



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

JEILSON RODRIGUES DA SILVA JUNIOR

MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE DA ÁREA DIRETAMENTE
BENEFICIÁVEL DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO

MACEIÓ, ALAGOAS
MARÇO DE 2026

JEILSON RODRIGUES DA SILVA JUNIOR

**MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE DA ÁREA DIRETAMENTE
BENEFICIÁVEL DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para defesa do mestrado em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Melchior Carlos do Nascimento

MACEIÓ, ALAGOAS
MARÇO DE 2026

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Myrtes Vieira do Nascimento CRB4/1680

S586fm Silva Junior, Jeilson Rodrigues da.

Mapeamento da vulnerabilidade da área diretamente beneficiável do Canal do Sertão Alagoano / Jeilson Rodrigues da Silva Junior. – 2026.

88 f. : il. color.

Orientação: Melchior Carlos do Nascimento.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Maceió, 2026.

Referências: f. 76-88.

1. Risco ambiental. 2. Tipologia do solo. 3. Canal do Sertão Alagoano. I. Título.

CDU: 911.3:504.4(813.5)

Folha de Aprovação

JEILSON RODRIGUES DA SILVA JUNIOR

MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE DA ÁREA DIRETAMENTE BENEFICIÁVEL DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO

Dissertação de mestrado submetida à banca examinadora do curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Alagoas em: **30 de março de 2026.**

Banca examinadora:

MELCHIOR CARLOS DO
NASCIMENTO: 94056501491
6501491

Assinado de forma digital
por MELCHIOR CARLOS DO
NASCIMENTO: 94056501491
Dados: 2026.04.07 20:02:17
-03'00'

Prof. Dr. Melchior Carlos do Nascimento – Presidente



Documento assinado digitalmente

KLEYTHON DE ARAÚJO MONTEIRO

Data: 06/04/2026 19:32:04-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Kleython de Araújo Monteiro – Titular Interno



Documento assinado digitalmente

FRANCISCO EDMAR DE SOUSA SILVA PINHEIRO

Data: 06/04/2026 15:52:48-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Francisco Edmar de Sousa Silva Pinheiro – Titular Externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **Deus**, força maior em minha caminhada. À minha **família**, pelo apoio incondicional em todas as etapas, e ao meu **amor**, que com paciência e dedicação foi meu porto seguro, oferecendo conforto e auxílio em todos os momentos.

Aos meus **amigos**, antigos e novos: obrigado por estarem por perto e por ouvirem minhas inúmeras reclamações com tanta paciência. Minha gratidão pela ajuda emocional e técnica, tanto aos que caminham comigo desde a graduação quanto aos que conheci no IGDEMA e me receberam de braços abertos.

Ao meu orientador, cujas contribuições e seus ensinamentos que foram de grande valia para a minha formação profissional e pessoal. Agradeço pela oportunidade concedida, pelo apoio em cada etapa deste desafio.

Aos membros da banca examinadora, agradeço imensamente pelas valiosas críticas e sugestões. Sou grato não apenas pela orientação técnica, mas especialmente pela paciência e pelo olhar atento que enriqueceram esta pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (Fapeal) pelo fomento e apoio financeiro concedidos através da bolsa de Mestrado que foram fundamentais para a realização desta pesquisa.

Obrigado!

RESUMO

As análises ambientais são fundamentais para compreender as transformações da paisagem e apoiar o planejamento dos recursos naturais, especialmente em regiões semiáridas, onde os sistemas ambientais apresentam maior fragilidade. No Sertão e Agreste de Alagoas, a irregularidade das chuvas e a recorrência de secas intensificam vulnerabilidades socioeconômicas e ambientais, tornando necessárias pesquisas que integrem fatores naturais e antrópicos. Nesse contexto, destaca-se a implantação do Canal do Sertão Alagoano, infraestrutura hídrica destinada a múltiplos usos, como irrigação e abastecimento humano, que tem promovido mudanças significativas no uso da terra e na dinâmica ambiental das áreas diretamente beneficiadas. Este estudo teve como objetivo avaliar as alterações na paisagem e a vulnerabilidade socioambiental dos solos nessa área, partindo da hipótese de que o uso inadequado da irrigação pode intensificar processos de degradação, como a erosão.

A metodologia baseou-se na integração de geoprocessamento, sensoriamento remoto e análise multicritério em ambiente SIG. Foi realizado mapeamento multitemporal do uso e cobertura da terra para os anos de 2000, 2010 e 2024, a partir de dados do MapBiomas, identificando expansão agrícola, crescimento urbano e maior pressão sobre os recursos naturais. Paralelamente, foi feito o refinamento do mapeamento pedológico com base em dados da Embrapa, permitindo diferenciar solos com distintos níveis de suscetibilidade à degradação, como Latossolos, Argissolos, Neossolos e Planossolos. A vulnerabilidade dos solos foi avaliada por meio de adaptação da metodologia de Crepani, associada ao Processo Analítico Hierárquico (AHP) e à lógica fuzzy, considerando fatores como geologia, relevo, declividade, solos e uso da terra. Os resultados indicaram predominância de áreas com vulnerabilidade média, em condição de equilíbrio instável, e setores de alta vulnerabilidade associados a solos rasos e maior pressão antrópica. Conclui-se que, apesar dos benefícios socioeconômicos proporcionados pelo Canal do Sertão, há intensificação das pressões ambientais, reforçando a necessidade de planejamento territorial e adoção de práticas conservacionistas para garantir o uso sustentável dos solos no semiárido alagoano.

Palavras-chave: Vulnerabilidade socioambiental; Uso e cobertura da terra; Solos do semiárido.

ABSTRACT

Environmental analysis is essential for understanding landscape transformations and supporting natural resource planning, especially in semi-arid regions where environmental systems are more fragile. In the Sertão and Agreste regions of Alagoas, Brazil, irregular rainfall and recurrent droughts intensify socio-environmental vulnerabilities, reinforcing the need for studies that integrate natural and human factors. In this context, the construction of the Canal do Sertão Alagoano, a water infrastructure project designed for multiple uses such as irrigation and human supply, has promoted significant changes in land use and environmental dynamics in directly benefited areas. This study aimed to evaluate landscape changes and the socio-environmental vulnerability of soils in this region, based on the hypothesis that inadequate irrigation practices may intensify degradation processes, particularly soil erosion. The methodology integrated geoprocessing, remote sensing, and multicriteria analysis within a GIS environment. A multitemporal land use and land cover mapping was carried out for the years 2000, 2010, and 2024 using MapBiomass data, revealing agricultural expansion, urban growth, and increased pressure on natural resources. Pedological mapping was refined using Embrapa soil data, allowing the differentiation of soils with distinct susceptibility to degradation. Soil vulnerability was assessed through an adaptation of the Crepani methodology combined with the Analytic Hierarchy Process (AHP) and fuzzy logic, considering geology, geomorphology, slope, soil classes, and land use. Results indicated a predominance of medium vulnerability areas, characterized by unstable equilibrium, and high vulnerability zones associated with shallow soils and greater anthropogenic pressure.

Although the Canal do Sertão has contributed to regional socioeconomic development, it has also intensified environmental pressures, highlighting the need for territorial planning and conservation practices to ensure sustainable soil use in the semi-arid region of Alagoas.

Keywords: Socio-environmental vulnerability; Land use; land cover; Semi-arid soils.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Modelo Hierárquico.....	19
Figura 2-Área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano.....	22
Figura 3-Geologia da área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano.....	24
Figura 4-Geomorfologia da área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano.....	26
Figura 5- Climograma de Piranhas.....	30
Figura 6-Climograma de Água Branca.....	31
Figura 7- Classes de Solos presentes na área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano	37
Figura 8-Fluxograma do método da pesquisa	46
Figura 9-Fluxograma de mapeamento multitemporal do uso da terra.....	46
Figura 10 - Reclassificação das unidades de solos da área beneficiável pelo Canal do Sertão, Alagoas, Brasil	64
Figura 11- Uso da Terra, no ano de 2000 da área beneficiável do Canal do Sertão Alagoano	67
Figura 12- Uso e cobertura no ano de 2010 da área beneficiável do Canal do Sertão Alagoano	68
Figura 13-Uso e cobertura no ano de 2024.....	69
Figura 14- Áreas de vulnerabilidade socioambiental dos solos na área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Escala de importância.....	19
Quadro 2-Variabilidade dos Neossolos na área.....	39
Quadro 3- Códigos de Legenda da coleção 10 do MapBiomas	47
Quadro 4 - Valores de Vulnerabilidade para as Unidades Geológicas.....	51
Quadro 5 -Valores de Vulnerabilidade para as Unidades Geomorfológicas.....	51
Quadro 6 - Valores de Vulnerabilidade para a Declividade.	51
Quadro 7 - Valores de Vulnerabilidade para as classes de solo.	52
Quadro 8 - Valores de Vulnerabilidade para as classes de Uso e Cobertura da terra	53
Quadro 9 - Matriz de comparação para a definição dos pesos das variáveis.	54
Quadro 10 – Checagem de consistência da calculadora AHP-OS (1.1.1-20) no site da BPMMSG	56
Quadro 11 - Valores do ITA adaptados.....	58

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO	1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1	As potencialidades e limitações do semiárido do nordeste do Brasil.....	6
2.2	Os efeitos da irrigação em solos do semiárido brasileiro	8
2.3	Contextualização histórica do Canal do Sertão Alagoano.....	11
2.4	Considerações conceituais sobre suscetibilidade e vulnerabilidade em estudos socioambientais	14
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Localização da área de estudo	21
3.2	Aspectos físico ambiental.....	23
3.3	Aspectos socioeconômicos	39
3.3.1	Considerações históricas sobre o processo de ocupação do agreste e do sertão alagoano	40
3.3.2	Indicadores sociais e econômicos.....	41
3.4	Procedimentos metodológicos	45
3.4.1	Mapeamento multitemporal do uso da terra	46
3.4.2	Reclassificação e aprimoramento de escala no mapeamento de solos	47
3.4.3	Mapeamento da vulnerabilidade das classes de solo	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1	Reclassificação das classes de solos.....	60
4.2	Mapeamento temporal das classes de uso da terra e cobertura vegetal.....	65
4.3	Identificação das áreas de vulnerabilidade socioambiental dos solos	70
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
5.1	Conclusões.....	74
5.2	Recomendações	76
6	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

As análises ambientais contribuem para a compreensão dos elementos orientadores de mudanças na paisagem, fortalecendo discussões sobre a complexidade dos processos de formação do espaço e provendo informações para o gerenciamento e planejamento de recursos naturais (Santos; Feitosa, 2020). Dentre as abordagens de análise ambiental, a Teoria Geral dos Sistemas assume posição de destaque, fundamentando-se nas trocas de energia e matéria que ocorrem em equilíbrio dinâmico e possibilitando a compreensão do funcionamento do ambiente natural com e sem a intervenção humana (Ross, 1994).

O Sertão e o Agreste de Alagoas constituem regiões marcadas por elevada vulnerabilidade climática, chuvas irregulares e recorrência de secas prolongadas, condições que produzem impactos diretos na economia rural, na estrutura social e no uso dos recursos naturais, incluindo a degradação progressiva dos solos (Freire et al., 2022). Nesse contexto, torna-se fundamental a construção de estudos de análise ambiental que integrem as dimensões físicas e sociais do território, reconhecendo que as conexões econômicas, biológicas e culturais das populações com o meio natural são determinantes para qualquer processo de modificação da paisagem (Oliveira, 2020).

A ocupação histórica do sertão alagoano, estruturada sobre grandes latifúndios voltados à pecuária extensiva e marcada por profundas desigualdades no acesso à terra e à água, consolidou um território de elevada vulnerabilidade social e ambiental (Araújo, 2004; Silva, 1999). As estiagens prolongadas impõem desafios constantes ao abastecimento hídrico e ao desenvolvimento econômico regional, levando o governo estadual, em 1992, a investir na construção do Canal do Sertão Alagoano como resposta estrutural à escassez hídrica histórica.

Nesse sentido, o uso de imagens de satélite para a realização de análises temporais de uso e ocupação do solo permite a identificação e o monitoramento de mudanças na cobertura vegetal e agrícola, podendo indicar potenciais riscos ambientais, além de se apresentar como ferramenta essencial para o planejamento territorial. As geotecnologias, principalmente o SIG e o sensoriamento remoto associados às imagens de satélite, são fundamentais nesse tipo de avaliação, permitindo uma interpretação mais precisa dos fatores que afetam as áreas naturais e subsidiando políticas de uso sustentável do solo (Rodrigues et al., 2020; Aquino; Valladares, 2013).

O processo de urbanização brasileira teve o seu ponto de inflexão em meados do século XX e seu apogeu por volta da década de 1950, quando a indústria se configurava como o setor mais importante da economia nacional (Romanelli; Abiko, 2011). A Região Nordeste

foi uma das primeiras a passar por um crescimento populacional expressivo com relação a sua densidade demográfica, sua ocupação foi evidenciada pela colonização no litoral, no interior foi tardia, com motivação na criação de gado e pelas rotas comerciais que interligam o litoral ao sertão seguindo pela formação de latifúndios e uma economia inclinada para a exportação (Freire, 2006; Mattos, 1987).

A indústria açucareira foi a principal causa da ocupação do território alagoano (Altavila, 1988). Os povoados surgiam sempre perto das cercanias dos engenhos, assim sendo a cana-de-açúcar um grande fator para o uso e ocupação das terras alagoanas, além da boa condição pastoril com o gado se deslocando e fomentando o povoamento pelo sertão e porção sul da zona da mata (Lopes, 2019). A ocupação do sertão alagoano se deu através de sesmarias que foram distribuídas a fazendeiros, constituindo um padrão de ocupação que tem como principal característica a dispersão de grandes latifúndios e sucedeu, sobretudo pela expansão da pecuária, que na caatinga deparou-se com um espaço favorável para a criação extensiva de gado (Araújo, 2004; Silva, 1999).

Os eventos relativos às estiagens prolongadas no sertão alagoano têm produzido impacto que afeta de maneira profunda o cotidiano de milhares de pessoas, trazendo desafios constantes para o abastecimento de água e o desenvolvimento econômico na região. Assim, a busca por reduzir os impactos negativos da seca, levou o governo do estadual no ano de 1992 a investir na construção de uma obra de transposição de águas, que recebeu o nome de Canal do Sertão.

Abastecido pelo Rio São Francisco, o Canal do Sertão é uma infraestrutura de transposição de águas com múltiplos usos que perpassa municípios do Agreste e do Sertão alagoano, com prioridade para o aproveitamento hidroagrícola em perímetros de irrigação, o abastecimento rural e urbano e o desenvolvimento da piscicultura (Hydros/Tecnosolo, 2002; Alagoas, 2017). O Canal do Sertão foi idealizado e desenvolvido como uma intervenção pública estratégica, destinada a reduzir os problemas relacionados à escassez de água no Semiárido alagoano (Alagoas, 2017). A disponibilidade de água proporcionada pelo canal representa uma transformação estrutural no território, viabilizando a expansão da agricultura irrigada em uma região historicamente limitada pela escassez hídrica e, em decorrência de sua relevância econômica e social, torna-se necessário avaliar os impactos socioambientais decorrentes de sua operação sobre os recursos naturais da área diretamente beneficiável.

No entanto, a introdução da irrigação em larga escala sobre solos com distintos graus de desenvolvimento pedogenético coloca em evidência um risco ambiental amplamente documentado na literatura científica. Brito, Braga e Nascimento (2010) demonstram que a agricultura irrigada no

Semiárido brasileiro pode provocar nos solos processos de degradação, desequilíbrio de nutrientes, perda de matéria orgânica e redução da atividade microbiológica, sendo que a interação desses fatores resulta na perda progressiva de produtividade agrícola em médio e longo prazos.

Os autores destacam que regiões de alta demanda evaporativa, baixa precipitação e solos rasos, condições que caracterizam o Semiárido alagoano, apresentam propensão à degradação produtiva progressiva mesmo quando irrigadas com água de boa qualidade, como a proveniente do Rio São Francisco, manancial que abastece o Canal do Sertão Alagoano. Nesse contexto, a fragilidade pedológica da área beneficiável pelo Canal assume caráter central. Os solos dominantes na região são os Neossolos Litólicos, Regolíticos e Planossolos Hápticos, que juntos ocupam aproximadamente 73% da área e apresentam características físicas que os tornam especialmente suscetíveis à degradação por irrigação inadequada. O resultado ao longo do tempo é a redução progressiva e potencialmente irreversível da aptidão agrícola exatamente o oposto do objetivo para o qual o Canal do Sertão foi construído.

Dessa forma, a presente pesquisa adota o conceito de vulnerabilidade pedológica à degradação produtiva por irrigação inadequada, entendida como a suscetibilidade intrínseca dos solos a perderem capacidade funcional e aptidão agrícola quando submetidos ao uso inadequado da água de irrigação. Esse conceito articula a fragilidade ambiental proposta por Ross (1994), a suscetibilidade pedológica à degradação física sistematizada por Crepani et al. (2001) e os processos de degradação do solo por irrigação documentados no Semiárido brasileiro por Brito, Braga e Nascimento (2010). Para responder a esse objetivo, o uso integrado de geoprocessamento e sensoriamento remoto se apresenta como abordagem metodológica essencial, permitindo identificar padrões espaciais de uso do solo, monitorar transformações territoriais ao longo do tempo e produzir cartografia analítica de vulnerabilidade em ambiente SIG (Rodrigues et al., 2020; Criado; Piroli, 2012).

Diante das considerações inicialmente apresentadas, torna-se pertinente no âmbito desta pesquisa responder à seguinte questão: quais as áreas da região beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano apresentam maior vulnerabilidade pedológica à degradação produtiva decorrente do uso inadequado da irrigação? A hipótese central é a de que os solos com menor grau de desenvolvimento pedogenético, especialmente Neossolos e Planossolos, apresentam alta suscetibilidade à degradação funcional por irrigação, e que as áreas de maior expansão agrícola registradas entre 2000 e 2024 coincidem espacialmente com os setores de maior fragilidade, configurando um cenário de risco ambiental crescente diretamente associado à operação do Canal.

Assim sendo, o presente estudo tem como objetivo principal **avaliar** as alterações na paisagem do Canal do Sertão Alagoano, especialmente no contexto da área diretamente beneficiável a partir do uso integrado de geoprocessamento e sensoriamento, além de contemplar os objetivos específicos abaixo descritos:

- Realizar mapeamento multitemporal do uso da terra e cobertura vegetal dos trechos executados da área diretamente beneficiadas
- Reclassificar as classes de solos na área diretamente beneficiável do Canal do Sertão Alagoano;
- Identificar o grau de vulnerabilidade das classes de solo na área diretamente beneficiável do Canal do Sertão Alagoano;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A maneira acelerada e diversa com que a humanidade tem alterado os processos naturais da terra, fornece grande subsídio aos estudos de análises ambientais. O desenvolvimento e a aplicação dos estudos sistêmicos dentro da Geografia têm ocorrido de forma simultânea ao surgimento da disciplina, avançando a partir de conceitos próprios, esses conceitos buscam superar as limitações das abordagens tradicionais, caminhando em uma direção a uma nova epistemologia do conhecimento geográfico (Sotchava, 1977).

Nesse sentido, é fundamental considerar que o próprio planeta Terra, tal qual os sistemas naturais, funcionam como sistemas abertos, ou seja, que constantemente se encontram em trocas de energias e matérias com o meio ambiente, esses sistemas nunca estão em equilíbrio, nem químico, nem termodinâmico, mas se mantêm em um estado estacionário, onde os fluxos que são contínuos garantem sua dinâmica e manutenção (Bertalanffy, 1973).

Desta maneira, a compreensão da Terra como sistema aberto, conforme proposto por Bertalanffy (1973), fornece a base teórica necessária para a aplicação das abordagens geográficas da paisagem. A partir dessa perspectiva sistêmica, torna-se possível interpretar a paisagem não apenas como uma configuração espacial estática, mas como expressão concreta das interações entre fluxos de matéria e energia em constante transformação resultado provisório de um estado estacionário mantido pelo dinamismo de suas trocas internas e externas.

É nesse ponto que as contribuições de Jean Tricart se articulam de maneira direta com o pensamento sistêmico. Em sua abordagem ecodinâmica, Tricart (1977) interpreta a paisagem conforme o grau de estabilidade dos sistemas ambientais, classificando os meios em estáveis, intergrades e fortemente instáveis, a depender da intensidade dos processos

morfodinâmicos e da capacidade de resistência do meio frente às intervenções naturais e humanas. Dessa forma, a paisagem passa a ser compreendida como resultado de equilíbrios dinâmicos, nos quais a ação antrópica pode intensificar processos erosivos e comprometer progressivamente a estabilidade ambiental.

Complementarmente, Antonio Christofolletti (1999) sistematiza a aplicação da análise sistêmica à modelagem ambiental geográfica, operacionalizando a compreensão da paisagem como um sistema aberto caracterizado pela interdependência entre seus componentes. Ao incorporar os conceitos de entradas (*inputs*), saídas (*outputs*) e relações internas de retroalimentação, torna-se possível compreender como alterações em um elemento reverberam em toda a organização espacial. A dimensão social dessa dinâmica, igualmente determinante, encontra aprofundamento em Monteiro (2000), para quem a paisagem geossistêmica no contexto brasileiro deve ser compreendida a partir de sua dinâmica climática e do papel decisivo da ação antrópica em sua reorganização.

Diante disso, a presente pesquisa tem em seu esteio o paradigma sistêmico, ao analisar o uso e ocupação do solo, nos setores beneficiados pelo Canal do Sertão, busca-se uma compreensão sistêmica do geossistema como um todo. A utilização de técnicas de geoprocessamento torna possível a identificação de padrões de uso do solo, permitindo uma leitura detalhada das transformações no território e como essas transformações se relacionam com os fatores antrópicos e a dinâmica natural (Barcellos; Bastos, 1996).

Os paradigmas científicos da Geografia têm impacto direto na maneira como são realizadas as análises temporais do uso e ocupação do solo, esses paradigmas oferecem diferentes perspectivas e metodologias para compreender as mudanças nos sistemas ambientais ao longo do tempo, sob essa ótica, esse tipo de estudo dos geossistemas naturais, classificam-os como entidades espaço-temporais, organizadas por meio de interações como relevo, clima, solo e vegetação (Cavalcanti; Rodriguez, 1997).

O princípio da causalidade será associado a presente pesquisa de forma que as técnicas deem suporte na análise do uso do solo relacionado a cobertura vegetal e o uso agrícola, visto que, as ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aliadas aos sistemas de informações geográficas se fazem fundamentais para esse tipo de análise fornecendo subsídios para planejamento e gestão ambiental (Criado; Piroli, 2012)

A tradição na qual a pesquisa tem seus alicerces é a espacial, identificada como estudos de área, e relações entre homem e terra e de ciência da terra, a tradição espacial envolve estudos que têm em conjuntos processos que concorrem à organização espacial, essa tradição muitas

vezes designada como locacional, se afirmar como a mais urgente e relevante no contexto da Geografia contemporânea, através do estudo da organização do espaço (Morc, 1999).

A tradição espacial ao buscar padrões e regularidades na organização do espaço, pode encontrar nas técnicas de geoprocessamento para o monitoramento e modelagem da ocupação do solo em diferentes escalas temporais e espaciais. Visto que essas técnicas permitem a identificação de padrões espaciais (Rodrigues, 2004).

2.1 As potencialidades e limitações do semiárido do nordeste do Brasil

O semiárido brasileiro é um território no qual a dinâmica social, econômica e ambiental foi historicamente moldada por um conjunto estrutural de desafios. O cenário regional foi marcado por altos índices populacionais, desigualdade social, concentração fundiária e notoriamente longos períodos de estiagem (Andrade, 1973; Freyre, 2013). A principal limitação natural, reside na forte variabilidade interanual do clima, o que acaba provocando estiagens prolongadas e chuvas altamente irregulares, a combinação desses fatores produzem um ambiente de elevada vulnerabilidade socioambiental, no qual a disponibilidade de água, a aptidão agrícola e a estabilidade ecológica se encontram ameaçadas (Silva; Cabral Júnior, 2025).

