

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

INGRID VEIGA NAZIAZENO

**DELIMITAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS DE RECARGA DE AQUÍFEROS, NO
MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ-RS**

**Caçapava do Sul
2024**

INGRID VEIGA NAZIAZENO

**DELIMITAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS DE RECARGA DE AQUÍFEROS, NO
MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Prof^a Dr^a Cristiane Heredia
Gomes

**Caçapava do Sul
2024**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

N334d Naziazeno, Ingrid Veiga
Delimitação de potenciais áreas de recarga de aquíferos, no
município de São Sepé / Ingrid Veiga Naziazeno.
67 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2024.

"Orientação: Cristiane Heredia Gomes".

1. Recarga hídrica. 2. Processo Analítico Hierárquico
(AHP). 3. Águas subterrâneas. I. Título.

INGRID VEIGA NAZIAZENO**DELIMITAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS DE RECARGA DE AQUÍFEROS, NO
MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 19 de julho de 2023.

Prof.^a Dra. Cristiane Heredia Gomes
Orientadora
UNIPAMPA

Prof.^a Msc. Mariah Xavier Rocha
UNIPAMPA

Thainã Pereira dos Santos
UNIPAMPA

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul



Assinado eletronicamente por **CRISTIANE HEREDIA GOMES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/12/2024, às 19:37, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARIAH XAVIER ROCHA, PROFESSOR MAGISTERIO SUPERIOR - SUBSTITUTO**, em 19/12/2024, às 20:31, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1632022** e o código CRC **COA3443A**.

Dedico este trabalho a minha Mãe e meu Pai, por sempre me apoiarem, e principalmente a minha Irmãzinha, tudo isso é por você Vale.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço imensamente aos meus pais e à minha irmã. Palavras nunca serão suficientes para expressar o quanto sou grata a vocês. Meu pai e minha mãe sempre foram minha base, minha fonte de apoio e força, e sem o amor, carinho e a confiança que sempre depositaram em mim, eu não teria chegado até aqui. O sacrifício, o esforço e os ensinamentos que me proporcionaram ao longo de toda a minha vida me ajudaram a construir uma trajetória sólida e a ser quem sou hoje. À minha irmã, pelo apoio constante e pelo carinho, obrigada por sempre estar ao meu lado. Mana, te amo muito, e tudo isso é por ti.

Aos meus amigos, especialmente ao nosso QG, que carinhosamente chamamos de "acamps", agradeço por todas as risadas, conversas e momentos compartilhados. Cada um de vocês contribuiu para minha trajetória de uma forma única e valiosa, tornando essa caminhada ainda mais especial e cheia de boas memórias. Valeu, Gabriel, Samuel, Hiago, Thammy, Vitin e Bocha! Agradeço especialmente às gurias Júlia e Pâmela, que sempre estiveram ao meu lado, independente da distância. Muito obrigada por fazerem parte da minha jornada e do meu crescimento.

Agradeço de coração à Ana, que sempre cuidou de mim com muito carinho e paciência, e nunca soltou a minha mão nos momentos mais difíceis. Obrigada por tudo! Agradeço também à Nanã, por sempre me chamar para um sinuquinha despreziosa e me salvar no momento em que achei que tudo estava perdido. Sou eternamente grata.

À minha orientadora, Prof^a Cristiane Gomes, agradeço profundamente por ter acreditado em mim e não ter desistido. Minha gratidão também à Prof^a Aline Balladares, por sempre ter confiado no meu trabalho durante a Feira de Ciências – experiência que levarei como um grande aprendizado.

Agradeço a mim mesma, por ser forte, resiliente e corajosa em todos os momentos dessa jornada. Por nunca desistir, por ter enfrentado os desafios com determinação e por acreditar no meu potencial.

Por fim, minha gratidão à Universidade Federal do Pampa, por proporcionar um ambiente acadêmico enriquecedor, onde pude aprender e crescer. Agradeço por todos os momentos, desafios e oportunidades que essa instituição me proporcionou durante esses anos.

RESUMO

O trabalho "Delimitação de Áreas Potenciais de Recarga de Aquíferos no Município de São Sepé-RS" teve como objetivo identificar e mapear regiões prioritárias para a recarga hídrica, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos hídricos estruturais. A pesquisa justifica a importância das águas subterrâneas no abastecimento público e na atividade agropecuária, especialmente em uma região que enfrenta estiagens frequentes e sofre com o uso inadequado do solo. A metodologia adotada combina técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), integradas ao método Analytic Hierarchy Process (AHP), que possibilitou a análise e hierarquização de variáveis ambientais essenciais para a recarga hídrica, como declividade, tipos de solo, uso e ocupação do solo, pluviometria e rede de drenagem. A partir dessas informações, foram gerados mapas temáticos que permitiram identificar as áreas mais detalhadas à infiltração de água e, conseqüentemente, à recarga dos aquíferos. Os resultados obtidos revelaram que as áreas com alto e muito alto potencial de recarga estão específicas nas regiões noroeste, sul e central do município. Estas áreas possuem solos mais permeáveis, baixa densidade de drenagem e relevo suave, características que favorecem o processo de infiltração. Em contraste, as áreas comuns com potencial moderado a baixo estão localizadas predominantemente na parte leste do município, onde há solos menos permeáveis, declividades acentuadas e o uso intensivo da terra limitam a recarga e aumentam o escoamento superficial. A média anual na região varia entre 1650 e 1750 mm, o que reforça a importância da chuva no processo de recarga. No entanto, a efetividade dessa recarga depende diretamente da capacidade de retenção do solo e das condições topográficas de cada área. Uma análise comparativa entre os mapas de recarga e os domínios hidrogeológicos indicou que as formações sedimentares apresentam maior capacidade de infiltração, enquanto as áreas formadas por rochas cristalinas possuem limitações naturais devido à menor permeabilidade. Nas considerações finais, o estudo destaca a necessidade de preservação das áreas de recarga como estratégia fundamental para garantir a manutenção da quantidade e qualidade dos recursos hídricos estruturais. Os resultados obtidos fornecem subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas externas à conservação e ao manejo do solo, além de servirem de base para futuras pesquisas na área de gestão hídrica. A metodologia aplicada, que integra o método AHP e o geoprocessamento, demonstra ser eficaz e replicável, possibilitando sua adaptação para outras regiões com características semelhantes. O trabalho reforça a relevância da integração entre variáveis ambientais e o uso de tecnologias para a gestão dos hídricos, contribuindo com recursos de forma significativa para a segurança hídrica e o desenvolvimento sustentável do município de São Sepé.

Palavras-Chave: Recarga hídrica; Processo Analítico Hierárquico (AHP); Águas subterrâneas.

ABSTRACT

The work "Delimitation of Potential Aquifer Recharge Areas in the Municipality of São Sepé-RS" aimed to identify and map priority regions for water recharge, contributing to the sustainable management of groundwater resources. The research is justified by the importance of groundwater in public supply and agricultural activities, especially in a region that faces frequent droughts and suffers from improper land use. The adopted methodology combined Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) techniques, integrated with the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, which enabled the analysis and prioritization of essential environmental variables for water recharge, such as slope, soil types, land use and occupation, rainfall, and drainage network. From this information, thematic maps were generated, allowing the identification of areas most favorable to water infiltration and, consequently, aquifer recharge. The results revealed that areas with high and very high recharge potential are concentrated in the northwest, south, and central regions of the municipality. These areas have more permeable soils, low drainage density, and gentle relief, which favor the infiltration process. In contrast, areas classified with moderate to low potential are predominantly located in the eastern part of the municipality, where less permeable soils, steeper slopes, and intensive land use limit recharge and increase surface runoff. The average annual precipitation in the region ranges between 1650 and 1750 mm, reinforcing the importance of rainfall in the recharge process. However, the effectiveness of this recharge directly depends on the soil's retention capacity and the topographic conditions of each area. The comparative analysis between the recharge maps and the hydrogeological domains indicated that sedimentary formations have a greater infiltration capacity, while areas formed by crystalline rocks have natural limitations due to lower permeability. In the final considerations, the study highlights the need to preserve recharge areas as a fundamental strategy to ensure the maintenance of groundwater quantity and quality. The results provide technical support for the formulation of public policies focused on soil conservation and management, in addition to serving as a basis for future research in water resource management. The applied methodology, which integrated the AHP method and geoprocessing, proved to be effective and replicable, allowing its adaptation to other regions with similar characteristics. The work reinforces the relevance of integrating environmental variables and the use of technologies for water resource management, significantly contributing to water security and the sustainable development of the municipality of São Sepé and its surroundings.

Keywords: Groundwater recharge; Analytic Hierarchy Process (AHP); Groundwater.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Mapa da localização do Município de São Sepé-RS. | 18 |
| Figura 2: Mapa geotectônico do Escudo Sul-rio-grandense..... | 19 |
| Figura 3: Mapa geológico do Município de São Sepé-RS. | 23 |
| Figura 4: Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul..... | 24 |
| Figura 5: Mapa da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí- Vacacaí Mirim. | 26 |
| Figura 6: Representação do ciclo hidrológico. | 27 |
| Figura 7: Classificação de acordo com características hidráulicas..... | 29 |
| Figura 8: Mapa de aquíferos em São Sepé | 32 |
| Figura 9: Mapa dos solos do Rio Grande do Sul. | 33 |
| Figura 10: Gráfico de precipitação mensal, temperatura máxima e mínima..... | 36 |
| Figura 11: Mapa de declividade do Município de São Sepé | 47 |
| Figura 12: Mapa hipsométrico do Município de São Sepé. | 48 |
| Figura 13: Mapa de rede de drenagens no município de São Sepé..... | 50 |
| Figura 14: Mapa de solos do município de São Sepé..... | 51 |
| Figura 15: Mapa de uso de solos no município de São Sepé. | 52 |
| Figura 16: Mapa pluviométrico entre os anos 2011 a 2023. | 54 |
| Figura 17: Mapa de potenciais áreas de recarga no município de São Sepé..... | 57 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Classificação das declividades, de acordo com os seus valores em %..... | 38 |
| Tabela 2: Reclassificação de classes de uso e ocupação de solo..... | 40 |
| Tabela 3: Estações pluviométricas e dados anuais e médias anuais..... | 41 |
| Tabela 4: índice de Consistência Randômico, onde n representa a ordem da matriz..... | 43 |
| Tabela 5: Pesos para declividade para potencial de recarga..... | 44 |
| Tabela 6: Pesos para hipsometria para potencial de recarga. | 44 |
| Tabela 7: Pesos reclassificados para Uso e Ocupação de solos. | 44 |
| Tabela 8: Pesos para classes de solo com potencial de recarga..... | 45 |
| Tabela 9: Aspectos de declividade no município de São Sepé..... | 46 |
| Tabela 10: Aspectos da hipsometria do município de São Sepé. | 48 |
| Tabela 11: Aspectos do uso e ocupação do solo no município de São Sepé..... | 52 |
| Tabela 12: Matriz de comparações pareadas. | 56 |
| Tabela 13: Ordem da prioridade dos critérios. | 56 |
| Tabela 14: Classificação das áreas potenciais de recarga hídrica | 58 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA- Agência Nacional de Águas

CPRM- Serviço Geológico do Brasil

DRHS- Departamento de Gestão de Recursos Hídricos e Saneamento

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FEPAM- Fundação Ambiental de Proteção Ambiental

AHP- Processo Analítico Hierárquico

RS- Rio Grande do Sul

SEMA- Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura

SIG- Sistema de Informações Geográficas

SR- Sensoriamento Remoto

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 OBJETIVOS | 16 |
| 2.1 Objetivo geral | 16 |
| 2.2 Objetivos específicos | 16 |
| 3 JUSTIFICATIVA | 17 |
| 4 ÁREA DE ESTUDO | 18 |
| 4.1 Localização | 18 |
| 4.2 Contexto Geológico Regional e Local..... | 19 |
| 4.2.2 Complexo Metamórfico Vacacaí..... | 20 |
| 4.2.3 Complexo Estratiforme Máfico-Ultramáfico | 21 |
| 4.2.4 Complexo Cambaí..... | 21 |
| 4.2.5 Bacia do Paraná | 21 |
| 4.2.6 Bacia do Camaquã..... | 21 |
| 4.2.7 Granito São Sepé | 22 |
| 4.2.8 Suíte Granítica Caçapava do Sul | 22 |
| 4.3 Geomorfologia..... | 23 |
| 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 26 |
| 5.1 Bacia do Vacacaí-Mirim..... | 26 |
| 5.2 Águas Subterrâneas..... | 27 |
| 5.3 Recarga de Aquíferos..... | 27 |
| 5.2 Aquíferos | 28 |
| 5.3 Pedologia e Uso | 32 |
| 5.4 Clima..... | 35 |
| 6 MATERIAIS E MÉTODOS | 36 |
| 6.1 Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informações Geográficas (SIG)..... | 37 |
| 6.1.1 Declividade..... | 38 |
| 6.1.2 Hipsométrico | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 6.1.3 Classe de Solos | 39 |
| 6.1.4 Uso e Ocupação do Solo..... | 40 |
| 6.1.5 Pluviometria | 40 |
| 6.2 Processo Analítico Hierárquico (AHP)..... | 41 |
| 6.3 Reclassificação dos pesos | 43 |
| 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 46 |
| 7.1 Mapas temáticos e atribuição de pesos | 46 |
| 7.2 Processo Analítico Hierárquico (AHP)..... | 55 |
| 7.4 Delimitação de áreas potenciais de recarga dos Aquíferos..... | 56 |
| 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 59 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 60 |

1 INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são recursos naturais de vital importância para a sociedade e o meio ambiente. Eles desempenham um papel estratégico no abastecimento de cidades, na manutenção de atividades econômicas e na preservação de ecossistemas aquáticos, como rios, lagos e manguezais. Durante períodos de seca, essas reservas invisíveis garantem a continuidade do fluxo hídrico, evitando o colapso dos sistemas ambientais e fornecendo suporte essencial para o equilíbrio ecológico (Hirata *et al.*, 2019).

O uso de água subterrânea de forma clandestina pode resultar em redução significativa das reservas aquíferas, contaminação dos recursos e ameaçar a disponibilidade para gerações futuras (UNESCO-WWAP, 2012). Segundo o Departamento de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul (DRH), a maioria dos poços do RS não possuem cadastro, nem outorga, portanto não obedecem às normas (NBR 12244) para evitar contaminações, também não há controle no volume de água demandado por cada usuário, oferecendo riscos à contaminação e redução das reservas.

Um passo essencial para a gestão sustentável das águas subterrâneas é a delimitação de áreas de recarga aquífera, regiões responsáveis pela infiltração da água no solo e pelo seu reabastecimento. Essas áreas são cruciais para a preservação da quantidade e qualidade da água dos aquíferos, principalmente em regiões onde a pressão sobre esses recursos é elevada. Métodos tradicionais, como a análise do nível de água e o uso de traçadores, têm sido amplamente utilizados, mas exigem custos elevados e longos períodos de análise. Por outro lado, ferramentas modernas, como Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), se destacam pela eficiência, acessibilidade e precisão no mapeamento dessas áreas (De Vargas, 2022).

A recarga hídrica subterrânea é influenciada por uma variedade de fatores, incluindo a geologia, clima, topografia, vegetação, tipo de solo e evapotranspiração, a precipitação é a principal fonte desse processo (Gee *et al.*, 1994; Carrera-Hernández; Smerdon; Mendoza; 2012). Segundo Limoeiro (2022), eventos chuvosos de baixa intensidade e curta duração nem sempre são diretamente direcionados para a recarga hídrica subterrânea, uma vez que a infiltração pode ser resultado cumulativo de uma sequência de chuvas anteriores.

No Brasil, estudos sobre a caracterização de áreas de recarga hídrica subterrânea, que abordam fatores como a classe de solo, vegetação, uso do solo e geomorfologia, foram realizados por Chiaranda (2002), Araújo (2006), Almeida; Silva, (2007), Menezes (2007), Felipe; Magalhães Jr, (2009) e Paes (2012). Além desses, estudos mais recentes aprofundam a compreensão sobre o tema, como Limoeiro (2019), que desenvolveu um modelo para delimitar

áreas potenciais de recarga hídrica nas sub-bacias do Rio das Pedras e Paiaiá-BA, utilizando fatores como declividade, hipsometria, densidade de lineamentos, rede de drenagem, pluviometria, solos, vegetação e o uso do solo. Hirata *et al.* (2019), destaca a importância das águas subterrâneas para o abastecimento público e a necessidade de gestão sustentável desses recursos no Brasil.

O município de São Sepé, localizado na região central do Rio Grande do Sul, possui características hidrogeológicas que tornam urgente a identificação de suas áreas de recarga hídrica. Com uma economia baseada principalmente na agricultura e na pecuária, e períodos de estiagem recorrentes, o município depende diretamente das águas subterrâneas como fonte de abastecimento e irrigação. Nesse contexto, a aplicação de métodos baseados em análise multicritério integrada ao SIG se apresenta como uma solução prática e eficaz para a gestão hídrica local.

O sensoriamento remoto aliado ao sistema de informação geográfica (SIG) provou ser uma ferramenta eficaz para identificar zonas de recarga de aquíferos no Brasil e em outras partes do mundo. Estas tecnologias permitem uma análise abrangente de diversos fatores ambientais e facilitam o mapeamento e a gestão sustentável dos recursos hídricos. Prasad *et al.*, (2018) afirma que a junção de SIG e SR pode ser um método eficaz, rápido e econômico que produz informações sobre águas subterrâneas como: geologia, lineamentos, declividade e uso do solo. Além disso, uma abordagem SIG e SR facilita a extração de informações de áreas extensas ou inacessíveis (Singh *et al.*, 2013).

O Processo Analítico Hierárquico (AHP) proposto por Saaty (1971), traz o método de análise multicritério, baseado em processo de ponderação, para tomada de decisão envolvendo múltiplas variáveis. Baseia-se na ponderação de aspectos qualitativos, onde as variáveis são organizadas de forma hierarquicamente e comparadas par a par, conforme a importância relativa atribuída pelo decisor. Sendo assim, o trabalho apresentado utiliza de ferramentas de SIG, SR e AHP para delimitar as áreas potenciais de recarga aquíferos em São Sepé.

Este trabalho apresenta dados importantes que servirão no subsídio à preservação dos aquíferos locais, para políticas públicas de gestão sustentável, promovendo a segurança hídrica e o equilíbrio ambiental na região.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é identificar e delimitar as áreas de recarga dos aquíferos localizados no perímetro do município de São Sepé.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Identificar os aquíferos por meio da bibliografia existente, que se inserem no perímetro do município de São Sepé-RS;
- Elaboração de mapas temáticos com o auxílio das técnicas de georreferenciamento;
- Criar critérios e elaborar matriz hierárquica para utilizar o método Processo Analítico Hierárquico (AHP).

3 JUSTIFICATIVA

De acordo com Kundzewicz e Döll (2009), cerca de 1,5 a 3 bilhões de pessoas no mundo todo dependem das águas subterrâneas como fonte principal de abastecimento, evidenciando sua importância estratégica para a segurança hídrica global. Apesar da importância dessas fontes, o conhecimento sobre a disponibilidade de águas subterrâneas é significativamente limitado em comparação com as águas superficiais (Foster; Chilton, 2003).

No Brasil, a disponibilidade de água subterrânea é estimada em cerca de $13.205 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, desempenham um papel importante na manutenção do fluxo dos rios. Entretanto, as extrações excessivas podem reduzir esse fluxo, que impactam nas vazões dos rios. Por isso, apenas uma parcela das reservas renováveis dos aquíferos é considerada disponível, enquanto o restante é destinado à preservação das vazões fluviais. A distribuição das águas subterrâneas é desigual, que variam conforme as características hidrogeológicas e a produtividade dos aquíferos (ANA, 2024).

Para garantir que as águas subterrâneas sejam exploradas de forma responsável e sustentável, é importante considerar o equilíbrio entre o que é retirado e o que é recarregado. Um gerenciamento adequado deve assegurar que o regime de bombeamento não ultrapasse o limite de disponibilidade hídrica do aquífero, levando em conta sua capacidade de recarga e características do aquífero (Kunzler, 2007).

A gestão integrada dos recursos hídricos requer uma compreensão aprofundada das interações entre águas superficiais e subterrâneas, tratando estes sistemas como um único sistema interconectado (Coelho *et al.*, 2015).

Neste contexto, a delimitação das áreas de recarga hídrica subterrânea é essencial para a gestão de recursos hídricos, especialmente no município de São Sepé, onde há uma escassez de estudos nessa área. Sendo assim, a pesquisa visa fornecer informações que auxiliem no processo de tomada de decisões para um melhor planejamento de gestão e proteção destes recursos hídricos no município. Além disso, o estudo fornecerá dados importantes que auxiliaram para a proteção dos recursos subterrâneos e de impactos decorrentes do uso inadequado da superfície onde se encontram as áreas de recarga.

