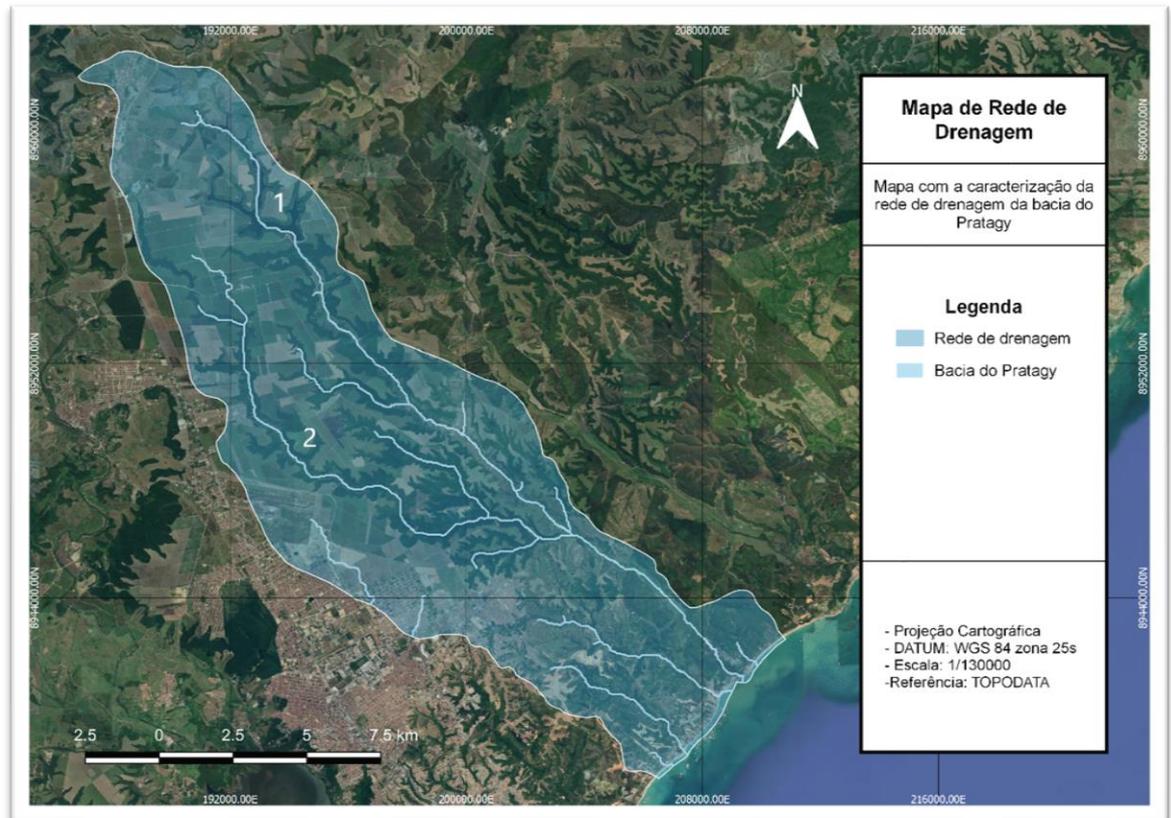
Fonte: Autor, 2021

Por fim, a rede de drenagem também foi criada a partir do MDE, com a função “r.watershed”, que é uma função de criação de bacias hidrográficas. Apesar de ter sido criado de forma independente, o resultado foi similar ao disponibilizado pelos dados da SEMARH/AL, os quais são possíveis identificar alguns dos cursos d’água encontrados.

O curso d’água mais alongado, apresentado na Figura 9, é o Rio Pratagy, que é o principal da Bacia do Pratagy, com extensão aproximada de 29 quilômetros e disponibilidade hídrica na

sua foz de 1,203 m<sup>3</sup>/s, com base na Q<sub>90%</sub> (SILVA JUNIOR, 2005). O principal afluente do Rio Pratagy, o Rio Messias (representado pelo número 2), possui 20 quilômetros de comprimento.

Figura 9: Mapa temático da rede de drenagem da Bacia do Pratagy



Fonte: Autor, 2021

Nesse parâmetro, as classes variaram apenas pela presença da água, ou seja, as regiões em que encontraram o curso d'água foram classificadas como Curso de Rio (i) e as que não encontraram como Outras Áreas (ii). Os pesos, seguindo essa classificação, foram fixados em 0 (i) e 1 (ii).

Quadro 6: Características hipsométricas, de declividade e rede de drenagem da Bacia do Pratagy

Característica Ambiental	Classe de potencial de armazenamento subterrâneo	Peso potencial de armazenamento subterrâneo
Mapa Hipsométrico	0-50 m	1
	50-100 m	2
	100-150 m	3
Declividade	0-6%	3
	6-20%	2
	>20%	1

Rede de drenagem	Curso de rio	0
	Outras áreas	1

Fonte: Adaptado de Melo Neto *et. al.*, 2020

### 4.3.3. Geologia

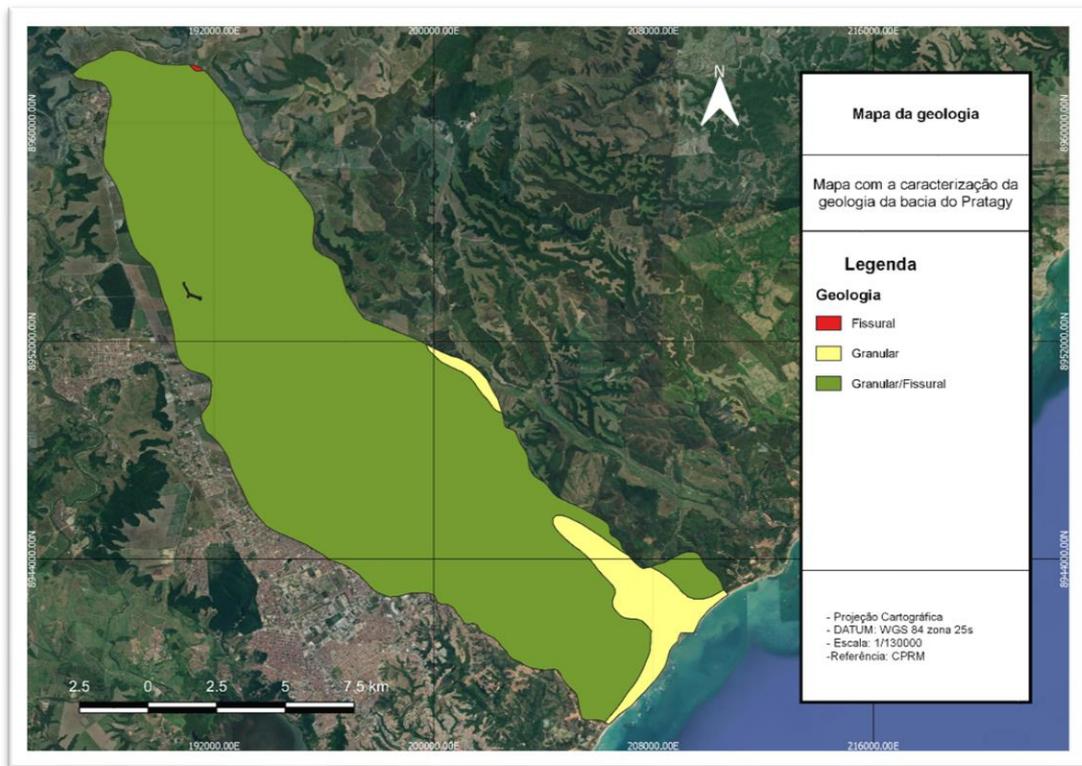
A partir da litologia dos reservatórios subterrâneos, a geologia admite três categorias distintas: Hidrogeologia Clássica, de Meios Fissurados e de Meios Cársticos. A Hidrogeologia Clássica é aquela dos meios porosos ou granulares, sendo formada por arenitos ou similares, que têm a capacidade de conferir altos coeficientes de armazenamento e condutividade hidráulica, em razão das características físicas de espaçamento entre os grãos que compõem o solo. Essa classificação é a que constitui os melhores e maiores reservatórios de água subterrânea (FEITOSA, 2008).