Essa inconstância climática tem como vínculo à atuação intermitente dos sistemas atmosféricos de precipitação e afeta a vegetação da Caatinga que apesar de adaptada, é sensível a ação antrópica e impactada pelo desmatamento (Ab'Sáber, 2003; 1977). As condições de solos nessa área geralmente apresentam alta pedregosidade e baixa capacidade de retenção hídrica, o que restringe práticas agrícolas convencionais. Além de que solos desse tipo impedem o aproveitamento eficiente dos volumes de precipitação, o que causa perdas por escoamento e erosão (Mendonça, 2007; Barros et al., 2012).

A elevada evapotranspiração potencial intensifica a aridez e acelera os processos de degradação ambiental. Contudo, mesmo com as restrições climáticas, o Semiárido possui um conjunto de potencialidades subaproveitadas. A Caatinga oferece uma biodiversidade endêmica, com espécies de alto valor farmacológico e econômico como o umbuzeiro e o mandacaru (Sudene, 2000). A despeito das limitações da região, a população demonstra conhecimento profundo sobre o território, cultivando produtos alimentares básicos em planícies aluviais, enquanto dominam culturas adaptadas em áreas mais secas (Ab'saber, 2003). No médio Sertão de Alagoas, a economia que se baseia principalmente na agricultura e na pecuária, as culturas adaptadas ao clima, como o milho, feijão, mandioca e na pecuária o gado, caprino e ovino (Lima, 2024).

As dificuldades enfrentadas pelas comunidades locais, no sentido de escassez de recursos, não são em particular eventualidades relacionadas ao clima, são reflexo de processos históricos de poder. A influência do coronelismo e o domínio particular sobre as vastas extensões de terra, o latifúndio, construíram laços sociais desiguais, relações sinalizadas por uma subordinação e pela distribuição desbalanceada dos bens naturais essenciais, com a água como destaque (Andrade, 1980). O acesso aos recursos hídricos tem sido arbitrado por grupos de elite política e econômica. Essa dinâmica se consolidou como “indústria da seca”, termo que ressalta em como a imagem do semiárido nordestino é constituída, sobretudo, em torno da ideia de desolação e êxodo vinculadas à estiagem (Porto Gonçalves, 2006).

Os defensores das políticas mais tradicionais de desenvolvimento culpabilizam exclusivamente a seca pelas mazelas regionais, se utilizando dessa “indústria” como justificativa. Consequentemente, as medidas de deliberações políticas acabam sendo direcionadas primordialmente para tentativa de domar a seca, o que acaba resultando em um movimento de exclusão e segregação. Esse modelo social e político só favorece determinados segmentos da sociedade em detrimentos das populações mais carentes e vulneráveis, intensificando uma fragilidade social (Marques; Guimarães; Dantas, 2018).

A visão regional proporciona a compreensão de como o semiárido nordestino apresenta problemas estruturais semelhantes, apesar de suas diferenças naturais e sociais. Ao observar o território alagoano, é possível perceber que a porção inserida no semiárido concentra tanto limitações ambientais expressivas quanto oportunidades que emergem a partir dessas mesmas condições. No campo das limitações naturais, o semiárido alagoano, continua de forma atenuada com dificuldades hídricas que acabam por implicar uma vulnerabilidade maior às famílias locais. Análises sobre políticas públicas e infraestrutura hídrica expõem que apesar de abastecimento e saneamento rural ainda existem dificuldades de convivência sustentável com o clima seco (Castro, 2025).

As limitações hídricas são inseparáveis das limitações climáticas. O semiárido alagoano apresenta clima quente e seco, com alta insolação e evapotranspiração intensa, o que resulta em perda acelerada da umidade do solo (Barros et al., 2012). A variabilidade climática tem se intensificado, e relatórios recentes indicam que eventos de “secas-relâmpago” estão se tornando mais frequentes na região (Costa; Almeida, 2024).

A limitação hídrica do semiárido alagoano não se resume apenas à escassez de chuvas, mas envolve um sistema ambiental e social marcado pela irregularidade, pela má distribuição e pela dificuldade de armazenamento e infiltração da água (Silva; Cabral, 2025).

Historicamente, essa limitação levou à criação de grandes obras de infraestrutura hídrica, como açudes, cisternas e, mais recentemente, o Canal do Sertão. O uso desordenado da água e a falta de planejamento agrícola dificultam a otimização dos recursos, a distribuição de água não ocorre de maneira homogênea e muitos trechos apresentam baixa integração entre os setores produtivos e a disponibilidade hídrica (Santos, 2018).

A geomorfologia do semiárido alagoano também impõe restrições significativas ao uso da terra, a região é marcada pela Depressão Sertaneja e do São Francisco, composta por superfícies pedregosas e solos rasos que possuem baixa profundidade e baixa capacidade de retenção de água. O relevo ondulado e a presença de rochas aflorantes dificultam o desenvolvimento de atividades agrícolas e favorecem o escoamento superficial da água (Santos, 2018). A vegetação do semiárido é composta majoritariamente pela caatinga, o regime de uso da terra como a criação extensiva tem causado impactos na capacidade de regular o ciclo hídrico local (Medeiros; Gomes, 2023).

Entretanto, mesmo em meio a essas limitações, o sertão e agreste alagoano possuem um conjunto de potencialidades naturais, sociais e econômicas. Estudos agronômicos conduzidos na área revelam que o manejo adequado dos recursos hídricos e a irrigação controlada podem elevar de maneira expressiva a produtividade de culturas adaptadas às condições locais, especialmente quando associados ao planejamento técnico e monitoramento da lâmina de água. Avaliações de aptidão agrícola e estudos de viabilidade reforçam que determinadas áreas apresentam condições favoráveis para sistemas irrigados, desde que associados a práticas sustentáveis e ao uso racional dos mananciais disponíveis (GEAMA, 2022; HIDROBR, 2024). A ausência dessas práticas, contudo, pode transformar a irrigação em agente de degradação progressiva dos solos, comprometendo a estrutura física, a fertilidade e a capacidade produtiva que sustentam a própria atividade agrícola.

2.2 Os efeitos da irrigação em solos do semiárido brasileiro

A água está ligada ao desenvolvimento das civilizações, no geral, o processo de povoamento humano deu-se às margens de cursos d'água, configurando-se como base da colonização, as utilidades da água são inúmeras, entre elas o consumo humano, a agricultura, a irrigação, como os canais artificiais, que abrangem uma grande funcionalidade, podendo atender os usos mencionados, expondo sua ligação com o desenvolvimento humano nas atividades atuais e antigas das civilizações (Mays et al., 2007; Confessor, 2019; Chow, 1959).

Canais artificiais possibilitam um controle preciso sobre a quantidade de água que é aplicada e o momento da irrigação, o que é importante para o crescimento das culturas. Esses tipos de canais podem ser integrados a outras tecnologias de irrigação, como sistemas de gotejamento e aspersão para o aumento da eficiência hídrica (Gao et al., 2024; Sanchis-ibor et al., 2024).

Os canais artificiais são importantes para a agricultura por garantirem a produção agrícola, no contexto das regiões semiáridas, a irrigação é essencial para a garantia dessa produção, devido à irregularidade de chuvas fornecendo uma fonte controlada de água e permitindo o cultivo mesmo em períodos mais secos. Outra questão importante é a possibilidade de uma gestão efetiva dos recursos hídricos, distribuindo a água de forma planejada para as diferentes áreas de cultivo (Hoare, 1967; Neto et al., 2022).

No semiárido brasileiro, essa dependência da agricultura irrigada é crítica. Uma parte da produção de alimentos que abastece o país tem sua base em áreas que dependem intensivamente do manejo da água. Entretanto, a região tem sido um espaço no qual as crises hídricas são recorrentes, um reflexo direto de condições climáticas desafiadoras, chuvas escassas, taxas de evapotranspiração elevadas e uma variabilidade temporal grande que acaba tornando a natureza uma “parceira de negócios” que oferece riscos (Almeida et al., 2015).

Ainda de acordo com os autores, as mudanças climáticas globais ameaçam desorganizar ainda mais o ciclo hidrológico, expondo um aumento de secas mais frequentes. Essa perspectiva impõe uma urgência de mudança, a necessidade de uma gestão hídrica ainda mais eficiente e acima de tudo, da adoção de estratégias de adaptação e tecnologias que sejam capazes de reduzir perdas e otimizar o uso sustentável da água disponível (Almeida et al., 2015).

A literatura técnica é unânime ao apontar que a irrigação implantada sem considerar a capacidade de suporte do meio físico deflagra impactos ambientais significativos, como elevação do lençol freático, salinização dos solos e contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. No semiárido, esses processos são agravados pela elevada evapotranspiração, que acelera o acúmulo progressivo de sais no solo e reduz sua aptidão agrícola ao longo do tempo, comprometendo a sustentabilidade dos próprios sistemas produtivos que a irrigação deveria garantir o que reforça a necessidade de conciliar produtividade agrícola com preservação do capital natural em escala de bacia hidrográfica (Andrade, 2009).

Uma das principais estratégias estatais para o enfrentamento da escassez hídrica e para a indução do desenvolvimento regional são os Perímetros Públicos de Irrigação (PPis). Esses perímetros foram implantados majoritariamente a partir da segunda metade do século XX, sob a coordenação dos órgãos federais como o DNOCS e a Codevasf, com o objetivo de

garantir a oferta regular de água para a agricultura, reduzir os riscos climáticos da produção de sequeiro e promover a fixação da população no campo, PPIs se concentram sobretudo nas bacias do rio São Francisco e do Atlântico Nordeste oriental (Ferreira, 2020).

Os Perímetros Públicos de Irrigação (PPIs) foram cruciais para a modernização agrícola no semiárido, ao viabilizar sistemas eficientes e consolidar cadeias como a fruticultura irrigada. No entanto, análises críticas indicam que muitos PPIs enfrentam desafios sérios de gestão dos recursos hídricos, manutenção e capacitação técnica. A sustentabilidade ambiental é comprometida, especialmente em função da alta evapotranspiração e da suscetibilidade dos solos à salinização. Dessa forma, a efetividade dos PPIs exige planejamento integrado, governança institucional robusta e adequação às características edafoclimáticas locais. (Andrade, 2009).

Na região do semiárido, a adoção de métodos de irrigação tem sido fundamental para reduzir a vulnerabilidade da produção agrícola frente à irregularidade das chuvas e às limitações naturais dos solos, entre os métodos mais utilizados destaca-se a irrigação por aspersão, que simula a precipitação natural ao distribuir a água sob pressão por meio de aspersores, nesta região, sistemas de aspersão convencional, como os lineares móveis e autopropelidos, apresentam bons índices de uniformidade de aplicação de água, contribuindo para maior eficiência no uso do recurso hídrico e incremento da produtividade agrícola quando corretamente manejados (Santos, 2023; Testezlaf, 2017).

Outro método relevante no contexto alagoano é a irrigação por pivô central, considerada uma evolução dos sistemas de aspersão convencional, caracterizada pela aplicação mecanizada e contínua de água em áreas circulares, esse sistema tem sido adotado principalmente em propriedades de médio e grande porte, devido à sua elevada eficiência operacional, possibilidade de automação e melhor controle das lâminas aplicadas, fatores que reduzem perdas por evaporação e percolação profunda. A modernização desses sistemas, com controle de velocidade das torres e ajuste da aplicação hídrica às exigências das culturas, contribui para o uso mais racional da água em regiões semiáridas, onde a disponibilidade hídrica é limitada (Junior; Filho, 2022).

Além da aspersão, a irrigação localizada, especialmente o gotejamento, no semiárido alagoano, destaca-se por sua alta eficiência na aplicação de água diretamente na zona radicular das plantas. Esse método reduz significativamente as perdas por evaporação e escoamento superficial, sendo indicado para regiões com restrição hídrica mais acentuada e para cultivos que demandam maior controle do fornecimento de água (Santos, 2005; Testezlaf, 2017).

A eficácia da irrigação no semiárido alagoano depende de uma visão integrada, que ultrapassa o nível tecnológico dos sistemas. O sucesso desses métodos não está limitado apenas à modernidade dos equipamentos, mas a combinação de tecnologia com a gestão estratégica dos recursos hídricos, como os métodos como a aspersão, superfície, localizada ou subsuperficial, deve considerar as características do solo, a disponibilidade hídrica, as exigências das culturas e a capacidade de investimento, a fim de garantir maior eficiência no uso da água e reduzir impactos ambientais (Testezlaf, 2017).

Nesse contexto, a sustentabilidade dos sistemas produtivos depende da integração entre tecnologia e gestão dos recursos hídricos, especialmente em regiões marcadas por grandes obras hídricas e disputas pelo uso da água. Os Comitês de Bacias Hidrográficas constituem, nesse sentido, instâncias fundamentais para a gestão participativa e descentralizada, cabendo-lhes arbitrar conflitos pelo uso da água, aprovar planos de recursos hídricos e promover os usos múltiplos dos mananciais disponíveis. Entretanto, estudos realizados nos estados do Nordeste brasileiro evidenciam que muitos desses comitês ainda não atingiram o estágio de funcionamento preconizado pela Política Nacional de Recursos Hídricos, comprometendo a efetividade da gestão integrada em bacias que dependem de infraestruturas hídricas estruturantes, como o Canal do Sertão Alagoano (Morais; Fadul; Cerqueira, 2018; Henkes, 2014).

2.3 Contextualização histórica do Canal do Sertão Alagoano

O Canal do Sertão Alagoano nasceu de uma necessidade urgente e histórica que é enfrentar as secas recorrentes que existem desde sempre no semiárido alagoano e suas profundas consequências sociais e econômicas. Desde o início a obra foi planejada como uma resposta estrutural e duradoura, capaz de superar as práticas emergenciais e assistencialistas que, por décadas, marcaram as políticas de convivência com a seca na região, com a proposta central de garantir a segurança hídrica permanente para o consumo das famílias, a criação de animais e o fortalecimento da agricultura local (Rodrigues, 2010).

Mais do que uma infraestrutura hídrica, o canal representa uma estratégia de longo prazo para levar as águas do São Francisco às áreas que historicamente enfrentam dificuldades de acesso aos recursos hídricos, integrando-se a um projeto maior de desenvolvimento regional sustentável. Segundo Pedrosa et al. (2008) o objetivo principal do empreendimento é impulsionar o desenvolvimento socioeconômico sustentável das mesorregiões do Sertão e do Agreste alagoano. Embora tenha sido idealizado para atender

diversos usos da água, o Estudo de Sustentabilidade do Projeto Canal do Sertão Alagoano, desenvolvido pela Hydros/Tecnosolo (2002), estabeleceu prioridades claras: a criação de perímetros públicos de irrigação, o suprimento de água para áreas rurais de sequeiro, o abastecimento das populações urbanas e rurais, além do incentivo à piscicultura em tanques.

A essência do projeto é assegurar água de forma contínua, durante os períodos de estiagem, aliviando a pressão sobre os sistemas de abastecimento gerenciados pela Companhia de Saneamento de Alagoas (Casal) (Alagoas, 2017). Do ponto de vista político e institucional, a ideia do Canal do Sertão começou a ganhar forma no início dos anos 1990, quando o Governo de Alagoas passou a enxergar grandes obras hídricas como alternativas estruturais ao antigo "combate à seca". O projeto foi apresentado oficialmente em 1992, em um momento de maior articulação entre iniciativas estaduais e federais voltadas à infraestrutura hídrica no Nordeste, contando com o apoio de instituições como a CODEVASF e alinhando-se às diretrizes da Política Nacional de Recursos Hídricos (Bomfim e Nascimento, 2023).

Entretanto, a execução da obra avançou lentamente e de maneira fragmentada, refém de ciclos políticos, limitações orçamentárias e mudanças administrativas que se sucederam ao longo dos diferentes governos estaduais. A partir dos anos 2000, diante do agravamento das secas e da ampliação do debate nacional sobre segurança hídrica, o Canal do Sertão passou a ocupar lugar de destaque na agenda pública de Alagoas. As primeiras etapas de construção concentraram-se nos trechos mais próximos ao ponto de captação no rio São Francisco, em Delmiro Gouveia, acompanhadas por um discurso político que enfatizava a geração de empregos temporários e a promessa de dinamização econômica da região. Todavia, os primeiros resultados mostraram-se mais significativos no campo simbólico e institucional do que na transformação concreta das condições de vida da população (Carvalho et al., 2018).

Devido à sua natureza técnica e operacional complexa, o Canal do Sertão exige a participação de diversos atores institucionais, desde órgãos responsáveis pelo planejamento e execução até aqueles que cuidam da operação e gestão, sem esquecer os diferentes usuários da água. A gestão do empreendimento foi oficialmente regulamentada pelo Decreto nº 40.183/2015, que criou o Comitê Gestor do Canal Adutor do Sertão Alagoano, reunindo a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH), a Secretaria de Estado da Infraestrutura (SEINFRA) e a Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária, Pesca e Aquicultura (SEAGRI). Essa estrutura foi pensada para viabilizar uma gestão integrada do canal (Alagoas, 2015).

Ainda de acordo com o decreto, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) era designada como gestora do Canal do Sertão Alagoano, responsável pela administração do empreendimento e pela análise, autorização e cobrança pelo uso da água, incluindo a concessão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos do canal (Alagoas, 2015). No entanto, essa configuração institucional foi alterada com a publicação do Decreto nº 94.190/2023, que transferiu a gestão dos trechos concluídos do canal e a competência pela análise, autorização e cobrança pelo uso da água para a Secretaria de Estado de Governo (Segov), em conjunto com a Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL), atribuindo a esses órgãos a administração operacional e regulatória do Canal do Sertão, enquanto a Secretaria de Infraestrutura (Seinfra) permanece responsável pela conclusão dos novos trechos (Casal, 2023, 2024).

Até 2016, aproximadamente 105 quilômetros do canal haviam sido construídos, abrangendo os três primeiros trechos e a parte do quarto chegando no município de São José da Tapera. Naquele momento, conforme informações disponibilizadas pela SEMARH, a água do canal já atendia cerca de 403 usuários, sendo a CASAL, a principal beneficiária, seguida por médios produtores rurais e por volta de 400 agricultores familiares em suas diversas áreas produtivas (Alagoas, 2017).

Paralelamente aos avanços da construção, os desafios e limitações são cada vez mais expostos, do ponto de vista econômico e operacional, destaca-se o alto custo da água, fortemente vinculado ao consumo energético das estações de bombeamento, necessárias para atender os desníveis ao longo do percurso, a ausência inicial de uma governança hídrica consolidada e as indefinições sobre cobrança, operação e manutenção criaram incertezas sobre o uso racional e a distribuição equitativa da água. A limitada experiência de Alagoas na gestão de grandes canais, evidenciada em comparação com o Canal da Integração no Ceará, mostrou-se um fator crítico para a eficiência do empreendimento (Rodrigues, 2010).

No âmbito socioambiental, apesar dos benefícios potenciais, a implantação do Canal do Sertão também provocou impactos ambientais e conflitos territoriais. As comunidades que vivem próximas ao canal passaram a enfrentar mudanças no uso e ocupação do solo, remoção de vegetação, riscos de erosão e pressões sobre áreas ambientalmente frágeis, exigindo um planejamento mais cuidadoso e medidas compensatórias por parte do poder público (Bomfim; Nascimento, 2023).

Em uma perspectiva social mais ampla o Canal do Sertão Alagoano se insere em um território que é marcado historicamente por baixos índices de renda, educação e desenvolvimento humano, característicos do semiárido brasileiro. Nesse contexto, obras de infraestrutura hídrica,

embora fundamentais, sozinhas não conseguem transformar estruturas históricas de exclusão social. Torna-se essencial um pensamento que articule o acesso à água com políticas educacionais, geração de renda e fortalecimento institucional (Silvia; Lima, 2015).

2.4 Conceitos sobre suscetibilidade e vulnerabilidade em estudos socioambientais

Nos estudos socioambientais, os conceitos de suscetibilidade e vulnerabilidade estão em uma posição central na análise de riscos, impactos ambientais e desigualdades territoriais, sobretudo em pesquisas que buscam articular as dimensões físicas e sociais do espaço geográfico. Embora sejam utilizados de forma intercambiável, a literatura aponta que se tratam de categorias analíticas distintas, ainda que complementares, cuja adequada definição seja necessária para a garantia de consistência teórica e metodológica às análises desenvolvidas (Girão; Rabelo; Zanella, 2018).

A vulnerabilidade é amplamente compreendida como um conceito multidimensional que expressa a predisposição de indivíduos, grupos sociais ou territórios a sofrerem danos mediante a eventos adversos. Mais do que a simples exposição a perigos ambientais, esse conceito incorpora um conjunto de fatores, sejam eles econômicos, sociais, institucionais e políticos dos sistemas socioecológicos. Nessa perspectiva, a vulnerabilidade não se manifesta de maneira homogênea no território, mas acaba refletindo as desigualdades que historicamente condicionam diferentes níveis de sensibilidade aos impactos ambientais (Berrouet et al., 2018; Grigorescu et al., 2021; Ponzi et al., 2024).

As questões associadas às mudanças climáticas reforçam a compreensão de ao indicar que a vulnerabilidade resulta da interação entre a exposição aos riscos, a sensibilidade dos sistemas e a capacidade adaptativa das populações afetadas. Essa abordagem evidencia que os impactos ambientais são socialmente diferenciados, afetando de maneira mais intensa os grupos que dispõem de menor acesso a recursos materiais, infraestrutura e políticas públicas eficazes (IPCC, 2014). Assim a vulnerabilidade assume um caráter dinâmico e racional, diretamente associado às condições socioeconômicas e à organização do território.

A literatura da geografia crítica e dos estudos sobre riscos socioambientais aprofunda essa análise ao destacar que a vulnerabilidade não pode ser explicada apenas por fatores naturais, mas que ela está vinculada às desigualdades socioespaciais, à pobreza, à precariedade das condições de moradia, à ausência de saneamento básico e ao acesso desigual a serviços e políticas públicas. Dessa forma, populações que são socialmente marginalizadas tendem a apresentar maiores níveis de vulnerabilidade, mesmo que quando expostas aos

mesmos perigos ambientais que outros grupos sociais, o que evidencia o caráter seletivo e socialmente construídos dos riscos (Fushimi, 2012; Cutter; Boruff; Shirley, 2003).

No contexto do semiárido alagoano, essa condição de vulnerabilidade socioambiental se manifesta de maneira particularmente intensa, resultado da sobreposição de fatores naturais e sociais que se reforçam mutuamente. A recorrência de períodos de seca constitui um os principais elementos estruturantes da vulnerabilidade regional, influenciando diretamente as dinâmicas produtivas, o abastecimento hídrico e a segurança alimentar das populações locais (Brito; Almeida, 2023). Somam-se a esse cenário as dificuldades de acesso à água potável e a persistente insegurança hídrica domiciliar, que afetam o cotidiano das famílias e impõem limites às atividades agrícolas desenvolvidas pelos pequenos produtores rurais, ampliando as condições de fragilidade social e econômica (Tomaz et al., 2023).

A suscetibilidade, por sua vez, apresenta uma abordagem conceitual mais específica e geralmente associada às características intrínsecas dos sistemas físicos e ambientais que os tornam mais propensos à ocorrência de determinados processos ou danos. Na literatura geografia e ambiental, esse conceito é amplamente utilizado para expressar a fragilidade natural de áreas em relação a fenômenos como erosão, deslizamento, inundações ou degradação dos solos, independentemente da presença humana ou da magnitude dos impactos sociais que possam decorrer desses processos (Girão; Rabelo; Zanella, 2018)

Nesse sentido, a suscetibilidade está relacionada à probabilidade de ocorrência de processos físicos em função de atributos naturais do território, como declividade, tipo de solo, cobertura vegetal e regime climático. Do ponto de vista metodológico, diversos estudos indicam que essa categoria é operacionalizada, sobretudo, por meio de modelos espaciais, análises multicritério e técnicas de geoprocessamento, que permitem identificar áreas mais propensas a determinados fenômenos ambientais. Esses procedimentos fornecem subsídios importantes para o planejamento territorial e para a gestão ambiental, especialmente em áreas sujeitas a processos de degradação (Varnes, 1984; Fushimi, 2012).