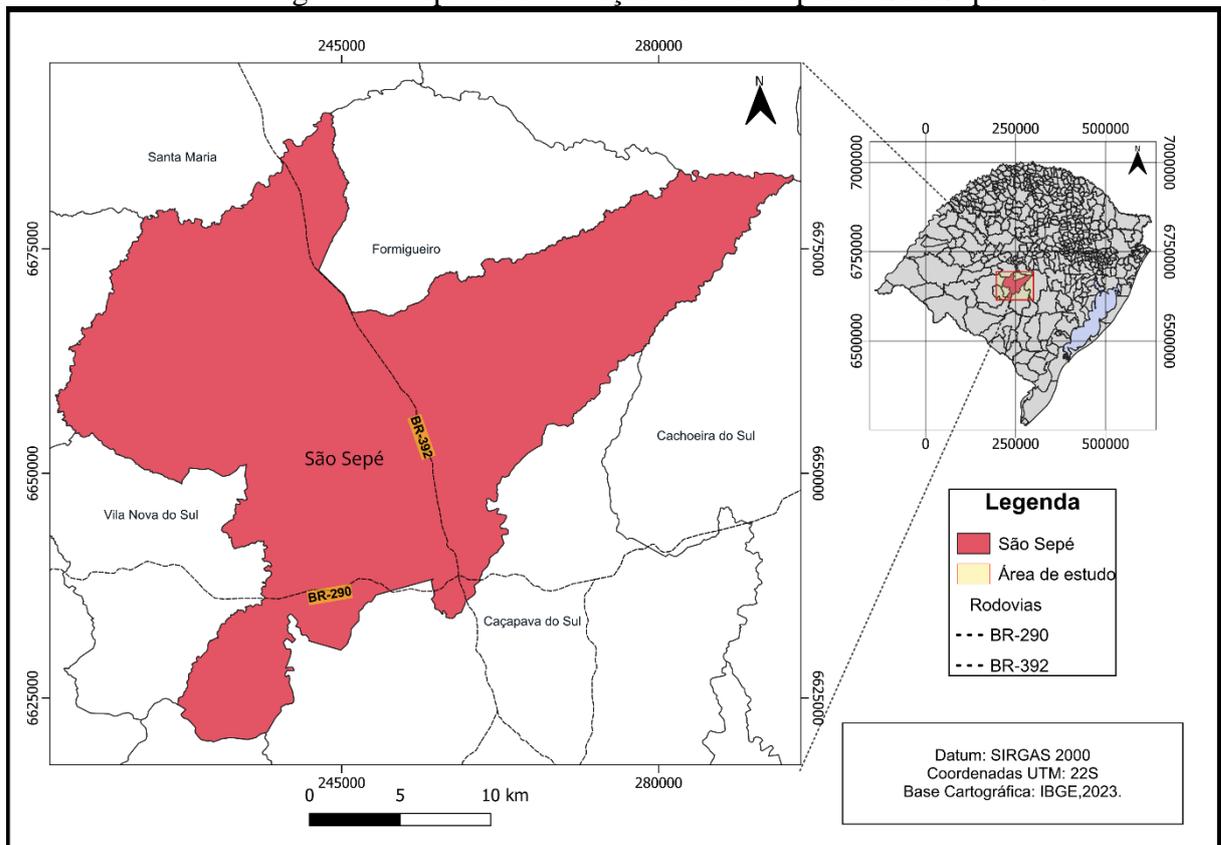
4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização

Área de estudo está situada no município de São Sepé, localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, a aproximadamente 265 km da capital Porto Alegre, possui uma posição estratégica, sendo atravessado pelas rodovias BR-392 e BR-290, que permitem fácil acesso as diversas regiões do estado como mostra na figura 1. Além disso, São Sepé situa-se a cerca de 50 km de Santa Maria e próximo a outros municípios como Caçapava do Sul, Vila Nova do Sul, Restinga Seca e Formigueiro.

O município de São Sepé abrange um território total de 2.188,832 km², território este que está inserido no domínio da Bacia Hidrográfica do Vacacaí Mirim. Em conformidade com a Lei Federal nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, recomenda-se que as áreas de bacias e/ou sub-bacias hidrográficas sejam utilizadas como unidade de análise em estudos e projetos voltados à gestão dos recursos hídricos (Brasil, 1997).

Figura 1: Mapa da localização do Município de São Sepé-RS.

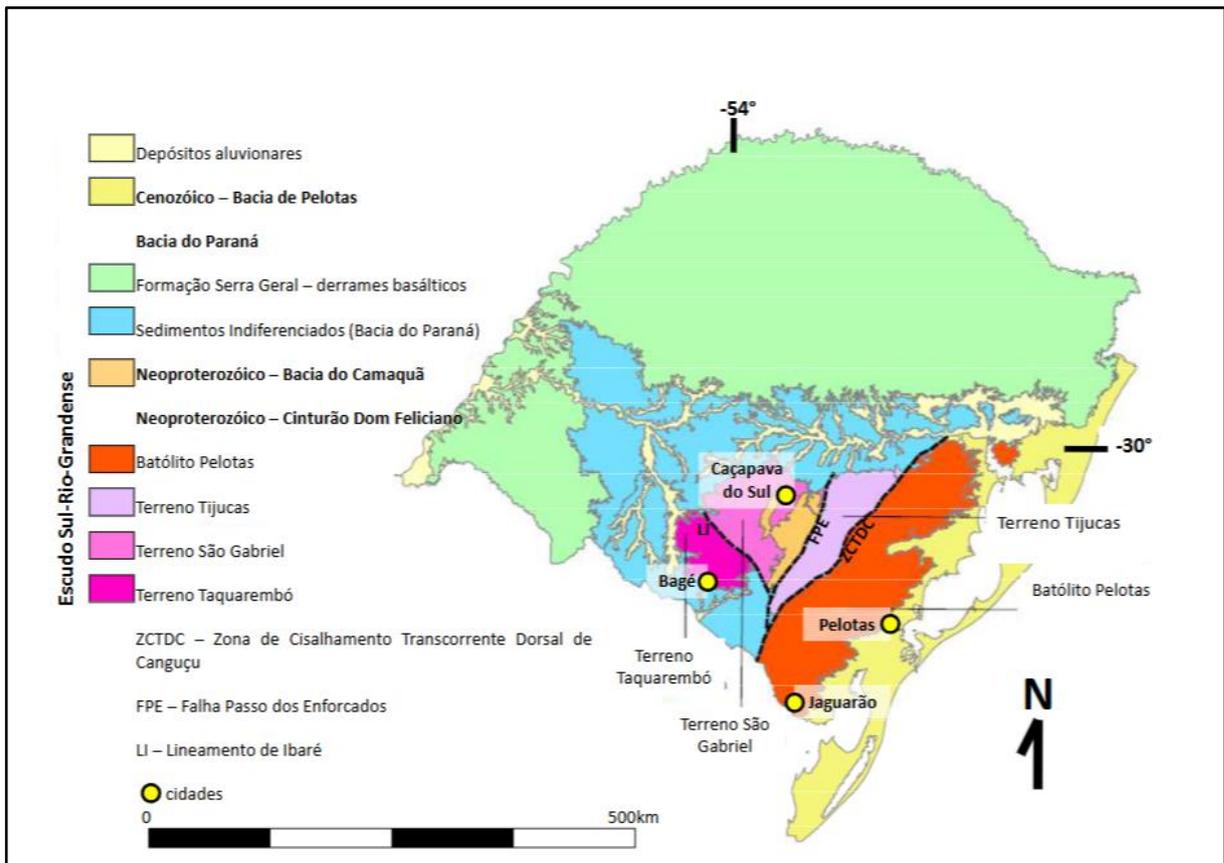


Fonte: Autora, 2024.

4.2 Contexto Geológico Regional e Local

A área de estudo está disposta sob o contexto tectônico da porção meridional da Província Mantiqueira, região conhecida como Escudo Sul-rio-grandense (ESRG), abrangendo uma área de aproximadamente 65.000 km² (Figura 2). Essa região é composta por rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, associadas aos estágios pré, sin e pós colisionais do ciclo orogênico Brasileiro (900-535 Ma), ocorrido durante o Neoproterozóico (Chemale Jr, 2000).

Figura 2: Mapa geotectônico do Escudo Sul-rio-grandense.



Fonte: Travassos, 2015.

Segundo Hartmann *et al.* (2007), o escudo é o resultado de processos de geração e formação de crosta continental, associados a dois ciclos orogênicos. O primeiro, datado do Paleoproterozóica (2,26-2,00 Ga), seguido do ciclo Neoproterozóico definido como o Ciclo Brasileiro (900-535 Ma). Esses ciclos orogênicos registram a construção da crosta oceânica, envolvendo a presença de micro-continentes, formação de arcos de ilhas e margens ativas. Embora o anteparo Arqueano, onde ocorreu a colisão Paleoproterozóica, não esteja registrado no estado, os processos vinculados à colisão Neoproterozóica do Brasileiro têm como referência o Cráton Rio de La Plata.

De acordo com Chemale Jr (2000), o ESRG pode ser subdividido em quatro unidades geotectônicas pertencentes ao Cráton Rio de La Plata e do Cinturão Dom Feliciano. O Cráton Rio de La Plata é representado pelo Bloco Taquarembó, enquanto o Cinturão Dom Feliciano compreende os terrenos São Gabriel, Tijucas e o Batólito de Pelotas.

A geologia da área de estudo (Figura 3) é formada pelo Complexo Bossoroca, Bacia do Camaquã, Bacia do Paraná, Complexo Cambaí, Complexo Metamórfico Vacacaí, Complexo Estratiforme Máfico-ultramáfico, Suíte Granítica Caçapava do Sul e Granito São Sepé. De acordo com Chemale Jr (2000), o ESRG pode ser subdividido em quatro unidades geotectônicas pertencentes ao Cráton Rio de La Plata e do Cinturão Dom Feliciano. O Cráton Rio de La Plata é representado pelo Bloco Taquarembó, enquanto o Cinturão Dom Feliciano compreende os terrenos São Gabriel, Tijucas e o Batólito de Pelotas.

A geologia da área de estudo (Figura 3) é formada pelo Complexo Bossoroca, Bacia do Camaquã, Bacia do Paraná, Complexo Cambaí, Complexo Metamórfico Vacacaí, Complexo Estratiforme Máfico-ultramáfico, Suíte Granítica Caçapava do Sul e Granito São Sepé.

4.2.1 Complexo Bossoroca

O Complexo Bossoroca é subdividido em duas sequências: Campestre e Arroio Lajeado. A sequência Campestre é composta por rochas vulcanoclásticas do Neoproterozóico, intercaladas com rochas porfiríticas derivadas de derrames de lava de composição andesítica (Pinto, 2017). A sequência Arroio Lajeado é composta por xistos magnesianos, metabasalto, metagabros, metacherts, metatufos, serpentinitos e metargilitos (Soares, 2014). Essa sequência estabelece contato com a sequência Campestre por meio de uma falha transcorrente de movimentação dextral, associada a uma zona de cavalgamento (Pinto, 2017).

4.2.2 Complexo Metamórfico Vacacaí

Conforme Porcher *et al.* (2000), o Complexo Metamórfico Vacacaí é subdividido em associações metassedimentares que incluem o Complexo Passo Feio, Sequência Metamórfica Arroio da Portaria e o Complexo Bossoroca. De acordo com Bitencourt (1993), o Complexo Passo Feio é composto por uma sequência de metapelitos, metavulcanoclásticas, metavulcanicas, mármores, anfíbolitos, rochas calcissilicáticas, quartzitos, xistos magnesianos e rochas quartzo-feldspáticas submetidas a metamorfismo. Já a Sequência Metamórfica Arroio da Portaria, segundo Ramgrab *et al.* (1999), é caracterizada como uma associação de ardósias, quartzitos e filitos, formando uma sucessão de estratos pelíticos e arenopelíticos intercalados.

4.2.3 Complexo Estratiforme Máfico-Ultramáfico

O Complexo Estratiforme Máfico-Ultramáfico é representado por formações como o Gabro Mata Grande, Gabro Santa Catarina e Maciço Pedras Pretas. Esses corpos são formados por rochas gabroicas e ultramáficas, tipo dunitos, peridotitos, em menor proporção piroxenitos (Porcher *et al.*, 2000).

4.2.4 Complexo Cambaí

O Complexo Cambaí é composto por rochas gnáissicas, que se dividem em três unidades por Porcher *et al.* (2000): A primeira associação Básico-Ultrabásica Cerro da Mantiqueira, formadas por rochas ultramáficas e anfibolitos. A segunda unidade, Sequência Metamórfica Arroio Marmeleiro descrita por Kraemer (1995) é composta por xistos aluminosos, magnesianos e quartzitos que foram intrudidos por apófises de rochas graníticas de caráter cálcio-alcálicas. A terceira unidade, denominada Gnaisses Cambaí, é a mais extensa em termos de distribuição, é formada por gnaisses quartzo-feldspáticos com intercalações de lentes anfibolíticas.

4.2.5 Bacia do Paraná

A Formação Rio Bonito, pertencente ao Grupo Guatá, estende-se desde o estado do Rio Grande do Sul até São Paulo, descrito por Gordon Jr (1974). Inserida na cobertura da Bacia do Paraná, a Formação do Rio Bonito ocorre nas porções sul e sudoeste em contato com o gabro Santa Catarina. A área é coberta por depósitos aluviais arenosos, resultados de retrabalhamento. É composta por arenitos quartzosos e com esporádicas intercalações de siltitos, subjacentes ao pacote arenítico (Pereira, 2014).

4.2.6 Bacia do Camaquã

O Supergrupo Camaquã, segundo Almeida *et al.* (2005), compõe a unidade estratigráfica que abrange todos os depósitos da Bacia do Camaquã, descrevendo uma bacia rift localizada na região centro-sul do Rio Grande do Sul, com uma área aflorante de aproximadamente 3.200 km² e espessura de cerca de 10.000 m com falhas e dobras. São datadas do Ediacarano e Eocambriano que preservam grande parte de suas estruturas sedimentares. A Bacia do Camaquã pode ser dividida de acordo com Paim *et al.* (2000), em Alogrupos Guaritas, Santa Bárbara, Bom Jardim, Cerro do Bugio e Maricá.

- O Alogrupo Maricá, com espessura de aproximadamente 4.000 m (Paim *et al.*, 2000), de idade de deposição 601 ± 13 Ma (Almeida *et al.*, 2012). O Alogrupo é dividido em Passo da Promessa, São Rafael e Arroio América. Essas formações são compostas por arenitos finos a muito finos, arenitos médios a grossos, pelitos e arenitos conglomeráticos (Pelosi;Fragoso-Cesar, 2003).
- O Alogrupo Bom Jardim, com cerca de 2.000 m de espessura é formado por depósitos Vulcanossedimentares. As rochas vulcânicas associam-se aos sedimentos que correspondem a Formação Hilário, no qual possuem fluxo de lava, magmatismo hipabissal e depósitos vulcanoclásticos e os depósitos sedimentares são conglomeráticos, ricos em clastos de rochas vulcânicas básicas a intermediárias (Nardi; Lima, 2000).
- O Alogrupo Cerro do Bugio é dividido em duas formações a Formação Santa Fé e Formação Acampamento Velho (Paim *et al.*, 2000). A Formação Santa Fé é composta por conglomerados e arenitos de ambientes aluviais, e uma sucessão de siltitos e arenitos finos (Fambrini *et al.*, 2005). A Formação Acampamento Velho descrita por Almeida (2005) é formada por rochas vulcânicas ácidas, relacionados com ambiente tectônico extensional pós-orogênico. De idade $549,3 \pm 5,0$ Ma (U-Pb em zircão) para os riolitos desta formação, é representada por diferentes episódios vulcânicos na bacia (Sommer *et al.*, 2005).

4.2.7 Granito São Sepé

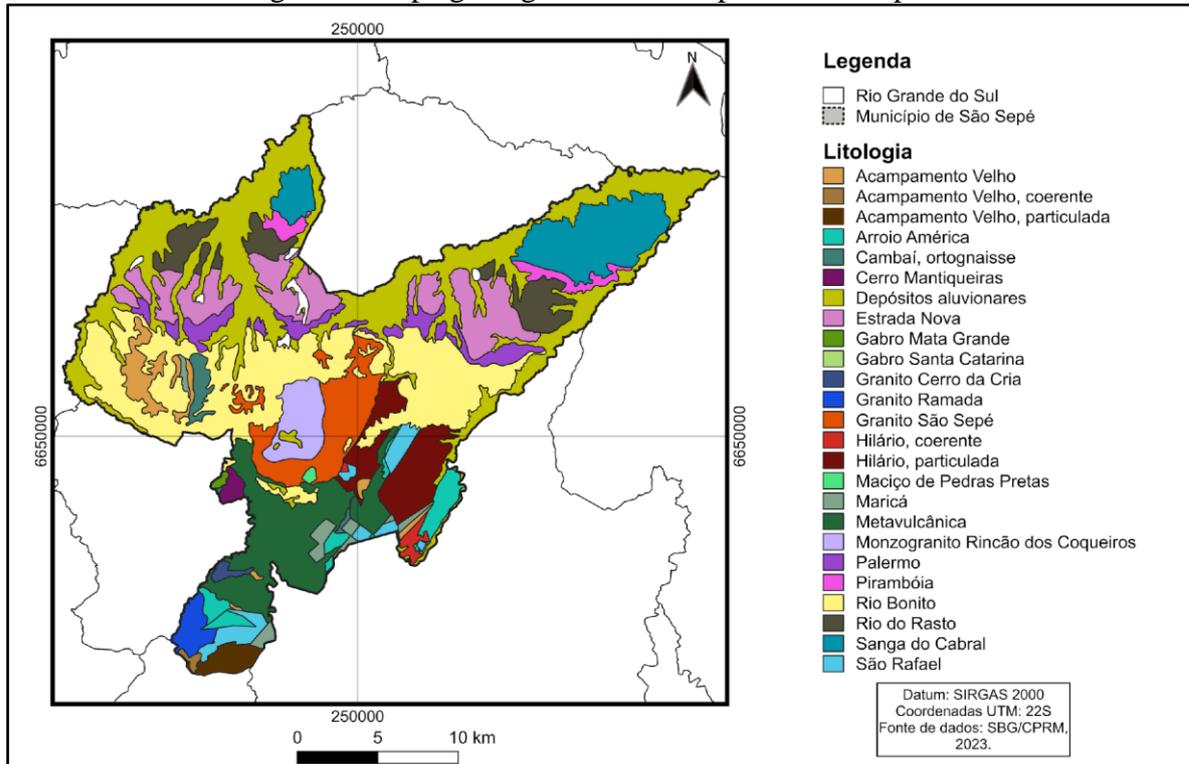
O Granito São Sepé faz parte do grupo de granitos pós-tectônicos da região, que incluem os granitos Jaguari, Macedo, Ramada e Cerro da Cria. Segundo Sartori (1979), o granito São Sepé apresenta uma forma alongada na direção NE-SW, partindo de São Sepé em direção sudoeste. Trata-se de uma intrusão de epizona, exibindo variedade de texturas e zonação reversa de fácies petrográficas, com monzogranitos no centro e na borda sienogranitos. Segundo Porcher *et al.* (2000), o granito São Sepé é intrusivo nas rochas da Sequência Metamórfica Vacacaí, Maricá e da Formação Hilário, sendo também cortado por diques e veios de quartzo, associados à atividades hidrotermal.

4.2.8 Suíte Granítica Caçapava do Sul

A Suíte Granítica Caçapava do Sul é composta por granodioritos, monzogranitos, sienogranitos e tonalitos (Nardi; Bitencourt, 1989), representando um corpo plutônicos

intrusivo em unidades metamórficas (Bitencourt, 1983). Nardi e Bitencourt (1989), sugerem que a Suíte Granítica possui três fácies principais, definidas por estudos petrográficos e geoquímicos como: biotitagranitoides, leucogranitoides e granitóides transicionais.

Figura 3: Mapa geológico do Município de São Sepé-RS.