A Hidrogeologia de Meio Fissurados, criada a partir de fraturas e fissuras de rochas cristalinas (ígneas e metamórficas), é caracterizada por constantes discontinuidades, precária homogeneidade e forte anisotropia, ou seja, não apresenta parâmetros hidrodinâmicos constantes. A porosidade desse meio é meramente função das fissuras e outras discontinuidades, assim, em determinadas regiões, que não ocorre nenhuma fratura, a porosidade é praticamente nula e, em outras, localizadas nas fraturas, relativamente alta (FEITOSA, 2008).

Os Meios Cársticos são caracterizados por possuírem os carstes, que são regiões da superfície terrestre que apresentam algumas características especiais, como extensas zonas sem correntes de águas superficiais, existência de zonas sem vegetação, muita variação dos valores do coeficiente de armazenamento e da transmissividade, entre outros. Essas características são o resultado de um processo chamado de carstificação, ocorrida por meio de vários fatores geológicos. Nesse processo existe um mecanismo básico, que é a dissolução pela água de uma rocha carbonática (solúvel) fissurada (FEITOSA, 2008). No entanto, essa estrutura geológica não se encontra dentro do perímetro estudado.

A formação geológica da bacia do Pratygy, como mostrado na Figura 10, é composta majoritariamente pela estrutura granular/fissural, apesar de ter porções granulares, próximas ao litoral, e um pequeno ponto fissural, e a inexistência de características cársticas.

Figura 10: Mapa temático da geologia da bacia



Fonte: Autor, 2021

A classificação dos pesos foi baseada no grau de permeabilidade do solo que cada estrutura geológica permite. Sendo assim, as classes ficaram divididas em Baixa (i), Média (ii) e Alta (iii), as quais os pesos foram representados, em: 1 (i), 2 (ii) e 3 (iii), respectivamente. A distribuição das informações está disposta no Quadro 7.

Quadro 7: Tipos de Sistema Aquífero existente na bacia do Pratygy

<b>Sistema Aquífero</b>	<b>Classe de potencial de armazenamento subterrâneo</b>	<b>Peso potencial de armazenamento subterrâneo</b>
Granular	Média	2
Granular/fissural	Alta	3
Fissural	Baixa	1

Fonte: Adaptado de OHOFUGI, 2020

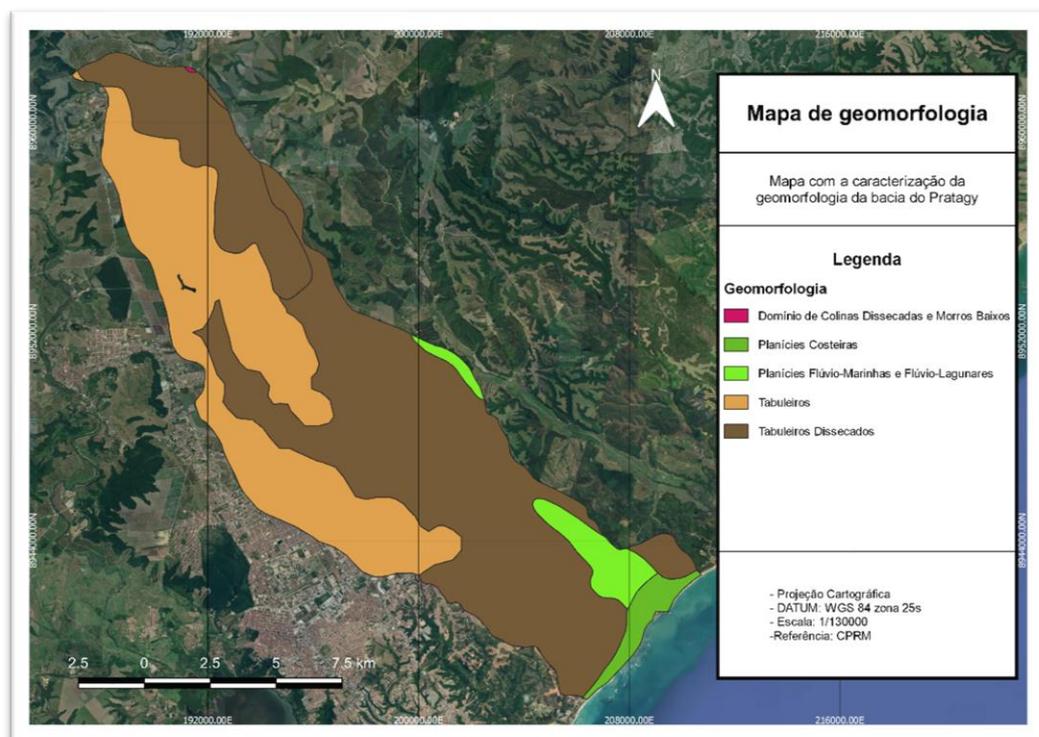
#### 4.3.4. Geomorfologia

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. Esse parâmetro, portanto, indica a rota preferencial do fluxo de água em relação ao relevo ao qual será submetido (OHOFUGI, 2020).

Na Bacia do Pratagy destaca-se o relevo tabuliforme, ou também conhecido como tabuleiro, que perpassa majoritariamente com suas extensas planuras, que são interrompidas somente pelos vales escavados por onde medram os canais de drenagens componentes da rede hidrográfica. Esses Tabuleiros são hoje onde se desenvolvem os cultivos dos canaviais na região de Maceió-AL (COHIDRO, 2006).

Porém, também há a presença de regiões de planícies as quais se alastram, principalmente, na região litorânea e se divide em planícies Costeiras e Flúvio-Marinhas.

Figura 11 Mapa temático da geomorfologia da bacia



Fonte: Autor, 2021

A classificação dessas áreas foi adaptada do estudo de Melo Neto *et. al.* (2013), em que a permeabilidade foi dividida em Baixa (i), Média (ii) e Alta (iii). Em razão disso, os pesos serão 0,5 (i), 1 (ii) e 3 (iii), e estão dispostos no Quadro 8.