A distinção conceitual entre vulnerabilidade e suscetibilidade torna-se ainda mais relevante quando se busca integrar análises físicas e sociais em estudos socioambientais. Enquanto a suscetibilidade contribui para identificar onde determinados processos tendem a ocorrer com maior facilidade, a vulnerabilidade permite compreender quem será mais afetado por estes processos e quais serão as consequências sociais, econômicas e territoriais associadas (Cutter; Boruff, Shirley, 2003).

Ainda de acordo com os autores, essa diferenciação evidencia que áreas altamente suscetíveis do ponto de vista físico, nem sempre correspondem às áreas mais vulneráveis socialmente, sobretudo quando dispõem de infraestrutura adequada, planejamento territorial e capacidade institucional de resposta.

Do ponto de vista metodológico, a literatura converge ao apontar a importância da integração entre essas duas categorias analíticas. Relatórios internacionais de avaliação de riscos defendem que a vulnerabilidade deve ser compreendida como um conceito composto, no qual a suscetibilidade apenas representa uma de suas dimensões, ao lado das capacidades de enfrentamento e adaptação das sociedades expostas aos perigos ambientais (Bündnis Entwicklung Hilft, 2016). Essa abordagem integrada tem sido amplamente adotada em estudos que buscam mapear riscos socioambientais em escalas regionais e locais, o que acaba contribuindo para diagnósticos mais precisos.

No campo aplicado, diversos trabalhos propõem a sobreposição de mapas de suscetibilidade ambiental com indicadores de vulnerabilidade social, utilizando sistemas de informação geografia como a ferramenta de integração metodológica. Essa estratégia possibilita a identificação de territórios onde a fragilidade ambiental coincide com condições sociais precárias, configurando áreas prioritárias para ações de mitigação de riscos, adaptação às mudanças ambientais e implementação de políticas públicas voltadas à redução das desigualdades socioambientais (Reis et al., 2019; Medeiros et al., 2020).

A incorporação do sensoriamento remoto e do geoprocessamento nos estudos socioambientais tem ampliado significativamente a capacidade de análise da suscetibilidade e da vulnerabilidade, ao permitir a integração de variáveis físicas, ambientais e socioeconômicas em bases espaciais georreferenciadas, diversos autores destacam que essas ferramentas possibilitam representar espacialmente a complexidade dos sistemas ambientais e sociais, favorecendo os diagnósticos sobre as áreas sujeitas a riscos e impactos (Cutter; Boruff; Shirley, 2003; Reis., 2019).

No que se refere a suscetibilidade, o sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado para a identificação e análise de atributos físicos de paisagem como uso e cobertura, declividade, tipos de solo e padrões de vegetação. Esses elementos extraídos de imagens orbitais e modelos digitais de elevação, permitem avaliar a propensão natural do território ao desenvolvimento de processos como erosão, deslizamentos e degradação ambiental. Assim a suscetibilidade é operacionalizada metodologicamente através da análise espacial desses fatores, frequentemente integrados em ambientes de sistemas de informação geográfica (Varnes, 1984; Fushimi, 2012).

A vulnerabilidade, por sua vez, tem sido abordada a partir da integração entre os dados espaciais de natureza ambiental e indicadores socioeconômicos, como renda populacional, infraestrutura urbana, estudos baseados em geoprocessamento indicam que a sobreposição dessas informações permite identificar áreas onde a exposição aos perigos ambientais coincide com fragilidades sociais, configurando situações de maior vulnerabilidade socioambiental (Medeiros et al., 2020; Reis et al., 2019).

O uso de imagens de satélite multitemporais tem permitido analisar a dinâmica da vulnerabilidade ao longo do tempo, evidenciando como mudanças no uso e cobertura da terra, associadas a processos de ocupação desordenada, podem ampliar tanto a suscetibilidade ambiental quanto a vulnerabilidade social. Dessa forma, o sensoriamento remoto contribui não apenas para o diagnóstico estático dos riscos, mas também para a compreensão de sua evolução temporal (Berrouet et al., 2018; Grigorescu et al., 2021).

Essas geotecnologias possibilitam identificar áreas fisicamente frágeis, compreender as desigualdades sociais associadas aos riscos e orientar a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação de impactos e à adaptação socioambiental (Cutter, Boruff e Shirley, 2003; Reis et al., 2019).

2.5 Os principais métodos de análise de vulnerabilidade no campo das ciências geográficas

A análise da vulnerabilidade se consolidou como um dos principais campos de investigação da Geografia Física, sobretudo por sua capacidade de integrar os processos naturais, dinâmicas espaciais e impactos, os estudos geográficos compreendem a vulnerabilidade como o resultado da interação entre a exposição aos fenômenos naturais, a sensibilidade dos sistemas físicos e a capacidade de resposta ou adaptação do meio frente a eventos, sendo essa abordagem fortemente apoiada por técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (Cutter, 1996; Turner et al., 2003; Cutter, 2011). Dentre os principais métodos de análise de vulnerabilidade no campo das ciências geográficas nessa pesquisa os que foram utilizados são os métodos baseados em indicadores e a modelagem e aplicações de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

a) Análise Hierárquica (AHP)

O processo de Análise Hierárquica (AHP) é uma ferramenta de tomada de decisão que tem como objetivo auxiliar a resolução de problemas complexos, por meio da organização de critérios e alternativas em uma estrutura hierárquica. Foi desenvolvido por

Thomas L. Saaty na década de 1970, o AHP permite ao pesquisador decompor um problema em vários níveis, facilitando a avaliação de múltiplas alternativas com base em diversos critérios, esse método é utilizado em diversos campos para auxiliar na tomada de decisões multifacetadas (Rabinowitz, 1992; Ren et al., 2016; Sara et al., 2023).

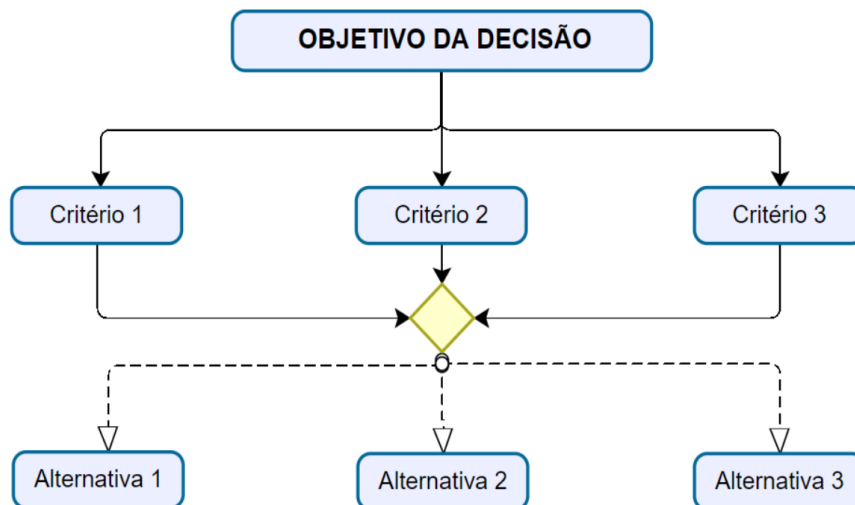
Nesta pesquisa, o AHP será aplicado em conjunto com mapeamento, essa junção oferece uma abordagem estruturada para a tomada de decisões baseadas em aspectos geográficos, o que permite a avaliação de múltiplas alternativas e critérios, o AHP facilita a priorização e avaliação de múltiplas alternativas e critérios (Siddiqui et al., 2021).

Dentre as vantagens a transparência e estrutura dos múltiplos critérios são as que mais se destacam, junto com a versatilidade podendo ser adaptado a diferentes contextos geográficos e tipos de problemas e sua facilidade na análise espacial e visualizando dos resultados (Pazand et al., 2011; Siddiqui et al., 2021). Esse método no mapeamento se desenvolve através das seguintes etapas:

- Estruturação da hierarquia de decisão;
- Construção da Matriz;
- Verificação da consistência;
- Definição do valor da importância relativa de cada fator (Peso);
- Priorização das alternativas;
- Classificação Final.

Na primeira etapa se realiza a estruturação do problema em níveis hierárquicos. Seguindo de acordo com o método, o objetivo principal deve ocupar o topo dessa hierarquia; em seguida se posicionando os critérios no nível intermediário, e, na base, as alternativas que serão avaliadas. Essa organização acaba se assemelhando a uma árvore genealógica, permitindo o decisor uma visão abrangente do sistema como um todo, contemplando seus componentes e as interações entre eles (Tona et al., 2017) como mostra a Figura 1 a seguir.

Figura 1- Modelo Hierárquico



Adaptado de: Tona et al., 2017.

Na segunda etapa, é construída a matriz de comparação par a par, o decisor utiliza uma escala de importância desenvolvida por Saaty (1990), onde o grau de relevância de cada variável é avaliado, em relação às demais para alcançar o objetivo definido (Quadro 1).

Quadro 1- Escala de importância

1	Igual importância
3	Importância pequena de uma sobre a outra
5	Importância grande ou essencial
7	Importância muito grande
9	Importância absoluta de uma sobre a outra
2,4,6,8	Valores Intermediários de importância

Adaptado de: Ben (2006)

Para que essa etapa seja realizada de forma adequada, é essencial ter conhecimento prévio sobre o tema, garantindo julgamentos consistentes e equilibrados. Isso porque o método transforma esses julgamentos em valores numéricos e, posteriormente, verifica sua coerência por meio de um indicador chamado “índice de consistência”.

Na presente pesquisa, o método AHP será integralizado com o método adaptado de Crepani (2001), desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, que se constitui de uma abordagem empírica para a avaliação da vulnerabilidade utilizando o ambiente SIG. Os temas relevantes para a dinâmica do meio físico na supracitada pesquisa se baseiam em classes de solos, Geologia, Geomorfologia, declividade, Uso e cobertura da terra, utilizando

ferramentas como a calculadora raster em SIG. Essa metodologia valoriza o conhecimento técnico de especialistas para definir as classes e pesos de cada variável.

A junção do método de Crepani et al. (2001) ao AHP resulta em um modelo que tem o formato híbrido que reúne os conceitos da ecodinâmica, base do INPE, com a solidez matemática do AHP. Neste modelo, cada variável é dividida em classes e recebe valores entre 1 e 3, seguindo critérios estabelecidos com base na literatura. O resultado final é um índice de vulnerabilidade ambiental que expressa de uma forma espacial, as áreas mais suscetíveis a perdas de solo e degradação (Crepani et al., 2001; Costa; Manso, 2015).

b) Modelagem e aplicações de Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

A modelagem espacial por meio do SIG, se consolidou como um dos principais suportes teóricos-metodológicos para análises integradas do espaço geográfico, permitindo a representação, a simulação e a interpretação de fenômenos naturais e sociais a partir de sua dimensão espacial. Conceitualmente os Sistemas de Informação Geográfica podem ser entendidos como um conjunto organizado de hardwares, softwares, dados e usuários voltado à coleta, armazenamento, tratamento, análise e visualização de informações georreferenciadas, possibilitando a compreensão das relações espaciais e temporais entre objetos e processos no território (Dimanova, 2024).

No campo da modelagem, o SIG assume um papel necessário, pois permite a integração de múltiplas camadas temáticas em ambientes computacionais capazes de simular cenários, dando suporte à tomada de decisões. Essa capacidade integradora faz com que esses Sistemas sejam utilizados de forma ampla em estudos ambientais, geológicos e territoriais, sobretudo quando há necessidade de analisar sistemas complexos e dinâmicos, nos quais os fatores atuam de forma interdependente (De Donatis; Pappafico, 2023; Dimanova, 2024).

A modelagem espacial em SIG envolve o uso de técnicas analíticas que vão desde operações básicas de sobreposição e análise de vizinhança até métodos mais avançados, como modelagem multicritério, lógica fuzzy, análise hierárquica de processos (AHP) e integração com algoritmos de aprendizado de máquina. Esses procedimentos permitem transformar dados espaciais em informações analíticas, capazes de representar padrões, tendências e níveis de risco ou potencialidade em determinado espaço geográfico (Carranza et al., 2021). Essa combinação metodológica também revisada em trabalhos de zoneamento ambiental permite tratar a ambiguidade inerente a fenômenos complexos, representando transições suaves entre classes de risco por meio de graus de pertinência fuzzy (Silva Junior, 2025).

Além das aplicações em risco ambiental, a modelagem em SIG tem sido amplamente empregada em áreas como agricultura de precisão, planejamento territorial e análise socioambiental. Por exemplo, a modelagem baseada em SIG na agricultura permite integrar informações de solo, clima e uso da terra para avaliar a variabilidade espacial de atributos agrônômicos e ajustar decisões de manejo de forma mais eficiente, combinando lógica booleana e fuzzy em modelos que suportam práticas agrícolas mais sustentáveis (Filippini Alba, 2014). Igualmente, pesquisas em saúde pública demonstram que o uso de SIG para modelagem e análise espacial tem sido fundamental no mapeamento de doenças, avaliação de acesso a serviços de saúde e vigilância epidemiológica, mostrando que o SIG transita da simples cartografia para análises espaciais complexas que informam políticas públicas (Franch-Pardo et al., 2024).

No contexto de planejamento de infraestrutura, a modelagem multicritério em SIG também se mostra essencial para processar fatores ambientais, sociais e econômicos conflitantes, como é observado em estudos que usam lógica fuzzy e AHP para definir rotas de linhas de transmissão de energia elétrica com impacto ambiental minimizado (Freiman & Santos, 2020). Adicionalmente, aplicações contemporâneas em análise espacial mostram que métodos estatísticos e de modelagem como interpolação, autocorrelação espacial e análise de clusters têm sido incorporados no ambiente SIG para investigar mudanças no uso do solo e tendências territoriais ao longo do tempo (Bielecka, 2020).

Contudo, a modelagem espacial em SIG constitui um conjunto de métodos que transcendem a simples manipulação de dados geográficos, promovendo análises estruturadas, simulação de cenários e suporte à tomada de decisão em contextos ambientais, agrícolas, sanitários e de planejamento territorial. Por meio de técnicas como lógica fuzzy, AHP, análise estatística espacial e integração de múltiplas camadas temáticas, os SIGs oferecem um ambiente robusto para enfrentar desafios da pesquisa geográfica contemporânea (Freiman & Carvalho, 2023; Filippini Alba, 2014; Franch-Pardo et al., 2024).

3 MATERIAL E MÉTODOS

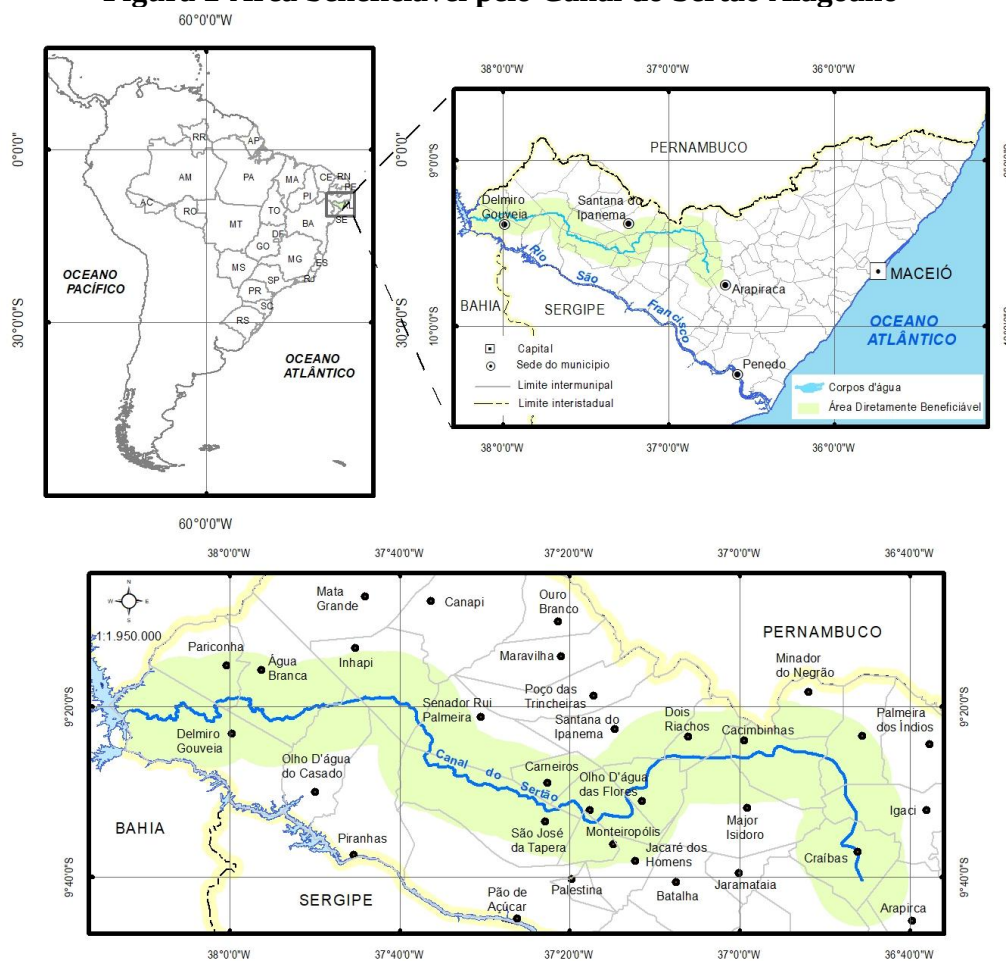
3.1 Localização da área de estudo

A área destinada à instalação do Canal do Sertão Alagoano está localizada na porção oeste do estado de Alagoas, circunscrita às regiões imediatas de Delmiro Gouveia, Santana do Ipanema e São José da Tapera, perpassando as sub-bacias hidrográficas do Riacho Grande, dos Rios Ipanema, Traipu, boqueirão, Farias, Capiá, Boqueirão, Jacaré, Perucaba, Coruripe, e

Riachos Talhada e Grande da Cruz, entre as coordenadas geográficas de latitude 9°20'23.50'' e 9°40'24.70'' sul e longitude 38°11'35.73''W e 36°45'34.18'' oeste (Figura 2).

Embora a extensão atualmente implantada do Canal do Sertão Alagoano alcance o Trecho IV, totalizando cerca de 123 km, este estudo adota como área de análise a sua extensão total projetada, de aproximadamente 250 km, por representar de forma mais fiel o cenário integral de demanda e os impactos associados ao sistema, evitando distorções decorrentes da avaliação restrita aos trechos já construídos. Nesse contexto, a área beneficiável delimitada compreende uma poligonal de 5.314 km² (531.400 hectares), definida a partir de um buffer longitudinal de 10 km em ambos os lados do eixo central do canal, conforme os critérios estabelecidos por Governo de Alagoas (2017).

Figura 2-Área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano



Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2025.

3.2 Aspectos físico ambientais

A análise integrada dos componentes físicos da paisagem constitui um elemento central para a elaboração de diagnósticos espaciais voltados à gestão territorial, especialmente em regiões marcadas por limitações ambientais e forte dependência dos recursos naturais. Essa abordagem permite identificar áreas com diferentes potenciais de uso e ocupação do solo, subsidiar estratégias de conservação dos ecossistemas e da biodiversidade, além de reconhecer setores mais suscetíveis a riscos ambientais e processos de degradação (AbdelRahman; Arafat, 2020; Sharma; Mahajan, 2020). No contexto do semiárido nordestino, tais análises ganham relevância adicional, uma vez que a variabilidade climática e a irregularidade hídrica condicionam diretamente a organização do território, os sistemas produtivos e a disponibilidade de água superficial e subterrânea.

Na área beneficiável do Canal do Sertão predominam unidades neoproterozoicas do embasamento cristalino, intrudidas por corpos graníticos do Ciclo Brasileiro, cobertas por unidades sedimentares paleozoicas, mesozoicas e cenozoicas. O referido recorte espacial está inserido no domínio geológico da Província Borborema, no setor do Domínio Pernambuco-Alagoas, se caracterizando por um arcabouço litológico complexo, resultante de sucessivos eventos tectônicos, magmáticos, metamórficos e sedimentares que se estendem do Paleoproterozóico ao Cenozoico. Essa diversidade geológica (Figura 5) tem um forte controle sobre o relevo, a rede de drenagem, o desenvolvimento dos solos e os processos de vulnerabilidade ambiental no Semiárido alagoano (Brito Neves et al., 2000; CPRM, 2014).

O neoproterozoico constitui o principal substrato geológico da área de estudo, representando o embasamento cristalino regional formado durante a Orogênese Brasileira. Nesse contexto, as unidades metassedimentares que podem ser destacadas são as Macururé, Chorrochó e a Belém do São Francisco e a Unidade Araticum metamórfica, composta predominantemente por xistos, filitos, quartzitos, metagrauvaques e intercalações de rochas máficas. Essas unidades resultam de processo de sedimentação seguidos por metamorfismo regional de baixo a médio grau, associados aos eventos tectônicos neoproterozoicos que afetaram a Província Borborema (Brito Neves et al., 2000; Santos et al., 2010).

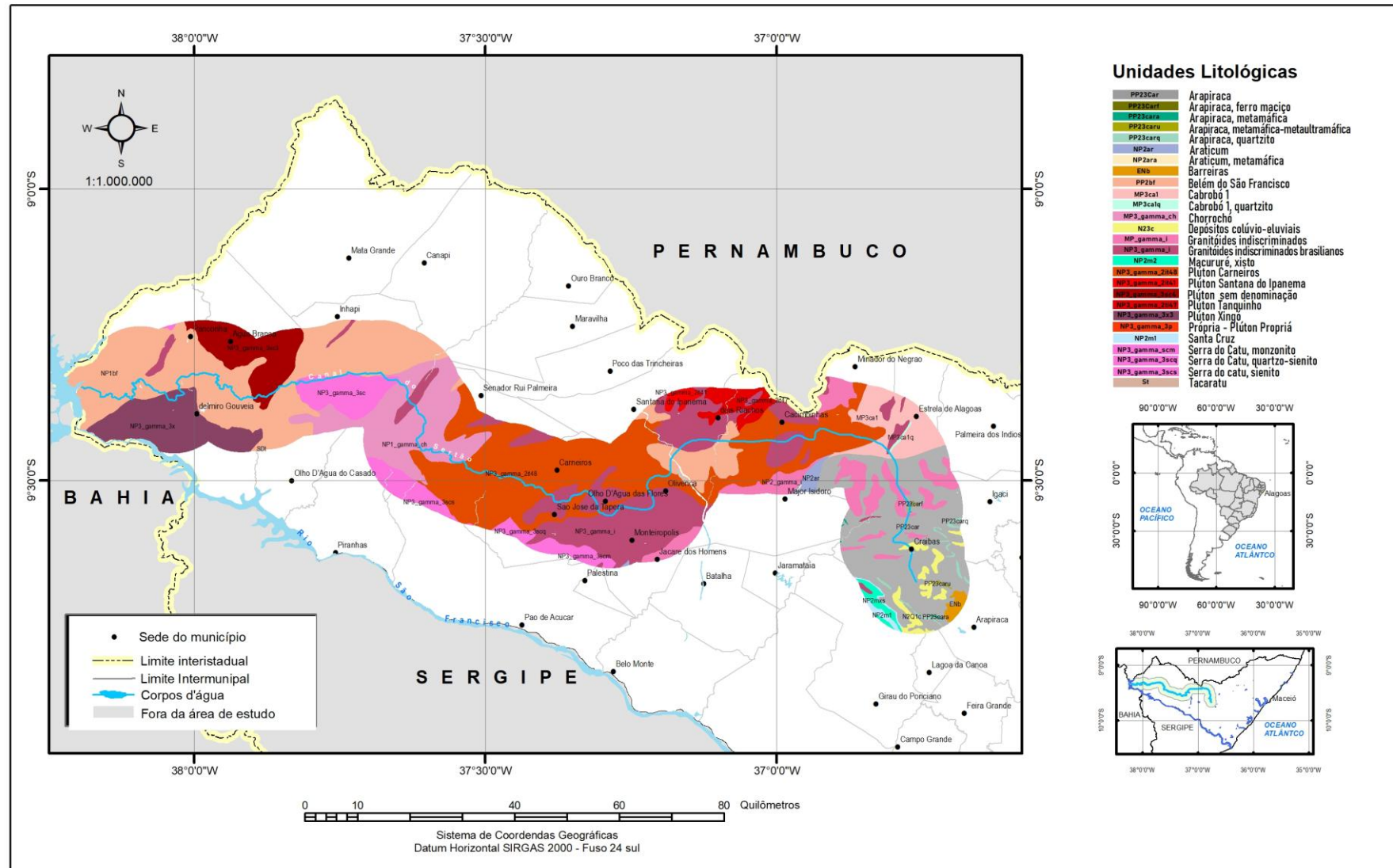
Associados aos embasamentos ocorrem extensos corpos de plutonismo granítico neoproterozoico, representados por granitoides indiscriminados e pelos plútons Santana do Ipanema, Tanquinho, Carneiros, Propriá, Xingo e corpos sem denominação formal. Destacam-se ainda as intrusões da Serra do Catu, representadas pelas fácies monzonítica, quartzo-sienítica e sienítica. Esses corpos ígneos são interpretados como intrusões sin a tardi-

tectônicas do Ciclo Brasileiro, com idades estimadas entre aproximadamente 650 e 540 ma (Santos et al., 2010; CPRM 2014).