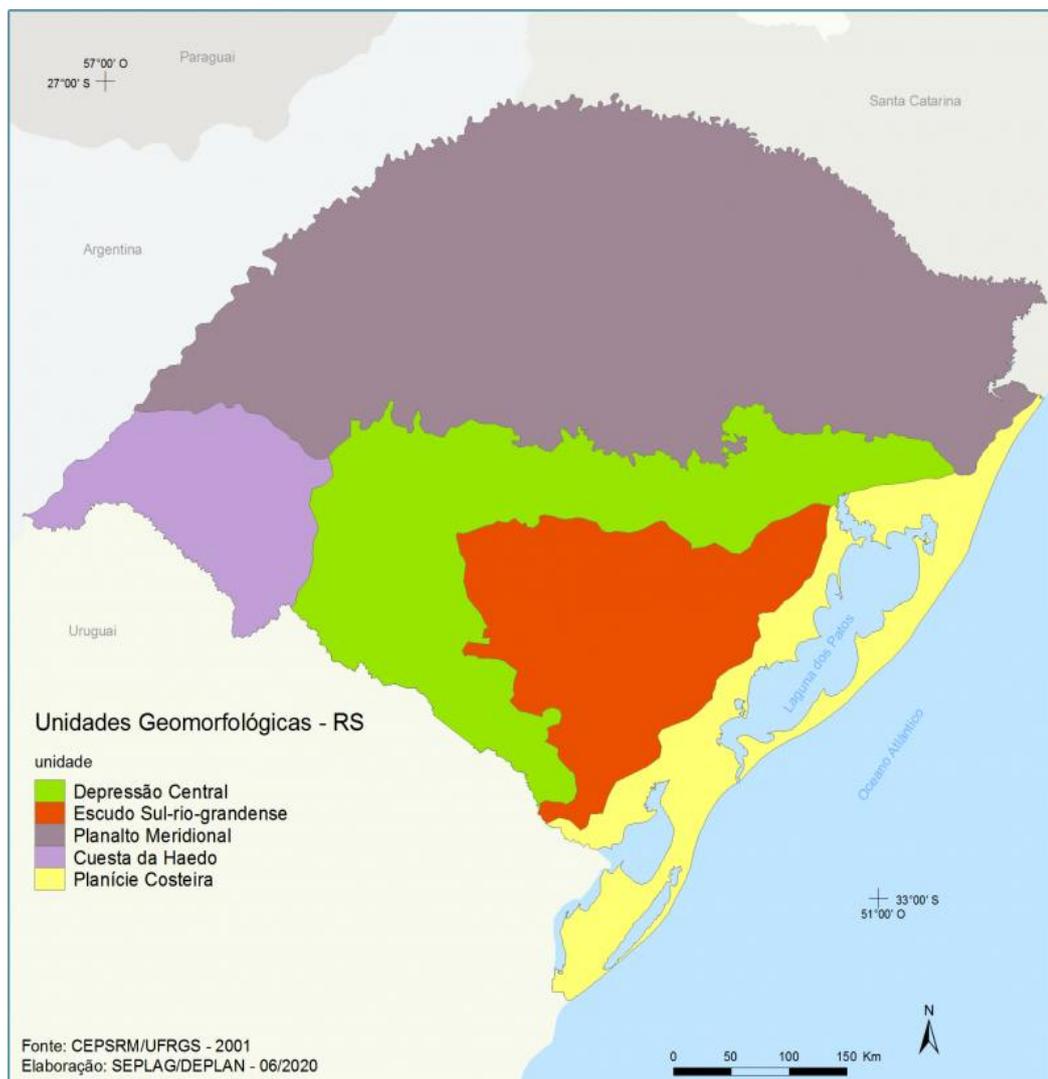


Fonte: SBG/CPRM, 2023.

4.3 Geomorfologia

O estado do Rio Grande do Sul é composto por quatro grandes domínios geomorfológicos, definidos pela sua origem e formação geológica, como mostra a figura 4. As planícies costeiras são constituídas por depósitos marinhos, eólicos e fluviais de idade quaternária, caracterizando um relevo predominantemente plano. Os planaltos elevados possuem como embasamento sequências vulcânicas e vulcanos-sedimentares de idade mesozóica, relacionadas à Bacia do Paraná. As depressões interplanálticas são sustentadas por rochas sedimentares de idades paleozóica e mesozóica, apresentando relevo suavemente ondulado. Já os planaltos e serras baixas são embasados por rochas cristalinas de idade pré-cambriana, que integram o Escudo Sul-Riograndense, resultando em um relevo mais ondulado e acidentado (Viero; Silva, 2005).

Figura 4: Unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul.



Fonte: CEPSRM/UFRGS, 2001. Adaptado de SEPLAG/DEPLAN, 2020.

O município de São Sepé está localizado no contato entre dois desses domínios geomorfológicos: a Depressão Central e o Escudo Sul-riograndense. Na região norte da malha urbana do município, observa-se uma morfologia de coxilhas com elevações que não ultrapassam 150m, além de extensas planícies aluviais, características da Depressão Central. Na região sul, as altitudes variam entre 200 e 400m, onde o relevo apresenta ondulação mais acentuada, condizente com as feições típicas do Escudo Sul-riograndense (Silveira; Sartori, 2005).

A compartimentação geomorfológica de São Sepé foi descrita por Rosa (2020), que identificou 12 unidades geomorfométricas baseadas em parâmetros quantitativos, como declividade, curvatura das vertentes e análise hipsométrica. Essas unidades destacam diferentes respostas do terreno aos processos exógenos, como erosão e deposição, e endógenos, como

tectonismo. Nas áreas situadas ao norte do município, predominam coxilhas submetidas a processos erosivos, enquanto as planícies aluviais são marcadas pela deposição de sedimentos, favorecendo o desenvolvimento de solos férteis frequentemente utilizados para o cultivo agrícola.

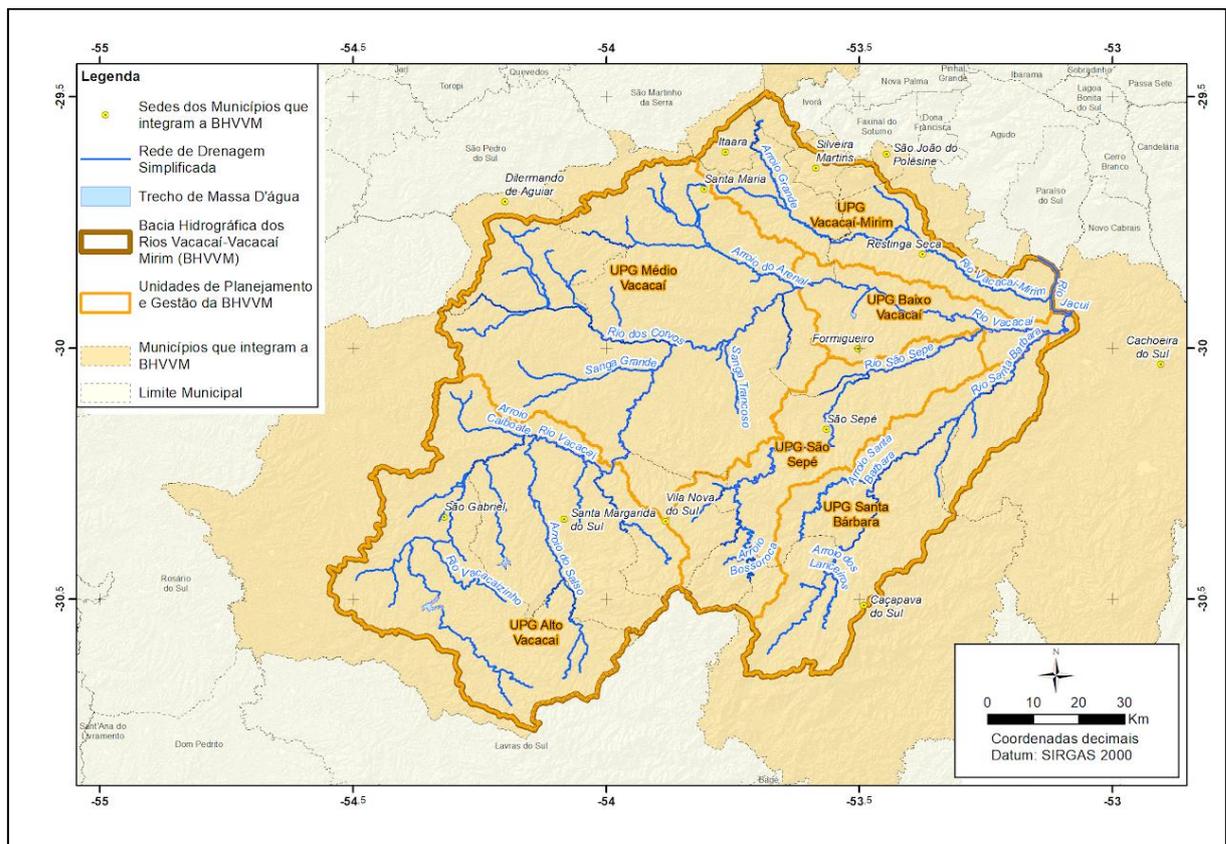
A caracterização dessas unidades geomorfológicas é essencial para o planejamento ambiental e territorial, contribuindo para a definição de áreas prioritárias para conservação, manejo do solo e mitigação de riscos ambientais, como enchentes e deslizamentos. A análise geomorfológica de São Sepé evidencia a complexidade das interações entre fatores geológicos e morfológicos, destacando sua importância para a gestão sustentável dos recursos naturais e o planejamento integrado do território (Silveira, 2007).

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Bacia do Vacacaí-Mirim

A Bacia Hidrográfica é uma área de captação natural da água, que devido ao seu relevo, a água da chuva converge para um rio principal e seus afluentes. A bacia compõe-se basicamente de um conjunto de vertentes superficiais e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (Tucci, 2004).

Figura 5: Mapa da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí- Vacacaí Mirim.



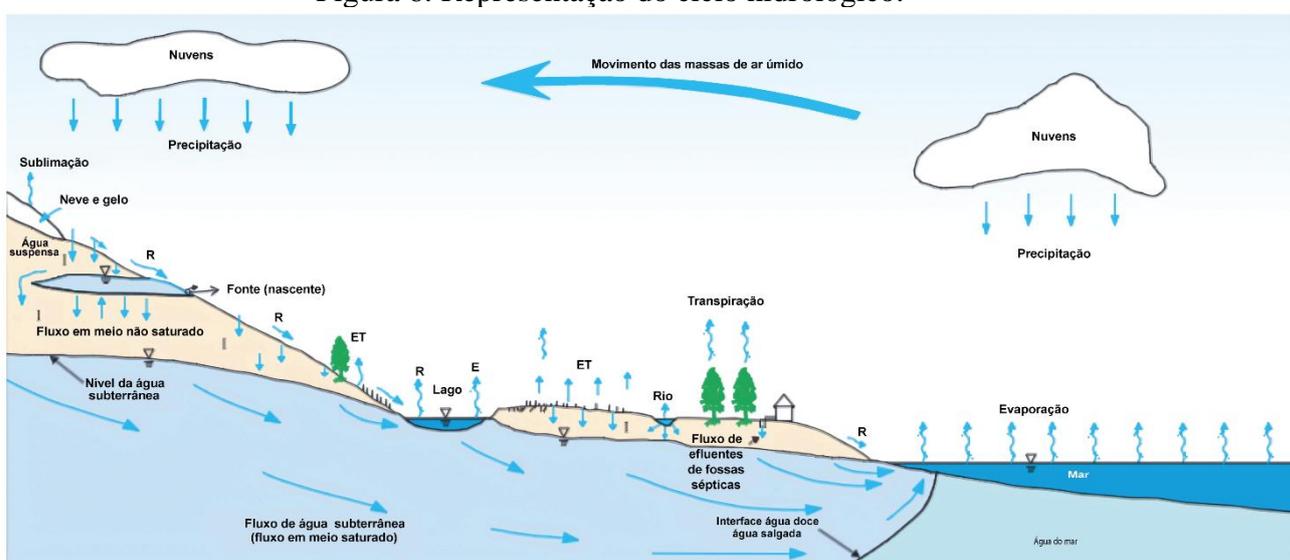
Fonte: DRHAS/SEMA, 2022.

A Bacia Hidrográfica do Vacacaí Mirim está localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas $29^{\circ}35'$ e $30^{\circ}45'$ de latitude sul e $53^{\circ}34'$ de longitude oeste. Os municípios que estão parcialmente inseridos na bacia são representados na figura 5. Os principais cursos d'água da bacia são os rios Vacacaí e Vacacaí Mirim, cujas nascentes estão localizadas principalmente nas áreas sul e norte da bacia, regiões que apresentam as maiores altitudes (PBH Vacacaí e Vacacaí Mirim, 2021).

5.2 Águas Subterrâneas

O Ciclo Hidrológico é um fenômeno que está ligado ao movimento de trocas de águas entre a superfície e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (Tucci, 2004). Os principais componentes do ciclo hidrológico são precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e infiltração, como mostrado na figura 6. Embora sua constância tenha levado à ideia de inesgotável, quando poluída, a água se torna inviável para o consumo humano, modificando o seu meio biótico (Paes, 2012).

Figura 6: Representação do ciclo hidrológico.



Fonte: Feitosa *et al.*, 2008

As águas subterrâneas são um recurso hídrico vital, servem de reservatórios para abastecimento de cidades e atividades econômicas, sustentando sistemas aquáticos como rios, lagos, mangues e pântanos. Sem este tipo de recursos subterrâneos, o meio ambiente, como florestas que possuem o clima seco ou tropical não resistiriam e muito menos os ambientes aquáticos (Hirata, 2019). A disponibilidade de água subterrânea no Brasil é em torno de 13.205 m³.s-1, com uma distribuição não uniforme ao todo no território brasileiro, dependente de suas características hidrogeológicas e produtividade do aquífero (ANA, 2024).

5.3 Recarga de Aquíferos

A definição de recarga hídrica subterrânea, muitas vezes, pode ser confundida com o conceito de infiltração. No entanto, existe uma diferença importante entre as duas, onde a infiltração se refere a percolação da água da superfície para uma zona não saturada. Já a recarga,

que possui uma parte desta infiltração, é a que realmente atinge o nível do lençol freático, atingindo a zona saturada (Martelli, 2012).

Segundo Paralta (2003), os estudos de recarga aquífera são fundamentais para a estimar o volume de recursos hídricos subterrâneos anualmente renováveis e têm implicações diretas no planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos regionais. É essencial para garantir a reposição da água e a recuperação dos níveis dos lençóis freáticos subterrâneos, como também para evitar a percolação de contaminantes que venham a degradar a qualidade da água dos aquíferos.

A recarga, de forma geral, consiste na quantidade de água que contribui para aumentar a reserva subterrânea permanente ou temporária do aquífero (Simon, 2014). O processo de recarga subterrânea ocorre pelo movimento da água que atinge a zona não saturada do aquífero sob forças gravitacionais, ou em direção específica por condicionamento hidráulico (Vasconcelos, 2005).

Vries e Simmers (2002), definem três tipos de recarga hídrica, dependendo de sua fonte:

- **Recarga Direta:** ocorre por percolação vertical direta através da zona não saturada, somando o reservatório subterrâneo, havendo a fonte como precipitação pluviométrica.
- **Recarga Indireta:** percolação até a zona de recarga, onde a água move-se lateralmente, em curtas distâncias, antes da infiltração na ausência de canais bem definidos.
- **Recarga Localizada:** uma forma pontual de recarga, onde a água move-se lateralmente, em curtas distância, antes da infiltração na ausência de canais.

5.2 Aquíferos

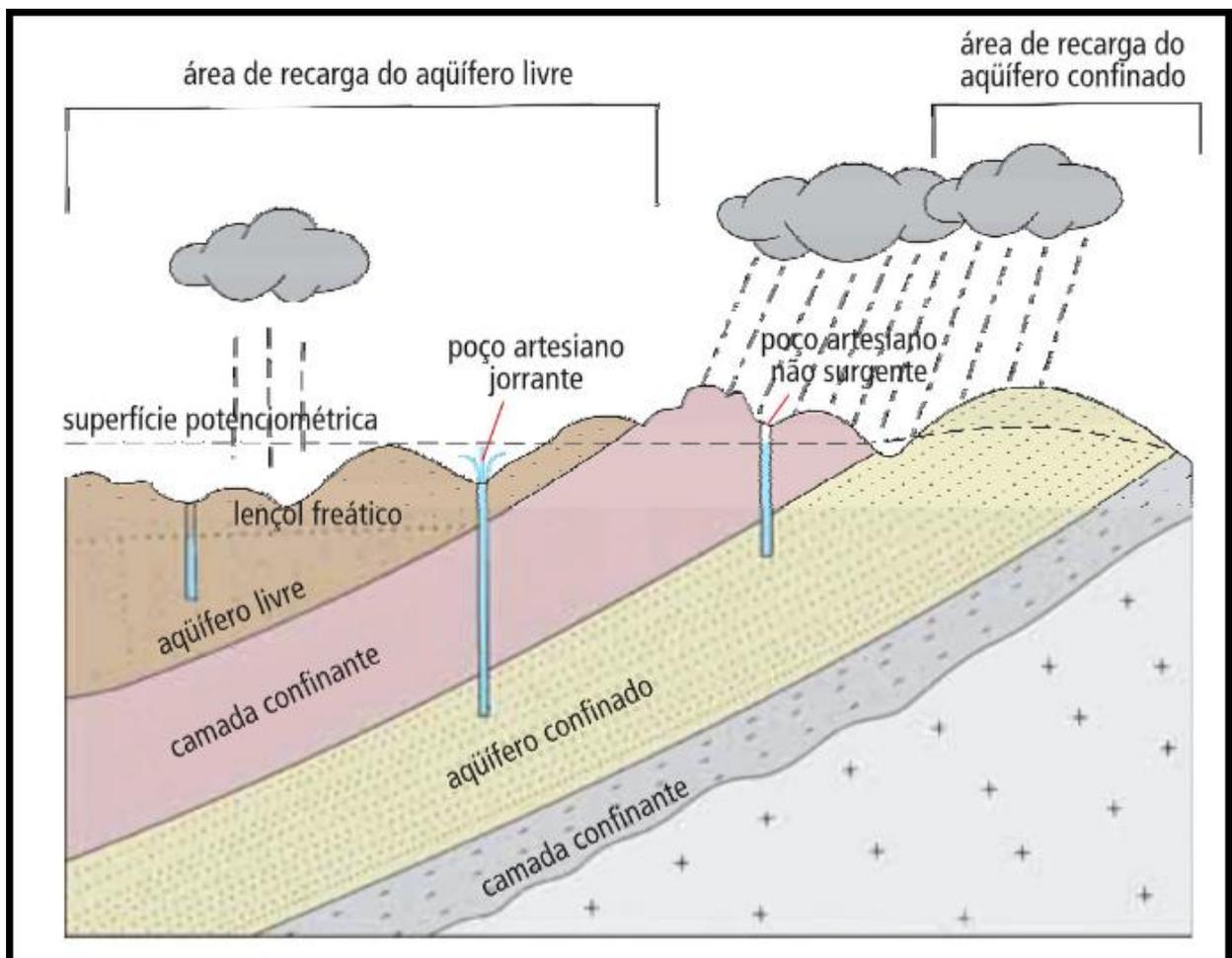
O aquífero é definido como uma camada hidrogeológica formada por rochas permeáveis, que armazena água em seus poros ou por fraturas. Para ser considerado aquífero, o material geológico além de permitir seu armazenamento deve ser capaz de facilitar sua transmissão dessas águas (Martelli, 2012).

De acordo com o Decreto Estadual nº 42.047/2002, para a preservação/ proteção dos aquíferos, o DRHS/SEMA e FEPAM podem restringir o uso das águas subterrâneas quando for necessário para a conservação das águas, priorizando o abastecimento da população, ou por motivos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos ou ecológicos. Para isso, podem ser instituídas áreas de proteção dos aquíferos, onde podem ser restringidas as vazões captadas nos poços, a distância mínima entre poços, a implantação de novas atividades potencialmente

poluidoras, entre outras medidas (SEMA, 2021). Conforme as características hidráulicas dos aquíferos, podem ser classificados como (Figura 7):

- **Aquífero Livre/ freático:** localizados próximo da superfície, onde a zona não saturada tem contato com zona saturada tem contato direto com zona não saturada. São aqueles que apresentam recarga direta pelas camadas de solo que se encontram subjacentes, principalmente por meio da precipitação (Seraphim, 2018).
- **Aquífero confinado:** A pressão no nível d'água é maior que a pressão atmosférica, dá-se principalmente a partir de aquíferos freáticos, através da camada semipermeável ou permeável, ou até mesmo por áreas que a camada confinante termina (Seraphim, 2018).

Figura 7: Classificação de acordo com características hidráulicas.



Fonte: SMA, 2008.

No sistema geológico, a natureza e a distribuição dos aquíferos e aquitardos são controladas pela litologia, estratigrafia e estrutura das formações geológicas (Feitosa *et al.*, 2008). A água subterrânea é também responsável por manter a perenização de rios durante os períodos de estiagem. Dentre as suas funções pode-se destacar ainda a função de produção,

ambiental, estratégica, transporte, filtro, energética, estocagem e regularização (Rebouças, 2006). Aquíferos são reservatórios subterrâneos, que podem ser extraídos em proporções consideráveis que permitam sua exploração economicamente e abastecimento público.

O sistema de aquíferos presentes dentro do município de São Sepé, é disposto de seis sistemas, e classificado em seis grupos por Machado e Freitas (2010) e divididos em 21 sistemas, de acordo com a porosidade e potencialidade para ocorrência de águas subterrâneas, nos quais estão listados abaixo.

- **Grupo 1:** Aquíferos com alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade Intergranular.
- **Grupo 2:** Aquíferos com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular.
- **Grupo 3:** Aquíferos com alta a média possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas.
- **Grupo 4:** Aquíferos com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas com porosidade por fraturas.
- **Grupo 5:** Aquíferos limitados de baixa possibilidade para água subterrânea em rocha com porosidade intergranular ou por fraturas.
- **Grupo 6:** Aquíferos praticamente improdutivos em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas.