Quadro 8: Tipos de Geomorfologia existente na bacia do Pratagy

Geomorfologia	Classe de potencial de armazenamento subterrâneo	Peso potencial de armazenamento subterrâneo
Planície	Média	1
Tabuleiro	Alta	3

Domínio de Colinas Dissecadas e  
Morros Baixos

Baixa

0,5

---

Fonte: Adaptado de Melo Neto *et. al.*, 2013

#### 4.3.5. Solo

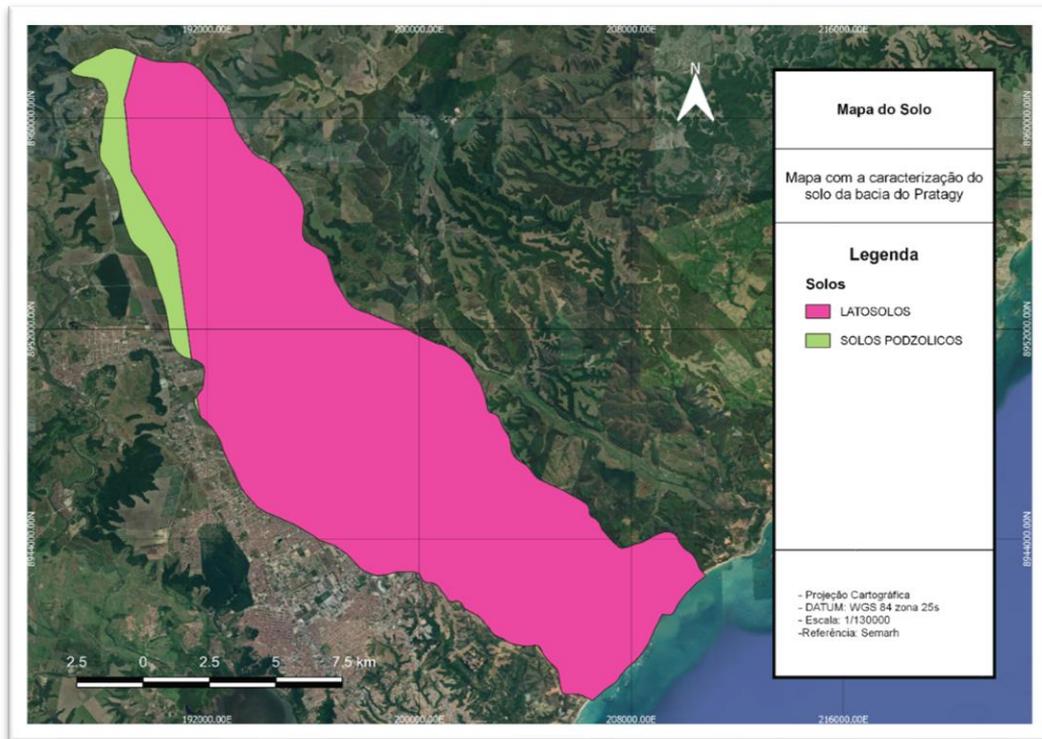
O solo pode ser classificado a partir da avaliação dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do perfil que os representa. Também é influenciado por aspectos ambientais da região como clima, vegetação, relevo, material originário, condições hídricas, características externas ao solo e relação solo-paisagem (EMBRAPA, 2021).

Dentre as características do solo encontradas na região da Bacia do Pratygy, disponibilizadas pela SEMARH/AL, predomina o latossolo, com uma pequena região de solos podzólicos/argissolos, ao noroeste. Esse último, é um tipo de solo constituído por material mineral, apresentando horizonte B textural, com argila de atividade baixa ou alta. O horizonte B textural é um horizonte mineral subsuperficial com textura francoarenosa ou mais fina, em que houve o incremento da argila (EMBRAPA, 2021).

A outra parcela dos solos da bacia, os latossolos, são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B. O horizonte B latossólico é um horizonte mineral cujos constituintes evidenciam avançado estado de intemperização explícito com textura francoarenosa ou mais fina e baixos teores de silte (EMBRAPA, 2021).

Os latossolos variam de fortemente a bem drenados, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenada. Já os podzólicos, a drenagem é muito variável, havendo estreita relação entre profundidade, grau de desenvolvimento, endurecimento ou cimentação do B espódico e drenagem do solo (BRASIL, 2018).

Figura 12: Mapa temático do solo da bacia



Fonte: Autor, 2021

As classes criadas foram feitas a partir dessas composições, as quais os argissolos são compostos por argila e os latossolos por silte. Sendo assim foram divididas em baixo (i) e médio (ii). Os pesos a partir das classes foram 1 (i) e 2 (ii), tendo em vista a baixa variedade dos tipos de solo e que nenhuma delas representa características impermeáveis.

Quadro 9: Tipos de Solo na bacia do Pratygy

<b>Tipo de solo</b>	<b>Classe de potencial de armazenamento subterrâneo</b>	<b>Peso potencial de armazenamento subterrâneo</b>
Argissolo	Baixo	1
Latossolo	Médio	2

Fonte: Adaptado de OHOFUGI, 2020

#### 4.3.6. Uso e ocupação do solo

Os dados do uso e ocupação do solo devem ser analisados sob o ponto de vista da permissividade de infiltração de água no solo e o grau de proteção que cada classe impõe ao mesmo. Nesse aspecto, áreas urbanizadas ou que o solo é usado em alguma atividade antrópica

(agropecuária) não prioriza a recarga do aquífero e, em contrapartida, zonas abertas ao contato com a água permitem a interação água/aquífero, a depender da estrutura do solo.