Com a ocorrência mais restrita, em termos espaciais, a Formação Tacaratu possui relevância geomorfológica e hidrogeológica local, uma vez em que seus arenitos apresentam maior permeabilidade relativa, a unidade de idade Paleozoico Inferior, Siluriano-Devoniano. Essa formação é constituída em maior número por arenitos quartzosos, de granulação média a grossa, localmente estão em conglomerados, depositados em ambientes continentais de alta energia, associados a sistemas fluviais entrelaçados (Feijó, 1994; CPRM, 2014).

As unidades do Mesozóico que estão presentes na área, estão associadas à Bacia Sergipe-Alagoas, desenvolvidas no contexto de abertura do Oceano Atlântico Sul durante o cretáceo. Com destaque para as formações Araticum, Santa Cruz e Arapiraca, que representam as sequências sedimentares continentais desse período (Feijó, 1994).

Figura 3-Geologia da área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano



Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2026.

A formação Arapiraca revela uma grande diversidade litológica, incluindo fácies de ferro maciço, quartzito, além de variantes metamórficas e metamórfica-metaultramáfica, refletindo processos de retrabalhamento tectono-metamórfico que ocorreram após a deposição original. Apesar dessas transformações, tais unidades mantêm sua origem mesozoica, sendo consideradas parte das sequências cretáceas da bacia. Enquanto a Formação Santa Cruz é composta predominantemente por arenitos, argilitos, enquanto a Araticum apresentam litologias que são associadas a ambientes deposicionais continentais, exercendo influência direta na gênese de solos mais arenosos (CPRM, 2017, 2014).

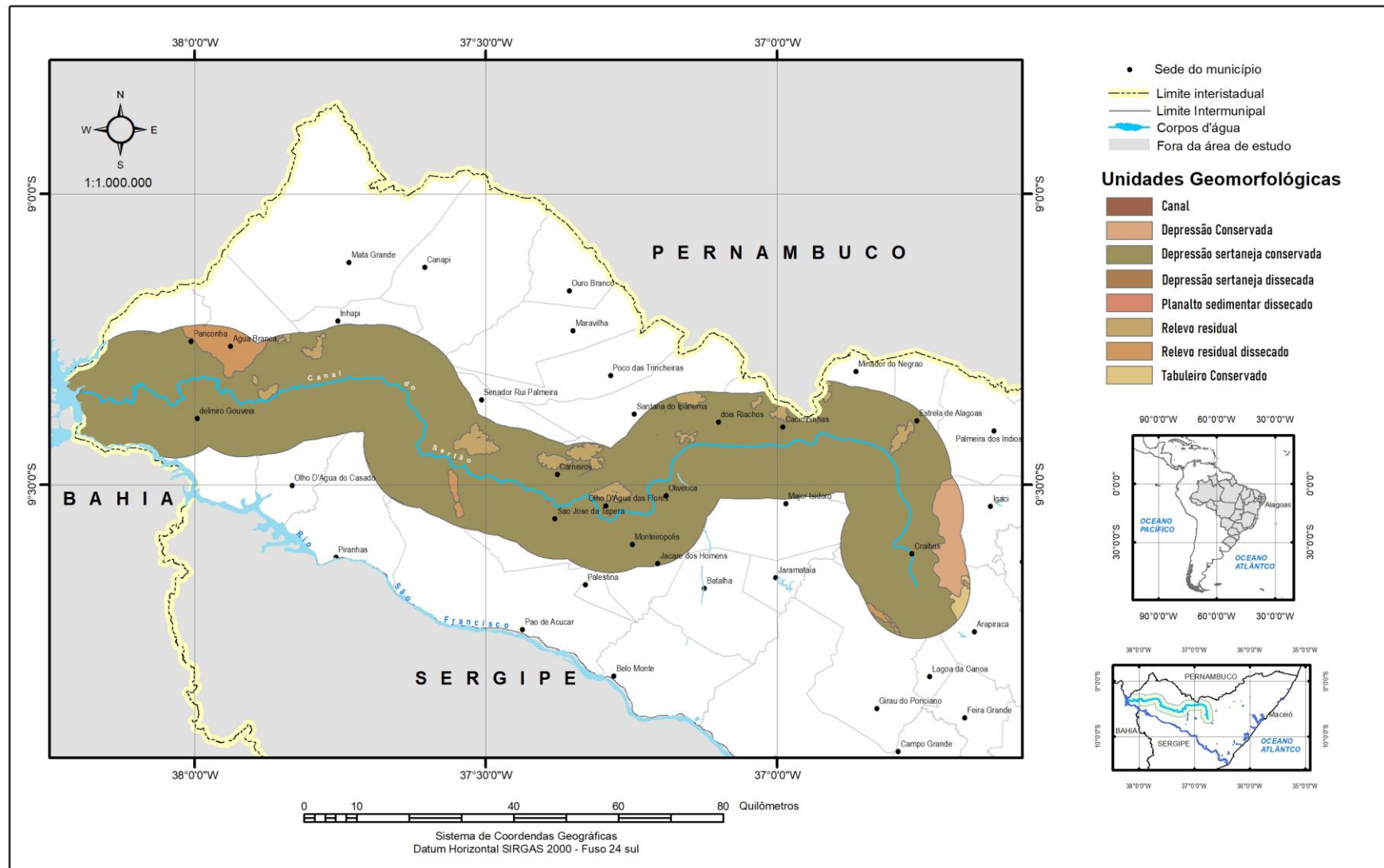
As unidades mais recentes correspondem ao Cenozoico, abrangendo o Neógeno e o Quaternário. Se destacam os depósitos da Formação Barreiras, constituídos por arenitos, argilitos e conglomerados mal consolidados, associados a antigos sistemas fluviais e superfícies de aplainamento. Esses depósitos ocorrem de forma descontínua, recobrando parcialmente o embasamento cristalino e as unidades mesozoicas, condicionando superfícies tabulares e relevo suavemente dissecado (Rossetti, 2004; CPRM, 2014).

Associados aos processos mais recentes, ocorrem ainda depósitos colúvio-eluviais quaternários, compostos por materiais inconsolidados derivados do intemperismo e retrabalhamento das unidades subjacentes. Esses depósitos são comuns em encostas, sopés de vertentes e fundo de vale, sendo frequentemente classificados como quaternário em mapeamentos regionais. Tais materiais apresentam uma suscetibilidade a erosão elevada e desempenham papel central na dinâmica ambiental atual da região semiárida (Silva et al., 2017).

A partir dessas condições litológicas, conforme os estudos realizados pela CPRM (2017) e a partir das imagens produzidas pelo Copernicus 30, foram identificadas as seguintes classes geomorfológicas: depressão sertaneja conservada, depressão conservada, planalto sedimentar dissecado, relevo residual e tabuleiro conservado (Figura 7).

Os tabuleiros na região do Canal se referem a formas de relevo com topos amplamente planos sustentados por rochas mais resistentes ou coberturas sedimentares pouco inclinadas, os quais controlam parcialmente a distribuição do relevo regional. Embora o termo “tabuleiros” seja mais comum em contextos costeiros, no interior semiárido esses relevos tabulares também ocorrem associados a coberturas sedimentares e superfícies erosivas fossilizadas que moldam planícies e patamares intermediários (SBCR; IBGE, 2025).

Figura 4-Geomorfologia da área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano



Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2026.

As superfícies aplainadas degradadas ou retocadas constituem outra feição dominante no Sertão Alagoano, resultado de longos ciclos de aplainamento seguido de reativação erosiva em clima semiárido. Essas superfícies amplas, suavemente inclinadas e frequentemente fragmentadas por drenagens, refletem estágios avançados de desgaste, nos quais os processos exógenos ajustaram o relevo à base de erosão e transporte sedimentar (Filho et al., 2019).

As colinas dissecadas e morros baixos são domínios que apresentam relevo ondulado a dissecado, com topos arredondados e vertentes incisadas associado a uma rede de drenagem densa, enquanto o morro e serras baixas tem como suas características elevações residuais de baixa altitude, associadas a blocos estruturais ou remanescentes de superfície mais elevadas (CPRM; 2014; Filho et al., 2019).

Entre as unidades presentes na área, destaca-se a Depressão Conservada Sertaneja, que ocupa setores amplos da área de estudo e se caracteriza por superfícies suavemente onduladas, com baixos gradientes topográficos e predomínio de processos erosivos lentos e contínuos. Essa unidade é típica do Sertão Nordestino e reflete longos períodos de estabilidade geomorfológica sob condições climáticas semiáridas (CPRM, 2014;2016; IBGE, 2025).

Associada a essa unidade, ocorre também a Depressão Conservada, que apresenta relevo relativamente homogêneo e baixo grau de dissecção. Essas áreas correspondem a superfícies amplas e pouco acidentadas, moldadas por processos erosivos de baixa intensidade indicando equilíbrio entre intemperismo, erosão e condições climáticas atuais (Filho et al., 2019; Dantas et al., 2016).

O Planalto Sedimentar Dissecado corresponde a setores onde as coberturas sedimentares foram intensamente retrabalhadas pelos processos erosivos, resultando em relevo compartimentado, com vertentes mais inclinadas e vales encaixados. Essa unidade geomorfológica indica maior dinamismo morfogenético, sendo fortemente condicionada pela litologia sedimentar e pela atuação concentrada da drenagem superficial (IBGE, 2025).

O Relevo Residual Dissecado representa áreas onde remanescentes mais resistentes do relevo permanecem destacados em relação às superfícies rebaixadas do entorno. Essas feições correspondem a testemunhos da erosão diferencial, preservando morros e elevações isoladas que registram estágios anteriores da evolução geomorfológica regional (CPRM, 2016; Dantas et al., 2016). O Tabuleiro Conservado corresponde a superfícies tabulares relativamente planas e pouco dissecadas, que representam antigos níveis de aplainamento preservados. Essas áreas apresentam

maior estabilidade geomorfológica e exercem influência direta sobre a organização da drenagem, a distribuição dos solos e os padrões de uso e ocupação da terra (IBGE, 2025; CPRM, 2016).

A dinâmica climática do semiárido alagoano, inserido no contexto do leste do Nordeste brasileiro, é fortemente condicionada por mecanismos atmosféricos distintos daqueles observados no setor setentrional da região, onde predomina a atuação da Zona de Convergência Intertropical. No caso do leste nordestino, o regime pluviométrico está mais diretamente associado à atuação dos ventos alísios de sudeste e leste, responsáveis pelo transporte de umidade oceânica em direção ao continente, configurando um padrão climático fortemente influenciado pela maritimidade (Silva e Barbosa, 2022).

Nesse contexto, os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) constituem o principal sistema atmosférico gerador de precipitação na faixa leste do Nordeste, incluindo Alagoas. Esses sistemas se originam sobre o oceano Atlântico tropical e se propagam para oeste acompanhando o fluxo dos ventos alísios, sendo responsáveis por grande parte dos eventos chuvosos na região, especialmente durante o período outono-inverno (Gomes, 2012).

A atuação desses sistemas está diretamente relacionada ao regime de ventos predominantes na região, caracterizado por forte componente de leste e sudeste ao longo do ano. Estudos realizados com dados meteorológicos em Alagoas evidenciam que esses ventos desempenham papel fundamental no transporte de umidade e na modulação das condições atmosféricas locais, contribuindo para a formação de nebulosidade e precipitação quando associados a perturbações atmosféricas (Silva e Barbosa, 2022).

A configuração topográfica exerce papel decisivo na distribuição espacial das chuvas. O Planalto da Borborema atua como uma barreira orográfica à umidade transportada pelos ventos alísios, promovendo chuvas orográficas na vertente leste e contribuindo para a redução da umidade no interior, onde se insere o semiárido alagoano. Esse efeito de sombra de chuva explica, em grande parte, o gradiente pluviométrico observado entre o litoral úmido e o Sertão mais seco. Em função dessa dinâmica, o regime pluviométrico do estado de Alagoas apresenta um comportamento sazonal distinto do observado em áreas mais ao norte do Nordeste, com a estação chuvosa concentrando-se principalmente entre os meses de maio e julho. Esse padrão tardio está associado à maior frequência e intensidade dos distúrbios ondulatórios de leste durante esse período, bem como à intensificação do transporte de umidade pelos ventos alísios (Gomes, 2012; Silva e Barbosa, 2022).

Apesar dessa relativa organização sazonal, a precipitação no semiárido alagoano apresenta elevada variabilidade espaço-temporal, caracterizando-se por eventos irregulares,

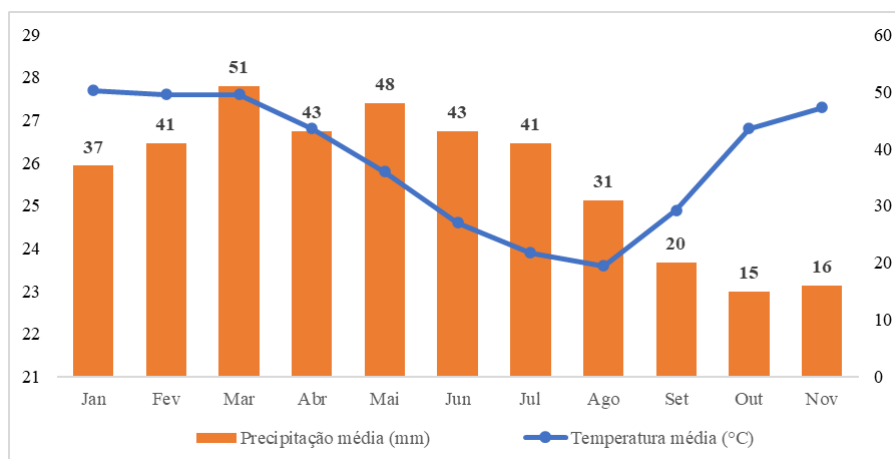
muitas vezes concentrados em poucos dias, intercalados por períodos prolongados de estiagem. Essa irregularidade está associada à variabilidade na intensidade dos sistemas atmosféricos atuantes, bem como à influência de fatores de grande escala, como o El Niño-Oscilação Sul, que pode alterar o padrão de circulação atmosférica e o transporte de umidade para a região (Souza Neto et al., 2025).

Dessa forma, o regime climático da área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano resulta da interação entre a circulação atmosférica de grande escala, o transporte de umidade pelos ventos alísios e os condicionantes topográficos regionais. Essa combinação confere ao semiárido alagoano um padrão pluviométrico caracterizado por sazonalidade tardia, forte controle orográfico e elevada irregularidade espaço-temporal, fatores que influenciam diretamente a disponibilidade hídrica. Nesse contexto, a área de estudo insere-se em uma zona de transição entre o Sertão e o Agreste alagoano, evidenciando contrastes na dinâmica atmosférica e na distribuição das chuvas, o que reforça a relevância de intervenções estruturais voltadas à segurança hídrica regional.

Segundo a classificação climática de Classificação climática de Köppen-Geiger aplicada ao Brasil, observa-se a predominância dos tipos tropical semiúmido com estação seca no verão (As), na porção do agreste, e semiárido quente (BSh), no Sertão (Alvares et al., 2013; Dubreuil et al., 2018). O clima BSh caracteriza-se por temperaturas médias elevadas, precipitações entre 400 mm e 900 mm anuais e alta evapotranspiração potencial, enquanto o tipo AS' apresenta maior umidade relativa e melhor distribuição das chuvas. Essas diferenças refletem diretamente a influência dos sistemas atmosféricos atuantes e a variabilidade climática regional anteriormente discutida.

A partir do climograma de Piranhas (Figura 3), observa-se que as chuvas se concentram principalmente entre os meses de março e julho, caracterizando o período chuvoso da região. Os menores índices pluviométricos ocorrem entre setembro e novembro, evidenciando a estação seca típica do clima semiárido. As temperaturas mantêm-se elevadas ao longo de todo o ano, com pequena amplitude térmica anual, variando aproximadamente entre 24°C e 28°C.

Figura 5- Climograma de Piranhas



Fonte: INMET, 2025. Elaborado pelo Autor.

Na zona de transição entre o Sertão e Agreste, o clima tropical com estação seca no verão (As) apresenta condições menos severas, com precipitações médias anuais variando entre 1.000 mm e 1.500 mm, concentradas principalmente nos meses de outono e inverno, enquanto o verão é marcado por estiagens, altas temperaturas e redução da umidade do solo. Embora essa configuração favoreça maior diversidade de usos do solo e relativa estabilidade hidrológica quando comparada ao BSh, a sazonalidade climática acentuada ainda impõe restrições significativas ao desenvolvimento agrícola sem suporte de infraestrutura hídrica. Ambos os padrões climáticos estão diretamente associados à ocorrência da vegetação de caatinga e à limitação natural dos recursos hídricos superficiais (Embrapa, 2012; Xavier; Dornellas, 2017; Dubreuil et al., 2018). Reforçando a importância estratégica do Canal do Sertão como elemento estruturante para o ordenamento territorial e a segurança hídrica regional.

Em ambas as tipologias climáticas, as chuvas concentram-se predominantemente entre os meses de maio e julho, enquanto o restante do ano é marcado por longos períodos de estiagem, alta radiação solar e baixos índices de umidade relativa do ar, o que resulta em balanço hídrico negativo na maior parte da área de estudo (Silva Júnior et al., 2014; Kreis et al., 2024).

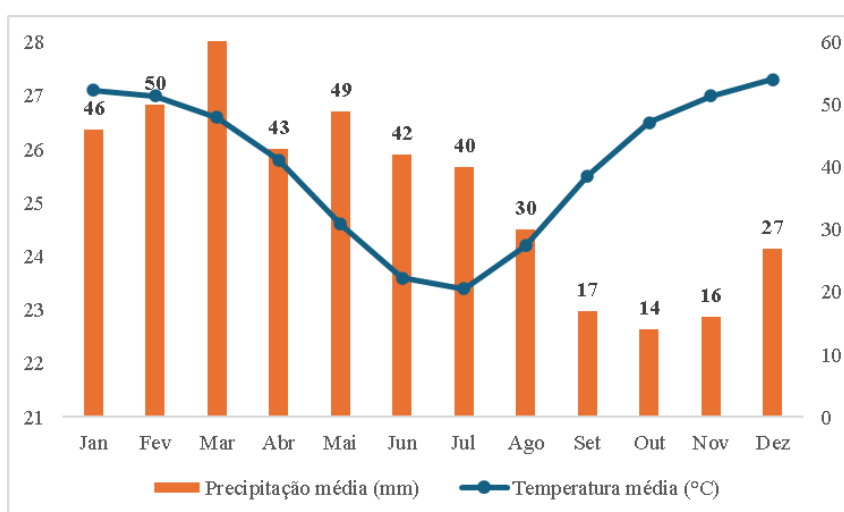
A classificação climática proposta por Thornthwaite representa um marco nos estudos climatológicos por integrar os elementos térmicos e hídricos na definição dos tipos climáticos. Diferentemente de sistemas baseados apenas na distribuição da temperatura e da precipitação, esse método parte do princípio de que o clima deve ser compreendido a partir da relação entre a oferta de água proveniente das chuvas e a demanda atmosférica expressa pela

evapotranspiração potencial, permitindo uma interpretação mais funcional do comportamento climático (Thornthwaite, 1948; Thornthwaite; Mather, 1955).

A ideia central dessa classificação é o Balanço Hídrico Climatológico, que permite quantificar os períodos de excedente, reposição, retirada e deficiência hídrica ao longo do ano. A partir dessas informações, são calculados índices climáticos, especialmente o índice de umidade, que sintetiza a condição hídrica de uma região e serve de base para a definição dos tipos climáticos, variando de super úmidos e áridos. Essa abordagem torna a classificação de Thornthwaite eficaz para estudos socioambientais e agrícolas em regiões marcadas pela irregularidade climática (Rolim et al., 1998; Martins et al., 2018).

Parte dessa área encontra-se no município de Água Branca, cujo comportamento climático pode ser observado por meio do climograma apresentado na Figura 4, que expressa a variação média mensal da precipitação e da temperatura ao longo do ano.

Figura 6-Climograma de Água Branca



Fonte: INMET.2025. Elaborado pelo autor.

No contexto de regiões tropicais e nordeste brasileiro, a aplicação da classificação de Thornthwaite tem se mostrado especialmente relevante. Nessas áreas, a elevada evapotranspiração potencial, associada às altas temperaturas médias anuais, frequentemente supera os totais pluviométricos, resultando em balanços hídricos negativos mesmo em localidades que não apresentam baixos volumes anuais de precipitação. Assim, o método permite evidenciar situações de escassez hídrica que não seriam plenamente captadas por classificações climáticas tradicionais (Marengo; Bernasconi, 2015; Silva et al., 2022).

Segundo a classificação de Thornthwaite, a área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano tem em seu território os climas Semiárido, Subúmido e Subúmido seco.

O clima semiárido, segundo Thornthwaite, tem como uma das suas maiores características os índices de umidade fortemente negativos, refletindo a predominância de déficits hídricos ao longo da maior parte do ano. Nessas condições, a precipitação é insuficiente para atender à elevada demanda evaporativa da atmosfera, o que resulta em longos períodos de deficiência de água no solo, curta estação chuvosa e elevada variabilidade espaço-temporal das chuvas. Estudos realizados no semiárido nordestino indicam que esses fatores condicionam limitações estruturais ao uso do solo, à produção agrícola e à disponibilidade de recursos hídricos (Araújo et al., 2019; Medeiros et al., 2021).

Entre o domínio semiárido e as áreas mais úmidas, destaca-se o clima subúmido seco, considerado uma classe de transição na classificação de Thornthwaite. Esse tipo climático apresenta índices de umidade próximos do limite entre condições secas e úmidas, combinando períodos relativamente curtos de excedente hídrico com fases prolongadas de deficiência. Embora essas áreas apresentem uma disponibilidade hídrica superior à do semiárido, ainda persistem restrições significativas, sobretudo em anos de precipitação abaixo da média, o que evidencia sua elevada sensibilidade às variações climáticas interanuais (Martins et al., 2018; Silva et al., 2022).