Os aquíferos encontrados no município estão dispostos como mostra na figura 10, distribuídos em três grupos distintos. No grupo 2, encontram-se os Sistemas Aquíferos Palermo/Rio Bonito e Sanga do Cabral/Pirambóia, ambos caracterizados por sua porosidade intergranular e potencial médio a baixo para armazenamento de águas subterrâneas. O grupo 5 inclui os Aquitardos Permianos e o Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II, que apresentam restrições significativas em termos de armazenamento e fluxo de água. Por fim, no grupo 6, estão os Aquicludes Eopaleozoicos e o Sistema Aquífero Embasamento Cristalino III, considerados praticamente improdutivos devido à baixa porosidade de suas formações.

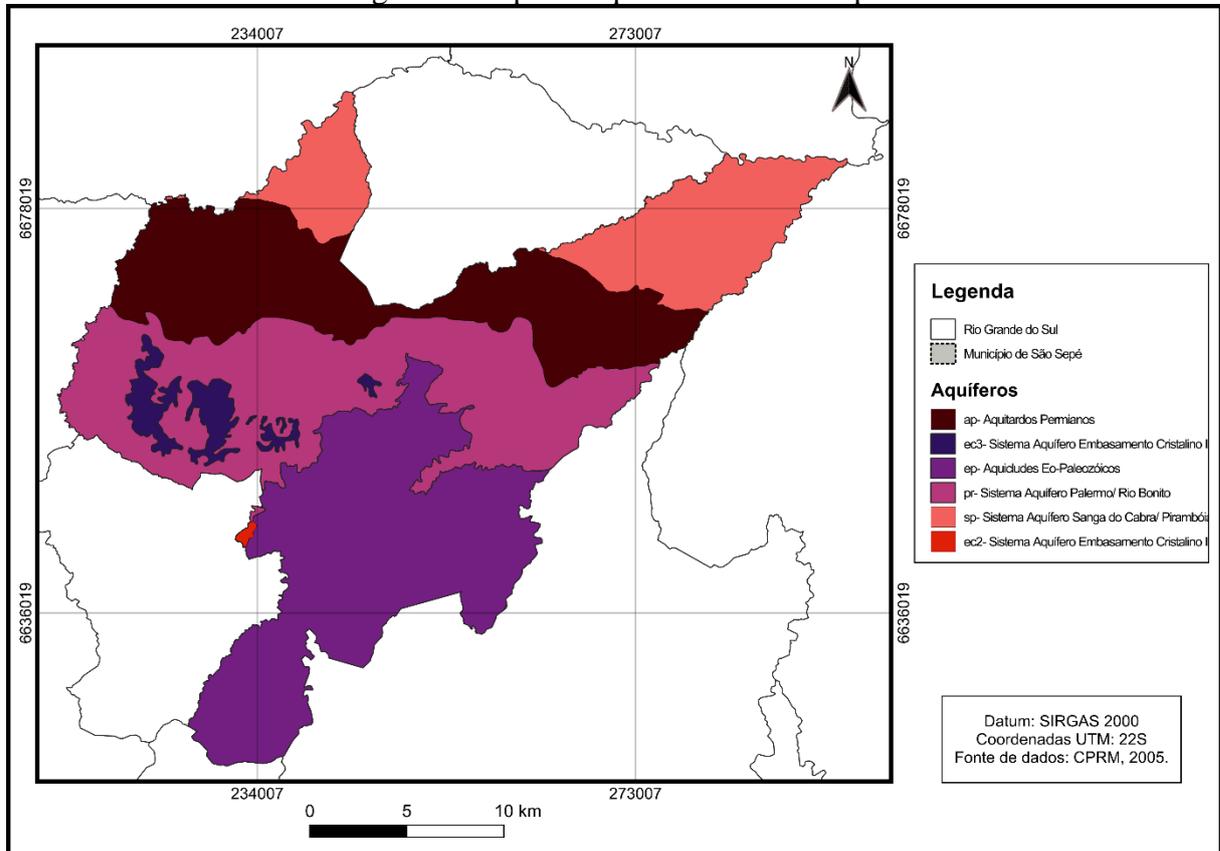
- **Sistema de Aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia:** esse sistema ocupa uma área de 16.450,0 km², desde a fronteira do Uruguai com o Rio Grande do Sul. Este sistema é composto por camadas siltico-arenosas avermelhadas, contendo uma matriz argilosa e arenitos finos e cimento calcífero. A vulnerabilidade natural deste sistema é média,

devido a grande quantidade de finas partículas em sua composição. No entanto, em áreas com maior predominância de camadas superficiais areníticas, essa vulnerabilidade pode ser considerada alta (Vieiro; Silva, 2005);

- **Sistema de Aquífero Palermo/Rio Bonito:** ocorre em uma área de 5.891,9 km², abrange rochas do Escudo Sul-Riograndense. Formadas por arenitos finos a médio, intercalados por camadas de siltitos argilosos e carbonosos. Estudos realizados pela CPRM/SGB em conjunto com o INCRA, nos assentamentos de Candiota e Hulha Negra, identificaram que o aquífero possui camadas de carvão e sedimentos que podem afetar a qualidade físico-química das águas. Diante disto, a utilização de estudos de perfilagem geofísica no projeto dos poços permite isolar os níveis mais produtivos e com melhor qualidade de água (Vieiro; Silva, 2005);
- **Aquitardos Permianos:** ocupa uma faixa estreita de 18.048 km² na Depressão Periférica. São formadas por siltitos argilosos, argilitos cinza-escuros, folhelhos pirobetuminosos, além de pequenas camadas de marga e arenitos finos. Estas formações apresentam vazões bem baixas ou até secas, a vulnerabilidade natural é insignificante devido ao alto teor de argilas e siltitos na sua composição (Vieiro; Silva, 2005);
- **Sistema Aquífero do Embasamento Cristalino II:** abrange uma área de 64.538 km², ocupam municípios de Bagé, Caçapava do Sul, Encruzilhada do Sul e uma porção de Porto Alegre. Compostas por granitos, gnaisses, andesitos, xistos, filitos e calcários metamorfizados, suas rochas apresentam frequentemente fraturas e falhas. A capacidade é geralmente inferior a 0,5 m³/h/m, com alta incidência de poços secos e sua vulnerabilidade depende da espessura do manto de alteração (Vieiro; Silva, 2005);
- **Aquicludes Eopaleozoicos:** ocorrem na região central e leste do Embasamento Cristalino, abrangendo municípios como Bagé, Caçapava do Sul, Lavras do Sul e Vila Nova do Sul. Formadas por arenitos finos a médios, com cimentação ferruginosa, calcítica e silicosa, essas rochas passaram por intensa diagênese e metamorfismo, tornando-se altamente resistente e com porosidades extremamente baixas. Resultando em condições péssimas de armazenamento, com poços tubulares constantemente secos (Vieiro; Silva, 2005);
- **Sistema Aquífero do Embasamento Cristalino III:** Localizado nas áreas mais elevadas do Embasamento Cristalino, formado por rochas graníticas, gnaisses, riolitos e andesitos pouco alterados. Devido à ausência de fraturas interconectadas, a espessura

reduzida do manto de alteração e a topografia desfavorável dificultam perfurações de poços tubulares nesta unidade (Vieiro; Silva, 2005).

Figura 8: Mapa de aquíferos em São Sepé



Fonte: Autora, 2024.

5.3 Pedologia e Uso

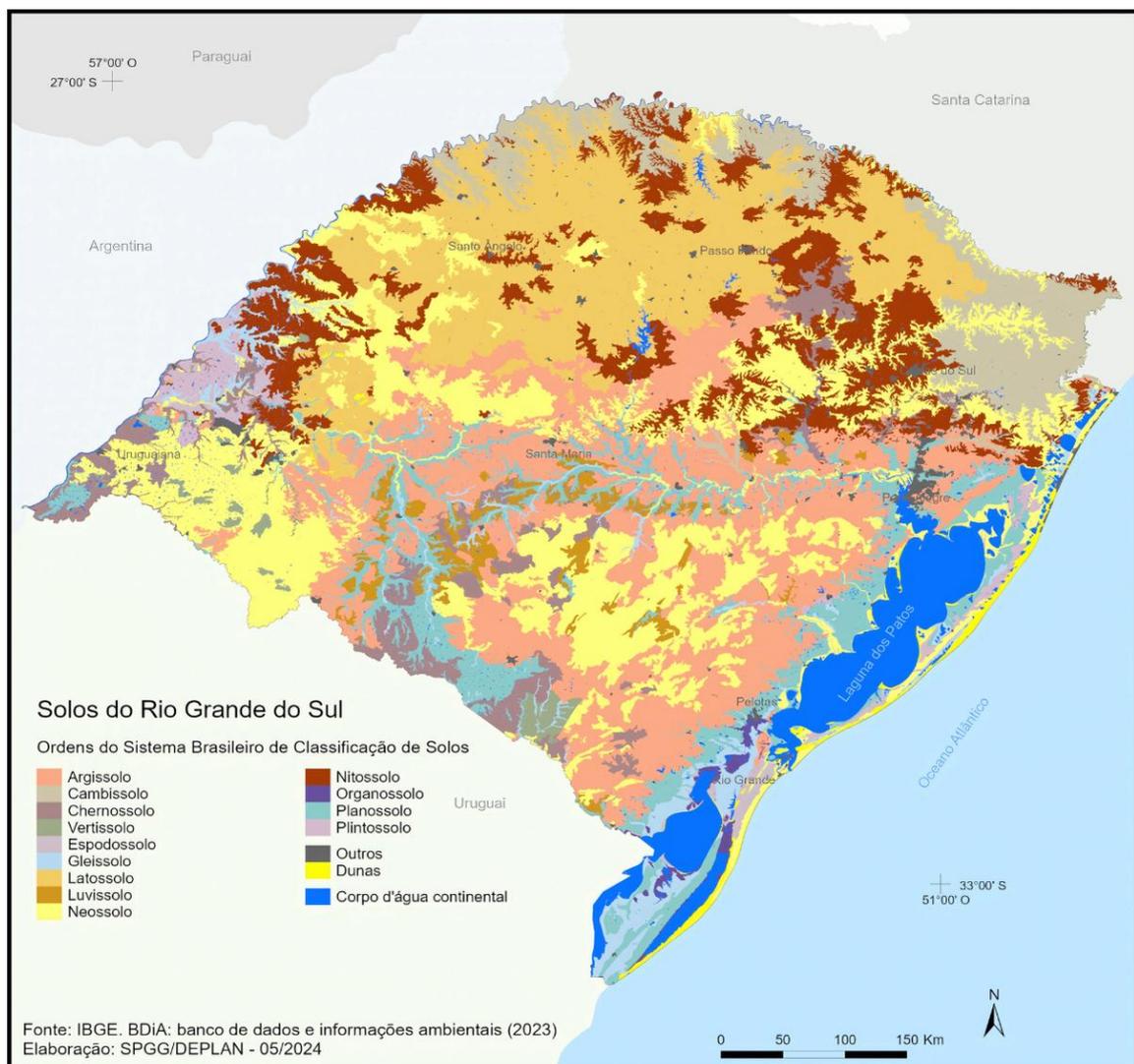
Diferentes combinações de fatores ambientais que influenciam a formação do solo explicam a diversidade de tipos de solos identificados no estado do Rio Grande do Sul (Figura 9). No município de São Sepé, conforme a classificação da EMBRAPA (2018), seis principais tipos de solos foram identificados, cada um com características específicas:

Argissolo Vermelho Distrófico (PVD), Argissolo Vermelho Alumínico (PVA) Argissolo Vermelho Ta Alumínico (PVva): a ocorrência depende de um relevo suave a fortemente ondulado, característica da região da Depressão Central. Eles possuem baixa fertilidade nos distróficos e forte acidez com alta saturação de alumínio nos alumínicos (Streck *et al.*, 2018). Esses solos apresentam boa drenagem, com textura arenosa nos horizontes A e E, permitindo alta infiltração. No entanto, o horizonte Bt, com textura mais argilosa, possui baixa permeabilidade, criando uma mudança textural abrupta. Essa diferença torna os solos mais

suscetíveis à erosão, especialmente em áreas inclinadas e sem manejo adequado. Durante períodos chuvosos, a baixa condutividade hidráulica no horizonte Bt pode levar a hidromorfia temporária, aumento do escoamento superficial e alta erodibilidade (EMBRAPA, 2018).

Chernossolo Ebânico Órtico (MEo) e Chernossolo Argilúvico Órtico (MTo): Esses solos possuem coloração escura, quase preta, formada pelo movimento da matéria orgânica da superfície para camadas mais profundas. São altamente produtivos, mas apresentam limitações em algumas áreas devido à baixa profundidade efetiva, restrições de dependência e dificuldades na mecanização agrícola (EMBRAPA, 2018). Os Chernossolos Ebânicos ocupam áreas pequenas com relevo irregular, o que dificulta a mecanização. São adequados para culturas anuais, fruticultura, pastagens e reflorestamento. Já os solos Argilúvicos localizam-se em relevos suavemente ondulados e são mais utilizados para pastagens (Streck *et al.*, 2018).

Figura 9: Mapa dos solos do Rio Grande do Sul.



Fonte: IBGE, 2023. Adaptado de SPGG/DEPLAN, 2024.

Luvissolo Crômico Pálido (TCp) e Luvissolo Háptico Órtico (TXo): O solo é composto principalmente por matéria mineral e possui alta saturação de argila (EMBRAPA, 2018). Uma característica marcante é a baixa profundidade. Os solos do tipo Luvissolos Crômicos ocorrem em relevo e são adequados para culturas anuais devido à capacidade de armazenamento de água. Já os solos Hápticos Órticos são suscetíveis à erosão, exigindo práticas de conservação, especialmente em relação à cobertura vegetal (Streck *et al.*, 2018). Estes possuem a presença de argila, porém com menor compactação em comparação aos Argissolos, podendo haver permeabilidade moderada.

Neossolo Litólico Eutrófico (RLe) e Distrófico (RLd) ou Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (RYve): Caracterizam-se como solos poucos desenvolvidos e compostos por material mineral e não apresentam horizonte B (EMBRAPA, 2018). São solos bem drenados desenvolvidos de rochas areníticas e metavulcânicas, ocorrem em relevo ondulado a forte ondulado. Devido a pouca profundidade, são solos difíceis de serem cultivados. A melhor utilização desses solos seria para preservação ambiental. Solos suscetíveis à erosão que necessitam de práticas de conservação (Brasil, 1793). Por ser pouco desenvolvido possui uma textura variável, dependendo do material de origem sendo arenoso, siltoso ou argiloso e com isso atingindo de moderada a alta permeabilidade.

Planossolo Háptico Eutrófico (SXe): Este tipo de solo é bem provido de bases, conferindo-lhe um elevado estado nutritivo. No entanto, apresenta sérias limitações físicas, como compactação, que dificulta a penetração das raízes e a preparação do solo. Devido ao contraste estrutural, esses solos são altamente suscetíveis à erosão, especialmente em condições de compactação (EMBRAPA, 2018). São caracterizados por baixa permeabilidade, tendo horizontes superficiais compactos e argilosos, o que reduz a infiltração e por vezes apresentam escoamento superficial elevado e baixa infiltração, o que pode levar a limitação do potencial de recarga de aquíferos.

Gleissolo Háptico Ta Eutrófico (GXve): ocorrem em depressões mal drenadas, solos pouco profundos de coloração acinzentada ou preta. Os solos se encontram periodicamente saturados, exceto quando são submetidos a drenagem artificial. Constituídos com alta atividade de argila e saturação. Geralmente ocupam planícies baixas e apresentam um perfil arenoso ou argiloso (Streck *et al.*, 2018).

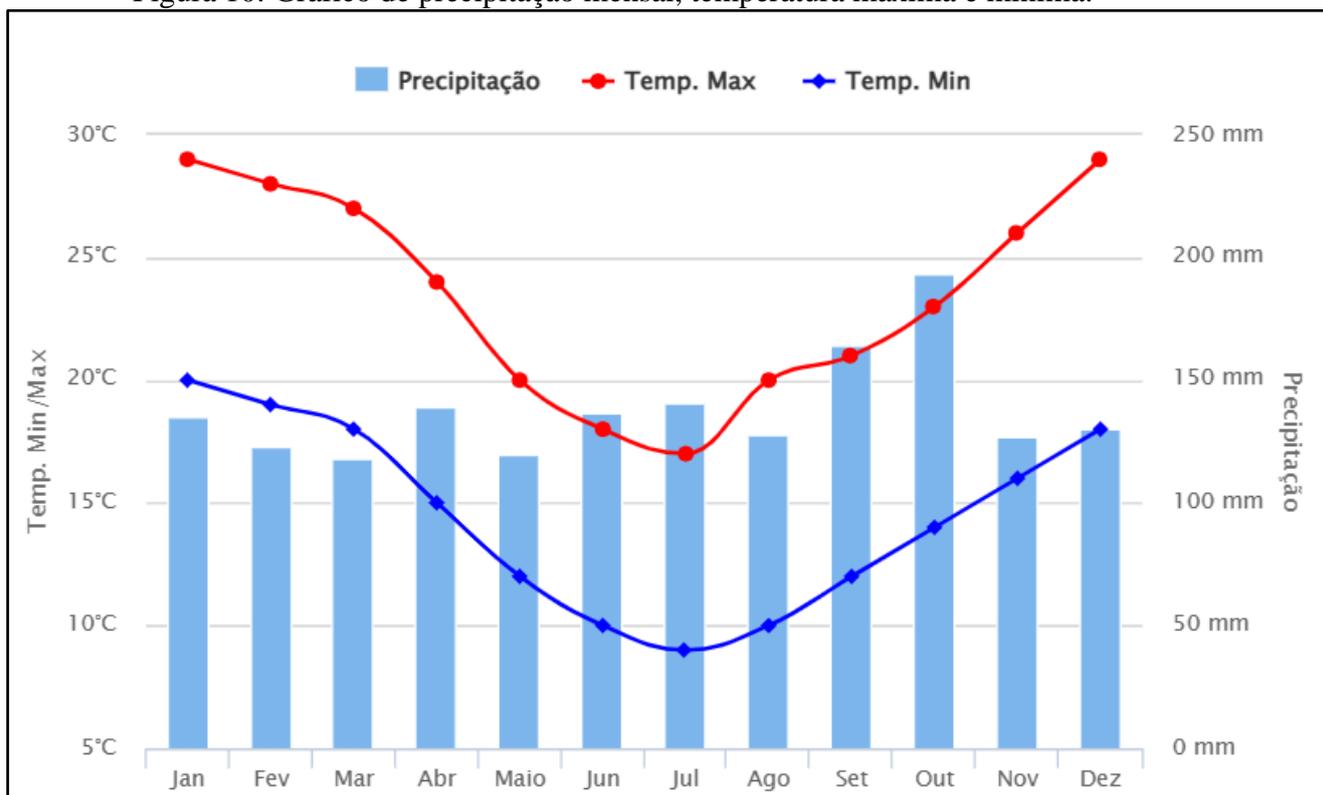
5.4 Clima

No Brasil, distinguem-se os seguintes climas: Equatorial, Tropical, Semi Árido e Subtropical (CPRM, 2008). O clima do Rio Grande do Sul é classificado como Subtropical, do tipo Mesotérmico Úmido, caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos frios e relativamente secos (São Sepé, 2016). Segundo Sartori (2003), há uma evidente variabilidade temporal e espacial das precipitações, que resulta em episódios de longas estiagens ou enchentes, podendo ocorrer em qualquer época do ano. Essas variações alteraram a circulação atmosférica nas escalas regionais e zonais, sendo parcialmente influenciadas pelos conhecidos “El Niño” e “La Niña”.

De acordo com o MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação) (2024), os padrões de precipitação mudaram muito ao longo das últimas décadas no Brasil. Enquanto, uma parte do país registra aumento nos volumes médios anuais, outras regiões apresentam baixo volume de chuva. Os resultados entre os anos de 2011 a 2020, destacam que os estados da região do Sul, São Paulo e Mato Grosso do Sul, registram um aumento do volume de precipitação que chegou a 1.660 mm por ano, indicando um aumento de 30%.

Conforme o Plano municipal de saneamento básico de São Sepé (2016), o clima do município é definido como temperado, com temperaturas médias anuais que variam entre 18°C e 20°C, variações sazonais são marcadas por amplitudes térmicas entre 22°C a 24°C. Durante o período do verão, as temperaturas podem ultrapassar os 40°C, enquanto no inverno, as mínimas chegam a -5°C. Apesar das chuvas serem bem distribuídas ao longo do ano a precipitação anual do município, como mostrado na figura 10, podemos observar a média anual de dados nos últimos 30 anos, onde os meses mais chuvosos foram setembro e outubro, com média de 193 mm a 164 mm, e os menos chuvosos foram os meses de fevereiro a março, com precipitação média 123 mm a 118 mm (Climatempo, 2024).

Figura 10: Gráfico de precipitação mensal, temperatura máxima e mínima.