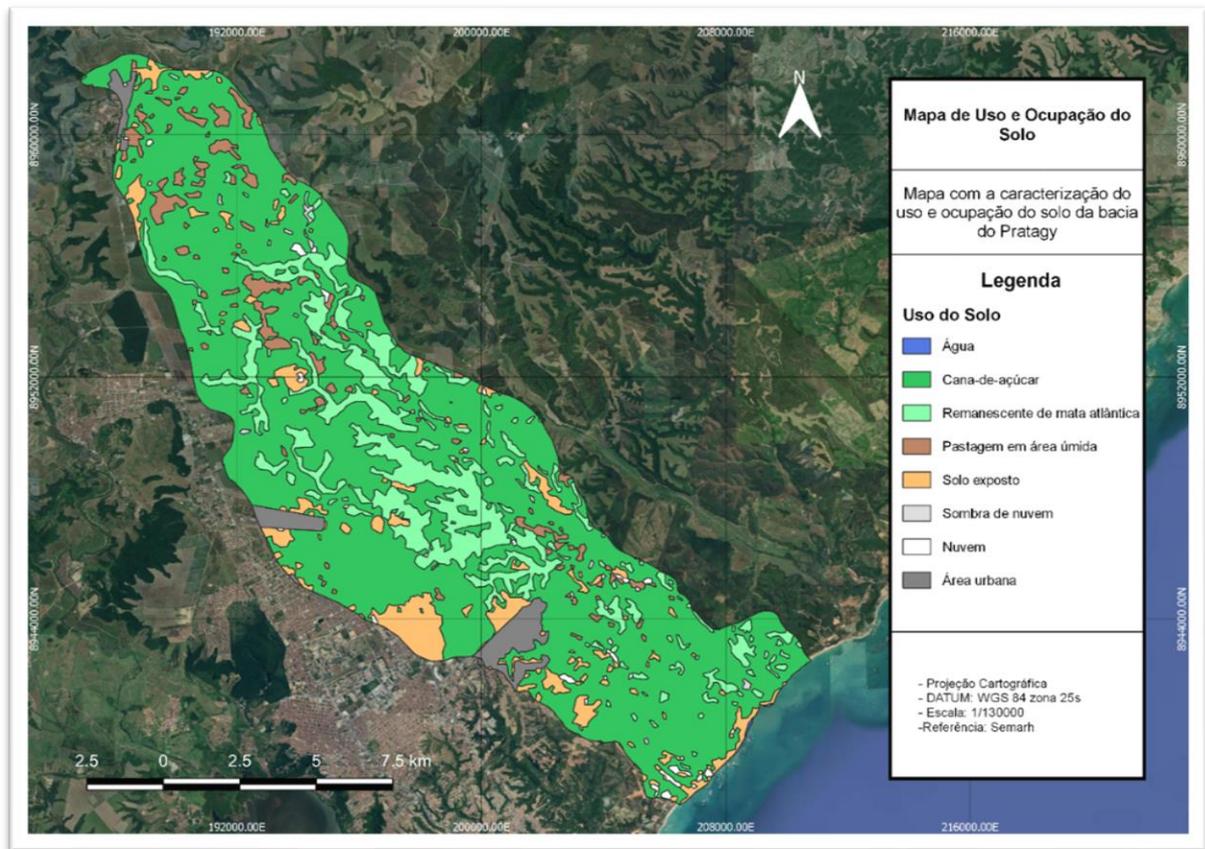
Assim, o uso e ocupação do solo na região da Bacia do Pratagy apresenta uma grande variedade de elementos em que o agente principal do território é a cana-de-açúcar. Porém, há a presença de atividades pecuárias (pastagem) e de solo exposto, que são regiões que o solo tende a compactar e não permitir a entrada de água, e deverão apresentar os menores valores de infiltração (PARANHOS FILHO *et al.*, 2020).

As áreas urbanas presentes na Figura 13 estão localizadas em municípios diferentes. A região urbana mais ao sul está inserida no bairro do Benedito Bentes e a outra fica na interface dos municípios de Rio Largo e Maceió. Por possuírem um alto grau de impermeabilização do solo, em função dos asfaltos e edificações, tiveram valores baixos.

Além disso, as regiões com solo exposto e pastagem também receberam pesos baixos por não permitirem a entrada de água no aquífero. O solo exposto

Por outro lado, extensas regiões com a presença de floresta nativa (remanescente de mata atlântica) permitem, no caso apresentado, a maior taxa de infiltração por possuírem vegetação que contém o fluxo de água e solos com boa permeabilidade.

Figura 13: Mapa temático do uso e ocupação do solo da bacia



Fonte: Autor, 2021

Em função disso, a variação das classes de armazenamento foi dividida em Baixo (i), Média (ii), Alta (iii). Os pesos atribuídos foram compreendidos entre 0 a 3 tendo sido atribuído 0,5 (i); 2 (ii) e 3 (iii); respectivamente as suas classes. A ponderação atribuída a cada uma dessas classes está apresentada no Quadro 10.

Quadro 10: Tipos de Uso do Solo na bacia do Pratagy

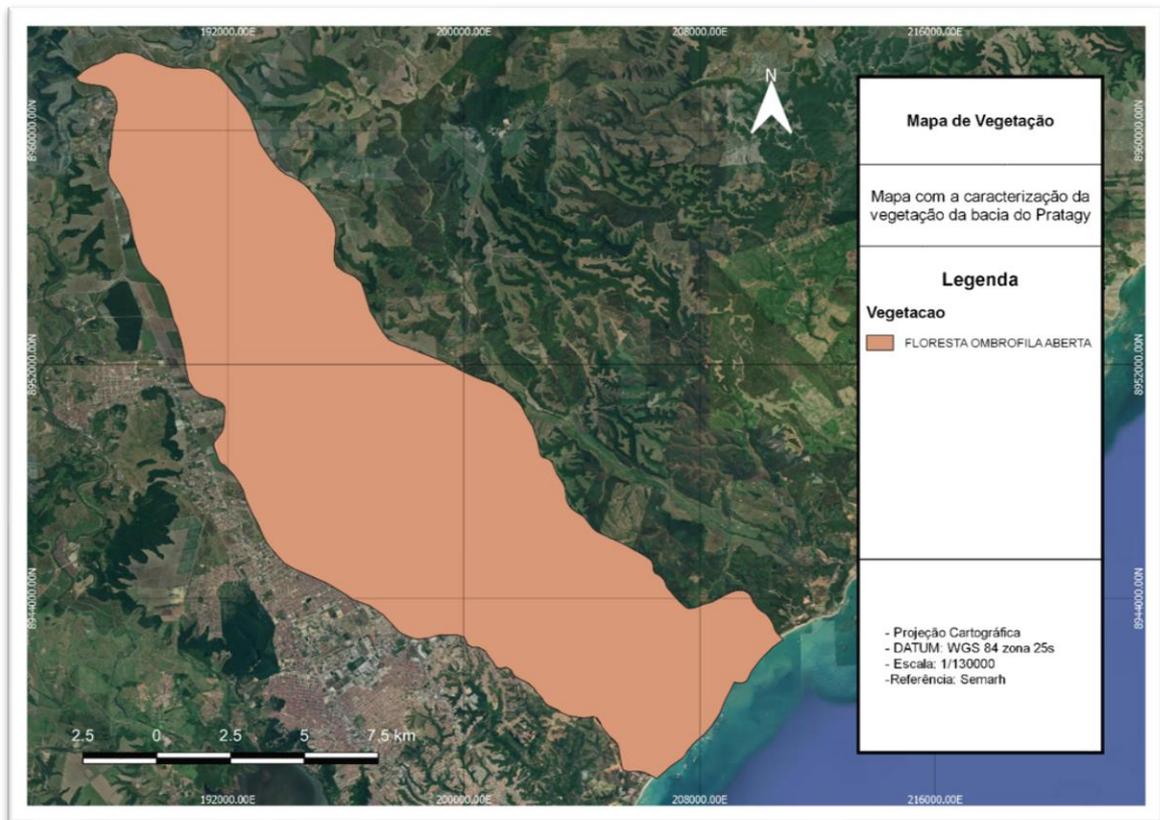
Uso e ocupação	Classe de potencial de armazenamento subterrâneo	Peso potencial de armazenamento subterrâneo
Água	Baixo	0,5
Cana-de-açúcar	Baixo	0,5
Remanescente de Mata Atlântica	Alto	3
Pastagem	Médio	2
Solo Exposto	Baixo	0,5
Área Urbana	Baixo	0,5

Fonte: Adaptado de OHOFUGI, 2020

#### 4.3.7. Vegetação

Com relação à vegetação, apenas há a Floresta Ombrófila Aberta na região da Bacia do Pratagy (conforme Figura 14). Esse tipo de floresta é considerado um tipo de transição da Floresta Ombrófila Densa, também conhecida como Floresta Amazônica e Floresta Atlântica (EMBRAPA, 2021). Porém, por haver apenas a presença desse tipo de vegetação não foi utilizado pois não haveria influência no resultado final.