O clima subúmido, por sua vez, corresponde a condições em que o índice de umidade assume valores positivos, indicando maior equilíbrio entre precipitação e evapotranspiração potencial. Nessas regiões, os excedentes hídricos ocorrem com maior regularidade, ainda que possam se concentrar em determinados meses do ano. No Nordeste brasileiro, os climas subúmidos estão frequentemente associados às faixas de transição entre o litoral úmido e o interior semiárido, desempenhando papel fundamental na dinâmica hidroambiental e na conectividade entre diferentes sistemas naturais (Lyra et al., 2014; Cabral Júnior; Silva, 2020).

Aplicações recentes da classificação de Thornthwaite no estado de Alagoas demonstram com clareza essa diversidade climática. A partir da análise do balanço hídrico climatológico, observa-se o predomínio dos climas subúmido seco e semiárido na porção oeste do estado, onde os déficits hídricos são persistentes e os excedentes praticamente inexistentes. Em contraste, a porção leste apresenta climas subúmidos e úmidos, com excedentes concentrados principalmente no período de inverno, evidenciando uma forte assimetria hidroclimática no território alagoano (Silva; Cabral Júnior, 2025).

A fitogeografia da área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano deve ser compreendida a partir das particularidades ambientais do semiárido de Alagoas, onde a distribuição da vegetação está diretamente condicionada pela interação entre clima semiárido, substrato geológico cristalino predominante e solos, em geral, rasos e pedregosos. Nesse contexto, conforme sistematizado pelo IBGE (2012), a vegetação reflete forte controle edafoclimático, apresentando elevada variabilidade espacial mesmo em curtas distâncias, o que é característico das paisagens do Sertão alagoano. Além disso, a posição geográfica do estado, marcada pela transição entre o interior semiárido e faixas subúmidas do Agreste, contribui para a ocorrência de gradientes fitogeográficos bem definidos (Andrade-Lima, 1981; Sampaio, 1995).

A área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano está inserida predominantemente no domínio do bioma Caatinga, caracterizado por formações vegetais xerófitas adaptadas às condições climáticas do Semiárido nordestino, como elevada irregularidade pluviométrica, longos períodos de estiagem e altas taxas de evapotranspiração. No Sertão de Alagoas, essas formações são frequentemente associadas a superfícies cristalinas dissecadas, onde predominam Caatingas hiperxerófilas, com baixa estatura, cobertura descontínua e forte presença de espécies espinhosas e caducifólias. A vegetação apresenta espécies arbustivo-arbóreas, cactáceas e arbustos espinhosos, cujas adaptações morfofisiológicas, como perda sazonal das folhas, tecidos de reserva e sistemas radiculares profundos, permitem a sobrevivência em ambientes de acentuado déficit hídrico (Silva et al., 2013; Souza et al., 2022; Nogueira et al., 2024; Prado, 2003; Leal; Tabarelli; Silva, 2005).

A Caatinga constitui o único bioma exclusivamente brasileiro, caracterizado por elevado endemismo de espécies vegetais e animais adaptadas às condições de déficit hídrico. Sua singularidade ecológica e sua já avançada fragmentação com estimativas de que apenas 53% da cobertura original permanece preservada conferem especial relevância ambiental à conservação dos solos e da vegetação nativa na área beneficiável pelo Canal do Sertão (MMA, 2010; Silva et al., 2013).

A composição e a estrutura dessas formações vegetais no semiárido alagoano não são homogêneas, variando conforme os gradientes de solo, relevo e disponibilidade hídrica. Em áreas dominadas por Neossolos Litólicos e Luvisolos, comuns no Sertão do estado, predominam fisionomias mais abertas e arbustivas, enquanto setores associados a vales, depressões e áreas com maior acúmulo de umidade, muitas vezes vinculadas a drenagens intermitentes apresentam maior densidade de espécies arbóreas, ainda que de porte reduzido. Essa diferenciação espacial, já descrita por Sampaio (1995) e pelo IBGE (2012), reflete a

forte dependência da vegetação em relação às condições edáficas locais, sendo um elemento-chave na leitura da paisagem regional (Aguiar et al., 2019; Pereira Neto, 2024).

Na porção de transição entre o Sertão e o Agreste alagoano, que intercepta trechos da área beneficiável pelo canal, observa-se a presença de ecótonos entre a Caatinga e formações subcaducifólias mais úmidas. Essas áreas, embora atualmente bastante fragmentadas, apresentam maior complexidade estrutural e diversidade florística em relação ao núcleo mais árido do Sertão. De acordo com estudos clássicos sobre a vegetação nordestina (Andrade-Lima, 1981; Leal; Tabarelli; Silva, 2005), essas zonas de transição exercem papel fundamental na conectividade ecológica e na manutenção de fluxos biológicos, sendo particularmente relevantes no contexto alagoano, onde a pressão antrópica histórica reduziu significativamente a cobertura vegetal original (Brito et al., 2020; Pereira Neto, 2024).

As variações fitogeográficas observadas na área estão fortemente associadas à ação antrópica, especialmente no Sertão alagoano, onde a substituição da vegetação nativa por pastagens, agricultura de subsistência e, mais recentemente, agricultura irrigada tem promovido alterações significativas na estrutura da paisagem. A redução dos remanescentes de Caatinga e a simplificação estrutural da vegetação intensificam processos de degradação ambiental, como erosão, compactação dos solos e perda de biodiversidade, sobretudo em áreas mais frágeis do ponto de vista edáfico. Esses processos são amplamente documentados para o semiárido nordestino e se manifestam de forma expressiva em Alagoas (Aguiar et al., 2019; Sampaio, 1995; Santos et al., 2024; Ferro Silva, 2024).

Nesse contexto, a implantação do Canal do Sertão Alagoano insere um novo fator de transformação na dinâmica fitogeográfica regional, ao modificar artificialmente a disponibilidade hídrica em áreas naturalmente limitadas por esse recurso. No semiárido de Alagoas, onde a vegetação é fortemente condicionada pela escassez hídrica, essa alteração pode promover mudanças significativas na cobertura vegetal, seja pela expansão de áreas agrícolas irrigadas, seja pela introdução de espécies exóticas ou alteração nos padrões naturais de regeneração da Caatinga. Assim, a compreensão detalhada da fitogeografia regional torna-se fundamental para orientar o uso sustentável do território, evitando a intensificação de processos de degradação e contribuindo para a conservação dos remanescentes de Caatinga no estado (Brito et al., 2020; Pereira Neto, 2024; MMA, 2011; Silva et al., 2017).

Os recursos hídricos do Sertão e do Agreste de Alagoas estão inseridos em um contexto ambiental fortemente condicionado por fatores climáticos, geológicos que resultam em marcada escassez hídrica e elevada variabilidade temporal das chuvas. A região apresenta alguns dos maiores valores médios diários de evapotranspiração potencial do Nordeste brasileiro, com destaque para o Sertão, seguido pelo Agreste, o que intensifica as perdas de

água superficial e reduz a eficiência do armazenamento hídrico natural e artificial. Essa condição climática impõe desafios significativos à disponibilidade de água, exigindo estratégias de gestão adaptadas às particularidades do Semiárido e às limitações impostas pelo balanço hídrico regional (Rehman et al., 2020; Moreno Ortega et al., 2019).

Hidrologicamente, o Semiárido alagoano integra majoritariamente a Região Hidrográfica do São Francisco, cujas bacias apresentam comportamento típico de ambientes semiáridos, com rios intermitentes e escoamento concentrado em curtos períodos do ano. A variação espacial e temporal da precipitação, especialmente no Sertão inserido na área de influência do rio São Francisco, agrava a irregularidade da oferta hídrica, tornando o monitoramento climático e a previsão hidrometeorológica ferramentas fundamentais para o planejamento agrícola e a gestão dos recursos hídricos. Essa dinâmica reforça a vulnerabilidade dos sistemas hídricos frente a eventos extremos de seca prolongada (Yang, 2020; Javaheri et al., 2019).

A disponibilidade hídrica superficial na região é limitada pela predominância de cursos d'água de regime sazonal, pequenos reservatórios e açudes que funcionam como principais fontes de abastecimento durante os períodos de estiagem. Esses sistemas, embora essenciais para a sobrevivência das populações rurais e urbanas do interior alagoano, apresentam restrições relacionadas à elevada evaporação, ao assoreamento e à degradação de suas áreas de entorno, comprometendo sua capacidade de armazenamento e regularização das vazões ao longo do ano (Silva et al., 2020; Sales, Aguiar Netto & Carvalho, 2023).

No que se refere aos recursos hídricos subterrâneos, os aquíferos do Sertão e do Agreste alagoano estão associados predominantemente ao embasamento cristalino, caracterizado por baixa porosidade e reduzida capacidade de armazenamento de água. Como consequência, muitos poços apresentam vazões limitadas e qualidade da água comprometida por elevados teores de sais dissolvidos, resultando em águas salobras ou impróprias para determinados usos. Essas limitações tornam o acesso à água subterrânea desigual e, em muitos casos, tecnicamente complexo, reforçando a dependência de fontes superficiais e de sistemas alternativos de abastecimento (Silva et al., 2020; W. Silva; P. Silva, 2020).

A interação entre o uso e ocupação do solo e os recursos hídricos intensifica ainda mais os desafios ambientais da região. A substituição da vegetação nativa por atividades agropecuárias, aliada ao manejo inadequado do solo, contribui para a intensificação de processos erosivos, redução da infiltração e assoreamento dos cursos d'água e reservatórios, agravando a escassez hídrica e ampliando a vulnerabilidade ambiental das bacias hidrográficas do Sertão e do Agreste alagoano (Sales, Aguiar Netto & Carvalho, 2023; Silva et al., 2024).

Obras de infraestrutura, como o Canal do Sertão Alagoano, assumem papel estratégico ao promover a redistribuição espacial da água e reduzir a dependência exclusiva das chuvas locais. Entretanto, estudos ressaltam que a efetividade dessas intervenções depende de uma gestão integrada dos recursos hídricos, que considere as limitações naturais do Semiárido, a conservação dos ecossistemas associados e a equidade no acesso à água, evitando a intensificação de conflitos e processos de degradação ambiental (Silva & Silva, 2020; Brito et al., 2020).

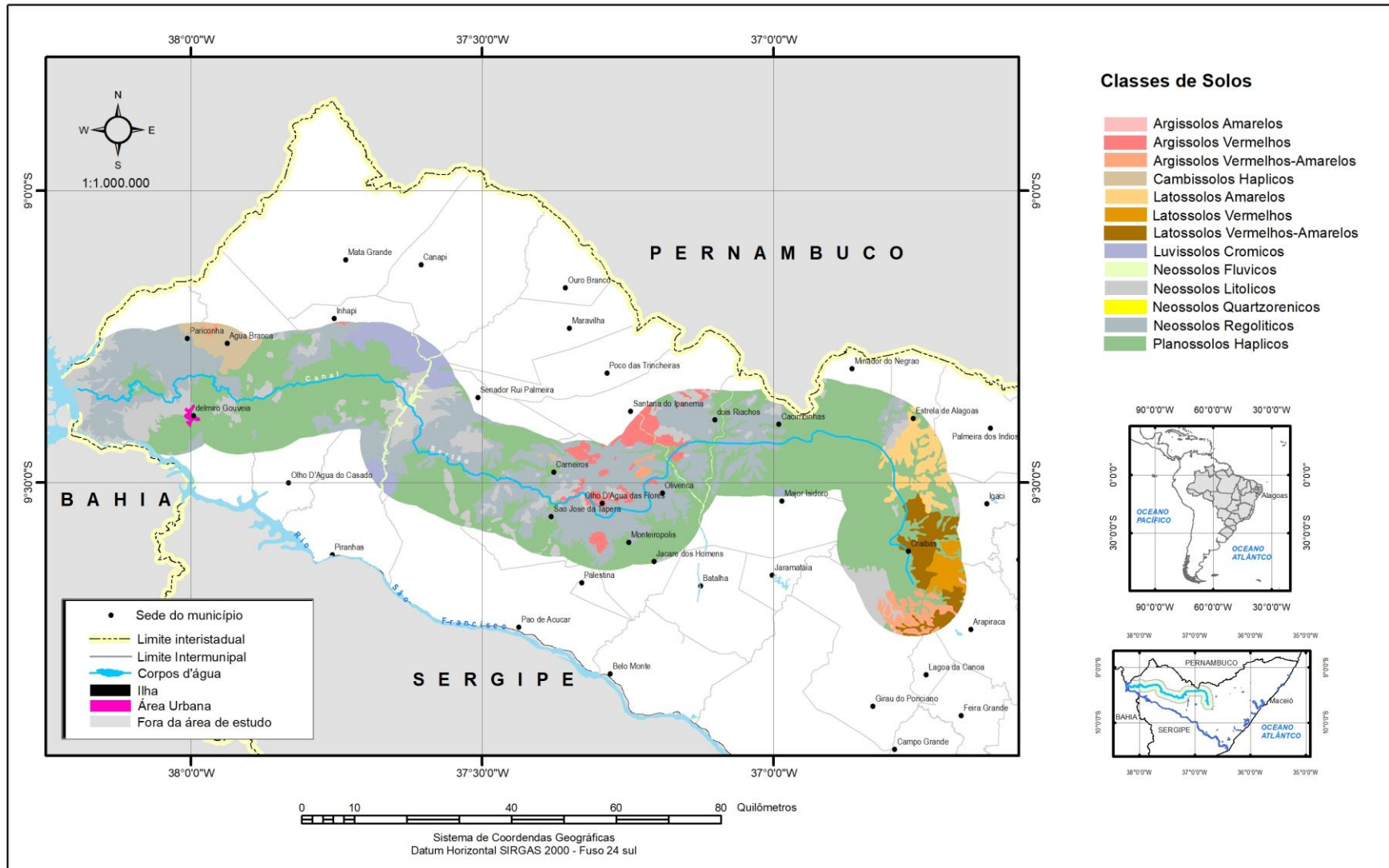
A área beneficiável pelo Canal do Sertão apresenta uma elevada diversidade pedológica, típica de ambientes semiáridos e subúmidos do Nordeste brasileiro, com forte controle exercido pela litologia, relevo, dinâmica erosiva e as variações no balanço hídrico. Os solos identificados pertencem em sua maioria às ordens dos Argissolos, Latossolos, Neossolos, Cambissolos, Planossolos e Luvisolos, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS) (Embrapa, 2025), com correspondência conceitual aos Reference Soil Groups da WRB (IUSS Working Group WRB, 2022) e às ordens e subordens do Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2022).

Os Argissolos Vermelhos, Amarelos e Vermelhos-Amarelos (PVe, PVAe, PVAd, PA), tanto eutróficos quanto distróficos, são uma das classes mais representativas da área. (Figura 8) Esses solos são definidos por uma presença de horizonte B textural (Bt), resultante da iluviação de argila, com acentuado contraste textural entre os horizontes superficiais e subsuperficiais (Embrapa, 2025).

No sistema WRB, eles correspondem predominantemente aos Acrisols, apresentando uma erodibilidade alta, especialmente quando expostos, o que exige Práticas rigorosas de conservação do solo e manutenção da cobertura vegetal, o cultivo desses solos pode alterar significativamente suas propriedades físicas, aumentando a microporosidade e a água disponível, além de reduzir a condutividade hidráulica saturada nos horizontes superficiais (Embrapa, 2018; WRB, 2022; Maia; Ribeiro, 2004).

Os Cambissolos Háplicos Tb eutrófico (CXbe) na Soil Taxonomy, são classificados como Inceptisols, caracterizados pela presença de horizontes diagnósticos incipientes e relativa juventude pedogenética (Soil Survey Staff, 2022). Segundo a Embrapa (2025) apresenta horizonte B incipiente (BW ou BI) e frágeis, com alterações estruturais cromáticas ainda pouco expressivas. A designação “Tb” indica a atividade da argila baixa a moderada, enquanto o caráter eutrófico reflete maior saturação por bases. Esses solos correspondem aos Cambisols na WRB, frequentemente associados a ambientes de relevo movimentado, onde a atuação da erosão limita a evolução completa do perfil (IUSS Working Group WRB, 2022).

Figura 7- Classes de Solos presentes na área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano



Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2025.

Os Planossolos Háplicos (Sx) Eutróficos se caracterizam pela presença de horizonte pânico, com aumento abrupto de argila em profundidade e redução acentuada da permeabilidade, favorecendo a saturação temporária de água. Esses solos são limitados fisicamente quando utilizados na agricultura apesar da elevada saturação por base (Embrapa, 2025). Na WRB, correspondem aos Planosols, definidos por forte contraste textural e restrição à drenagem vertical (IUSS Working Group WRB, 2022). Na Soil Taxonomy, apresentam afinidade com subordens dos Alfisols ou Ultisols com propriedades áquicas ou horizontes densos, dependendo do regime de umidade e da fertilidade (Soil Survey Staff, 2022). Essa classe é a com maior presença na área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano.

Os Latossolos Vermelhos, Vermelhos-Amarelos e Amarelos (LVA, LV, LA) representam os solos caracterizados por horizonte B latossólico espesso, estrutura granular muito estável e elevada homogeneidade ao longo do perfil. Os Latossolos eutróficos distinguem-se pela maior fertilidade relativa, enquanto os distróficos refletem intenso processo de lixiviação de bases (Embrapa, 2025).

Na Soil Taxonomy, se enquadram na ordem dos Oxisols, reconhecidos como o estágio final da evolução pedogenética em ambientes tropicais úmidos e subúmidos, na WRB eles correspondem aos Ferrasols, típicos de regiões tropicais e subtropicais, com predominância de óxidos de ferro e alumínio e baixa atividade da argila (Soil Survey Staff, 2022; IUSS Working Group WRB, 2022).

Os Luvissolos Crômicos Órticos (TT) apresentam um horizonte B textural com uma saturação por bases altas e cores vivas associadas à presença de óxidos de ferro bem cristalizados. Esses solos indicam ambientes com balanço hídrico menos intenso que o dos Argissolos distróficos, favorecendo a manutenção de bases trocáveis no perfil (Embrapa, 2025). Na web se enquadram como Luvisols, nas classes Chromic Luvisols enquanto na Soil Taxonomy apresentam afinidade com Alfisols, caracterizados por horizonte Argílico e alta fertilidade relativa (IUSS Working Group WRB, 2022; Soil Survey Staff, 2022).

Os Neossolos constituem o grupo mais expressivo da área em termos de variabilidade (Quadro 2) refletindo condições de forte controle do material de origem, relevo acidentado e dinâmica deposicional ativa.

Os Neossolos Litólicos (RL) são extremamente rasos, desenvolvidos diretamente sobre a rocha ou com mínima diferenciação de horizontes. Possuem fertilidade variável, baixa capacidade de retenção de água e reduzida profundidade efetiva, sendo considerados solos de baixo potencial

agrícola. Correspondem aos Leptosols no WRB e apresentam alta vulnerabilidade à erosão, sobretudo em áreas declivosas (Embrapa, 2018; WRB, 2022; Medeiros et al., 2007).

Quadro 2-Variabilidade dos Neossolos na área

Classe de solo (SIBCS)	Correspondência WRB	Correspondência Soil Taxonomy
Neossolo Regolítico (RR)	Regosols	Entisols
Neossolo Litólico (RL)	Leptosols	Entisols
Neossolo Flúvico (RY)	Fluvisols	Entisols (Fluvents)
Neossolo Quartzarênico (RQ)	Arenosols	Entisols (Psamments)

Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2026.

Os Neossolos Flúvicos se desenvolvem a partir de sedimentos aluviais recentes, com estratificação e elevada variabilidade textural, enquanto os Neossolos Quartzarênicos são dominados por frações arenosas quartzosas, com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes (Embrapa, 2025). Na WRB, esses solos correspondem majoritariamente aos Leptosols (litólicos), Regosols (regolíticos), Fluvisols (flúvicos) e Arenosols (quartzarênicos) (IUSS Working Group WRB, 2022). Na Soil Taxonomy, enquadram-se principalmente na ordem dos Entisols, refletindo sua juventude pedogenética e ausência de horizontes subsuperficiais diagnósticos bem desenvolvidos (Soil Survey Staff, 2022).

3.3 Aspectos socioeconômicos

A história da ocupação do solo no Agreste e no Sertão de Alagoas reflete um processo profundamente moldado por fatores históricos, naturais e sociais, inserido no contexto mais amplo das transformações do Semiárido brasileiro, marcado por índices elevados de vulnerabilidade social, pobreza e desigualdade estrutural. Diferentemente do litoral alagoano, fortemente impactado pelo avanço da monocultura da cana-de-açúcar, o Agreste desenvolveu-se como uma importante área produtora de tabaco no Brasil, especialmente a partir da década de 1970, enquanto o Sertão consolidou-se como uma região de forte vocação para a pecuária, com destaque para a criação de ovinos, impulsionada por iniciativas como o programa Alagoas Mais Ovinos (Souza, 2015).

O desenvolvimento rural nessas regiões expõe dinâmicas territoriais fortemente condicionadas pela irregularidade climática, pela concentração fundiária e pela limitada capacidade de inserção produtiva da população rural, o que reforça a necessidade de políticas públicas integradas que articulem dimensões sociais, produtivas e ambientais (Sidersky; Buainain; Garcia, 2013).

Os aspectos que determinam a região beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano são complexos e multifacetados, abrangendo transformações que vão desde o fortalecimento das atividades agrícolas até a geração de renda e emprego, bem como alterações no tecido social local. Tais processos estão diretamente associados à preservação ambiental e à melhoria das condições de vida da população. Nesse sentido, o objetivo central da construção do Canal do Sertão é assegurar o acesso à água potável e promover melhorias socioeconômicas nas regiões do Sertão e do Agreste alagoano, historicamente marcadas pela escassez hídrica e pela vulnerabilidade social (Bomfim; Nascimento, 2023; Menezes Silva; Freitas Silva, 2020).

3.3.1 Considerações históricas sobre o processo de ocupação do agreste e do sertão alagoano

Até aproximadamente o século XVI, as terras que hoje compõem o estado de Alagoas eram habitadas por diversos povos originários, como os Potiguaras e os Caetés, cuja organização territorial estava fortemente vinculada aos recursos hídricos costeiros e interiores. Rios como o Opará, atualmente conhecido como Rio São Francisco, desempenhavam papel fundamental não apenas na subsistência material, mas também na construção simbólica e cultural dessas populações, representando a continuidade da vida (Ferreira; Leite, 2020).

A formação histórica do espaço agrário no Agreste e no Sertão decorreu não apenas da expansão das atividades econômicas coloniais, mas também da adaptação contínua das práticas produtivas às condições naturais adversas do Semiárido. Os grupos sociais que ocuparam essas áreas desenvolveram estratégias específicas de uso do solo e de apropriação dos recursos naturais, moldando uma organização territorial marcada pela resistência, pela mobilidade e pela resignificação das paisagens frente às imposições do modelo econômico colonial (Cano; Sidersky; Buainain; Garcia, 2013).

Com a chegada dos colonizadores europeus, se consolidou uma nova lógica territorial, marcada pela exploração intensiva dos recursos naturais e pela subordinação dos povos indígenas. Inicialmente, destacou-se a extração do pau-brasil, recurso de alto valor para a indústria têxtil europeia, associada ao uso compulsório da mão de obra indígena. Posteriormente, o cultivo da cana-de-açúcar se estabeleceu de forma predominante na Zona da Mata, favorecido pela fertilidade dos solos e pela proximidade com os portos, estruturando um modelo agroexportador baseado no latifúndio (Silva; Leite, 2009).

Segundo os mesmos autores, a expansão do complexo açucareiro impulsionou a ocupação das regiões do Agreste e do Sertão. O Agreste consolidou-se como área de

abastecimento alimentar, fornecendo gêneros agrícolas e suporte às atividades da zona canavieira, enquanto o Sertão se estruturou como território de pecuária extensiva, responsável pelo fornecimento de força de tração, carne e couro ao litoral açucareiro. Esse processo refletia a crescente demanda por recursos e a necessidade de interiorização da economia colonial.