Fonte: Climatempo, 2024.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento inicial deste trabalho consistiu na elaboração de mapas temáticos a partir de dados geoespaciais coletados em formato vetorial e raster. Esses dados foram obtidos através de banco de dados online e utilizados para a elaboração de mapas que representem as características hidrogeológicas e ambientais do município de São Sepé. Entre os mapas elaborados estão a classe de solo, o uso do solo, declividade, hipsométrico, pluviométrico e rede de drenagens, todos padronizados na escala de 1:500.000.

Para a elaboração desses mapas foi utilizado o *software* QGIS 3.34®, que permite a análise, edição, visualização e produção de mapas com dados georreferenciados. A metodologia adotada integrou o processamento de dados geoespaciais e a reclassificação temática dos mapas, com base nos critérios estabelecidos em estudos bibliográficos relacionados ao tema. Para cada mapa foram atribuídos pesos para as suas diferentes classes, de acordo com a sua influência no objetivo geral do trabalho. Os pesos foram atribuídos com o auxílio do método de Processo Analítico Hierárquico (AHP). O método consiste em uma abordagem de tomada de decisão multicritério. Esta metodologia é flexível e adaptável o que facilita a definição de prioridades e a escolha da melhor alternativa, integrando aspectos quantitativos e qualitativos.

6.1 Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informações Geográficas (SIG)

O sensoriamento remoto como definido por Freitas (1998), é uma técnica de aquisição de informações sobre objetos, sem haver contato físico com os mesmos. Para a existência do sensoriamento remoto é necessário que haja uma fonte de energia que ilumina ou forneça energia eletromagnética, como luz, calor, ondas de rádio, para o objeto de interesse (Leite, 2008). Posto isto, uma definição mais rigorosa sobre o sensoriamento remoto é dada com uma medida de troca energética da interação da radiação eletromagnética de um determinado comprimento de onda com os objetos da superfície terrestre (Meneses; Ferreira Júnior; 1995).

O conceito baseia-se na radiação eletromagnética emitida pelo alvo, que contém informações a respeito de suas propriedades espaciais, como tamanho, forma, estrutura e textura, e nas propriedades espectrais, a reflectância, absorvância, transmitância e emitância (Freitas, 1998).

Na estimativa da recarga, o sensoriamento remoto pode ser utilizado em larga escala, seja por meio de medidas indiretas de umidade do solo ou também em modelos de balanço hídrico. Desta forma, a classificação de imagens de satélite, com elaboração de mapas de declividade, cobertura e uso do solo, empregando técnicas de classificação supervisionada e não supervisionada, permite identificar áreas e facilitar uma análise qualitativa e quantitativa de recarga em diferentes coberturas do solo (Chaves *et al.*, 2009).

De acordo com IBGE (2019), imagens de sensoriamento remoto (SR) são utilizados tanto para mapeamento de referência, quanto para mapeamento temático, sendo armazenados em formato matricial. Exemplos incluem imagens de território, como aquelas obtidas por sensores em satélites artificiais (imagens de satélites) ou em aeronaves (fotografias aéreas), incluindo também fotografias de paisagem.

O emprego de ferramentas SIG para o planejamento ambiental tem sido validado por diversos autores (Alves *et al.*, (2008); Bolfe *et al.*, (2008); Almeida *et al.*, (2007); Donha *et al.*, (2006); Campos *et al.*, (2004).), que permitem a avaliação integrada de diversas variáveis, que facilitam a geração rápida de informações e possibilitam a inclusão de novos dados e na interação a qualquer momento durante o processo.

A coleta dos dados geoespaciais, foram em formato de vetorial e raster.

6.1.1 Declividade

A associação entre declividade e geomorfologia define áreas de convergência e divergência de fluxos, identificando zonas com maior ou menor potencial de infiltração, essenciais para delimitação de áreas de recarga hídrica subterrânea (Botelho e Silva, 2004 *apud* Limoeiro, 2021).

Segundo Chiaranda (2002), áreas com menor declividade, contribuem para a infiltração da água, possibilitando um maior fluxo pelo meio poroso. Enquanto, áreas com maior declividade, tendem a demonstrar um fluxo de velocidade maior, de modo que a infiltração é menor (Chiaranda, 2002).

As áreas onde apresentam relevo plano a suavemente ondulado, caracterizam zonas mais propensas à recarga hídrica (Almeida; Silva, 2007). Diante disso, para o estudo foi gerado um mapa a partir do banco de dados Open Topography, utilizando o modelo de elevação digital (MDE) Copernicus GLO-30, na versão DGED 2023_1, processada utilizando o programa Qgis, e classificadas de acordo com o IBGE (2009).

Tabela 1: Classificação das declividades, de acordo com os seus valores em %.

| Declividade % | Classificação |
|---------------|---------------|
| 0-3 | Muito Fraca |
| 3-8 | Fraca |
| 8-20 | Moderada |
| 20-45 | Forte |
| 45 > | Muito Forte |

Fonte: IBGE, 2009.

Para a reclassificação do mapa de declividade foi utilizada a metodologia da Embrapa (1999), que classifica 6 classes, reconhecidas como:

- **Plano:** áreas com relevo quase plano ou horizontal, com declividades que variam de 0% a 3%.
- **Suave ondulado:** Áreas com relevo levemente ondulado, formados por colinas e/ ou outeiros, apresentam altitudes de até 50 m a 100 m, variam de 3% a 8%.
- **Ondulado:** Áreas com relevo pouco movimentado, caracterizadas por conjuntos de colinas e/ou outeiros, exibindo declividades moderadas, que variam de 8% a 20%.
- **Forte ondulante:** Áreas de relevo mais acentuadas, compostas por outeiros e morros, com declives fortes que variam de 20% a 45%.

- **Montanhoso:** Áreas onde o relevo é vigoroso e acidentadas, geralmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos, que apresentam declividade forte que variam de 45% a 75%.
- **Escarpado:** Áreas que predominam formas abruptas, íngremes e escarpados, como, frentes de cuevas, falésias e vertentes de declives marcantes, onde a declividade é superior a 75%.

6.1.2 Hipsométrico

A hipsometria e a declividade são atributos geomorfológicos que possibilitam a análise e avaliação de modelos digitais de elevações (MDE). A carta hipsométrica é definida para destacar a altimetria da área, oferecendo uma visão ampla do relevo e do rebaixamento do terreno. As análises das bases cartográficas, a elaboração dos mapas hipsométricos e a declividade, permitiram a visualização das altitudes e cotas mínimas e máximas da área em estudo (Soares; Piroli, 2019).

No município de São Sepé, de acordo Silveira *et al.* (2011), foi proposto uma compartimentação baseada na hipsometria, abrangendo o município. Foram delimitados dois compartimentos principais, definidos com base na altitude e morfologia: Planície Aluvial e Colinas ou Coxilhas, subdividindo em transacional e topo das Coxilhas.

Para a elaboração do mapa hipsométrico da área de estudo foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) do banco de dados Open Topography e o modelo Copernicus GLO-30, na versão DGED 2023_1.

6.1.3 Classe de Solos

O solo atua como reservatório dinâmico de água, desempenhando um papel essencial no processo de recarga hídrica subterrânea. Suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas influenciam diretamente na capacidade de infiltração de água, já que o processo de recarga hídrica está diretamente associado à capacidade de infiltração dos solos (Menezes, 2007; Araújo, 2006).

Segundo Paiva (2006), a textura do solo e a permeabilidade desempenham um papel importante na avaliação da recarga hídrica, pois solos de granulação grossa geralmente apresentam taxas de recarga maiores, enquanto solos com granulação fina são baixos (Paiva, 2006). Para a identificação dos solos presentes dentro da área de estudo, foi utilizado o acervo de solos do IBGE 2023. Foi reclassificado em seis tipos de classe de solo.

6.1.4 Uso e Ocupação do Solo

Segundo Paes *et al.* (2012), o uso e manejo do solo impactam diretamente no processo de recarga hídrica subterrânea, pois essas atividades influenciam na estrutura dos solos. Desse modo, a substituição da cobertura vegetal original por usos como pastagem, vegetação alterada, agricultura ou áreas urbanas, reduzem a capacidade de infiltração, conseqüentemente no potencial de armazenamento são afetados (Chiaranda, 2002).

A urbanização exerce um impacto significativo para a recarga direta, pois ela é reduzida, devido à extensa presença de áreas impermeáveis. Porém, a perda de áreas permeáveis é compensada, ou até mesmo superada pela existência de outras fontes de recarga indireta (Maziero; Wendland, 2005).

O mapa de uso do solo foi elaborado a partir do banco de dados da coleção 9 do MapBiomias, que inclui dados anuais de cobertura e uso da terra do Brasil entre os anos de 1985 a 2023, em formato de GeoTiff. De acordo com a metodologia proposta pelo MapBiomias, os mapas são atualizados de forma contínua. Foi optado por reclassificar o mapa de uso de solo em 6 classes (Tabela 2).

Tabela 2: Reclassificação de classes de uso e ocupação de solo.

| Classes Principais | Classes Secundarias |
|---------------------------------------|--|
| Floresta | Formação Florestal |
| Agropecuária | Silvicultura; Arroz; Soja; Outras Lavouras Temporárias; Mosaico de Usos. |
| Vegetação Herbácea e Arbustiva | Campo Alagado e Área Pantanosa; Formação Campestre; Afloramento Rochoso. |
| Área não vegetada | Outras Áreas Não Vegetadas. |
| Corpo D'água | Rio; Lago; Oceano. |
| Área Urbanizada | São Sepé |

Fonte: MapBiomias, 2024.

6.1.5 Pluviometria

A precipitação pluviométrica é a principal fonte de água em uma bacia hidrográfica, possui um papel fundamental para processos como o escoamento superficial e infiltração (Carmo, 2014). Estudar as variações pluviométricas é de grande importância para qualificar os interesses para sociedade e planejamento rural e urbano. Além de servir de subsídio para os recursos hídricos (Marcuzzo, 2020).

O cálculo para média de precipitação em uma área específica, se faz necessária em muitos tipos de problemas hidrológicos e hidrogeológicos, como por exemplo, para a determinação do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica ou de um aquífero. Esse estudo

poderá ser realizado com base em um temporal isolado, ou com base em valores mensais ou totais anuais, contribuindo para o cálculo da recarga hídrica (Cunha *et al.*, 2023).

O mapa pluviométrico foi gerado a partir dos dados de precipitação anual e dados de médias anuais, entre os anos de 2011 a 2023, de treze estações, como mostra na tabela 3. Os dados obtidos das estações pluviométricas a partir do banco de dados do portal HidroWeb, é uma ferramenta integrada do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que oferecem o acesso ao banco de dados coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), que reúnem dados das estações disponíveis e operantes de cada região ou município.

Tabela 3: Estações pluviométricas e dados anuais e médias anuais.

| Nº Estação | Responsável | Nome da Estação | Latitude | Longitude |
|------------|-------------|------------------------------------|----------|-----------|
| 3053017 | ANA | Passo dos Freires -SS | -30.4353 | -53.7125 |
| 3053020 | ANA | São Sepé Montante | -30.1936 | -53.5644 |
| 3053004 | ANA | Passo da rocha - SG | -30.2325 | -53.9933 |
| 3053021 | ANA | Barro Vermelho - Cach. Sul | -30.1406 | -53.1589 |
| 3053022 | ANA | Caçapava do Sul | -30.5194 | -53.4917 |
| 2953037 | ANA | Passo são Lourenço - Cach. Sul | -30.0089 | -53.015 |
| 2953008 | ANA | Dona Francisca | -29.6244 | -53.3519 |
| 2952034 | ANA | Candelária | -29.6694 | -52.7903 |
| 2954032 | ANA | Ponte Toropi II - São Pedro do Sul | -29.6533 | -54.4314 |
| 3054019 | ANA | Ibare - Lavras do Sul | -30.7744 | -54.2247 |
| 3053023 | ANA | Três Passos II- Lavras do Sul | -30.9689 | -53.965 |
| 3052017 | ANA | Barragem Capané - Cach. Sul | -30.1869 | -52.9133 |
| 2952003 | ANA | Botucarai - Candelária | -29.7128 | -52.89 |

Fonte: Hidroweb, 2024.

6.2 Processo Analítico Hierárquico (AHP)

O Processo Analítico Hierárquico (AHP), proposto por Saaty (1971), é um método de decisão multicritério, que é amplamente utilizado para solucionar problemas complexos em diversas áreas. Sua aplicabilidade abrange desde estudos ambientais até avaliação de projetos, possuindo uma utilidade para vários cenários. Esse método é baseado no conceito newtoniano e cartesiano, que busca abordar a complexidade decompondo e dividindo o problema em fatores, que podem então ser decompostos em novos fatores até o nível mais baixo, mais claro e mais escalável, e estabelecendo relacionamentos para sintetizar (Celestino *et al.*, 2018).

A vantagem do método AHP é que ele permite ao usuário atribuir pesos relativos a vários critérios, ou a várias alternativas para um determinado critério, de forma intuitiva, enquanto realiza uma comparação par a par entre eles. Isso permite que, mesmo quando duas

variáveis são incomparáveis, com o conhecimento e a experiência das pessoas, pode-se identificar qual dos critérios é o mais importante (Saaty, 1991).

Na hidrogeologia, trabalhos de autores como Razandi *et al.* (2015), Mogaji; Lim (2017) Fashae *et al.* (2014), o método AHP tem se destacado na prospecção de águas subterrâneas, considerando tanto parâmetros superficiais, quanto dados subsuperficiais. Além disso, a metodologia é amplamente aplicada no campo profissional, destacando-se na avaliação de riscos em projetos (Huang *et al.*, 2004).

Segundo Saaty (2006), os pesos relativos, também conhecidos como prioridades, são atribuídos por meio de comparações paritárias e estabelece a importância dos critérios. Estes pesos são baseados em julgamentos que expressam a relação entre os dois elementos, organizados em uma matriz quadrada. Nesta matriz, cada elemento é comparado com os outros e o julgamento representa a relação de um elemento um sobre o outro (Pinto *et al.*, 2017; Saaty., 2012).

Para realizar os julgamentos, Saaty (1991, 2006) sugere o uso de uma escala numérica de 1 a 9. Nessa escala, o valor de 1 representa que as duas atividades possuem a mesma importância, enquanto o valor 9 representa extrema importância de um critério sobre o outro (quadro 1).

Quadro 1: Escala de comparações do Processo Analítico Hierárquico (AHP).

| Intensidade de importância | Definição | Explicação |
|----------------------------|--|--|
| 1 | Mesma importância | As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo. |
| 3 | Importância moderada de uma sobre a outra | A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra. |
| 5 | Importância grande ou essencial | A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação a outra. |
| 7 | Importância muito grande ou essencial | Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática. |
| 9 | Importância absoluta | A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza. |
| 2, 4, 6, 8 | Valores intermediários entre os valores adjacentes | Quando se procura uma condição de compromisso entre as duas partes |

Fonte: Extraído de Saaty (1991), traduzido.

O método também se destaca por avaliar a Razão de Consistência (RC) do julgamento entre os critérios e subcritérios, o valor aceitável para a RC é de 0,1 ou 10%, caso o valor ultrapasse é necessário reavaliar os julgamentos da matriz (Saaty, 1987; 2006). O RC é um produto da razão entre o Índice de Consistência (IC) e o Índice de Consistência Randômico (IR) conforme a ordem da matriz (n) (tabela 4). O Índice de Consistência é calculado pela equação (1) e a Razão de Consistência é pela equação (2).

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

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Tabela 4: índice de Consistência Randômico, onde n representa a ordem da matriz.

| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| IR | 0,00 | 0,00 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 | 1,51 | 1,48 | 1,56 | 1,57 | 1,59 |

Fonte: Saaty, 1990.

Neste estudo, o método AHP foi utilizado para considerar pesos aos fatores temáticos que influenciam a recarga hídrica subterrânea. Fatores temáticos como declividade, hiposometria, classe de solo, uso do solo, pluviometria e redes de drenagem foram avaliados, e suas contribuições relativas foram ponderadas com base na escala proposta por Saaty (1991). A avaliação dos pesos foi acompanhada de uma verificação de consistência, garantindo que os julgamentos fossem consistentes e representativos para a área de estudo.

Ressaltando que as atribuições de peso foram atribuídas tanto nos subcritérios (classes) e nos critérios (fatores) individualmente. Para o grau de importância, ou o peso atribuído no julgamento de cada fator temático, foram baseadas em referências bibliográficas. Todos os cálculos para obtenção foram feitos através da calculadora AHP *online*, desenvolvida pelo autor Klaus D. Gospel.

6.3 Reclassificação dos pesos

Nesta etapa, foi realizada a reclassificação das variáveis em função do seu grau, os mapas temáticos receberam pesos que variam entre 1 e 5 (Marcelino, 2023; Limoeiro, 2020; Pereira, 2020). As variáveis foram convertidas para raster e reclassificadas na opção de “reclassificar por tabela”, disponível na caixa de ferramenta no QGIS, de forma que quanto maior o grau, maior é a suscetibilidade para a recarga do aquífero.

Com base no mapa de declividade, foi realizada uma matriz de correlação e adaptada para os padrões da área de estudo, a menor declividade recebeu o peso maior (5) e as áreas de maior declividade receberam o peso menor (1). De acordo com Ribeiro *et al.* (2010), áreas com declividades baixas influenciam no tempo do escoamento superficial e a concentração da chuva. Na tabela 5, se encontram as classes de declividade estabelecidas no município de São Sepé.

Tabela 5: Pesos para declividade para potencial de recarga.

| Declividade | Potencial de Recarga | Peso |
|-----------------------|-----------------------------|-------------|
| Plano | Muito Alto | 5 |
| Suave-Ondulado | Alto | 4 |
| Ondulado | Moderado | 3 |
| Forte Ondulado | Baixo | 2 |
| Montanhoso | Muito Baixo | 1 |

Fonte: Adaptado de Marcelino (2023).

Para o mapa de hipsometria foram atribuídos pesos em questão de zonas mais suscetíveis para a recarga, que são altitudes maiores e preferências para o processo de infiltração. Com base no estudo de Limoeiro (2020)) e adaptado por Marcelino (2023), foi utilizada como embasamento para atribuição dos pesos, como mostrado na tabela 6.

Tabela 6: Pesos para hipsometria para potencial de recarga.

| Hipsometria | Potencial de Recarga | Peso |
|--------------------|-----------------------------|-------------|
| >50 m | Baixa | 1 |
| 100 – 200 m | Moderada | 2 |
| 200-300 m | Alta | 3 |
| 300-400 m | Alta | 4 |
| 400-500 m | Muito Alta | 5 |

Fonte: Autora (2024), adaptado de Marcelino (2020) e Limoeiro (2020)).

Com base nas características das diferentes classes de uso e ocupação do solo, para a suscetibilidade de infiltração no solo, foi estabelecida uma ordem hierárquica, baseando-se nos estudos anteriores de Limoeiro (2022), Pereira (2020) e Marcelino (2023). Assim, hierarquizando uma ordem de potencial para recarga mostrada na tabela 7.

Tabela 7: Pesos reclassificados para Uso e Ocupação de solos.

| Uso e Ocupação do Solo | Potencial de Recarga | Peso |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------------|
| Florestal | Muito Alta | 5 |
| Vegetação Herbácea e Arbustiva | Alta | 4 |
| Agropecuária | Moderada | 3 |
| Corpo d'água | Baixa | 2 |
| Área não vegetada | Muito Baixa | 1 |
| Área Urbana | Muito Baixa | 1 |

Fonte: Autora, 2024.

Para a reclassificação de classe de solos, foram atribuídos pesos com base em características do escoamento superficial para a capacidade de infiltração, com base nas características de condutividade hidráulica, espessura e capacidade de armazenamento (Marcelino, 2023). Assim foram atribuídos pesos considerando a favorabilidade para o potencial de infiltração no solo, utilizando uma hierarquia (Tabela 8).

Tabela 8: Pesos para classes de solo com potencial de recarga.

| Classe de Solo | Potencial de Recarga | Peso |
|-----------------------|-----------------------------|-------------|
| Neossolos | Muito Alta | 5 |
| Chernossolos | Alta | 4 |
| Argissolos | Moderada | 3 |
| Luvisolos | Baixa | 2 |
| Planossolos | Baixa | 2 |
| Gleissolos | Muito Baixa | 1 |

Fonte: Autora, 2024.

A reclassificação para a pluviometria recebeu peso maior (4), baseando-se nos trabalhos de Limoeiro (2020) e Marcelino (2023), pois os dados interpolados resultaram em cinco classes que não mostram tanta variação na precipitação, onde as autoras consideraram atribuir valor alto para precipitação acima de 1000 mm. E por fim, os pesos para a rede de drenagem foram obtidos pela densidade de drenagem e classificados com zonas de menor valor de densidade. Neste caso foram atribuídos valores entre cinco e um.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os fatores temáticos gerados permitiram identificar as zonas prioritárias para a recarga subterrânea, considerando critérios como declividade, hiposometria, classe de solos, rede de drenagem e pluviometria. Os resultados para este estudo foram organizados em etapas, desde a coleta e análise dos fatores temáticos, até a criação do mapa final de recarga.