Figura 14: Mapa temático da Vegetação da Bacia do Pratagy



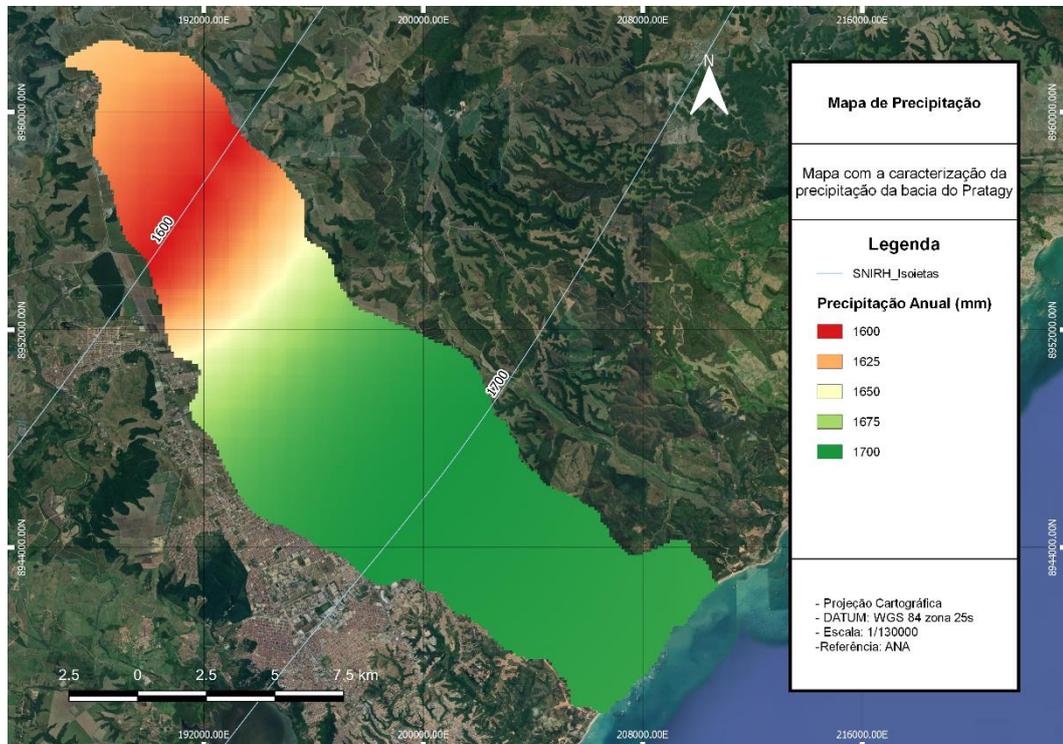
Fonte: Autor, 2021

#### 4.3.8. Precipitação

As características de chuva obtidas, ao contrário dos demais dados, foram em configuração de isoietas e não de dados prontamente disponibilizados. Sendo assim, foi necessária a utilização de uma ferramenta auxiliar para que o próprio software (QGIS) pudesse realizar a interpolação dos dados, mesmo que pouco representativos por possuírem apenas duas

isoietas inseridas na bacia. De acordo com as características de chuva obtida na extensão da bacia houve apenas duas isoietas presentes: 1600 e 1700 milímetros.

Figura 15: Mapa temático da precipitação da Bacia do Pratygy



Fonte: Autor, 2021

As classes foram determinadas em duas diferentes faixas e classificadas como Média (i) e Alta (ii), a depender da intensidade da chuva. Por consequência, os pesos foram fixados em 2 (i) e 3 (ii). E a sua distribuição está apresentada no Quadro 11.

Quadro 11: Classificação das precipitações na Bacia do Pratygy

Precipitação Anual (mm)	Classe de potencial de armazenamento subterrâneo	Peso potencial de armazenamento subterrâneo
1600-1649	Médio	2
1650-1700	Alto	3

Fonte: Adaptado de OHOFUGI, 2020

## 5. RESULTADOS

O processo final do cálculo matricial dos arquivos de geoprocessamento necessitou de um tratamento para corrigir imperfeições (geometrias inválidas) e delimitar a zona de interesse, por meio de recortes dos dados obtidos. Dessa forma, foram criados mapas para caracterização da bacia, com a referência em projeção cartográfica WGS 84 fuso 25S.

### 5.1. Identificação das áreas potenciais de recarga na Bacia do Pratagy

Para realização da identificação das áreas potenciais de recarga do aquífero da Bacia do Pratagy, adotou-se uma metodologia adaptada de Melo Neto *et. al.* (2013) e Ohofugi (2020), conforme item 4. Os dados e informações utilizados, como descrito no item 4.3, foram captados de diferentes instituições, especializadas em cada temática.

A consideração dos pesos foi baseada nos estudos citados em que foi considerado o grau de permeabilidade e conseqüente grau de infiltração no solo. A variação dos pesos se deu entre 0,5 e 3, sendo esses o menor e maior peso, respectivamente. A classificação e posterior atribuição de pesos se deu a partir da adaptação das considerações feitas por Melo Neto *et. al.* (2013) e OHOFUGI (2020), considerando-se as características iguais com os pesos e, as eventuais classes diferentes, com pesos baseados na literatura específica. Vale ainda ressaltar que a proposta metodológica tem caráter empírico, não apresentando formulações matemáticas exatas para o cálculo das áreas potenciais.

Após a escolha dos referidos dados e posterior tratamento em ambiente SIG, foi possível criar os mapas temáticos, gerados no formato de arquivo TIF (típicos de arquivos matriciais) com resolução de 30x30 metros por píxel, passíveis de interação matricial. Estes arquivos constituem a entrada de dados na ferramenta de calculadora, que permite que arquivos com esse formato interajam por meio de operações matemáticas, como soma, subtração, divisão e, no caso do trabalho, produto.

O produto desses mapas foi realizado com a distribuição dos pesos (apresentados nos itens do tópico 4.3) em cada um dos mapas temáticos apresentados. Apesar de esses mapas estarem em formato vetorial, eles foram convertidos em arquivos matriciais para, posteriormente, passarem pelo processo algébrico. Por similaridades, os mapas com os pesos não serão apresentados, apenas o mapa com o resultado final, ou seja, somente o mapa das potenciais áreas de recarga subterrânea na Bacia do Pratagy.

Para classificar foram definidos três intervalos qualitativos do potencial de recarga subterrânea da Bacia do Pratygy. Para os valores menores que 150 foi considerado como áreas de baixo potencial, já os valores entre 150 e 433 foram considerados como áreas de médio potencial e, por fim, as áreas maiores que 433 foram consideradas como áreas de alto potencial. Os valores dos intervalos estão dispostos no Quadro 12.