Entretanto, a ocupação do Sertão e do Agreste não se deu de forma linear, envolveu disputas materiais e até simbólicas, com deslocamentos populacionais e formas de resistência que muitas vezes foram invisibilizadas pela narrativa histórica tradicional. A construção da identidade sertaneja nesse contexto está associada à mobilidade e a apropriação territorial dos grupos que se estabeleceram na área (Morais, 2018).

Diferente da zona da Mata que era marcada pela concentração fundiária e pela monocultura, o Sertão e Agreste vivenciaram trajetórias distintas, com características iniciais marcadas pela presença de pequenas propriedades camponesas nas margens dos rios, nos vales úmidos e nas áreas de serra, muitas dessas pequenas unidades produtivas antecederam a formação dos grandes latifúndios e configuraram o complexo agropastoril campesino, descrito por Albuquerque (2017) como o processo que o campesinato que ocupava brechas deixadas pelos grandes proprietários ou disputava com eles o uso e a posse da terra.

Historicamente, o Sertão se firmou como uma área pecuária que atua como uma ajuda à economia canavieira, enquanto o Agreste, assume um papel de intermediário, combinando a produção agrícola diversificada com o abastecimento advindo da zona da Mata, as cidades do interior, como Palmeira dos Índios, Arapiraca, Santana do Ipanema, se consolidaram como centros regionais desempenhando funções comerciais e de serviços que ampliaram sua influência sobre o entorno. Mesmo diante de pressões do mercado e de desigualdades fundiárias, o campesinato do Semiárido conseguiu reinventar suas práticas e preservar vínculos culturais e modos de vida, revelando capacidade de resistência e adaptação (Silva, 2021; Corrêa, 1992; Albuquerque, 2017).

3.3.2 Indicadores sociais e econômicos

Os indicadores sociais e econômicos do Sertão e do Agreste alagoano revelam desigualdades históricas associadas ao processo de formação territorial dessas regiões. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) do Sertão apresenta valores inferiores à média estadual, refletindo limitações no acesso à educação, renda e saúde, fortemente relacionadas à estrutura agrária concentrada e à predominância histórica da pecuária extensiva (Alagoas, 2017; Silva, 2021).

Dados do Censo Agropecuário de 2017 evidenciam que a agricultura familiar possui papel central na economia rural alagoana, especialmente no Sertão e no Agreste. No entanto, estudos demonstram que esse segmento enfrenta dificuldades relacionadas ao acesso a crédito, assistência técnica e infraestrutura produtiva, fatores que limitam sua capacidade de gerar renda e impulsionar transformações econômicas mais profundas no território (Barbosa; Brandão, 2020).

Além disso, análises socioeconômicas indicam que a baixa inserção da agricultura familiar em cooperativas e outras formas de organização coletiva reduz o acesso a mercados mais competitivos e a políticas públicas estruturantes. Essa fragilidade organizacional contribui para a manutenção de elevados níveis de vulnerabilidade social e para a persistência da desigualdade de renda no meio rural nordestino, incluindo o interior de Alagoas (Silva; Nunes, 2025).

A taxa de analfabetismo permanece elevada, especialmente entre a população adulta e rural, que enfrenta restrições históricas de acesso à terra, à água e a políticas públicas estruturantes. Esse cenário compromete as oportunidades de geração de renda e o desenvolvimento social regional (Bomfim; Nascimento, 2023).

Apesar desse quadro, a região do Agreste apresenta indicadores melhores que o Sertão, seja pela questão da posição geográfica intermediária a de uma economia diversificada, com agricultura familiar, serviços e comércio mais fortes (Albuquerque, 2017). Ainda assim, uma realidade desigual é presente, o desenvolvimento econômico é historicamente desigual, refletindo nas condições de vida da população (Silva, 2021).

A região em questão, caracterizada predominantemente pelos climas semiárido e subúmido seco, se configura como uma das áreas com maior incidência de dificuldades socioeconômicas no estado de Alagoas. Esses problemas estão associados à intensificação dos processos ligados a degradação dos recursos edáficos, principalmente em decorrência dos períodos de estiagem prolongados, essa degradação compromete a produtividade das atividades agropecuárias, afetando diretamente as condições de vida das famílias locais, das quais a subsistência em sua maioria depende de práticas agrícolas de base familiar e de baixo rendimento (Silva, 2005; Alagoas, 2017).

Aproximadamente, 1.209.762 habitantes residem nessa área, correspondendo a 30% da população do estado de Alagoas. Uma parcela expressiva desses indivíduos se encontra em situação de elevada vulnerabilidade socioeconômica, apresentando forte dependência de políticas públicas de assistência social (IBGE, 2016).

No que se refere ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), calculado com base nos indicadores de renda, educação e expectativa de vida pelo Programa

das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), os dados relativos ao ano de 2010 revelam um quadro preocupante. Dos 42 municípios que integram a região em análise, apenas três: Arapiraca, Delmiro Gouveia e Palmeira dos Índios alcançaram pontuações situadas entre 0,600 e 0,649, classificando-se na faixa de desenvolvimento humano médio. Os demais municípios apresentaram índices inferiores, com destaque negativo para Inhapi e Olivença, que registraram os menores valores. Em comparação, os IDHs médios do Brasil e do estado de Alagoas, no mesmo período, foram de 0,699 e 0,631, respectivamente, evidenciando uma defasagem regional significativa (Ministério de Desenvolvimento Social, 2016; IBGE, 2016).

A análise da distribuição de renda nos dezoito municípios abrangidos pelo traçado do Canal do Sertão revela elevados índices de desigualdade socioeconômica. Em 38% dos domicílios dessas localidades, os rendimentos mensais não ultrapassam um salário mínimo, enquanto apenas 9% das unidades domiciliares situam-se nas três faixas superiores de rendimento. Tal assimetria evidencia a concentração de renda e a limitada mobilidade socioeconômica presente nesse território (Alagoas, 2017).

De acordo com a Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio (SEPLAG, 2016), as mesorregiões do Sertão e do Agreste alagoano concentram o maior número de estabelecimentos de agricultura familiar do estado, o que reforça a importância desse segmento para a sustentabilidade socioeconômica regional.

O Canal se apresenta como um vetor estratégico de desenvolvimento por sua potencialidade em alavancar o agronegócio regional, a chegada da água em quantidade suficiente para garantir a irrigação torna possível a atração de investimentos privados e a valorização econômica desse território (Santos et al., 2020; Vasconcelos, 2017). Essa realidade pode transformar a agricultura local o que viabiliza o aumento da diversidade de culturas agrícolas e permite o aumento da produtividade nas lavouras (Khanday, 2024).

Apesar do destaque ao agronegócio, é necessário ressaltar que o canal pode representar uma significativa oportunidade para os pequenos produtores rurais. A garantia de acesso à água pode permitir que agricultores familiares fortaleçam a produção de alimentos, o que contribui diretamente para a segurança alimentar, gerando renda e a permanência no campo (Santos et al., 2020). Nesse sentido, o apoio técnico por meio de ações de extensão rural, assim como políticas públicas direcionadas para o fortalecimento da agricultura familiar, são fundamentais para assegurar que os agricultores possam usufruir dos benefícios do canal de maneira sustentável e equitativa (Mendes; Pinheiro, 2024).

O encorajamento ao setor agrícola advindo do Canal do Sertão, pode gerar uma série de oportunidades de trabalho em diferentes porções da economia. Não apenas ao setor primário ligado à agricultura, mas também nas indústrias de beneficiamento de alimentos (setor secundário) e nos setores de prestação de serviços e comércios (Castelão et al., 2020; Chuadhary, 2020). Acompanhando o aumento da atividade econômica, é possível observar um aumento nos níveis de renda da população local, o que contribui para a melhoria nas condições de vida e redução dos índices de pobreza na região (Santos et al., 2017).

Entre as diversas transformações sociais que podem ocorrer com a chegada da água canalizada, a que se destaca é a melhoria no saneamento básico e o acesso à água potável em comunidades que foram historicamente marginalizadas. A ampliação da oferta hídrica possibilita uma contribuição significativa para a diminuição da ocorrência de doenças associadas à precariedade sanitária, podendo viabilizar a utilização da água em várias funções essenciais, como o abastecimento doméstico e fornecimento de água para animais (Silva et al., 2020; Silva, 2012).

Outro aspecto importante é o possível fortalecimento da infraestrutura pública na área beneficiável pelo canal. Com a implantação do mesmo, abre-se um espaço para melhoria em estradas, escolas, postos de saúde e outros equipamentos públicos, o acesso ampliado a esses serviços é essencial para a garantia do desenvolvimento econômico e social (Filho; Hartmann, 2024).

Apesar dos avanços esperados com a implementação do Canal do Sertão, os desafios surgem no mesmo ritmo, um deles é a possibilidade de surgimento de disputas pelo uso da água, especialmente entre os grandes empreendimentos do agronegócio e os pequenos produtores (Vasconcelos, 2017). Do ponto de vista ambiental, a obra pode provocar alterações nos ecossistemas locais, mudanças nos cursos d'água, degradação do solo e perda da biodiversidade podendo impactar de forma negativa, necessitando monitoramento e estratégias bem planejadas (Queiroz et al., 2018)

Entre as mudanças significativas do Agreste alagoano, a busca por diversificar sua economia se caracteriza como o maior objetivo. A cultura do tabaco que era a maior tem sido substituída por outros arranjos produtivos locais (APLs), um exemplo a ser observado são os arranjos produtivos de confecções no Agreste de Pernambuco, que serve como um modelo de desenvolvimento regional (Liberato, 2016; Amorim et al., 2019). A feira livre surge como um evento importante, impulsionando o comércio e serviços em cidades como Caruaru e Feira de Santana, que compartilham características com o Agreste Alagoano (Firmino, 2019).

A agricultura familiar nos assentamentos rurais do Agreste tem composto uma diversidade de culturas agrícolas, em áreas com maior disponibilidade de água o feijão e o milho são cultivados principalmente durante a estação chuvosa (Miriam et al., 2022). O

amendoim tem sua representatividade na produção no Estado de Alagoas, a produção da mandioca é uma das grandes culturas relevantes em Arapiraca, sendo referência para todo o Brasil (Lima et al., 2020; Ferreira; Leite, 2020).

A dinâmica demográfica e o desenvolvimento territorial da Mesorregião do Agreste alagoano estão ligada à sua economia, a cultura fumageira, historicamente alterou a dinâmica populacional e o desenvolvimento da região, se concentrando nas áreas circunvizinhas do município de Arapiraca (Souza; Teixeira, 2020).

O êxodo rural estipulado por problemas como a revolução tecnológica no campo e a desestruturação de empresas de assistência técnica, penalizou a população rural (Mendes; Pinheiro, 2024). Questões socioambientais do Agreste Alagoano, como a sustentabilidade da piscicultura no baixo do São Francisco, depende de fatores socioeconômicos como os subsídios governamentais para pequenos produtores (Filho; Félix, 2022). Outra questão importante é a irrigação, que é fundamental para a produção e diversidade de culturas no Agreste Alagoano, o uso eficiente da água é crucial para o manejo sustentável da agricultura da região (Silva et al., 2018; IMA et al., 2020).

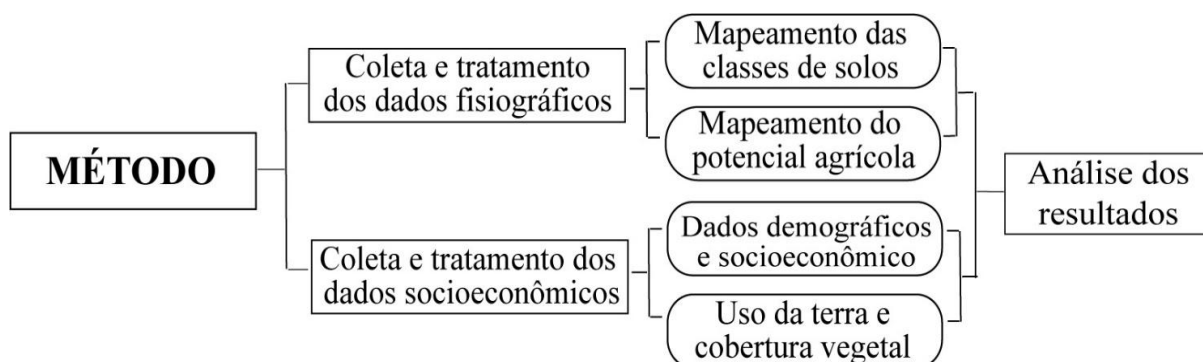
3.4 Procedimentos metodológicos

O método adotado está alinhado com os princípios cartesianos de evidência, análise, síntese, dúvida, revisão e interdisciplinaridade, aqui refletidos através das técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. No contexto da abordagem sistêmica, a Geografia pode ser concebida por meio de dois componentes fundamentais: o sistema ambiental físico, relacionado a Geografia Física, e sistema socioeconômico, relativo à Geografia Humana Christofolletti (1999). A partir da perspectiva sistêmica, a análise busca integrar essas duas dimensões para alcançar uma compreensão completa das interações entre o ambiente natural e as atividades humanas.

As análises técnicas de geoprocessamento tornaram possível a identificação de informações temáticas, tendo a oportunidade de efetuar ajustes e elaborar novos planos de análise na paisagem. A abordagem sistêmica e holística baseou-se em pesquisa bibliográfica em uma série de estudos de referência, tais como Tricart (1977, 1982), Ross (1991), Christofolletti (1980, 1981, 1999), que exploraram as complexas interconexões entre sociedade e natureza, procurando compreender os impactos dessa interação, especialmente pela ótica socioambiental.

Esses estudos permitem embasar teoricamente as dinâmicas observadas entre eventos do meio ambiente em relação às sociedades humanas. Nesse sentido, a pesquisa estará esteada nas etapas metodológicas simplificadas no esquema da Figura 9 a seguir.

Figura 8-Fluxograma do método da pesquisa



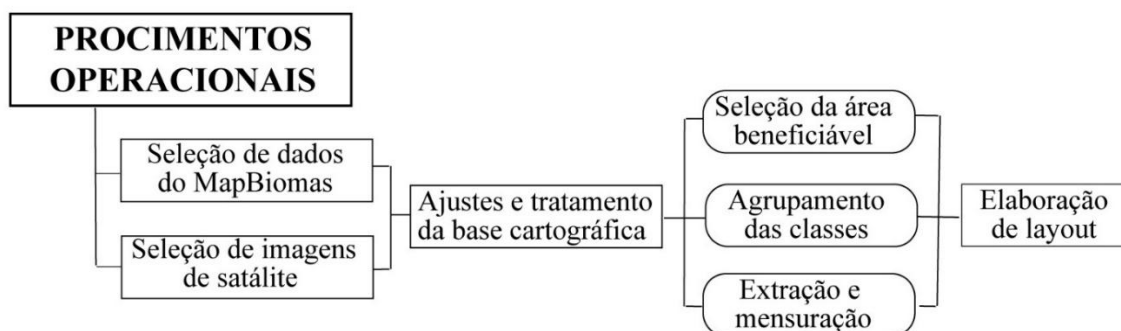
Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2025.

3.4.1 Mapeamento multitemporal do uso da terra

O mapeamento multitemporal do uso da terra com o uso do MapBiomas é interessante para entender as dinâmicas ambientais e auxiliar no planejamento territorial (Cruz, L; Cruz, B. 2021). A plataforma utiliza técnicas de sensoriamento remoto para mapear anualmente a cobertura e o uso da terra no Brasil desde 1985 (Vianna; Zambonim, 2024).

As etapas para o mapeamento incluem a coleta de dados do MapBiomas, geoprocessamento dos dados, classificação das imagens, cálculo da área das classes da cobertura e uso da terra, a construção dos layouts das projeções tal qual todas as etapas de geoprocessamento serão realizadas em ambiente SIG, no software QGIS versão 3.34 da firenze como representado na Figura 10.

Figura 9-Fluxograma de mapeamento multitemporal do uso da terra



Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2025.

Os dados na plataforma do MapBioma foram coletados em formato GeoTIFF por meio da versão atual (coleção 10), que permitiu o acesso aos anos de 2000, 2010 e 2023, de posse dos dados em formato raster, estes foram processados no software QGIS, sendo georreferenciados no Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) EPSG 4674-SIRGAS

2000 e a partir do polígono da área beneficiável do Canal do Sertão Alagoano, foi selecionada as imagens correspondentes a área de estudo.

As classes de uso da terra foram agrupadas e reclassificadas adotando a plataforma do MapBiomas, que fornece códigos de legenda de 29 classes da coleção 9 (Quadro 3).

Quadro 3- Códigos de Legenda da coleção 10 do MapBiomas

Classes	Code ID	Código para Simbologia
Formação Florestal	3	#1f8d49
Formação Savânica	4	#7dc975
Formação Campestre	12	#d6bc74
Pastagem	15	#edde8e
Área Urbanizada	24	#d4271e
Rio, Lago e Oceano	33	#2532e4

Fonte: MapBiomas, 2026.

Após o reconhecimento das classes de uso da terra (2000, 2010 e 2024) e produzido os layouts dos mapas, foi utilizado o plugin r.report do QGIS para calcular área de cada classe. Posteriormente, os dados mensurados foram exportados para análise no software Excel. A escolha dos anos de 2000, 2010 e 2024 foi fundamentada em critérios técnicos e históricos. O ano 2000 representa o período anterior ao início efetivo das obras do Canal do Sertão, funcionando como linha de base para comparação. O ano 2010 corresponde ao período de avanço das primeiras etapas de construção, permitindo identificar transformações iniciais no uso da terra associadas à expectativa de disponibilidade hídrica. O ano 2024 representa o cenário atual, após a consolidação dos trechos operacionais do canal, possibilitando avaliar as transformações mais recentes na paisagem diretamente relacionadas à sua operação.

3.4.2 Reclassificação e aprimoramento de escala no mapeamento de solos

A reclassificação e o aprimoramento da escala de mapeamento dos solos área alvo do presente estudo, entre outros aspectos, considerou a sua inserção na região semiárida e o relevo variado. Tais características demandam a adoção de abordagens metodológicas integradas, que articulem técnicas de sensoriamento remoto, modelagem digital do terreno e conhecimento pedológico regional. Neste caso, a metodologia adotada fundamenta-se na síntese de procedimentos consolidados na literatura, especialmente aqueles propostos por Lima e Souza (2016), Souza (2013) e Giasson et al. (2013), amplamente utilizados em estudos de refinamento cartográfico e mapeamento digital de solos.

Para a identificação e análise das classes de solos, foi utilizado os mapeamentos pedológicos elaborados pela CPRM (2017) e Embrapa (2014), disponíveis para a área de estudo nas escalas de 1:100.000 e 1:250.000. Os referidos dados são considerados o primeiro nível de planejamento e interpretação dos aspectos pedológicos da região, servindo como referência conceitual e cartográfica para o processo de refinamento, conforme recomendado por Giasson et al. (2013).

Com o objetivo de aprimorar o detalhamento espacial das unidades pedológicas existentes, foram aplicadas técnicas de mapeamento digital de solos como fonte secundária de análise, visando à subdivisão das associações de solos previamente mapeadas. Essa subdivisão baseou-se na relação entre os solos e sua posição na paisagem, considerando atributos topográficos como declividade, altitude e distância ou influência das redes de drenagem, conforme descrito por Bruin e Stein (1998) e corroborado por Ippoliti et al. (2005). Partindo do pressuposto de que solos com características semelhantes tendem a ocorrer em ambientes geomorfológicos específicos, o que permite inferir sua distribuição espacial a partir de variáveis ambientais.

Para a extração das variáveis ambientais utilizadas no refinamento cartográfico, foram empregados Modelos Digitais de Elevação (MDE), que possibilitam a representação tridimensional da superfície terrestre e a derivação de atributos geomorfométricos relevantes à análise pedológica (Ziadat; Taylor; Brewer, 2003). Neste estudo, foram utilizados os dados do Copernicus, com resolução espacial de 30 metros, por apresentar cobertura contínua, consistência altimétrica e adequada resolução para análises em escala regional e de semidetalhe.

A partir do MDE Copernicus, foram derivados atributos topográficos como altitude, declividade e posição relativa na paisagem, além da análise da proximidade em relação às redes de drenagem. Esses atributos foram utilizados como variáveis preditoras no processo de subdivisão das associações de solos previamente mapeadas, considerando que a distribuição espacial das classes de solos está fortemente condicionada às características do relevo, especialmente em ambientes semiáridos e de relevo variado, conforme discutido por Bruin e Stein (1998), Ippoliti et al. (2005) e Giasson et al. (2013).

A resolução espacial de 30 m do MDE Copernicus mostrou-se compatível com a escala de trabalho adotada, permitindo o refinamento das unidades pedológicas existentes sem extrapolar o nível de detalhamento suportado pelos dados de entrada. Dessa forma, o uso do MDE Copernicus contribuiu para o aprimoramento da delimitação espacial das classes de solos, reforçando a coerência pedogeomorfológica do mapeamento refinado em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

O produto cartográfico final do refinamento pedológico foi gerado na escala de 1:60.000, compatível com a resolução espacial de 30 metros do MDE Copernicus utilizado como base para derivação dos atributos topográficos, e adequada ao nível de detalhamento requerido para análises de vulnerabilidade em escala regional.

A classificação de um solo é obtida a partir da avaliação dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do perfil que o representam e permite agrupar solos com características semelhantes, se iniciando com a descrição morfológica do perfil (IBGE, 2005). A partir da reclassificação e aprimoramento de escala no mapeamento de solos, as características das classes de solos serão expostas com base de revisão de literatura dos sistemas de classificação oficiais como o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS, 2018), *Word Reference Base* (WRB, 2022).

Considerando a impossibilidade de validação de campo, a consistência do refinamento cartográfico foi analisada por meio de uma análise comparativa com bases de dados preexistentes. Para tanto, os resultados foram confrontados com informações do Projeto ZonBarragem (Silva, 2023) e com padrões reportados na literatura científica (Santos, 2024; EMBRAPA, 2017) para regiões de características fisiográficas análogas. Essa estratégia de verificação por convergência de evidências permite aferir a verossimilhança do mapeamento digital de solos em áreas de grande extensão ou acesso restrito, fundamentando-se em protocolos metodológicos já consolidados por Giasson et al. (2013) e Ten Caten et al. (2012).

3.4.3 Mapeamento da vulnerabilidade das classes de solo

A presente pesquisa adotou uma adaptação da metodologia proposta por Crepani et al. (1996; 2001) e pelo INPE (2001) para o mapeamento da vulnerabilidade ambiental, incorporando especificidades do ambiente semiárido e das transformações recentes no uso da terra associadas à irrigação induzida pelo Canal do Sertão Alagoano. A abordagem fundamenta-se no conceito de ecodinâmica da paisagem proposto por Tricart (1977), no qual a vulnerabilidade resulta do equilíbrio dinâmico entre fatores naturais e ações antrópicas, e utiliza o Processo Analítico Hierárquico (AHP) como ferramenta de apoio à decisão multicritério, permitindo a hierarquização objetiva dos fatores considerados (Saaty, 1990).

Diferentemente da aplicação clássica da metodologia de Crepani, voltada prioritariamente à identificação da fragilidade natural da paisagem, esta pesquisa está direcionada à análise da vulnerabilidade funcional dos solos, entendida como a propensão à degradação e à perda de qualidade física e produtiva quando submetidos a usos agrícolas intensificados,

especialmente aqueles associados à irrigação superficial em ambientes de baixa pluviosidade. Essa adaptação é particularmente relevante em áreas semiáridas, onde a introdução de sistemas irrigados altera de forma significativa os fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais, interferindo nos processos pedogenéticos e erosivos (Araújo et al., 2010; Souza et al., 2019).