7.1 Mapas temáticos e atribuição de pesos

Com base nos dados coletados e processados, foram elaborados seis mapas temáticos para análise:

- Declividade

Segundo Cunha (2001, p. 42) *apud* Rosa (2019), o mapa de declividade “tem como objetivo quantificar a inclinação ou declive do terreno”. Com isso, a declividade tem uma grande importância para os estudos de vertentes, determinante para ocorrência de dinâmicas superficiais, como processos de acumulação e erosão (Rosa, 2019).

O mapa de declividade do município de São Sepé apresenta uma classificação do terreno, que mostra a distribuição das classes de declividade na área de estudo e sua relação em processos como a infiltração, no escoamento superficial e recarga dos aquíferos. As informações geradas pelo mapa de declividade mostraram cinco classes que variam de declividades planas e montanhosas (tabela 9). Desse modo é possível observar que na figura 11, as declividades 0-3 (%), representam uma área de 732,924 km², esta porção associa-se a depósitos aluviais ao norte do município e em algumas áreas na região central.

Tabela 9: Aspectos de declividade no município de São Sepé

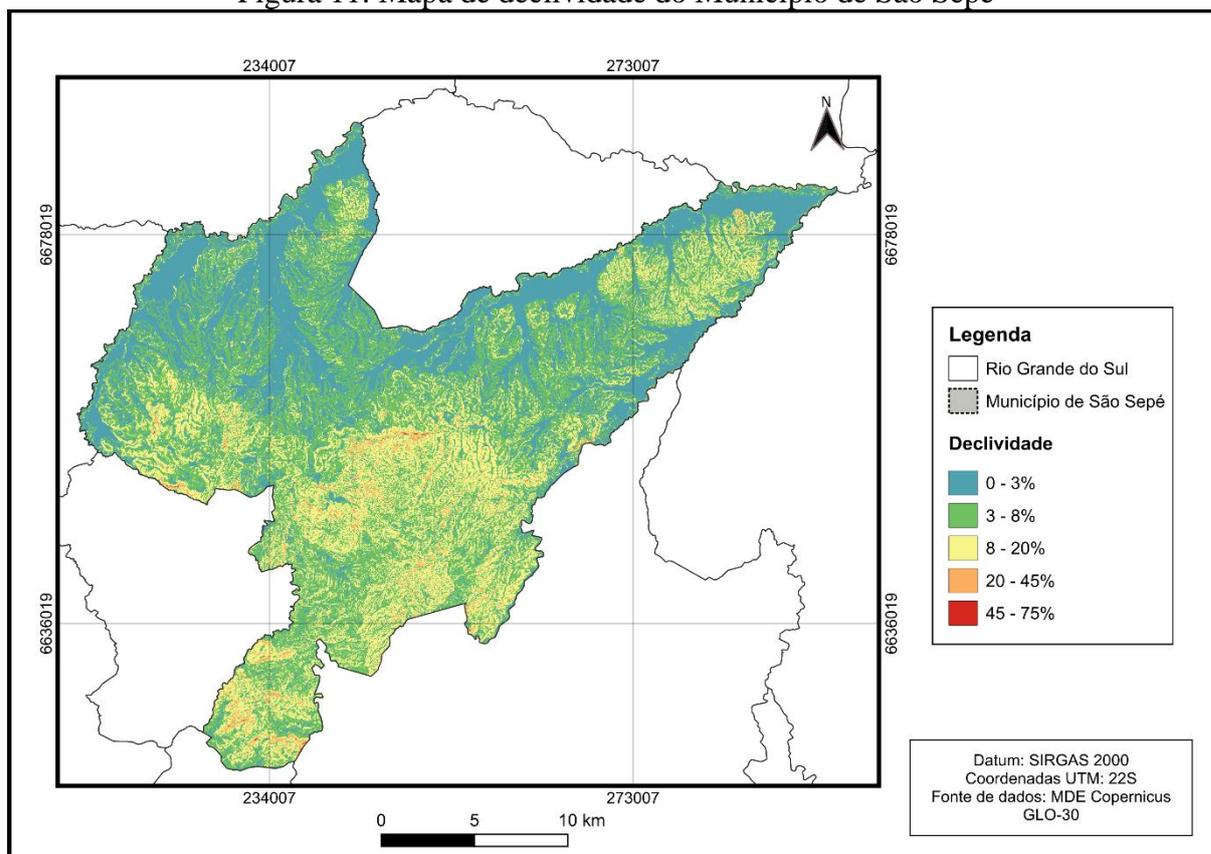
| Declividade (%) | Classificação | Área (km ²) | Área (%) |
|-----------------|----------------|-------------------------|----------|
| 0-3 | Plano | 732.924 | 33.21 |
| 3-8 | Suave Ondulado | 885.941 | 40.15 |
| 8-20 | Ondulado | 545.839 | 24.74 |
| 20-45 | Forte Ondulado | 41.390 | 1.88 |
| 45-75 | Montanhoso | 0.559 | 0.03 |

Fonte: Autora, 2024.

As áreas suave-onduladas (3-8%), ocupam a maior porção territorial do município de aproximadamente 885,941 km², que estão localizadas nas porções central e oeste, cobrindo a maior parte do terreno. Estão associadas a terrenos levemente inclinados, que favorecem o uso da agricultura. As áreas onduladas (8-20%), dispostas principalmente nas porções sul e sudeste do município, apresentam 545,839 km² de área, associadas a encostas moderadamente

inclinadas, que caracterizam maior susceptibilidade à erosão superficial e a presença de redes de drenagem bem definidas. Porções localizadas ao sul e sudeste do município, classificadas como forte-ondulado (20-45%) abrangendo 41,390 km² e montanhosas (45-75%) com aproximadamente 0,559 km², são as porções associadas por encostas acentuadas que dificultam o uso agrícola, são menos representativas dentro do município.

Figura 11: Mapa de declividade do Município de São Sepé



Fonte: Autora, 2024.

- Hipsométrico

A distribuição das altitudes dentro do município de São Sepé apresenta uma altitude mínima de 24 m, ocupando a porção norte do município por onde se encontram os principais rios Vacacaí, São Sepé e Santa Bárbara. A máxima altitude de 457 m do município, localiza-se na porção sudoeste, abrangendo o Escudo Sul-riograndense (Rosa, 2019). As altitudes estão apresentadas na tabela 10 e representadas na figura 12.

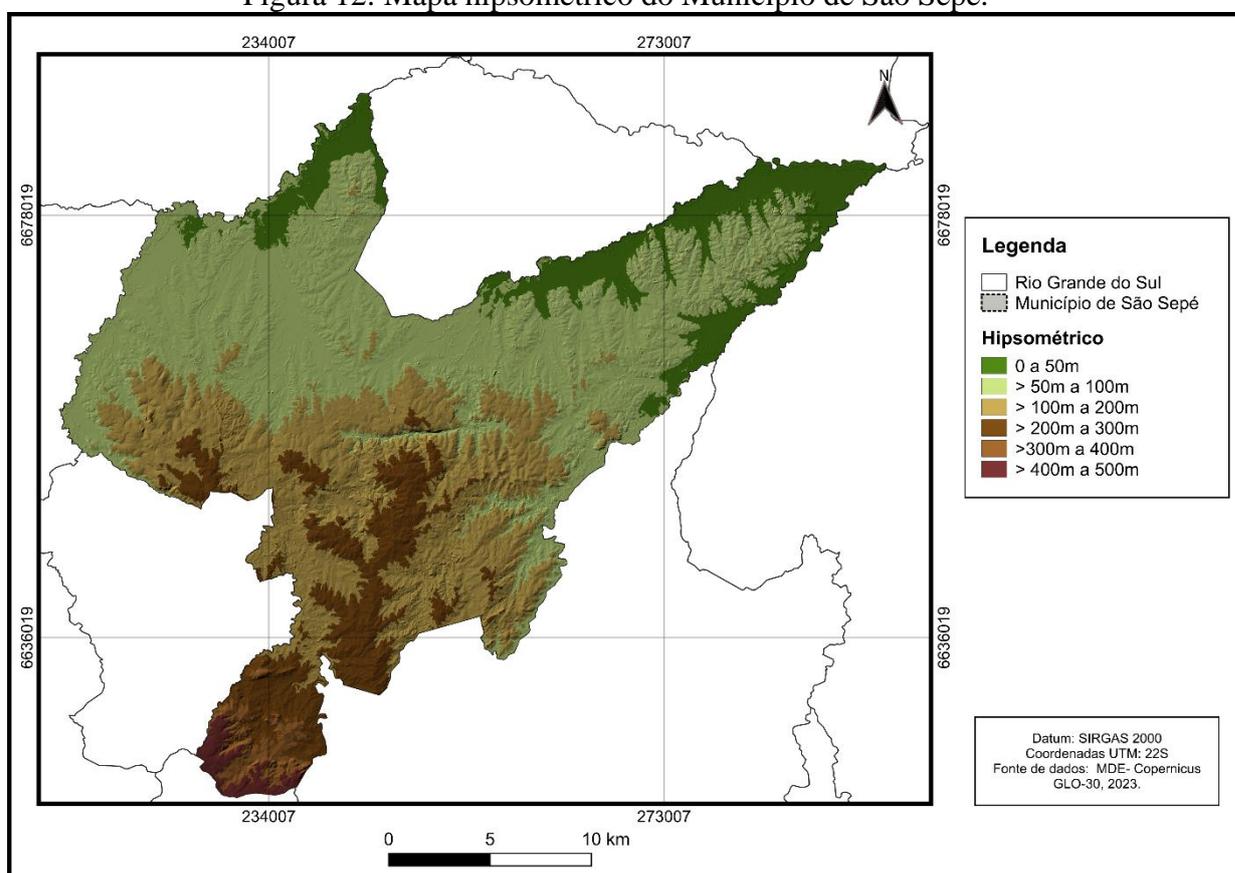
O município de São Sepé apresenta altitudes inferiores a 50 m, uma área de 256,733 km², representando 11,63% do território. Está predominantemente distribuída na região norte, que se associa a planícies de inundação dos rios e depósitos aluvionares, que categorizam essas áreas como alta capacidade de infiltração.

Tabela 10: Aspectos da hipsometria do município de São Sepé.

| Hipsometria (m) | Área (km ²) | Área (%) |
|-----------------|-------------------------|------------|
| > 50 | 256,733 | 11,63 |
| 50 - 100 m | 1008,147 | 45,69 |
| 100 - 200 m | 628,683 | 28,49 |
| 200 - 300 m | 244,639 | 11,09 |
| 300 - 400 m | 41,510 | 1,88 |
| 400 - 500 m | 26,940 | 1,22 |
| | 2206,65 | 100 |

Fonte: Autora, 2024.

Figura 12: Mapa hipsométrico do Município de São Sepé.



Fonte: Autora, 2024.

Altitudes entre 50 a 100 m abrangem uma área de 1.008,147 km², que correspondem a 45,69% do município. Destaca-se por ser a classe mais representativa no município, cobrindo extensas áreas que vão do leste a oeste e incluindo a porção central onde se localiza a área urbana da cidade de São Sepé. Caracterizam áreas de relevo suave-ondulado, apropriadas para atividades agrícolas.

A classe hipsométrica de 100 a 200 m ocupa uma área de 628,683 km², disposta de 28,49% do território. Distribuída principalmente nas porções leste, oeste e no centro do

município, demonstrando colinas e áreas com o relevo ondulado, suscetibilidade maior à erosão.

A altitude entre 200 a 300 m cobrem uma área 244,639 km², representado por 11,09% da área, que estão dispostas nas porções Sul do município, que associam áreas de transição entre colinas e encostas mais acentuadas, demonstrando uma combinação de relevo ondulado a forte ondulado. Nas altitudes de 300 a 400 m que abrangem 41,510 km², e cobrem 1,88% do território, estão concentradas na porção Sul, delimitadas por encostas íngremes e divisores de drenagens.

Para as altitudes maiores a 400 m, ocupam apenas 26,940 km², representada por 1,22% de cobertura. Esta classe abrange a porção sul do município, que corresponde às porções do Escudo Sul-rio-grandense. Nota-se que esta classe é menos expressiva dentro do município de São Sepé.

Podemos observar que as altitudes dentro do município estão distribuídas uniformemente em um perfil Norte-Sul, delimitando que áreas maiores abrangem altitudes menores de 50 a 100 m estão localizadas ao Norte do município, enquanto altitudes maiores de 200 a 500 m abrangem pequenas áreas dentro do município de São Sepé.

- Rede de Drenagens

O mapa de rede de drenagens do município de São Sepé mostra a distribuição e a densidade dos trechos de drenagem (Figura 13), destacando zonas com maior e menor concentração. É essencial entender a dinâmica hídrica superficial para o processo de infiltração e recarga de aquíferos, pois são áreas que o reabastecimento de aquíferos se dá na forma de infiltração vertical, que favorecendo a carga potenciométrica (Martelli, 2012).

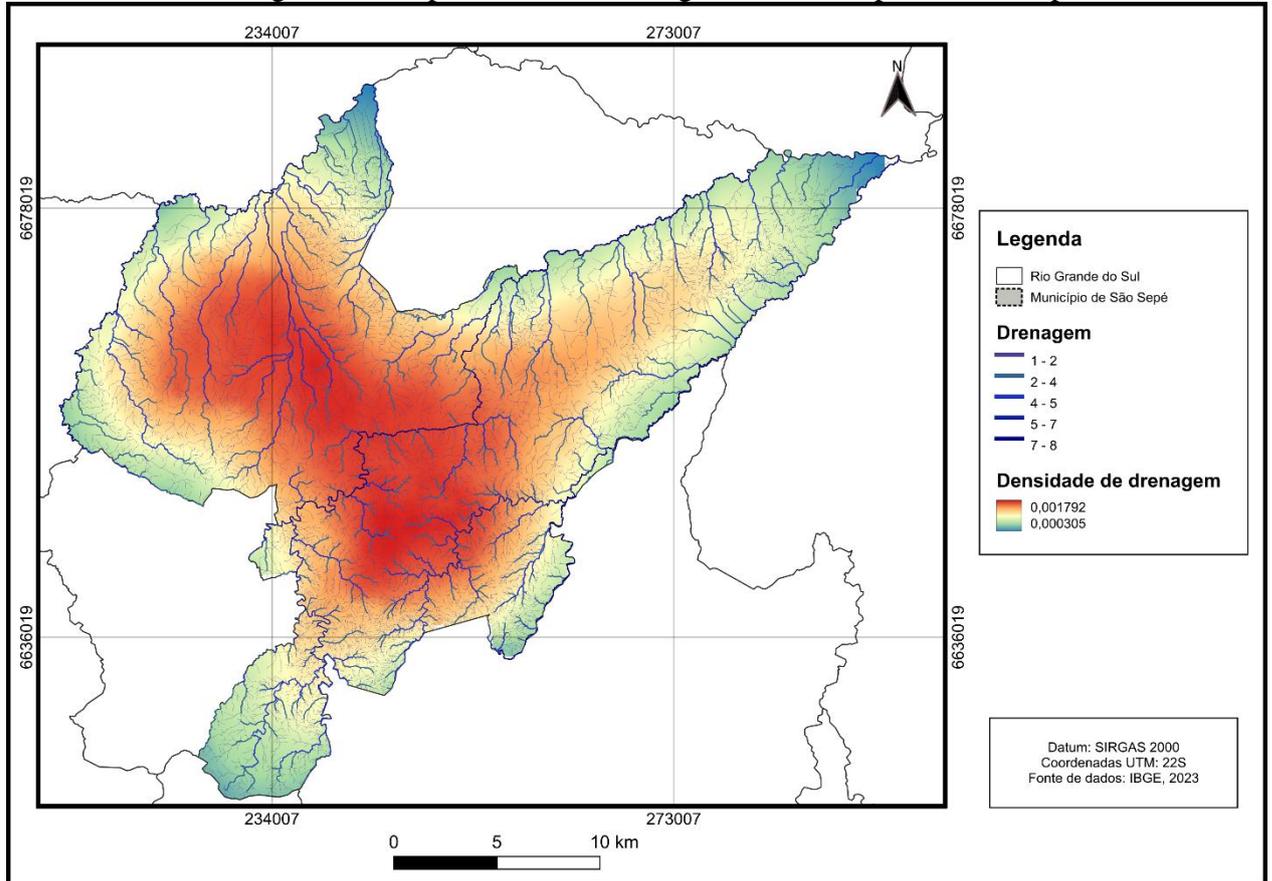
Segundo Rosa (2019), o município de São Sepé possui um padrão paralelo-dendrítico de drenagens. Possui um total de 2.085 segmentos de canais fluviais que juntos somam 3.589,05 km² de extensão, resultando na densidade de drenagem total de 1,52 km², considerada de baixa densidade segundo Christoletti (1976) *apud* Rosa (2019).

Na porção norte do município, observa-se uma densidade menor, predominando canais mais espaçados e lineares. Caracterizando a área de menor declividade e altitudes mais baixas, como foi representado nos mapas de declividade e hipsométrico, favorecendo um maior tempo de retenção da água, de modo, que o maior potencial de infiltração se encontra em regiões planas ou suave-onduladas, facilitada pela baixa velocidade do escoamento superficial.

No entanto a porção central e sul do município apresenta uma alta densidade de drenagem, mostrando uma rede densa e ramificada. Isso se deve ao fato o que se encontram em

zonas de maiores altitudes e, conseqüentemente, relacionadas a áreas de escoamento superficial é mais intenso e reduzindo o tempo de permanência de água na superfície, que limitam o processo de infiltração e o potencial de recarga hídrica subterrânea.

Figura 13: Mapa de rede de drenagens no município de São Sepé



Fonte: Autora, 2024.

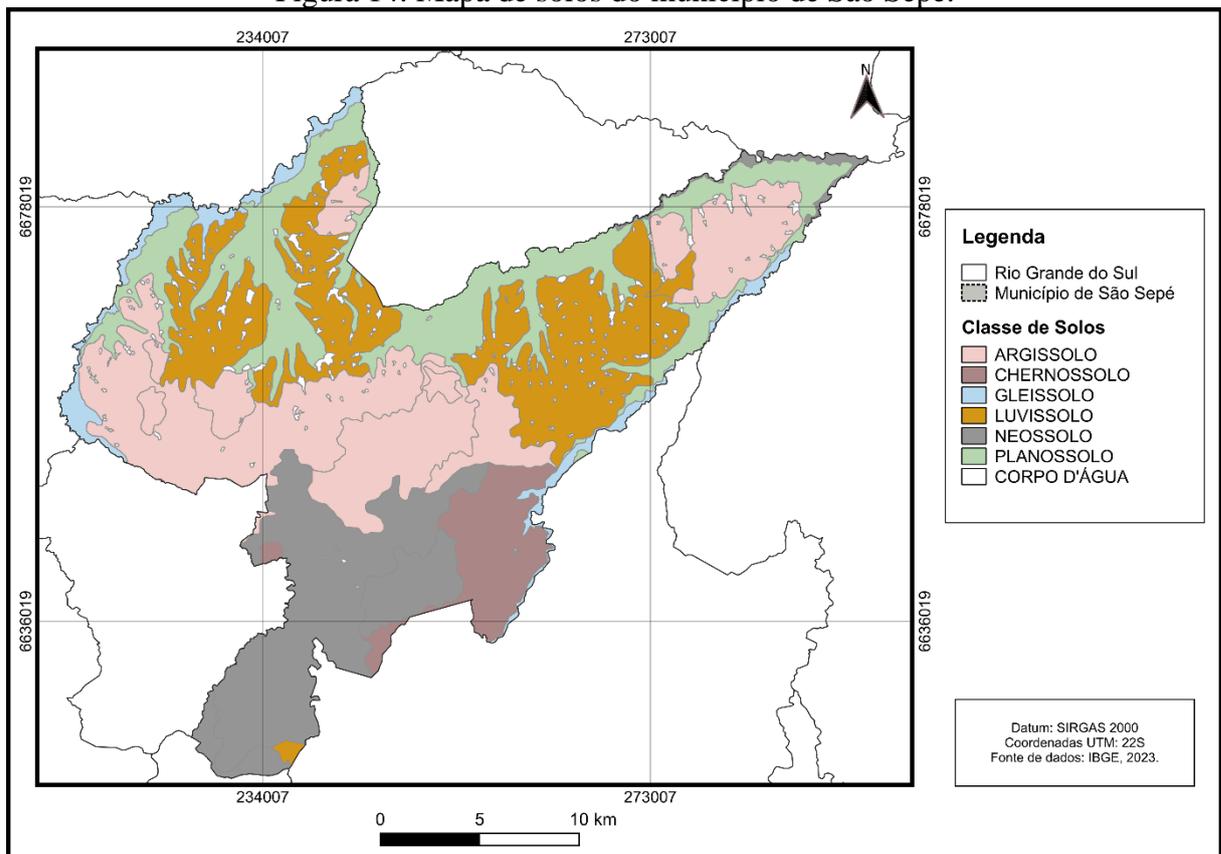
De qualquer forma, o mapa (Figura 13) indica áreas com menor densidade ao norte, onde se encontram planícies aluvionares e porções ao sul e centro do município, que apresentam alta densidade de drenagens, possuindo condições desfavoráveis, por terem um rápido escoamento superficial e não armazenarem água.