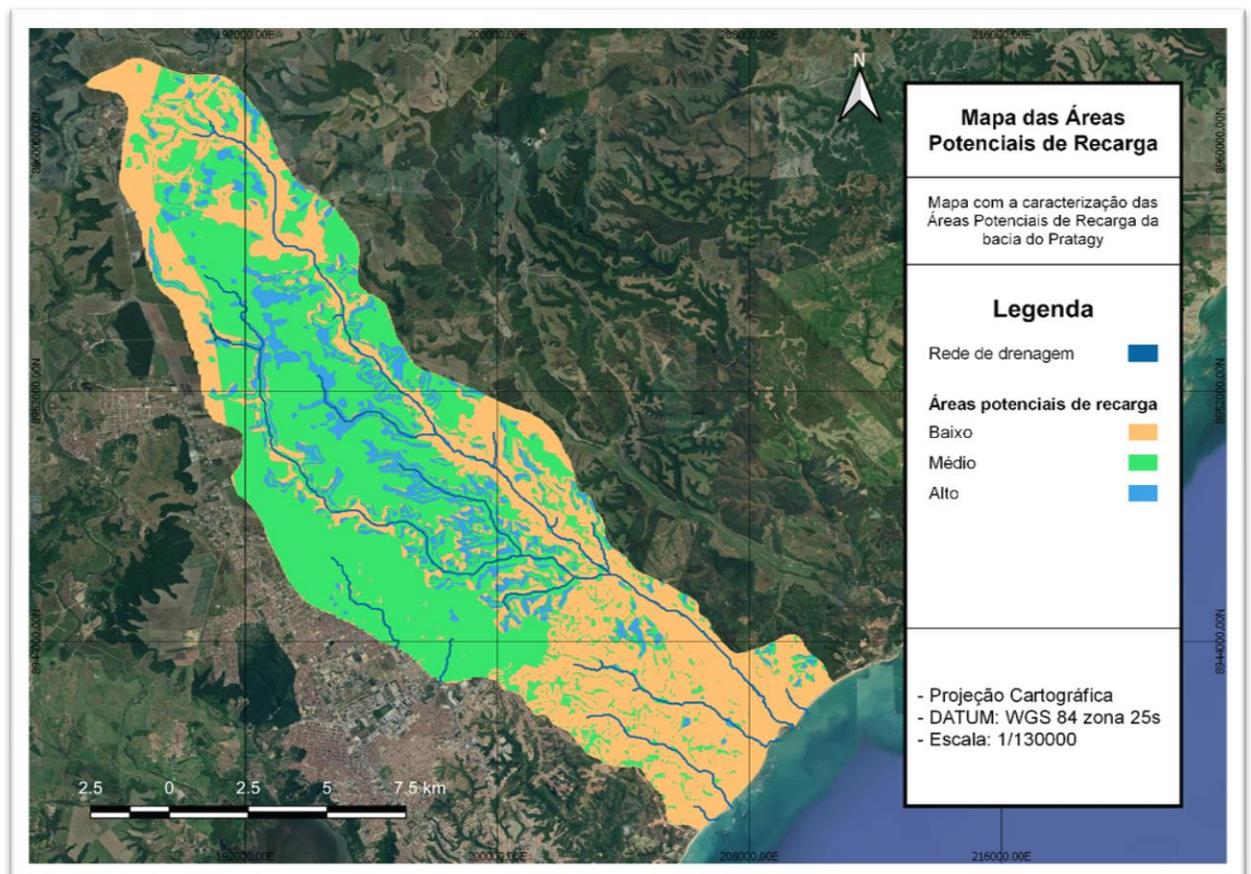
**Quadro 12: Classificação do potencial das áreas de recarga subterrânea**

<b>Classificação</b>	<b>Intervalo (adimensional)</b>
Baixo Potencial	0 – 150
Médio Potencial	150 - 433
Alto Potencial	434 - 1.093,5

Fonte: Adaptado de OHOFUGI, 2020

Após a análise dos dados obtidos e interação das informações coletadas, foi possível classificar o mapa resultante do produto dos pesos das características hidrográficas e criar o seu respectivo mapa (Figura 16).

Figura 16: Mapa temático com as Áreas Potenciais de Recarga da bacia do Pratygy



Fonte: Autor, 2021

A Bacia do Pratagy apresenta pequena porção de área composta por um alto grau de recarga de aquífero, que abrange aproximadamente 20 quilômetros quadrados. Apesar de semelhante a área de médio potencial de recarga é maior que a de baixo potencial, representando 87 e 80 quilômetros quadrados, respectivamente. O Quadro 13 apresenta essas áreas e a respectiva proporção em relação à toda área da bacia.

Quadro 13: Distribuição das áreas potenciais de recarga da Bacia do Pratagy

Classe	Área	
	Km <sup>2</sup>	(%)
Baixo Potencial	80,933	43,2%
Médio Potencial	87,272	46,6%
Alto Potencial	19,239	10,3%

Fonte: Autor, 2021

Desta forma, por meio das características ambientais observa-se que os resultados da interação entre as expressões de armazenamento do meio poroso (rocha e solo), juntamente com as condições de relevo da bacia (geomorfologia e hipsometria), intensidade de precipitação e do uso e ocupação do solo indicam que a Bacia do Pratagy tem, em sua extensão, cerca de 10,3% de área com zonas de alto potencial de recarga e 46,6% médio potencial de recarga. As zonas com baixo potencial de recarga (43,2%) permearam com características de plantio de cana-de-açúcar e planícies que, nos pesos considerados, têm baixa permissividade de entrada de água no solo.

### 5.1.1. Principais fatores que influenciaram nas áreas de recarga

Relativamente às características físicas da bacia e seu potencial de armazenamento, pode-se concluir que alguns fatores atuaram de forma significativa para o aumento do potencial de recarga enquanto outros fatores foram preponderantes para a redução do potencial de recarga. A geologia, declividade e a geomorfologia foram peças fundamentais, que tiveram influência positiva nesse aspecto, enquanto que o uso e ocupação do solo provocou efeito reverso.

Na bacia observa-se o domínio, de forma majoritária, do sistema de aquífero granular/fissural (93,66%), porém, também há a presença granular (6,31%) e fissural (0,3%) que favorecem o processo de recarga em função de sua porosidade da litologia. Sendo assim, por possuir grande parcela de sua área composta por aquífero granular/fissural e granular, que

configura boa zona de permeabilidade, a geologia propiciou valores positivos no quesito de recarga de aquífero.

A geomorfologia foi dividida em 3 principais características, sendo elas as planícies (6,31%), tabuleiros (93,66%) e domínio de colinas dissecadas e morros baixos (0,03%). Por possuir, em sua maioria o relevo dos tabuleiros, a geomorfologia contribuiu para que as regiões subissem os valores dos potenciais de recarga nas zonas de médio e alto potencial.

Outro fator importante foi a declividade que em sua maioria teve peso 3 (classe 0-6%) e peso 2 (6-20%), que tiveram contribuição em área de 51,11% e 31,87%, respectivamente. Terrenos com baixa declividade configuram áreas com potencial de recarga por permitirem que a água que se encontre naquela região tenha baixa velocidade e proporcione escoamento de base para a vazão da rede de drenagem da bacia, conferindo-lhe caráter perene durante os períodos de seca (OHOFUGI, 2020).

O Solo, apesar de possuir caracterização quase homogêneas, influenciou positivamente a recarga do aquífero pois houve ocorrência majoritária de latossolos (93,62%), que permitem a penetração de água de forma facilitada em razão de sua composição. Já os solos podzólicos (6,38%), apesar de variáveis, também possibilitam o processo de infiltração, porém, em menores proporções que o latossolo.