A vulnerabilidade é expressa por meio da atribuição de valores relativos, variando de 1 (ambientes estáveis) a 3 (ambientes vulneráveis), representando graus crescentes de suscetibilidade à degradação e à perda de solos. Diferentemente da aplicação clássica da metodologia, nesta pesquisa optou-se por utilizar apenas as classes iniciais da escala de vulnerabilidade, de forma a melhor representar as condições ambientais predominantes na área de estudo.

Para a construção do índice de vulnerabilidade das classes de solo, foram considerados cinco grupos de fatores principais: (i) geologia, representando a resistência dos materiais ao intemperismo; (ii) geomorfologia, associada às formas de relevo e aos processos morfodinâmicos dominantes; (iii) declividade do terreno, relacionada à energia do relevo e ao potencial de escoamento superficial; (iv) classes de solos, considerando características como profundidade, textura, estrutura e erodibilidade; e (v) uso e cobertura da terra, que expressa a pressão antrópica direta sobre o meio físico.

A geologia, a geomorfologia e a declividade do terreno foram analisadas de forma integrada, constituindo a base físico-estrutural da paisagem e atuando como fatores condicionantes indiretos da vulnerabilidade à perda de solos. Em ambientes semiáridos caracterizados por extensas superfícies aplainadas, como o Sertão e o Agreste alagoano, esses fatores não atuam como elementos determinantes isolados da degradação dos solos, mas exercem influência por meio do controle sobre a gênese dos solos, a organização do relevo e os padrões de escoamento superficial difuso (Ross, 1994; Crepani et al., 2001).

A geologia presente na área, composta predominantemente por unidades cristalinas e coberturas sedimentares localizadas, condiciona a textura, a profundidade efetiva e a drenagem natural dos solos, influenciando indiretamente sua resposta aos processos erosivos e ao manejo agrícola. Entretanto, em áreas onde os solos se encontram bem desenvolvidos e desacoplados do substrato rochoso, como ocorre em grande parte da área beneficiável pelo Canal do Sertão, a resistência litológica ao intemperismo não se configura como o principal fator explicativo da perda de solos atual (Ross, 1994; Lepsch, 2016), os valores atribuídos foram os expressos no Quadro 4 a seguir:

Quadro 4 - Valores de Vulnerabilidade para as Unidades Geológicas

Valor	Unidades Geológicas	Critérios
1	Granitoides, gnaisses, migmatitos (embasamento cristalino)	Crepani (2001), CPRM (2014)
2	Metassedimentos (xistos, filitos, quartzitos)	
2	Arenitos consolidados (Tacarátú, Santa Cruz)	
3	Formação Barreiras	
3	Depósitos colúvio-eluviais / aluviais quaternários	

Adaptado de: Crepani, 2001.

A geomorfologia presente na área, representada por unidades como depressões conservadas, tabuleiros pouco dissecados e relevos residuais isolados, organiza a paisagem e a rede de drenagem, influenciando a concentração do escoamento superficial. Unidades geomorfológicas mais dissecadas ou associadas a coberturas sedimentares menos consolidadas tendem a apresentar maior suscetibilidade à degradação dos solos quando submetidas ao uso agrícola intensivo (CPRM, 2014; IBGE, 2025). No Quadro 5 são apresentados os valores atribuídos a elas.

Quadro 5 -Valores de Vulnerabilidade para as Unidades Geomorfológicas

Valor	Unidades Geomorfológicas	Critérios
1	Tabuleiro Conservado	Crepani (2001), CPRM (2014)
1	Depressão Conservada Sertaneja	Crepani (2001), CPRM (2014)
1	Depressão Conservada	Crepani (2001), CPRM (2014)
2	Planalto Sedimentar Dissecado	Crepani (2001), CPRM (2014)
3	Relevo Residual Dissecado	Crepani (2001), CPRM (2014)

Adaptado de: Crepani, 2001.

A declividade do terreno (Quadro 6), ainda que predominantemente baixa, desempenha papel relevante na dinâmica erosiva do semiárido, uma vez que pequenas variações topográficas podem intensificar o escoamento superficial laminar, sobretudo em áreas agrícolas irrigadas e com baixa cobertura vegetal. Assim, mesmo em contextos de relevo suavemente ondulado, a declividade contribui para a redistribuição da água aplicada pela irrigação, potencializando processos de selamento superficial, compactação e remoção de partículas finas do solo (Bertoni; Lombardi Neto, 2012; Guerra, 2017).

Quadro 6 - Valores de Vulnerabilidade para a Declividade.

Classe Morfométricas	Declividade	Valores de Vulnerabilidade
Baixa	< 2- 6	1,0
Média	6 - 20	2,0
Alta	>20	3,0

Adaptado de: Crepani, 2001.

Seguindo a metodologia e as informações do SIBICS (Embrapa, 2018) e WRB (Iuss, 2022) entre os tipos de solos presentes na área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano, os valores de vulnerabilidade são os descritos no Quadro 7.

Quadro 7 - Valores de Vulnerabilidade para as classes de solo.

Sigla	Classe de solo	Valor
TCo	Nitossolo Háplico Eutrófico	1
LVe	Latossolo Vermelho Eutrófico	1
LAe	Latossolo Amarelo Eutrófico	1
LVAd	Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	1
PAd	Latossolo Vermelho Distrófico	1
TT	Luvissolo Crômico Órtico	2
PVe	Argissolo Vermelho Eutrófico	2
PVAd	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	2
PVAe	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	2
CXbe	Cambissolo Háplico Tb Eutrófico	2
SXe	Planossolo Háplico Eutrófico	2
RQo	Neossolo Quartzarênico Órtico	2
RRde	Neossolo Regolítico Distrófico	3
RRed	Neossolo Regolítico Eutrófico	3
RLed	Neossolo Litólico Eutrófico	3
RLe	Neossolo Litólico Eutrófico	3
RLd	Neossolo Litólico Distrófico	3
RYe	Neossolo Flúvico Eutrófico	3

Adaptado de: Crepani, 2001.

Os valores de vulnerabilidade das classes de solo foram atribuídos conforme a adaptação da metodologia de Crepani et al. (2001), considerando o grau de desenvolvimento pedogenético, profundidade efetiva, textura, drenagem e suscetibilidade à erosão. Solos profundos e bem estruturados receberam valor 1 (estável), solos com limitações físicas moderadas receberam valor 2 (moderadamente vulnerável) e solos rasos, arenosos ou fluviais receberam valor 3 (vulnerável).

Os valores para o uso e cobertura seguindo a classificação com os valores de vulnerabilidade estão de acordo com o Quadro 8.

A segunda etapa consiste na elaboração da matriz de comparação par a par, em que cada fator é comparado frente aos demais para estabelecer a importância relativa de cada um na composição da vulnerabilidade dos solos. O AHP é um método que permite a sintetização

dos critérios e seus respectivos subcritérios, o que possibilita uma análise espacial precisa da suscetibilidade a impactos ambientais (Arrial; Sccoti, 2025).

Quadro 8 - Valores de Vulnerabilidade para as classes de Uso e Cobertura da terra

Classe de Uso e cobertura da terra	Valor
Formação Florestal	1
Formação Savânica	1
Formação Campestre	1
Pastagem	2
Mosaico de Usos	2
Área Urbana	3
Solo Exposto	3
Mineração	3
Corpos hídricos	3
Lavouras Temporárias	3
Lavouras Perenes	3

Adaptado de: Crepani, 2001.

A integração dos dados levará em conta os valores atribuídos através da proposta de Crepani et al (2001), as variáveis descritas anteriormente foram consideradas e assim o uso da análise multicritério é realizada pelo algoritmo da média ponderada, que permite agrupar e classificar.

Ao realizar as integrações utilizando a média ponderada, é esperado que a cada mapa seja atribuído um peso específico, neste estudo esses pesos serão determinados utilizando a metodologia AHP, dessa forma foi estabelecido um critério para a atribuição das notas às classes de acordo com sua contribuição na ocorrência do fenômeno na área.

Os cálculos foram realizados para as classes seus pesos de importância seguindo todos os critérios e exigências da metodologia, por meio da calculadora AHP-OS (1.1.1-207), disponível no site da BPMSG (Goepel, 2018).

As comparações foram realizadas de forma par a par entre as variáveis, resultando em uma checagem dos pesos para cada variável e depois do cálculo, mas sempre observando o índice de Consistência que mede as comparações.

Goetel (2018) destaca que esse índice seja inferior a 10%, após essa etapa, a calculadora é atualizada e apresenta os valores de consistência da atribuição dos pesos (Quadro 9).

A comparações foram fundamentadas em dados obtidos de fontes como IBGE (2010), EMBRAPA (2018) e MapBiomas (2023), além da revisão bibliográfica, garantindo a coerência entre o julgamento técnico e a realidade da área. A avaliação da vulnerabilidade ambiental no semiárido brasileiro requer uma abordagem integrada que considere, prioritariamente, os solos,

uma vez que estes constituem um dos principais suporte físico das atividades agrícolas e o elemento mais diretamente impactado pelas práticas de uso e manejo da terra.

Quadro 9 - Matriz de comparação para a definição dos pesos das variáveis.

	Classes de Solos	Uso/Cobertura	Geologia	Geomorfologia	Declividade
Classes de solos	1	3.00	7.00	5.00	7.00
Uso/Cobertura	0.33	1	5.00	3.00	5.00
Geologia	0.14	0.20	1	3.00	3.00
Geomorfologia	0.20	0.33	0.33	1	3.00
Declividade	0.14	0.20	0.33	0.33	1

Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2025.

Segundo Ross (1994), a fragilidade ambiental se manifesta quando há incompatibilidade entre a capacidade natural dos componentes físicos da paisagem e as formas de apropriação antrópica. No Semiárido nordestino, essa condição é intensificada pela predominância de solos rasos, pouco desenvolvidos e com limitações físicas e químicas, que apresentam elevada suscetibilidade à degradação quando submetidos à agricultura intensiva, sobretudo sob sistemas de irrigação contínua (Santos et al., 2018).

Nesse sentido, as classes de solos assumem papel central na análise da vulnerabilidade, conforme proposto na metodologia de Crepani et al. (2001), amplamente aplicada em estudos de Zoneamento Ecológico-Econômico no Brasil. Por exemplo, os Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos e Neossolos Quartzarênicos costumam apresentar baixa profundidade efetiva, reduzida coesão estrutural e limitada capacidade de retenção hídrica, o que os torna altamente vulneráveis a processos de erosão, compactação e perda de fertilidade. Estudos desenvolvidos em áreas semiáridas do Nordeste evidenciam que a vulnerabilidade erosiva está fortemente associada à fragilidade pedológica quando combinada ao uso agrícola inadequado, mesmo em áreas de relevo suavemente ondulado (Mendes, 2016).

A vulnerabilidade natural foi definida a partir da integração de cinco condicionantes ambientais: classes de solo, uso e cobertura da terra, geologia, geomorfologia e declividade. A importância relativa de cada fator foi determinada por meio do método Analytic Hierarchy Process (AHP), que permite estabelecer pesos a partir de comparações par a par entre os critérios, refletindo sua contribuição para a suscetibilidade ambiental à perda de solo.

Os resultados indicaram maior influência das classes de solo (0,506), seguidas pelo uso e cobertura da terra (0,263), evidenciando o papel central das propriedades pedológicas e do grau de proteção ou exposição da superfície terrestre na dinâmica erosiva.

A geologia (0,110) e a geomorfologia (0,079) apresentaram importância intermediária, representando respectivamente o controle do material de origem e a organização morfodinâmica do relevo, enquanto a declividade (0,042) obteve o menor peso em função do predomínio de relevo plano a suavemente ondulado na área de estudo. A razão de consistência da matriz ($CR = 0,099$) indicou coerência nas comparações realizadas, validando os pesos adotados para a modelagem espacial.

Pesquisas sobre as mudanças no uso e na cobertura da terra em áreas irrigadas do semiárido brasileiro indicam que esses sistemas alteram significativamente a dinâmica ambiental local, tornando o uso do solo um fator determinante na definição dos níveis de vulnerabilidade (Guaju, 2025). Esse processo, marcado especialmente pela conversão de vegetação natural para fins agrícolas ou urbanos, é identificado na literatura como um dos principais mecanismos de pressão humana sobre os sistemas ambientais, o que pode intensificar a perda de solo e a fragilidade dos ecossistemas (Monteiro; Falcão, 2022).

A geologia atua como fator condicionante da vulnerabilidade ao controlar o material de origem dos solos e sua resistência ao intemperismo. Na área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano, o predomínio do embasamento cristalino da Província Borborema e de coberturas sedimentares localizadas condiciona a formação de solos rasos e pouco evoluídos em extensos setores do território. De acordo com Tricart (1997), a resistência dos materiais geológicos influencia a estabilidade dos sistemas ambientais, porém seus efeitos tornam-se mais evidentes quando associados ao uso intensivo da terra. Estudos integrados no Baixo São Francisco reforçam que a interação entre geologia, geomorfologia e uso da terra é fundamental para compreender os padrões espaciais de vulnerabilidade ambiental em ambientes semiáridos (Oliveira Saraiva-Maia et al., 2024).

A geomorfologia e a declividade, embora tradicionalmente associadas à dinâmica erosiva, assumem papel secundário na área de estudo em função do predomínio de relevo plano a suavemente ondulado. Unidades como depressões sertanejas, tabuleiros e superfícies aplainadas refletem longos períodos de estabilidade morfodinâmica, típicos de ambientes semiáridos. Contudo, conforme destacado por Ross (1994) e Crepani et al. (2001), mesmo pequenas variações topográficas podem favorecer a concentração do escoamento superficial quando associadas ao uso agrícola intensivo e à irrigação, justificando a inclusão dessas variáveis como fatores condicionantes na análise de vulnerabilidade, ainda que com menor peso relativo em relação aos solos e ao uso da terra.

Nesse sentido, a definição dos pesos foi fundamentada na literatura e na adaptação ao contexto local do semiárido alagoano, buscando refletir em condicionantes naturais e em aspectos socioeconômicos que compõem o quadro da vulnerabilidade dos solos na área de estudo, a checagem de consistência da calculadora AHP-OS versão 1.1.1-20 (<https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>) no site atribuiu os pesos as variáveis conforme o Quadro 10 a seguir.

Quadro 10 – Checagem de consistência da calculadora AHP-OS (1.1.1-20) no site da BPMSG

Categoria	Peso	Consistência
Classes de Solo	0,506	Consistência OK –0,099
Uso e Cobertura da Terra	0,263	
Geologia	0,110	
Geomorfologia	0,079	
Declividade	0,042	

Elaborado por: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2025

Após a etapa de definição dos pesos atribuídos às variáveis e suas respectivas classes, essas informações serão adicionadas às tabelas de atributos das respectivas variáveis (SHP). Em seguida os dados serão convertidos para o formato matricial (TIF), com escala de 1:100.000. A integração entre os mapas ocorrerá em ambiente SIG, utilizando a calculadora raster do software QGIS 3.40, na qual será possível aplicar a expressão matemática que reúne todas as variáveis, gerando dessa forma os mapas de vulnerabilidade à perda de solo na área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano.

Após a modelagem da Vulnerabilidade Natural (VN), procedeu-se à elaboração do mapa de Pressão Antrópica (PA), construído a partir da integração entre a mudança no uso e cobertura da terra e a densidade demográfica, variáveis que representam a intensidade das intervenções humanas na paisagem. Enquanto a vulnerabilidade natural expressa a suscetibilidade física do ambiente à degradação, a pressão antrópica representa o componente dinâmico associado às transformações promovidas pelas atividades humanas.

A etapa final consistiu na integração entre o mapa de Vulnerabilidade Natural e o mapa de Pressão Antrópica, resultando no mapa de Vulnerabilidade Socioambiental (VSA). Considerando que a vulnerabilidade observada na paisagem resulta tanto de condicionantes físicos quanto de ações humanas, adotou-se peso igual (0,5) para cada componente na álgebra de mapas. A integração foi realizada na calculadora raster do QGIS por meio de expressões matriciais, permitindo a combinação ponderada das variáveis em ambiente SIG. Dessa forma, a Vulnerabilidade Natural foi obtida por meio da Equação 1 a seguir:

$$VN = (SOL \times 0,506) + (UC \times 0,263) + (GEO \times 0,110) + (GMF \times 0,079) + (DEC \times 0,042)$$

Onde:

SOL = Classes de Solo

UC = Uso e Cobertura da Terra

GEO = Geologia

GMF = Geomorfologia

DEC = Declividade

O Índice de Pressão Antrópica foi obtido a partir da conversão do mapa de uso da terra, que admitiu a premissa de que diferentes categorias de uso representam diferentes níveis de intervenção humana sobre a paisagem e seus processos naturais. Essa abordagem é adotada em estudos que quantificam pressões humanas por meio da combinação de classes de cobertura com ponderações que refletem o impacto relativo de cada tipo de uso (por exemplo, atividades agrícolas, áreas urbanas ou cobertura natural) sobre o ambiente (Alves; Neves; Silva, 2023).

As mudanças no uso da terra, como transição de vegetação nativa para áreas agrícolas ou urbanas, implicam transformações dos atributos físicos do solo, fragmentação de *habitats* e alterações nos fluxos de energia e água, configurando uma forma espacialmente explícita de pressão humana (Foley et al., 2005). Em alguns desses trabalhos, adota-se o Índice de Transformação Antrópica (ITA), no qual a soma das áreas relativas das classes de uso é ponderada por valores de pressão atribuídos a cada classe, de forma que coberturas altamente antropizadas recebam pesos maiores e coberturas naturais, menores.

Na prática, a atribuição dos pesos às classes do mapa de uso da terra foi adaptada com base no entendimento teórico de graus de modificação antrópica e na experiência de pesquisadores que explicam que os pesos refletem o nível de alteração ou degradação associado a cada tipo de uso da terra. Por exemplo, classes como agricultura intensiva ou urbanização são tipicamente consideradas como tendo maior impacto e, portanto, maiores pesos do que formações naturais ou áreas pouco alteradas, o que é consistente com abordagens usadas em índices de pressão antropogênica em estudos de bacias e paisagens brasileiras como o de Alves, Neves e Silva (2023) e com índices globais como o Human Footprint de O Venter et al. (2016) e Rodrigues et al. (2015) que combina múltiplas pressões humanas incluindo uso do solo, densidade populacional e infraestrutura

Nesse contexto, a classificação temática do mapa de uso da terra referente ao ano de 2024, a partir de dados do MapBiomass, permite não apenas descrever a ocupação do

território, mas também estimar qualitativamente o impacto relativo de cada classe sobre a paisagem e os recursos naturais. Para isso, as classes foram reclassificadas e ponderadas com pesos adaptados variando de 1 a 3, respectivamente baixa, média e alta pressão antrópica.

Essa atribuição de pesos segue a lógica empregada em estudos que utilizam índices de transformação da paisagem, nos quais os valores são definidos conforme o grau de intervenção humana associado a cada tipo de cobertura (Quadro 11), de modo que usos mais intensivos, como áreas urbanas e agricultura mecanizada, recebem pesos mais elevados, enquanto formações naturais recebem valores menores, refletindo seu menor nível de alteração antrópica (Pereira et al., 2024; Rodríguez, 1984).

Quadro 11 - Valores do ITA adaptados

Classe de Uso e cobertura da terra	Valor
Formação Florestal	1
Formação Savânica	1
Formação Campestre	1
Pastagem	2
Mosaico de Usos	2
Cana de açúcar	3
Área Urbana	3
Solo Exposto	3
Mineração	3
Corpos hídricos	3
Lavouras Temporárias	3
Lavouras Perenes	3

Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2026.

A densidade demográfica foi utilizada como indicador de pressão socioambiental, por representar a intensidade da ocupação humana sobre o território. Parte-se do pressuposto de que áreas com maior concentração populacional apresentam maior demanda por recursos naturais, infraestrutura e serviços, resultando em intensificação do uso da terra e em transformações ambientais, especialmente em regiões marcadas pela expansão da agricultura irrigada.

Dessa forma, estudos que empregam a densidade demográfica como elemento de avaliação ambiental consideram que áreas mais densamente povoadas tendem a exercer pressões mais intensas sobre os recursos naturais e os sistemas ecológicos (Pereira et al., 2024; Silva, 2007). No presente trabalho, os valores de densidade foram classificados em três níveis (baixa, média e alta) e integrados ao índice de pressão antrópica, compondo o modelo de vulnerabilidade socioambiental e permitindo incorporar a dimensão humana da pressão ambiental à análise espacial.

A densidade demográfica foi classificada em três níveis de pressão socioambiental: baixa (0–1.000 hab/km²), média (1.000–5.000 hab/km²) e alta (>5.000 hab/km²). Essa divisão buscou diferenciar áreas predominantemente rurais, zonas de transição e núcleos urbanos mais adensados, refletindo diferentes níveis de pressão humana sobre o uso do solo (Equação 2).

Equação 2

$$PA = (ITA \times 0,5) + (DD \times 0,5)$$

Onde:

DD = Densidade Demográfica

PA = Pressão Antrópica

Em seguida, a Vulnerabilidade Socioambiental foi calculada a partir da Equação 3 a seguir:

Equação 3

$$VSA = (VN \times 0,5) + (PA \times 0,5)$$

Onde:

VN = Vulnerabilidade Natural

VSA = Vulnerabilidade Socioambiental

3.5 Álgebra de Mapas

De posse dos mapas temáticos em formato raster, adotou-se calculadora raster do software QGIS para determinar os graus de vulnerabilidade socioambiental da área de estudo. A álgebra de mapas, termo consolidado por Tomlin (1990), se refere a um conjunto de procedimentos matemáticos aplicados ao geoprocessamento que permitem combinar diferentes camadas de dados geográficos e gerar novas informações espaciais. Cada camada funciona como uma função que atribui valores específicos aos locais estudados, o que possibilita a construção de mapas temáticos que aprofundam a análise de fenômenos territoriais (Andrade, 2016; Tomlin, 2017).

Nesse modelo, as operações realizadas dependem dos objetivos definidos pelo analista, garantindo flexibilidade na representação e interpretação dos dados, essa abordagem amplia a capacidade de compreender e modelar a paisagem, ao transformar dados brutos em produtos cartográficos, mas significativos e integrados ao contexto do estudo (Câmara et al., 2020).

Como descrito por Santos e Matsuoka (2021), essas operações podem acontecer de diferentes formas, e podem ser agrupadas em três grandes classes, sendo elas:

⇒ **Locais:** geram como resultado um mapa no qual os valores decorrem exclusivamente dos valores correspondentes nas camadas de entrada, ponto a ponto.

Essas operações podem atuar sobre uma única camada ou combinar diferentes conjuntos espaciais por meio de interseções.

⇒ **De vizinhança:** produzem mapas em que os valores são resultantes e consideram não apenas o ponto analisado, mas também os elementos ao redor, como ocorre em processos de filtragem espacial de imagens ou no cálculo da declividade a partir de um Modelo Digital de Terreno.

⇒ **Zonais:** se aplicam a regiões que são delimitadas dentro de uma camada, sendo que essas regiões são definidas ou condicionadas por outra camada auxiliar que estabelece as áreas de interesse para o estudo.

No contexto do método AHP, se refere ao conjunto de operações analíticas e matemáticas para manipular e combinar diferentes camadas de informação espacial, com base em critérios ponderados, utilizando os mapas como parâmetros em equações de forma que eles auxiliem na tomada de decisões (Wentz et al., 2021; Paranhos Filho, et al., 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Reclassificação das classes de solos

Com base no mapeamento de solos elaborado pela Embrapa (2014), na escala 1:100.000, do estado de Alagoas e em variáveis ambientais determinantes da pedogênese, especialmente a geologia (material de origem), geomorfologia e declividade derivada do Modelo Digital de Elevação, foi possível realizar o refinamento dos estudos de solos existentes na área de estudo, que resultou em 16 classes de solos predominantes (Tabela 1).