- Classes de solo

A figura 14 apresenta o Mapa de Solos do Município de São Sepé com a distribuição das principais classes de solos identificadas na região, com base em dados do IBGE (2023). Cada tipo de solo é representado por diferentes cores e destacando suas localizações. Os planossolos em verde claro estão localizados predominantemente na porção norte do município e estão nas áreas de menor altitude de 50 a 100 m sendo associadas às planícies de inundação e terrenos planos.

Os neossolos, em cinza escuro, que estão distribuídos na porção sul do município, ocupando as áreas de maior altitude entre 200 a 400m e topografia mais elevada podem facilitar a susceptibilidade à erosão. Os argissolos, em salmão, claro se encontram tanto na parte central quanto a nordeste e a norte, ocupam áreas intermediárias em termos de altitude (50 a 150 m) e relevo. Os luvisolos, em amarelo escuro, estão distribuídos na porção norte e em pouca proporção a sul do município.

Figura 14: Mapa de solos do município de São Sepé.



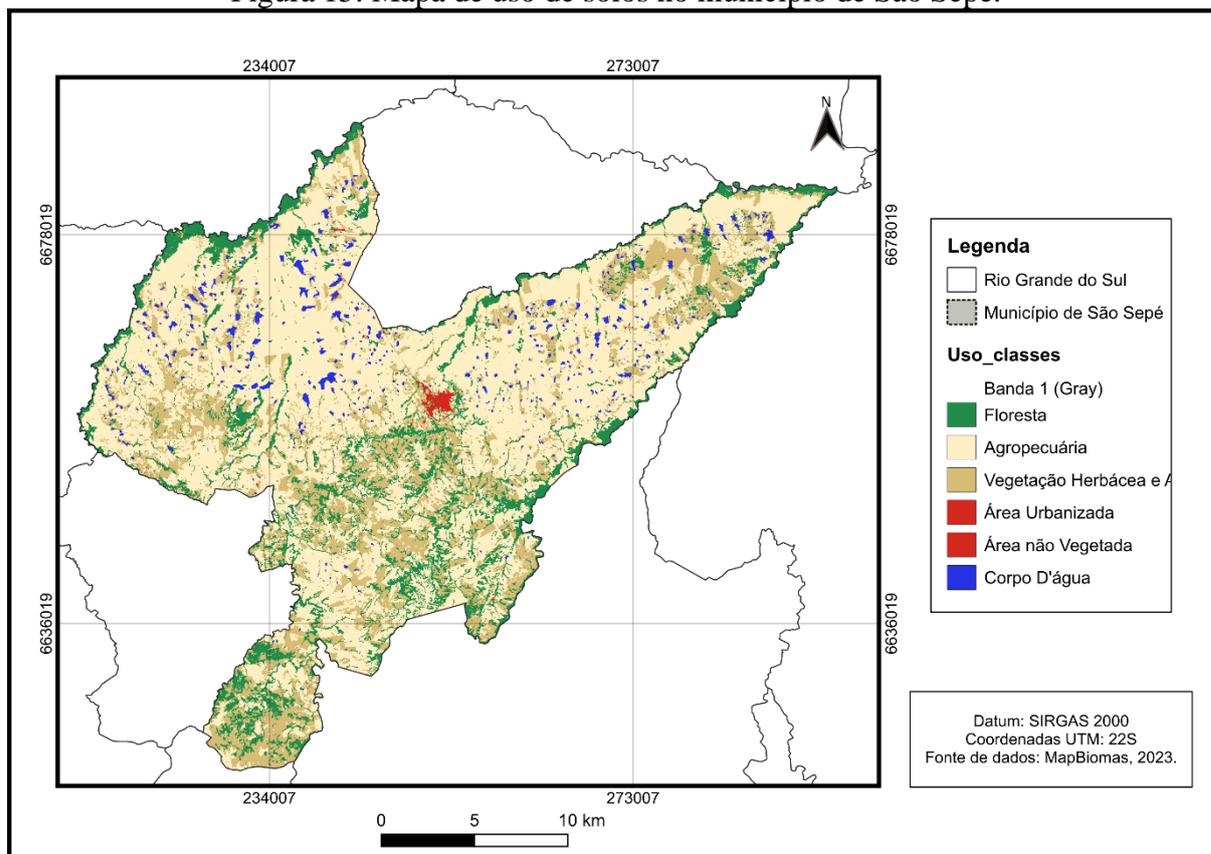
Fonte: Autora, 2024.

Os gleissolos, em azul claro, estão localizados em pequenas porções nos limites do município, em áreas de baixa altitude (50 a 100 m) e, também, podem estar associados às áreas de planícies aluviais. E os corpos d'água, em branco, estão representando os rios, córregos e áreas alagadas distribuídas no município e, possuem correlação com as áreas de planossolos e gleissolos. Portanto a distribuição dos solos está, também, relacionada à topografia do município.

- Uso e Ocupação do Solo

Conforme apresenta o mapa de uso e ocupação dos solos do município de São Sepé (Figura 15), mostra que a maior (59,94%) parte é ocupada pela agropecuária, cobrindo aproximadamente 1322,519 km², grande parte do município, evidenciando a importância econômica dessa atividade para a região, que são associadas principalmente a plantações de soja e arroz, como mostra na tabela 11.

Figura 15: Mapa de uso de solos no município de São Sepé.



Fonte: Autora, 2024.

Tabela 11: Aspectos do uso e ocupação do solo no município de São Sepé.

| Uso e Ocupação do Solo | Área (km ²) | Área (%) |
|---------------------------------------|-------------------------|------------|
| Agropecuária | 256,733 | 11,63 |
| Vegetação Herbácea e Arbustiva | 1008,147 | 45,69 |
| Florestal | 628,683 | 28,49 |
| Corpo d'água | 244,639 | 11,09 |
| Área não vegetada | 41,510 | 1,88 |
| Área Urbana | 26,940 | 1,22 |
| | 2206,65 | 100 |

Fonte: Autora.

A vegetação herbácea e arbustiva representa aproximadamente 23,02% da área territorial, abrangendo uma área de 507,926 km². Representa uma forma dispersa, formando

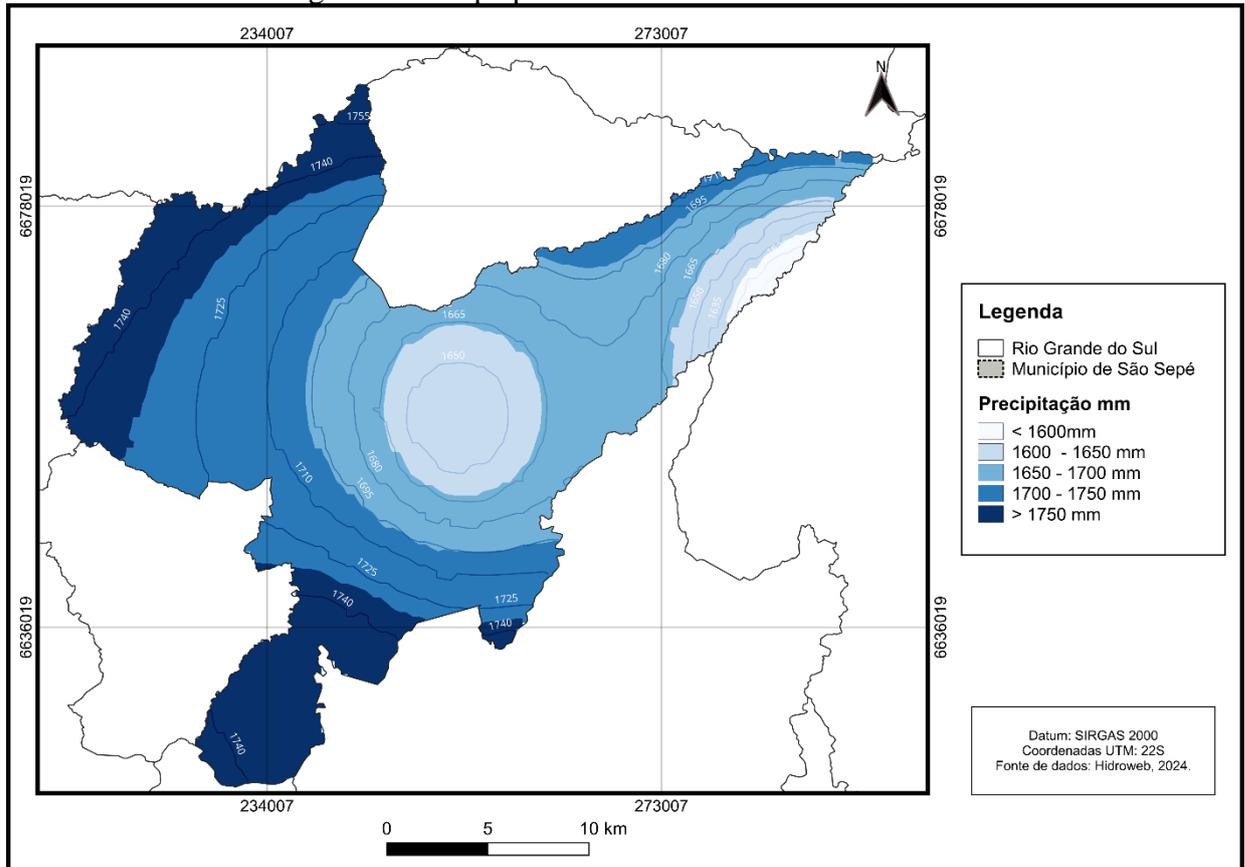
uma zona de transição entre as áreas agrícolas e florestais. As áreas florestais, ocupam 312,058 km², correspondendo a 14,14% da área total e estão distribuídas nas porções sul e entorno do município. Os corpos d'água associadas a drenagens (rios e lagos), ocupam 55,044 km². Esses corpos d'água estão dispersos mais ao norte do município, onde se encontram as planícies aluvionares.

As áreas não vegetadas, ocupam uma baixa de apenas 0,12% de cobertura do território, representando 2.737 km² de área, associadas a drenagens que indicam solos expostos ou regiões de intensa atividade humana. Por não serem bem representadas no mapa, a sua distribuição é restrita a locais pontuais no município. Por fim, a área urbanizada, está localizada na cidade de São Sepé, ocupando uma área de 6,230 km², que delimita a zona urbana do município.

- Pluviométrico

O mapa de precipitação do município de São Sepé se refere aos períodos de 2011 a 2023, apresentando a distribuição espacial da ocorrência média anual em milímetros (mm), que variou entre as diferentes porções do município (Figura 16). É possível observar que os intervalos variam de 1600 mm até 1750 mm, que permitem identificar zonas de maior e menor precipitação.

Figura 16: Mapa pluviométrico entre os anos 2011 a 2023.



Fonte: Autora, 2024.

Na parte central da região é possível analisar que os valores variam entre 1600 mm e 1650 mm e destacam a área com o menor índice de chuva. Essa porção corresponde a área urbana de São Sepé e indicam que o uso e ocupação do solo podem interferir na infiltração e na recarga hídrica. Esse fenômeno pode ocorrer devido a impermeabilização do solo, reduzindo a infiltração e aumento do escoamento superficial, ocasionando cheias e inundações (Targa *et al.*, 2012)

Na porção leste do município há um aumento de precipitação em relação à região central, com valores que variam de 1650 a 1700 mm. Embora a diferença não seja muito expressiva, podendo relacionar a presença de solos mais permeáveis (Planossolos e Luvisolos), e um relevo mais suave (40,15%) favorecem a infiltração e recarga.

Nas porções sul e oeste do município, os valores tiveram um aumento significativo de 1750 mm, evidenciados em tons mais escuros de azul no mapa. A quantidade superior de chuvas chegando a 1740 mm no total da área pode ser associada a chuvas orográficas, que ocorrem devido a influência de altitudes elevadas. Essas elevações tendem a provocar a condensação de massas de ar úmido, resultando em chuvas frequentes e volumosas (Sheluchi *et al.*, 2011). A

porção oeste coincide com áreas de menor densidade de drenagem, indicando que há maior concentração de retenção de água da chuva, favorecendo a infiltração.

A variação na distribuição de precipitação observada entre diferentes porções do município de São Sepé é um fator relevante para os processos de recarga hídrica subterrânea. Enquanto que na porção central apresenta menores índices de chuva, devido a urbanização, que acaba reduzindo a recarga. A porção leste, apesar de mostrar menor quantidade de chuva chegando a 1620 mm, possui características de declividade baixa e solos que favorecem a infiltração, mesmo não sendo em grande escala, em comparação a porção sul e oeste, se destaca pelo maior volume de precipitação de 1740 mm.

7.2 Processo Analítico Hierárquico (AHP)

Para a construção da matriz de comparação par a par, se deu a partir da relevância de cada critério para a ocorrência de recarga hídrica estabelecer uma ordem hierárquica de importância das variáveis como mostrada na tabela 12, de acordo com o método AHP (Saaty, 2006).

Com a matriz de comparação preenchida, com os pesos dos critérios podem ser calculados utilizando método AHP, envolvendo o processo de normalização da matriz, calculando os fatores próprios e obtendo os pesos relativos. O peso estatístico é obtido pela divisão de cada elemento pela somatória dos elementos da coluna pertencente, se faz um média entre as colunas e, definindo cada peso. Desta forma, será priorizado o peso maior do critério na tomada de decisão (Tabela 13) (Santana, 2023). Para comprovar a consistência do método AHP, foi calculado o coeficiente de consistência como apresentado nas equações (1) e (2), foi obtido o valor de RC 0,092 apresentando consistência na matriz. Na tabela 13 é apresentada a ordem dos pesos dos critérios.

Tabela 12: Matriz de comparações pareadas.

| Fatores | Classe de solo | Declividade | Hipsométrico | Uso do solo | Rede de Drenagem | Pluviometria |
|-------------------------|----------------|-------------|--------------|-------------|------------------|--------------|
| Classe de Solo | 1 | 3 | 3 | 2 | 7 | 8 |
| Declividade | 0,33 | 1 | 3 | 2 | 6 | 3 |
| Hipsométrico | 0,33 | 0,33 | 1 | 5 | 2 | 2 |
| Uso do solo | 0,14 | 0,50 | 0,50 | 1 | 5 | 2 |
| Rede de Drenagem | 0,33 | 0,17 | 0,50 | 0,20 | 1 | 3 |
| Pluviométrico | 0,24 | 0,33 | 0,50 | 0,50 | 0,33 | 1 |

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 13: Ordem da prioridade dos critérios.

| Fator temáticos | Ordem | Pesos |
|-------------------------|-------|-------|
| Classe de Solo | 1 | 0,39 |
| Declividade | 2 | 0,23 |
| Hipsométrico | 3 | 0,14 |
| Uso do Solo | 4 | 0,12 |
| Rede de drenagem | 5 | 0,06 |
| Pluviométrico | 6 | 0,05 |

Fonte: Autora, 2024.

Após a obtenção dos pesos para cada fator temático, procedeu-se à conversão para formato raster. Utilizando a ferramenta Raster Calculator, que é uma combinação linear ponderada, os pesos foram inseridos na equação (3) (Limoeiro, 2020).

$$AR = (P_{CS} \times 0,39) + (P_{DV} \times 0,23) + (P_{HP} \times 0,14) + (P_{US} \times 0,12) + (P_{RD} \times 0,06) + (P_{PL} \times 0,05) \quad (3)$$

Onde:

AR = valor do potencial de recarga;

P_{CS} = peso associado ao fator classe de solo;

P_{DV} = peso associado ao fator declividade;

P_{HP} = peso associado ao fator hipsometria;

P_{US} = peso associado ao fator uso e ocupação de solo;

P_{RD} = peso associado ao fator rede de drenagem;

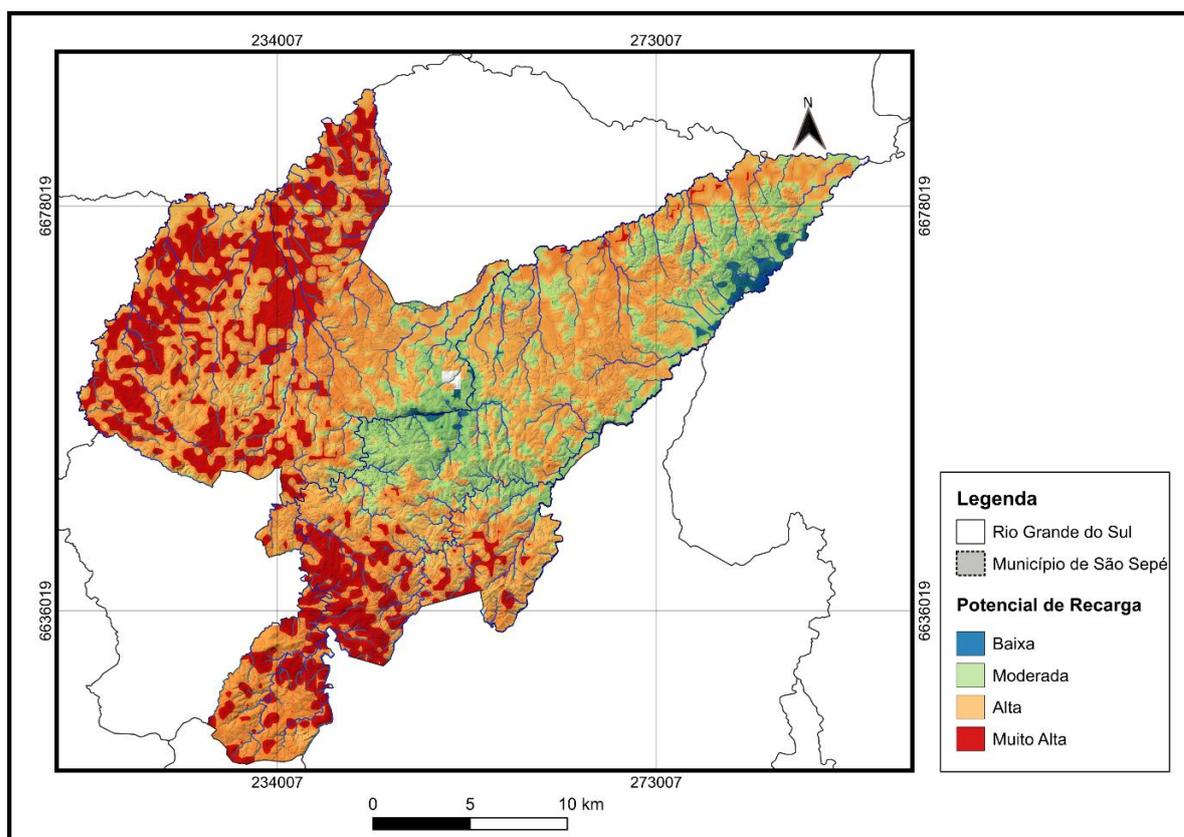
P_{PL} = peso associado ao fator pluviométrico.

7.4 Delimitação de áreas potenciais de recarga dos Aquíferos

O mapa de potencial de recarga hídrica do município de São Sepé-RS foi elaborado com base no método multicriterial, utilizando o método AHP. O método permite incluir diferentes

fatores que se relacionam ao processo de recarga aquífera, como uso e ocupação do solo, classes de solos, declividade, hipsometria, pluviometria, rede de drenagem e geologia, priorizando a importância para o favorecimento da infiltração hídrica no subsolo. Além da utilização de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR), que permitiram a análise espacial integrada e fornecimento de informações para a gestão dos recursos hídricos da região.

Figura 17: Mapa de potenciais áreas de recarga no município de São Sepé.



Fonte: Autora, 2024.

A recarga hídrica subterrânea é influenciada por diversos aspectos, como a geologia, tipo de solo, a topografia e as condições climáticas, sendo as principais fontes para o processo de recarga. No mapa apresentado (Figura 17) do município de São Sepé as áreas de maior potencial de recarga se encontram nas porções noroeste e sul, onde fatores como a declividade planas a suave-onduladas, cobertura vegetal preservada, solos com maior permeabilidade e altitudes moderadas, estabelecem condições favoráveis para a infiltração da água. O estudo de Limoeiro (2020)), destaca fatores semelhantes em análises nas sub-bacias do Rio das Pedras e

Rio Paiaia, onde solos permeáveis e áreas com baixa declividade são cruciais para a recarga hídrica.

Os solos representam um dos fatores importantes no processo de recarga, com base nas suas características físico-químicas que controlam diretamente a capacidade de infiltração e armazenamento (Pereira, 2020; Marcelino, 2023).

As áreas de maior potencial de recarga alta a muito alta abrangem 77,09% da área, estão concentradas nas regiões noroeste, nordeste, sul e central, zonas que são caracterizadas por possuir declividades planas a onduladas, solos permeáveis, altitudes moderadas e cobertura vegetal mais preservada na porção sul, oeste e centro. Estudos como os de Limoeiro (2020) e Marcelino (2023), sugerem que estas condições são ideais para maximizar a infiltração, pois permitem maior retenção de água no solo e redução do escoamento superficial. Além disso, a precipitação média anual de 1650 a 1750 mm no município garante uma quantidade significativa de água para a recarga, com exemplos em outros estudos, com os dos autores Melo Neto *et al.*, (2013) que identificaram a influência direta da precipitação em áreas com características semelhantes.