O parâmetro que atuou de forma mais expressiva para a redução do potencial de recarga de água subterrânea foi o uso e ocupação do solo. Na região estudada cerca de 70% é contemplada pela plantação de cana de açúcar, a qual foi caracterizada com peso 0,5. As classes que tiveram peso diferente de 0,5 foram a pastagem e o remanescente de Mata Atlântica, que juntas somam apenas 19,2%.

## 6. CONCLUSÕES

A metodologia de mapeamento das áreas de recarga por meio de ferramentas de geoprocessamento mostrou-se conveniente e de aplicação imediata, já que todos os dados utilizados estão disponíveis em plataformas de dados públicos, que facilita sua execução. O resultado final derivado do mapa indica que as características físicas (como a precipitação, geologia, geomorfologia, tipo de solo, entre outros), estão interligadas para direcionar possíveis áreas de recarga de aquífero e, conseqüentemente, áreas vulneráveis à contaminação.

O emprego das técnicas de geoprocessamento, associadas à metodologia proposta, foram utilizadas para delimitar as áreas potenciais de recarga de água subterrânea, que se apresentaram, majoritariamente, nas classes Médio e Baixo potencial (abrangendo cerca de 89,8%) e a classe Alto potencial representou apenas 10,2%.

A região de Alto potencial predominou em área ribeirinhas aos cursos d'água e é de suma importância que sejam políticas públicas que visem a sua proteção já que é nessa região que há a recarga de aquífero e eventual contaminação. Concomitantemente, a zona de Baixo potencial também necessita de uma atenção especial em função dos riscos de inundação e porque impede o funcionamento natural do ciclo hidrológico já que atrapalha a infiltração no solo.

As zonas de recarga presentes em áreas urbanas, como foi o caso de parte do Benedito Bentes e da interface municipal de Maceió e Rio Largo, também caracterizam zonas de vulnerabilidade desses aquíferos. Em razão de significativa permeabilidade do solo, mesmo em função dos diversos fatores físicos/ambientais, a mesma facilidade que a água tem de penetrar nessa região também é válida para eventuais contaminantes.

Porém, houveram algumas limitações e adaptações que foram feitas para que os dados pudessem interagir e gerar os resultados finais. A principal dificuldade foi a disponibilidade dos dados e suas extensões. Primeiramente, cada uma das informações foi obtida de forma independente, em seus respectivos órgãos competentes. Dessa forma, cada uma tem uma referência específica e nem sempre continham as informações necessárias para o estudo. Além disso, em sua maioria, os arquivos utilizados estavam com a geometria inválida, não permitindo ao software processá-los para dar seqüência no estudo.

Somado a isso, todos os arquivos, exceto os derivados do MDE, foram disponibilizados em arquivos vetoriais. Esse formato não é utilizado para processos algébricos entre dados de

geoprocessamento matricial, no lugar dele os rasters são os que efetivamente foram criados para esse propósito. Assim, todos eles passaram por um processo de “rasterização” em que a resolução do dado final é fixada pelo operador do software, ou seja, além de os dados serem encontrados apenas com extensão inapropriada, a conversão ainda admite diferentes resoluções que podem levar os dados finais a uma menor precisão.

Especificamente dos dados, a precipitação foi o dado que derivou de uma adaptação com menor representatividade. Além de estar disponível em formato de arquivo vetorial, os dados utilizados no estudo resultaram de uma interpolação dos dados da Agência Nacional de Água (ANA). Devido à escassez de dados pluviométricos da bacia, recorreu-se aos únicos dados que poderiam gerar resultados, as isoietas. Com espaçamento de 100 milímetros entre elas, foi possível gerar os dados de precipitação, que foram pouco representativos, pois apenas duas delas estavam inseridas na bacia.

Outra adaptação foram os dados de hipsometria, declividade e rede de drenagem que foram gerados a partir de um MDE, disponível nos dados do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA). A resolução foi de aproximadamente 30x30 metros por pixel, que resulta em um detalhamento satisfatório de seus dados de altitude e, conseqüentemente, resultados de seu processamento (mapas gerados).

A principal sugestão para trabalhos futuros é que visem aprofundar a qualidade dos dados ambientais no estado. Todo esse processo seria facilitado caso fosse disponibilizado esses dados em boas condições, haja vista que a maioria dos dados usados foram derivados de arquivos com extensão nacional, caso fossem direcionados à realidade estadual os tornariam mais precisos.

Associado ao trabalho em conjunto com a secretaria, projetos futuros podem ser desenvolvidos com o intuito de adaptar a metodologia apresentada à realidade de outras mesorregiões estaduais (Agreste e Sertão), que possuem déficit hídrico com relação à região leste, protegendo as áreas permeáveis.

Outra sugestão é acerca do principal fator influente no projeto, o uso e ocupação do solo. Sugere-se que os próximos pesquisadores busquem entender a influência que esse parâmetro causou durante uma séria histórica, pois nele, atualmente, predomina tipos de uso com baixíssima permeabilidade e que foi decisivo no resultado final.

Por fim, tendo em vista o caráter empírico da proposta, é fundamental que sejam realizados estudos que visem a calibração e validação do modelo considerando outras atribuições de pesos incluindo avaliação Ad Hoc com especialistas para atribuí-los para maior precisão.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALVES, Thaís Moreira; DE CASTRO, Selma Simões. Vulnerabilidade e risco à contaminação dos solos da área de recarga do aquífero Guarani no Estado de Goiás. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 29, n. 1, p. 135-150, 2009.
- ANA – Agência Nacional de Águas. Estudos hidrogeológicos para subsidiar a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos na região metropolitana de Maceió. Vol.II – Geologia, Hidrogeologia e Hidroquímica, 2011.
- ARNOUS, Mohamed O. Groundwater potentiality mapping of hard-rock terrain in arid regions using geospatial modelling: example from Wadi Feiran basin, South Sinai, Egypt. *Hydrogeology Journal*, v. 24, n. 6, p. 1375-1392, 2016.
- BRASIL. Humberto Gonçalves dos Santos. Embrapa. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.
- BRASIL. MÁRCIO DE MORISSON VALERIANO. (org.). **TOPODATA**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 28 jul. 2021.
- 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
- CABRAL, J. J. DA S. P. Movimento das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.;
- CASAL (Alagoas). Companhia de Saneamento de Alagoas. **Mananciais**. Disponível em: <https://www.casal.al.gov.br/capital/>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- Caschetto, M., Barbieri, M., Galassi, D. M. P., Mastrorillo, L., Rusi, S., Stoch, F., Petitta, M. (2013). Human alteration of groundwater–surface water interactions (Sagittario River, Central Italy): implication for flow regime, contaminant fate and invertebrate response. *Environmental Earth Sciences*, 71(4), 1791–1807. doi:10.1007/s12665-013-2584-8
- 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.
- COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. Hidrologia: para engenharia e ciências ambientais. Porto Alegre: Abrh, 2013. 332 p.
- COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. Introduzindo hidrologia. 5. ed. Porto Alegre: Iph Ufrgs, 2008. 151 p.
- Conceitos e Aplicações. 3a. ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p. 77–91
- EMBRAPA (org.). EMBRAPA SOLOS. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/apresentacao>. Acesso em: 04 set. 2021.

EMBRAPA. Aspectos Ecológicos. Disponível em:

<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/aspec.htm>. Acesso em: 07 set. 2021.

FAGUNDES, Júnio René Toledo. Estudo integrado das características geológico-geotécnicas com vista à avaliação de recarga de aquífero: região de São Carlos-SP. 2010. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2010. doi:10.11606/T.18.2010.tde-06122011-110343. Acesso em: 2021-05-06.

FEITOSA, Fernando A. C.; MANOEL FILHO, João; FEITOSA, Edilton Carneiro; DEMETRIO, J. Geilson A.. **HIDROGEOLOGIA: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Cprm, 2008. 812 p.

HEALY, Richard W; SCANLON, Bridget R.. **Estimating Groundwater recharge**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 245 p.

HELLER, Léo. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora Ufmg, 2006.

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.

IBGE (2000) Pesquisa nacional de saneamento básico, 2000. SEDU/PR. CD-ROM.

LEAL, A.S. As águas subterrâneas no Brasil. Ocorrências, disponibilidades e usos. In: O Estado das Águas no Brasil. Brasília, ANEEL. CD-ROM. (Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas. **ÁGUA**)

LIMA, I. F. (1990). Maceió, a Cidade Restinga – Contribuição ao Estudo Geomorfológico do litoral alagoano. EDUFAL, p. 255

Maceió. (2021). In *Encyclopædia Britannica*. Retrieved from <https://academic-eb-britannica.ez9.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/Macei%C3%B3/49705>

COHIDRO (Alagoas). **Plano Diretor da Região Hidrográfica do Pratagy**. Maceió: Cohidro, 2006. 277 p.

MALDENER, Carllos Henrique. **Recarga de aquífero em área urbana: estudo de caso de urânia (sp)**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Eds.). **Hidrogeologia**:

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.

MEMON, B. A. Quantitative analysis of springs. *Environmental Geology*, v. 26, n. 2, p. 111-120, 1995.

MIRANDA, Ciomara de Souza. Avaliação da vulnerabilidade de aquífero livre: subsídios para a gestão de recursos hídricos subterrâneos. 2013.

NOBRE, Manoel; NOBRE, Rosane. Caracterização Hidrogeológica para o uso Racional e Proteção dos Mananciais Subterrâneos em Macéio-AL. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 7-20, 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v6n1.p7-20>.

OHOFUGI, D. 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 (Doutorado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), p. 116. 2020.

PARANHOS FILHO, Antonio Conceição; MIOTO, Camila Leonardo; PESSI, Dhonatan Diego; GAMARRA, Roberto Macedo; SILVA, Normandes Matos da; RIBEIRO, Vinícius de Oliveira; CHAVES, Jéssica Rabito. GEOTECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS. Belo Horizonte: Uniedusul, 2020. 392 p.

PEREIRA, Sandro Eduardo Marschhausen. **Análise estratégica do zoneamento agroecológico como instrumento de ordenamento territorial setorial rural e sua aplicação em modelos de mudança de uso e cobertura da terra**. 2013. 167 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/312946157\\_Analise\\_estrategica\\_do\\_zoneamento\\_a\\_groecologico\\_como\\_instrumento\\_de\\_ordenamento\\_territorial\\_e\\_sua\\_aplicacao\\_em\\_modelos\\_de\\_mudanca\\_de\\_uso\\_e\\_cobertura\\_da\\_terra](https://www.researchgate.net/publication/312946157_Analise_estrategica_do_zoneamento_a_groecologico_como_instrumento_de_ordenamento_territorial_e_sua_aplicacao_em_modelos_de_mudanca_de_uso_e_cobertura_da_terra). Acesso em: 17 set. 2021.

Reginato, P. A. R., & Ahlert, S. (2013). Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. *Águas Subterrâneas*, Disponível em: < <https://doi.org/10.14295/ras.v27i2.27060>>. Acesso em 10 maio 2021.

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

RODRIGUES, Marcos. Geoprocessamento: um retrato atual. [Entrevista]. Fator Gis: a Revista do Geoprocessamento, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 20-23, 1993.

SALES, Patricia Aparecida; TARGA, Marcelo Santos. INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM DIFERENTES USOS E OCUPAÇÃO DOS SOLOS NA BACIA DO RIO UNA EM TAUBATÉ, SP. *Revista Técnica Ciências Ambientais*, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017.

SANTOS, B. B. M.; GUSMÃO, P.P. de. Ampliando o debate sobre a lei das águas: uma consideração sobre os conflitos socioambientais

SEMARH (comp.). **Resoluções 2002 a 2020**. Disponível em: <http://www.semarh.al.gov.br/conselhos-e-comissoes/cerh/resolucoes-1/resolucoes2002-2020>. Acesso em: 06 out. 2021.

SIEBERT, Stefan et al. Groundwater use for irrigation—a global inventory. *Hydrology and earth system sciences*, v. 14, n. 10, p. 1863-1880, 2010.

SILVA JÚNIOR, R. et al. Estimativas de oferta e demanda hídricas no rio Pratygo utilizando técnicas de regionalização. 2005.

SILVA, Janaína Medeiros; DE MELO, José Geraldo; DINIZ FILHO, José Braz. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subter-râneas do Sistema Aquífero Barreiras na Bacia no Rio Pirangi/RN utilizando os Métodos GOD, DRASTIC e IS. *Águas Subterrâneas*, v. 34, n. 1, 2020.

SILVA, Wilson Francisco da. Análise da vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação na região metropolitana de Maceió. 2019. 155 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013.

SILVEIRA, Hilton Luis Ferraz da; VETTORAZZI, Carlos Alberto; VALENTE, Roberta de Oliveira Aversa. Avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente SIG, na bacia do Rio Corumbataí, SP. *Revista árvore*, v. 32, p. 259-268, 2008.

SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2018.

SPRING. **Introdução ao Geoprocessamento**. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao\\_geo.html](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html). Acesso em: 11 maio 2021.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Ufrgs, 2001.

VON SPERLING, E. Afinal, quanta água temos no planeta. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 11, n. 4, p. 189-199, 2006.

WANG, Jianlong; WAN, Wei. Application of desirability function based on neural network for optimizing biohydrogen production process. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 34, n. 3, p. 1253-1259, 2009.

WEBER, Marisa Isabel. Avaliação da eficiência de um reator anaeróbico de leito fluidizado para o tratamento de resíduos líquidos da indústria de refrigerantes. 2006.

WWAP - United Nations World Water Assessment Programme. 2012. *The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk*. Paris, UNESCO.

WWAP, United Nations Water in a changing world. *The United Nations World Water Development Report*, v. 3, 2009.

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

ZACHARIAS, I.; DIMITRIOU, E.; KOUSSOURIS, Th. Estimating groundwater discharge into a lake through underwater springs by using GIS technologies. *Environmental Geology*, v. 44, n. 7, p. 843-851, 2003.

Zoby, J. L. G., & Matos, B. (2002). ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL E SUA INSERÇÃO NA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. *Águas Subterrâneas*, (1). Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22634>