As áreas classificadas com o potencial alto ocupam 43,56% (Tabela 14), uma grande parte da porção central, de altitudes moderadas, embora o uso intensivo do solo em atividades agropecuárias possa limitar o potencial de recarga. Marcelino (2023), destacou que o manejo indevido do solo poderá compactá-la, alterando sua capacidade de infiltração, em especial, em áreas agrícolas. Com isso, as vegetações remanescentes de vegetação natural que se encontram nessas áreas ajudam a mitigar os impactos prejudiciais, equilibrando o escoamento superficial.

Tabela 14: Classificação das áreas potenciais de recarga hídrica

| Classificação | Área km² | Área em % |
|----------------------|----------------------------|------------------|
| Muito Alto | 716,030 | 33,53% |
| Alto | 930,096 | 43,56% |
| Moderado | 457,830 | 21,44% |
| Baixo | 31,346 | 1,47% |

Fonte: Autora.

Em contrapartida, as zonas de moderado a baixo potencial que totalizam 22,91%, apresentam características que dificultam a recarga hídrica e são mais suscetíveis à degradação, essas zonas foram observadas nas porções ao leste e central do município.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho realizado buscou identificar e delimitar as áreas de recarga dos aquíferos no município de São Sepé-RS, empregando uma metodologia baseada no método Analytic Hierarchy Process (AHP) e no uso de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Essa abordagem incluiu integrar múltiplos fatores ambientais, como declividade, hipsometria, classes de solo, uso e ocupação do solo, rede de drenagem e pluviometria, para a geração de mapas temáticos e o desenvolvimento do mapa de potencial de recarga hídrica.

Os resultados obtidos demonstram que as áreas de maior potencial de recarga totalizam 77,09%, e estão localizadas nas porções noroeste, sul e central do município, onde as condições naturais, como solos permeáveis, declividades suaves de 0 a 3% e altitudes moderadas que variam de 50 a 100m, favorecem significativamente a infiltração e o armazenamento de água subterrânea. Essas áreas, por apresentarem características ideais para a recarga hídrica, são estratégicas para a conservação dos recursos hídricos. Por outro lado, as áreas de potencial de recarga hídrica moderado a baixo totalizam 22,91%, apresentadas nas porções central a leste, refletem limitações por características como alta declividade, solos menos permeáveis e uso intensivo do solo, o que demanda atenção especial para mitigar processos de degradação e erosão.

O estudo destacou a importância da integração de variáveis ambientais e do uso de técnicas de geoprocessamento para a análise espacial. O método AHP mostrou-se eficaz para a hierarquização dos fatores, permitindo a priorização das variáveis mais relevantes para a recarga aquífera. Além disso, os mapas gerados fornecem contribuições para a gestão territorial e a formulação de políticas públicas voltadas para a proteção das zonas de recarga hídrica. Este trabalho reafirma a relevância da preservação das áreas de recarga para a manutenção da qualidade e quantidade dos recursos hídricos estruturais. Os dados apresentados podem auxiliar ações de planejamento sustentável, manejo adequado do uso do solo e proteção ambiental no município de São Sepé. A metodologia desenvolvida também possui potencial para ser aplicada em outras regiões, contribuindo para estudos futuros relacionados à sustentabilidade hídrica e gestão dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA ESPACIAL EUROPEIA. Modelo de elevação digital global Copernicus. Distribuído pela OpenTopography. Disponível em: <https://doi.org/10.5069/G9028PQB> . Acesso em: 6 dez. 2024.

ALMEIDA, AQ de; BERGER, B. Comparação de áreas de preservação permanente demarcadas a partir de diferentes escalas topográficas. In: MORAES, A. de C.; SANTOS, AR dos. A e análise ambiental. Vitória: Edufes, 2017. p. 19-39.

ALMEIDA, Delia del Pilar Montecinos de; CHEMALE JR, Farid; MACHADO, Adriane. Bacias vulcano-sedimentares brasileiras-pan-africanas tardias a pós-orogênicas no Cinturão Dom Feliciano, extremo sul do Brasil. *Petrologia – Novas perspectivas e aplicações*, v. 5, p. 73-105, 2012.

ALMEIDA, Renato Paes de. Tectônica e sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do Grupo Caacupé (Paraguai oriental). 2005. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ALVES, Marcelo de C. *et al.* Variabilidade espacial de variáveis geobiofísicas nas nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, p. 527-535, 2008.

BITENCOURT, MF Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: geologia e relações com o corpo granítico. In: Simpósio Sul-brasileiro de Geologia, 1983.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/05/nas-ultimas-tres-decadas-sul-registra-aumento-de-ate-30-na-precipitacao-midia-anual> . ASES

BOLFE, É. eu.; BOLFE, APF; SIQUEIRA, ER Dinâmica do uso e ocupação do solo: subsídio à recuperação de áreas degradadas em Japarutuba *Geomática*, Santa Maria, v. 1 e 2, p. 13-29, 2008.

BOMFIM, L. F. C. MAPA DE DOMÍNIOS/SUBDOMÍNIOS HIDROGEOLOGICOS DO BRASIL EM AMBIENTE SIG: CONCEPÇÃO E METODOLOGIA. *Águas Subterrâneas*, [S. l.], 2010. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/assubterraneas/article/view/22886>. Acesso em: 10 dez. 2024.

CAMPOS, Sérgio *et al.* Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao uso da terra em microbacias hidrográficas, Botucatu-SP. *Engenharia Agrícola*, v. 24, pág. 431-435, 2004.

CARMO, José Astério Rosa do *et al.* Recarga subterrânea direta e sua influência sobre a temperatura e a condutividade elétrica em microbacias do rio Vacacaí-Mirim, RS. 2014.

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS (BRASIL). Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Serviço de Produção de Informação, 1999.

CHEMALE JR, Farid. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. Geologia do Rio Grande do Sul, pág. 13-52, 2000.

COELHO, Marcelo; FERNANDES, Cristovão Vicente Scapulatempo. MétSimpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XXI, 2015, Brasília. Anais [...]. Brasília: ABRH, 2015.

CUNHA, Raimundo Glauber Lima; MOURA, Idembergue Barros Macedo de; COLARES, Jaime da Quintas; SOUZA, Ricardo Ivan de Lima. Pluviometria média na bacia hidrográfica que alimenta o sistema aquífero Missão Velha/Rio da Batateira e Aquífero Mauriti. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 25., 2023, Aracaju. Anais [...]. Aracaju: ABRHidro, 2023.

DE FREITAS, MA; MACHADO, JLF; VIERO, AC; TRAININI, DR; GERMANO, A. de O.; GLUGLIOTTA, AP; CAYE, BR; PIMENTEL, G. de B.; MARQUES, JL; GOFFERMANN, M.; SILVA, PR da. Mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul: um avanço no conhecimento das águas subterrâneas no estado. Águas Subterrâneas, [S. l.], N. 1, 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23530> . Acesso em: 21 nov. 2024.

DE MAGALHÃES OLIVIEIRA, Nilcileia Cristina *et al.* Aplicação do método AHP para confecção de modelo de favorabilidade hídrica subterrânea de aquíferos fraturados. Águas Subterrâneas, v. 1, pág. 90-102, 2020.

DE SOUZA, Kleber Isaac Silva *et al.* Proteção ambiental de nascentes e afloramentos de águas subterrâneas no Brasil: histórico e lacunas técnicas atuais. Águas Subterrâneas, v. 1, pág. 76-86, 20

DE VARGAS, T.; SGORLA, V.; BELADONA, R.; VEDANA, LA Mapas de zonas potenciais de recarga de água subterrânea como uma nova ferramenta para a segurança hídrica do abastecimento público. Águas Subterrâneas, [S. l.], v. 1, pág. e-30152, 2023. DOI: 10.14295/ras.v37i1.30152 <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/30152> . Acesso em: 21 dez. 2024.

DONHA, Annelissa G.; SOUZA, Luiz C. de P.; SUGAMOSTO, Maria L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, p. 175-181, 2006.

FAMBRINI, Gelson Luís; ALMEIDA, Renato Paes de; FRAGOSO CESAR, Antonio Romalino Santos. Revisão litoestratigráfica do Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na sub-bacia Camaquã Ocidental, Rio Grande do Sul, Brasil. Estudos Geológicos, v. 15, n. 1, p. 165-195, 2005.

FASHAE, Olutoyin A. *et al.* Delineation of groundwater potential zones in the crystalline basement terrain of SW-Nigeria: an integrated GIS and remote sensing approach. Applied Water Science, v. 4, p. 19-38, 2014.

FELIPPE, Miguel Fernandes; MAGALHÃES JR, A. P. Espacialização e classificação dos topos como zonas preferenciais de recarga de aquíferos em Belo Horizonte-MG.– Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

FREITAS, Marcos Alexandre de. Avaliação do potencial hidrogeológico de terrenos cristalinos através de técnicas de geoprocessamento. 1998. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

GONÇALVES, JAC; PEREIRA, PHR; VIEIRA, EM Avaliação do potencial de recarga de águas subterrâneas utilizando análise multicritério de dados SIG: um estudo de caso do distrito de Itabira, Minas Gerais, sudeste do Brasil. *Ciência e Natura*, [S. e84, 2020. DOI: 10.5902/2179460X40433. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/40433>. Acesso em: 18 dez. 2024.

GORDON Jr., M. Classificação das rochas gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia. Notas Preliminares e Estudos, Rio de Janeiro, 1947.

HARTMANN, LA; CHEMALE JR, F.; PHILIPP, RP Evolução Geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano. In: IANUZZI, R.; FRANTZ, JC 50 anos de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS, 2007. 399 p.

HIRATA, R.; CONDE, G. Águas subterrâneas: um recurso invisível. São Paulo: Oficina de Textos, [sd].

HIRATA, Ricardo *et al.* As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. [S. l.], 2019.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A.; MARCELLINI, SS; VILAR, PC; MARCELLINI, L. As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 2019.

HIRATA, Ricardo; FOSTER, Stephen; OLIVEIRA, Fernando. Águas subterrâneas urbanas no Brasil: avaliação para uma gestão sustentável. São Paulo: IGc/USP, 2015. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/e7262959-6856-4ece-9c05-b5beb4f30c18/2712005.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2024.

HIRATA, Ricardo *et al.* A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e dos riscos pela falta de saneamento. [São Paulo]: Instituto Trata Brasil, 2019. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/e7d9e125-7b22-4706-915b-a397f8a91784/2928658.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2024.

HIRATA, Ricardo *et al.* As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. São Paulo : IGc/USP, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/9788563124074>. Acesso em: 27 nov. 2024.

HUANG, Ming-Hui *et al.* Informações de ERP com valor agregado em bens de informação: uma análise econômica. *Industrial Management & Data Systems*, v. 104, n. 8, p. 689-697, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Acesso e uso de dados geoespaciais. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. ISBN 9788524045080.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual Técnico de Geomorfologia. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IRITANI, Mara Akie *et al.* As águas subterrâneas do Estado de São Paulo. São Paulo: SMA, 2008. 104 p. (Cadernos de Educação Ambiental). Disponível em: <https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/handle/123456789/2089>. Acesso em: 28 out. 2024.

KRAEMER, G. Evolução magmática e tectônica da suíte ortometamórfica Imbicuí, região de Lavras do Sul (RS). 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

KUNDZEWICZ, ZW; DOELL, P. As águas subterrâneas aliviarão o estresse de água doce sob as mudanças climáticas? *Hydrological Sciences Journal*, v. 54, n. 4, p. 665-675, 2009.

LIMOEIRO, AS Delimitação de áreas potenciais para recarga hídrica subterrânea: estudo de caso nas sub-bacias do Rio das Pedras e Rio Paiaí, Bahia. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geociências) – [Instituição], 2021.

MACHADO, JLF; FREITAS, MA de. Mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: [Instituição], 2005.

MADRUCCI, V.; ARAÚJO, CC de; TAIOLI, F. Sensoriamento Remoto, aerogeofísica e geoprocessamento aplicados ao estudo de aquífero fraturado em terreno cristalino, leste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, supl., p. 43-52, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.200333S24352>. Acesso em: 06 dez. 2024.

MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In: FEITOSA, AC; MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. v.2, pág. 13-33, 2000.

MARCELINO, GC da C. *et al.* Identificação de áreas prováveis de recarga hídrica no município de João Monlevade–MG. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – [Instituição], 2023.

MARCUZZO, F. Bacia Hidrográfica do Rio Tietê: precipitação pluviométrica espacializada/Bacia Hidrográfica do Rio Tietê: chuvas espacializadas. *Geographia Meridionalis*, v. 3, pág. 243-266, 2020.

MARTELLI, GV *et al.* Monitoramento da flutuação dos níveis de água em aquíferos freáticos para avaliação do potencial de recarga em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani em Cacequi-RS. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geociências) – [Instituição], 2012.

MATTIUZI, CDP *et al.* Comparação de métodos de estimativa de recarga aquífera aplicada na Bacia do rio Ibicuí/RS. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília. Anais [...]. Brasília: ABRHidro, 2015.

MAZIERO, TA; WENDLAND, E. Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos, SP. *Águas Subterrâneas*, [S. l.], 2005.

MENESES, PR; FERREIRA JÚNIOR, LG Comportamento espectral de alvos naturais como base para interpretação de imagens multiespectrais. Brasília: Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, 1995. (Texto Universitário).

MENEZES, MD de. Levantamento de solos em sub-bacias hidrográficas como apoio para avaliação do uso da terra e da potencialidade de recarga de aquíferos. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

MOGAJI, K. A.; LIM, H. S. Application of a GIS-/remote sensing-based approach for predicting groundwater potential zones using a multi-criteria data mining methodology. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, p. 1-26, 2017.

NARDI, L. V. S.; LIMA, E. F. Magmatismo Shoshonítico e Alcalino da Bacia do Camaquã. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (org.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFGRS, 2000.

NARDI, L. V. S.; BITENCOURT, M. F. Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 19, n. 2, p. 153-169, 1989.

CELESTINO, N. M.; CALILI, R.; LOUZADA, D. R. Método AHP para avaliação e escolha de fontes de geração para a segurança da expansão de energia – análise do caso do Nordeste Brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2018, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos....* Campinas: Galoá, 2018. Disponível em: <https://proceedings.science/sbpo/sbpo-2018/trabalhos/metodo-ahp-para-avaliacao-e-escolha-de-fontes-de-geracao-para-a-seguranca-da-exp?lang=pt-br>. Acesso em: 30 nov. 2024.

PAIM, P. S. G.; CHEMALE JUNIOR, F.; WILDNER, W. Estágios evolutivos da Bacia do Camaquã (RS). *Ciência e Natura*, v. 36, p. 183-193, 2014.

PARALTA, E. *et al.* Avaliação da recarga do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja segundo os critérios múltiplos: disponibilidades hídricas e implicações agro-ambientais. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 6., 2003, Lisboa. *Anais....* Lisboa: SILUSBA, 2003. v. 3.

PELOSI, A. P. de M. R.; FRAGOSO CESAR, A. R. S. Proposta litoestratigráfica e considerações paleoambientais sobre o Grupo Maricá (Neoproterozóico III), Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 2, p. 137-148, 2003.

PINTO, J. G. Utilização aerogeofísica para correlação geológica no município de São Sepé-RS. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geociências) – [Instituição], 2017.

PORCHER, C. A.; LOPES, R. C. Cachoeira do Sul: folha SH. 22-YA. Porto Alegre: CPRM, 2000.

PRASAD, R.; *et al.* Delimiting groundwater recharge areas. *Journal of Hydrogeology*, v. 25, RAMGRAB, G. E.; WILDNER, W. Pedro Osório, Folha SH. 22-YC. Porto Alegre: CPRM, 1999.

RAZANDI, Y.; POURGHASEMI, H. R.; NEISANI, N. S. *et al.* Application of analytical hierarchy process, frequency ratio, and certainty factor models for groundwater potential mapping using GIS. *Earth Science Informatics*, v. 8, p. 867–883, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12145-015-0220-8>. Acesso em: 20 dez. 2024.

RIBEIRO, D. D. de M.; DA FRANCA, W. A. de J. S.; GARCIA, A. J. V. Definição de áreas potenciais para a ocorrência de água subterrânea na sub-bacia do Rio Siriri-Sergipe com o auxílio do AHP (Método Analítico Hierárquico). *Águas Subterrâneas*, [s. l.], 2010. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22929>. Acesso em: 11 dez. 2024.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SAATY, T. L. Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process. [S. l.]: RWS Publications, 1994.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. Decision making — the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 1–35, 2006.

SAATY, R. W. The Analytic Hierarchy Process—What and How It Is Used. *International Journal of Advanced Science and Technology*, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 19–24, 2012. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1109.4490>. Acesso em: 10 dez. 2024.

SÃO SEPÉ. Clézio Mattiuzzi Raguzzoni (org.). PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico: relatório técnico final. São Sepé, 2016. 302 p. Disponível em: <https://www.saosepe.rs.gov.br/wp-content/uploads/2016/07/2-PMSB-S%C3%A3o-Sep%C3%A9-2016-consulta-p%C3%BAblica-online.pdf>. Acesso em: 16 out. 2024.

SARTORI, P. L.; RÜEGG, N. R. O complexo Granítico de São Sepé, Rio Grande do Sul e a evolução das rochas graníticas da região orogênica do Sudeste. *Boletim IG*, v. 10, p. 69-77, 1979.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura. Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul 2021. Porto Alegre: SEMA, 2022.

SELUCHI, M. E.; CHAN CHOU, S.; GRAMANI, M. A case study of a winter heavy rainfall event over the Serra do Mar in Brazil. *Geofísica Internacional*, Ciudad de México, v. 50, n. 1, p. 41-56, março 2011. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-71692011000100005&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 15 dez. 2024.

SERAPHIM, A. P. A. C. C. Relações entre as áreas de recarga dos aquíferos e áreas destinadas à urbanização: estudo dos padrões de ocupação do solo da unidade hidrográfica do Paranoá - DF. 2018. 193 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) — Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SILVEIRA, Renata Dias *et al.* Relação entre tipos de tempo, eventos de precipitação extrema e inundações no espaço urbano de São Sepé-RS. 2007.

SIMON, FW; REGINATO, PA; KIRCHHEIM, RE; TROIAN, GC Estimativa de recarga do sistema aquífero Guarani por meio da aplicação do método da variação da superfície livre na bacia do Rio Ibicuí-RS. *Águas Subterrâneas*, [S. l.], v. 2, pág. 12–29, 2017. DOI: 10.14295/ras.v31i2.28631. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28631>. Acesso em: 23 dez. 2024.

SOARES, F. B.; PIROLI, E. L. Análise da hipsometria e da declividade da bacia hidrográfica do rio Pardo (São Paulo, Brasil) como subsídio para o planejamento ambiental da área. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 18., 2019, Fortaleza. Anais eletrônicos... Fortaleza: SBGFA, 2019. p. 13.

SOMMER, C. A. *et al.* Potassic and low- and high-Ti mildly alkaline volcanism in the Neoproterozoic Ramada Plateau, southernmost Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 18, n. 3-4, p. 237-254, 2005.

STRECK, E. V. *et al.*; FLORES, C. A.; SCHNEIDER, P. (Orgs.). Solos do Rio Grande do Sul. 3. ed., rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2018. 252 p. ISBN 978-85-98842-20-2.

TRAVASSOS, R. P. Interpretação estrutural regional do escudo sul-rio-grandense - Rio Grande do Sul - Brasil, com base em aeromagnetometria. 2014. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

TUCCI, A. L. L. da S. *et al.* Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed., primeira reimpressão. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

TUCCI, C. E. Escoamento superficial. In: Hidrologia ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 1993.

UNESCO-WWAP. Relatório das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Mundial da Água 4: Gestão da Água sob Incerteza e Risco. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura, 2012. Disponível em: <https://www.unesco.org>. Acesso em: 20 nov. 2024.

DE VARGAS, T.; SGORLA, V.; BELLADONA, R.; VEDANA, L. A. Mapas de zonas potenciais de recarga da água subterrânea como uma nova ferramenta para a segurança hídrica do abastecimento público. *Águas Subterrâneas*, [s. l.], v. 37, n. 1, p. e–30152, 2023. DOI: 10.14295/ras.v37i1.30152. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/30152>. Acesso em: 21 dez. 2024.

VIEIRO, A. C. *et al.* (Orgs.). Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2010. 250 p.

VILLAR, P. C. (Coord.) *et al.* As águas subterrâneas na Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2022. 220 p. (Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos, 5). ISBN 9786588101261. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/93469. Acesso em: 21 nov. 2024.

WANDSCHEER, E. A. R.; DA SILVA, J. L. S.; BERRO, S. V. Avaliação da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS. [S. l.], [ano de publicação].

WREGGE, F. O. Recarga de aquíferos: estudo de caso na região de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA, 1997, São Paulo. Anais eletrônicos... São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997.