Observando a Tabela 1 é possível constatar que os Planossolo Háptico Eutrófico e Neossolo Regolítico Eutrófico, respectivamente com 45,74% (192.292,22 hectares) e 27,87% (117.166,03 hectares), são as classes de solos com maior presença na área de estudo, ocupando juntas 73,61% da área beneficiável do Canal do Sertão Alagoano. De acordo com Santos et al. (2025), ambas as classes de solos possuem características que podem impor limitações ao uso agrícola em função de seus atributos morfológicos e do grau de desenvolvimento pedogenético. Os Planossolos possuem a presença de horizonte B plânico, o que associado a uma mudança textural abrupta e à restrição de permeabilidade em subsuperfície, condição que interfere na infiltração da água e no regime hídrico do solo, podendo favorecer encharcamento periódico e limitar o desenvolvimento radicular das culturas.

Tabela 1 – Classes de solos derivadas do refinamento

Reclassificação de solos	Área	
	ha	%
Latossolo Vermelho Eutrófico	4.591,00	1,09
Latossolo Amarelo Eutrófico	1.053,90	0,25
Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	11.111,95	2,64
Latossolo Vermelho Distrófico	179,161	0,04
Luvissolo Crômico Órtico	4.145,134	4,21
Argissolo Vermelho Eutrófico	10.038,942	2,39
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	5.630,070	1,34
Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	1.133,827	0,27
Cambissolo Háptico Tb Eutrófico	7.577,852	1,80
Planossolo Háptico Eutrófico	192.292,22	45,74
Neossolo Quartzarênico Órtico	0,4400	0,00010
Neossolo Regolítico Distrófico	2.475,41	0,59
Neossolo Regolítico Eutrófico	117.166,03	27,87
Neossolo Litólico Eutrófico	49.510,53	11,78
Neossolo Litólico Distrófico	5,9660	0,0014

Ainda de acordo com os autores, os Neossolos correspondem a solos que são pouco caracterizados pela ausência ou fraca expressão de horizontes diagnósticos subsuperficiais, podendo apresentar reduzida profundidade efetiva, contato lítico próximo à superfície ou textura predominantemente arenosa, dependendo da classe específica. Em função dessas características, tais solos podem apresentar restrições relacionadas à retenção de água e nutrientes, à estabilidade estrutural e à suscetibilidade à erosão, fatores que condicionam sua aptidão agrícola e demandam manejo adequado para garantir a sustentabilidade do uso do solo

Por sua vez, os Latossolos representam apenas 4,02% e ocorrem predominantemente na porção leste e em setores da porção central da área de estudo, configurando os ambientes pedológicos mais favoráveis ao uso agrícola. Esses solos possuem as características mais propícias para a produção, pois apresentam maior profundidade efetiva, boa estrutura e melhores condições de drenagem, fatores que favorecem o desenvolvimento radicular das culturas e facilitam o manejo agrícola. Além disso, quando associados ao caráter eutrófico, indicam maior saturação por bases e fertilidade natural relativamente mais elevada, contribuindo para maior potencial produtivo quando comparados às demais classes predominantes na área.

No entanto, o cuidado no manejo deve ser redobrado ao lidar com Argissolos, Luvissolos e Cambissolos, classes que, embora possam apresentar boa disponibilidade de nutrientes, possuem características morfológicas que podem favorecer processos de degradação do solo. Segundo Santos et al. (2025), esses solos apresentam horizonte B textural

ou variações estruturais que implicam diferenças marcantes de textura entre os horizontes, condição que pode facilitar processos erosivos, especialmente em áreas declivosas.

Na área de estudo, os Cambissolos concentram-se na porção oeste, próximos ao município de Água Branca, caracterizando-se por menor grau de desenvolvimento pedogenético e menor profundidade efetiva, o que pode limitar o aprofundamento radicular e aumentar a vulnerabilidade do solo quando submetido a manejo inadequado.

Os Luvisolos, também predominantes na porção oeste, nas proximidades de Delmiro Gouveia, destacam-se pela presença de argilas de alta atividade, característica que pode favorecer a fertilidade natural, mas que exige práticas de mecanização e manejo criteriosas para evitar degradação estrutural. Já os Argissolos Vermelhos ocorrem principalmente na porção central da área, enquanto os Argissolos Vermelho-Amarelos concentram-se na porção leste, especialmente nos municípios de Girau do Ponciano e Arapiraca, sendo caracterizados pela presença de horizonte B textural, que implica aumento significativo do teor de argila em subsuperfície e pode intensificar a suscetibilidade à erosão quando não adotadas práticas adequadas de conservação do solo.

Todavia, apesar da importância deste mapeamento, a escala de trabalho e o nível de generalização dessas informações mostraram-se limitantes para análises da dinâmica ambiental e vulnerabilidade dos solos, especialmente em uma área marcada por elevada heterogeneidade geomorfológica e pedológica. Dessa forma, tornou-se necessária a reclassificação das unidades de solos, buscando maior compatibilidade com as condições locais de relevo, materiais de origem e atributos morfológicos e químicos, conforme preconizado por Santos et al. (2018) e Embrapa (2018). Neste caso, a diferenciação entre solos eutróficos e distróficos foi mantida por estar baseada em critérios químicos, especialmente a saturação por bases.

As variáveis derivadas do MDE foram utilizadas exclusivamente como suporte à interpretação geomorfológica e ao refinamento espacial das unidades de mapeamento, não sendo empregadas como critério para redefinição do caráter químico dos solos.

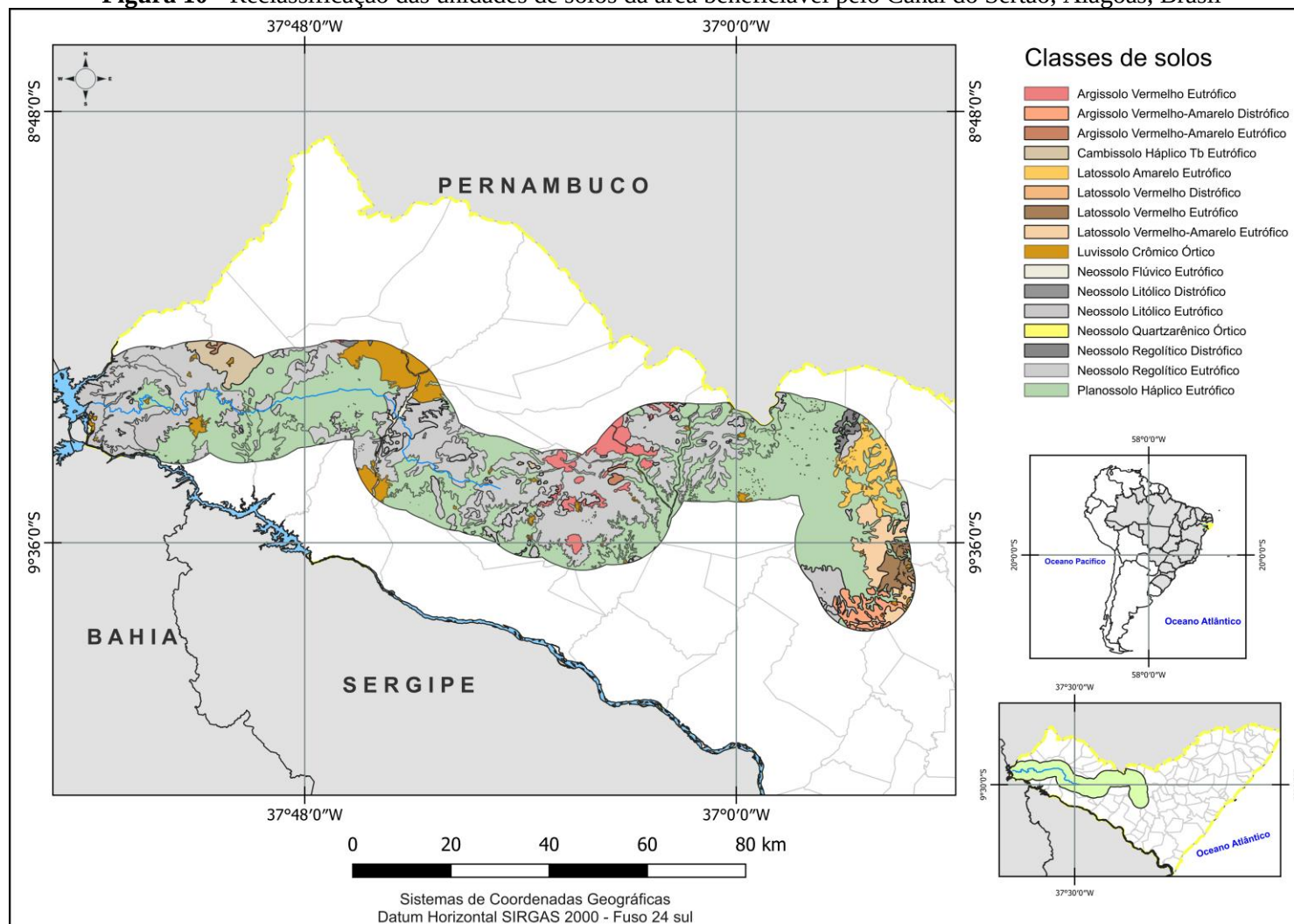
Assim sendo, a reclassificação adotada no presente estudo não se restringiu às denominações originais do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, mas buscou agrupar as unidades conforme sua resposta ambiental frente às condições do relevo e aos processos superficiais. Solos mais profundos, bem drenados e com maior grau de intemperismo, como Latossolos e alguns Argissolos, foram diferenciados daqueles rasos, pouco desenvolvidos ou associados a restrições físicas, como Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos e Planossolos. Essa distinção é relevante porque solos rasos ou com limitações de drenagem

tendem a apresentar maior suscetibilidade à erosão, menor capacidade de infiltração ou maior fragilidade estrutural frente ao uso antrópico.

Essa nova configuração pedológica resultou em um mapeamento refinado das classes de solos na área alvo do presente estudo (Figura 10). Neste caso, foi possível representar a variabilidade dos solos e suas relações com o relevo. Tal refinamento é essencial para análises posteriores de vulnerabilidade ambiental e para o planejamento do uso e manejo dos solos em áreas influenciadas por grandes empreendimentos hídricos, como o Canal do Sertão Alagoano (Embrapa, 2018; Oliveira et al., 2019).

Os resultados do refinamento pedológico foram equiparados com informações secundárias disponíveis para a região, incluindo dados temáticos do ZONBARRAGEM. Esse projeto foi realizado em conjunto pela Embrapa, Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL), Empresa de Assistência Técnica e Extensão rural (EMATER), Universidade Federal de Alagoas, entre outros. Os resultados apresentaram coerência espacial com os padrões identificados. Ressalta-se que essa comparação teve caráter de verificação de consistência regional, não substituindo levantamentos pedológicos de campo.

Figura 10 - Reclassificação das unidades de solos da área beneficiável pelo Canal do Sertão, Alagoas, Brasil



Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2025.

4.2 Mapeamento temporal das classes de uso da terra e cobertura vegetal

A análise multitemporal do uso da terra para os anos de 2000, 2010 e 2024 revelou transformações espaciais significativas no contexto do Sertão e Agreste Alagoano. Essa região caracteriza-se historicamente por ambientes semiáridos, com vegetação adaptada às restrições hídricas, solos de baixa fertilidade e forte fragilidade ambiental (MEDEIROS; GHEYI; SOARES, 2017). A disponibilidade de água é um fator limitante central para a agricultura e a expansão urbana, condicionando modos de uso da terra e respostas socioeconômicas das populações locais.

Analizando a Tabela 2, é possível verificar que foram mapeadas 13 classes de uso da terra, sendo a maior e menor ocorrências, respectivamente 309,045 (pastagem) em 2024 e 4 hectares a classe de afloramentos rochosos. Observou-se também uma tendência geral de aumento nas formações naturais (como floresta, savânica e campestre), o que pode estar associado, em parte, a processos de sucessão ecológica em áreas menos sujeitas à agricultura intensiva ou a políticas de conservação e auto eixo de regeneração, como observado em trabalhos que investigam dinâmicas de vegetação em semiáridos brasileiros (LAMBIN; GEIST, 2006).

Tabela 2 – Classes de uso terra mapeadas nos períodos de 2000, 2010 e 2024, da área beneficiável do Canal do Sertão Alagoano, Brasil.

Classes de Uso da terra	Área (em 2000)		Área (em 2010)		Área (em 2024)	
	ha	%	ha	%	ha	%
Formação Florestal	589	5,21	609	4,10	610	5,06
Formação savânica	90,077	0,80	89,663	0,60	93,937	0,78
Formação Campestre	2	0,02	5	0,03	34	0,28
Pastagem	331,762	2,94	328,602	2,21	309,045	2,56
Cana-de-açúcar	304	2,69	304	2,04	305	2,53
Mosaico de Usos	5881	52,04	8027	53,98	18,087	0,15
Área Urbana	2243	19,85	2812	18,91	6070	50,31
Solo Exposto	47	0,42	41	0,28	91	0,75
Afloramento Rochoso	4	0,04	4	0,03	4	0,03
Aquicultura	4	0,04	-	-	-	-
Corpos Hídricos	1737	15,37	2011	13,52	2107	17,47
Lavouras Temporária	60	0,53	611	4,11	2051	17,00
Lavouras Perenes	7	0,06	28	0,19	371	3,08

Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2025.

No entanto, essa aparente recuperação ou manutenção de cobertura natural com manchas maiores localizadas nas porções leste e oeste da área, mais precisamente próximas à sede municipal de Delmiro Gouveia deve ser interpretada com cuidado, pois também pode ser reflexo de mudanças no espaço que não necessariamente indicam aumento de qualidade ecológica, mas sim redistribuição de classes em resposta às atividades humanas e à disponibilidade hídrica no panorama dos anos 2000 (Figura 11).

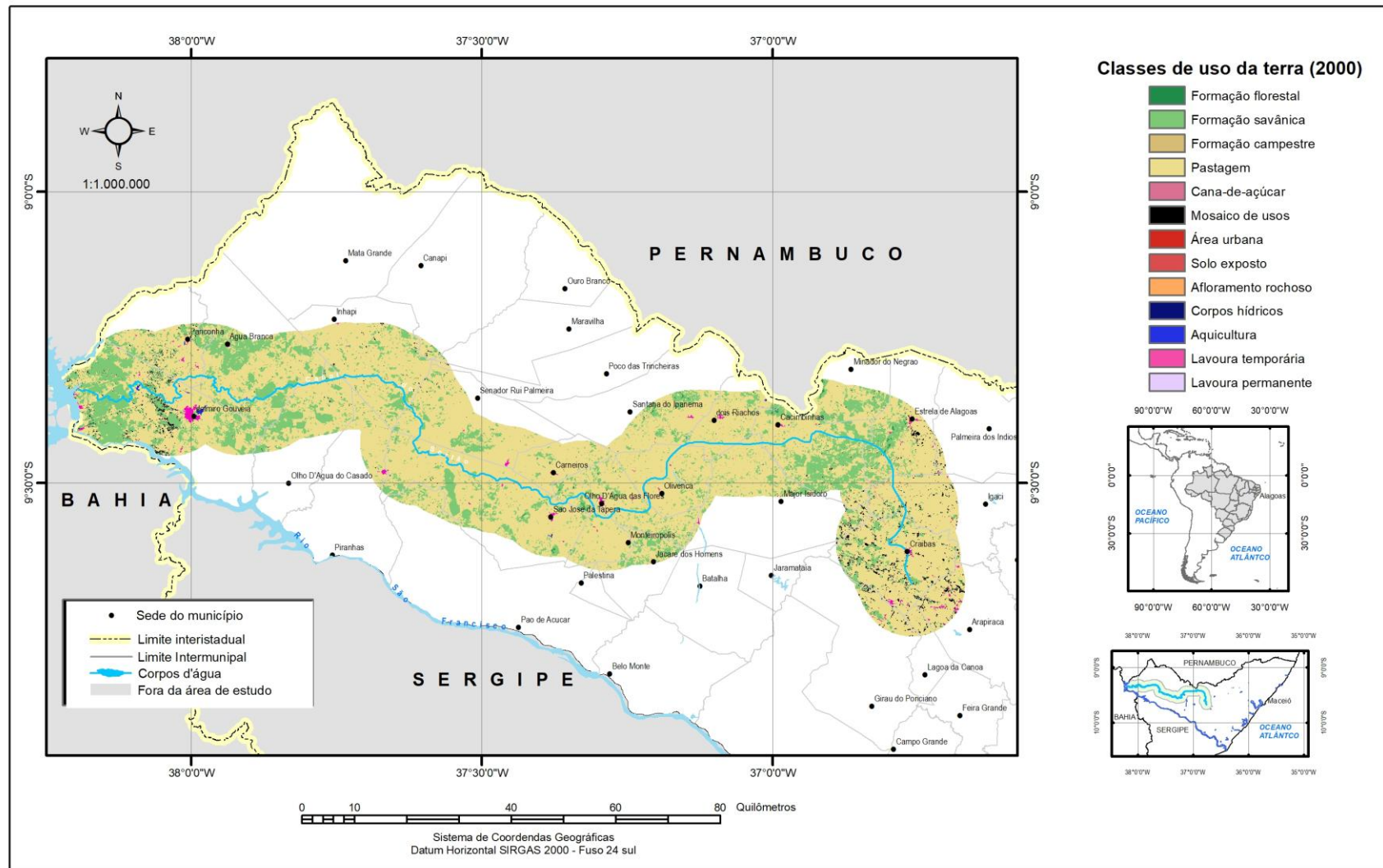
Paralelamente, a classe de pastagem permaneceu relativamente estável ao longo dos períodos analisados, sendo expressa em toda a área e possivelmente indicando que a pecuária extensiva não foi a principal forma de transformação do uso da terra na área estudada. Isso é consistente com descrições de sistemas agropecuários do semiárido, onde a pecuária tem sido associada com outras práticas agrícolas (Souza Junior. et al., 2020). Observando a Figura 12 é possível constatar que no ano de 2010 a classe de Cana de açúcar também permaneceu estável, essa classe tem sua expressão mais forte na área leste, nos municípios de Major Isidoro e Estrela de Alagoas.

Ao longo das últimas duas décadas, a paisagem da região foi profundamente transformada pela expansão urbana e intensificação da agricultura, refletindo uma clara reconfiguração produtiva do espaço rural. Os dados do MapBiomas (2024), confirmam esse avanço entre 2000 e 2024 (Figura 14), com destaque para as áreas urbanas e agrícolas (lavouras permanentes e temporárias) no período em questão, as lavouras perenes registraram alterações significativas, passando, de 7 hectares nos anos 2000, para 371 hectares e se localizando na porção oeste da área nas proximidades de Delmiro Gouveia.

As lavouras temporárias também apresentaram um aumento expressivo no período observado, saltando de 60 hectares para 2051 hectares, respectivamente 2000 e 2024 na porção leste da área, nos entornos dos municípios de Igaci, Girau do Ponciano e Arapiraca. De acordo com Alves et al. (2022), essas alterações na paisagem do semiárido alagoano está diretamente associada à consolidação do Canal do Sertão Alagoano, que mitigou a escassez hídrica histórica e viabilizou a agricultura irrigada. Além do fator infraestrutural, esse fortalecimento produtivo foi impulsionado por um maior suporte técnico e pela implementação de políticas públicas direcionadas ao aprimoramento do plantio regional (Lins, 2021).

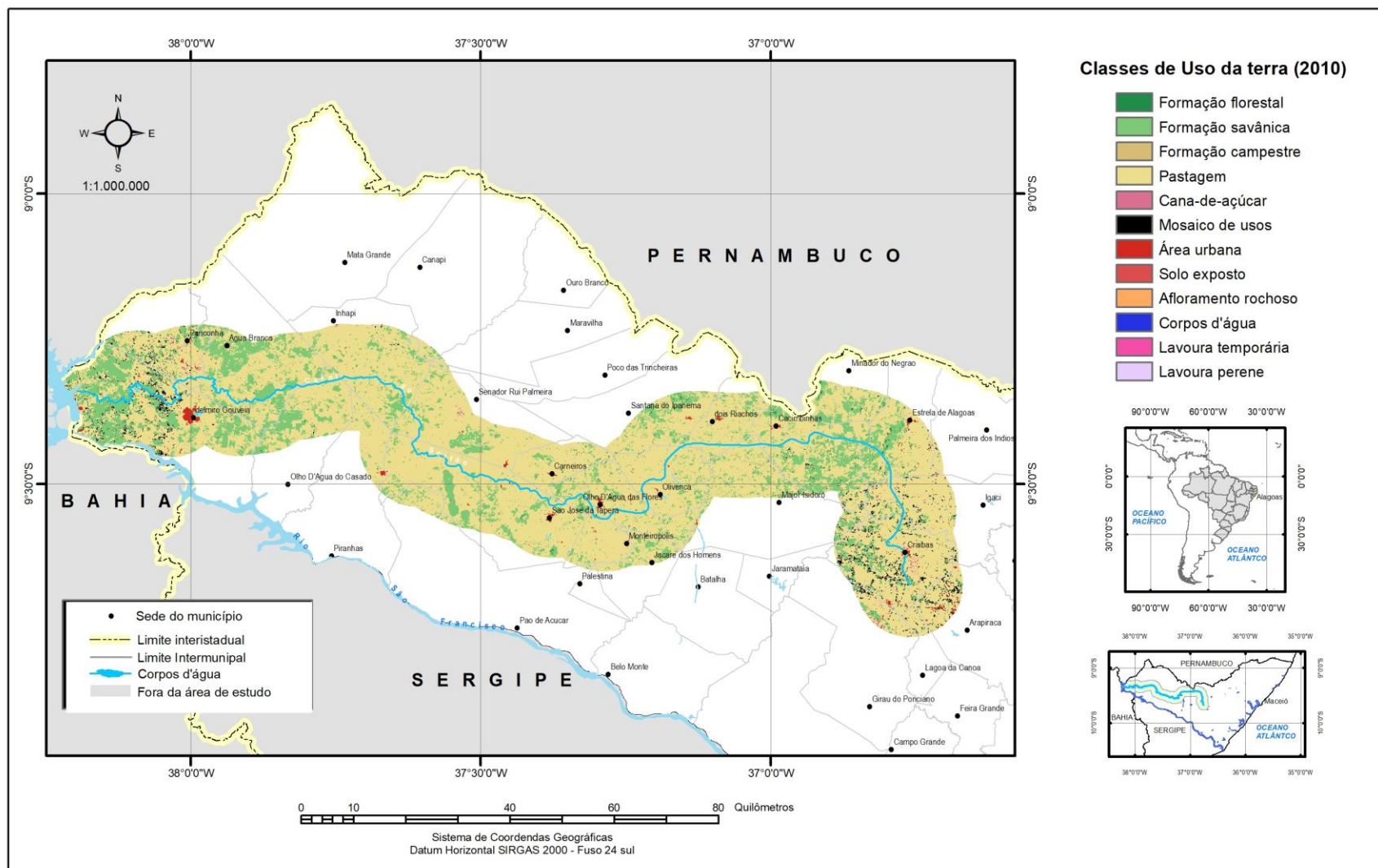
As áreas urbanizadas foi outra classe de uso da terra que apresentou considerável alteração espacial ao longo das últimas duas décadas. Entre os períodos de 2000 a 2024, a referida classe passou respectivamente de 2.243 hectares para 6.070 hectares, Tal fato reflete não apenas crescimento demográfico, mas também expansão de infraestruturas, serviços e assentamentos diretamente ou indiretamente associados ao desenvolvimento regional induzido pelo projeto hídrico. Estudos comparativos de uso e cobertura em contextos de desenvolvimento regional mostraram que áreas urbanas tendem a se expandir em resposta à melhoria de acesso à água e às condições de vida, intensificando pressões sobre os recursos naturais (Foley et al., 2005).

Figura 11- Uso da Terra, no ano de 2000 da área beneficiável do Canal do Sertão Alagoano



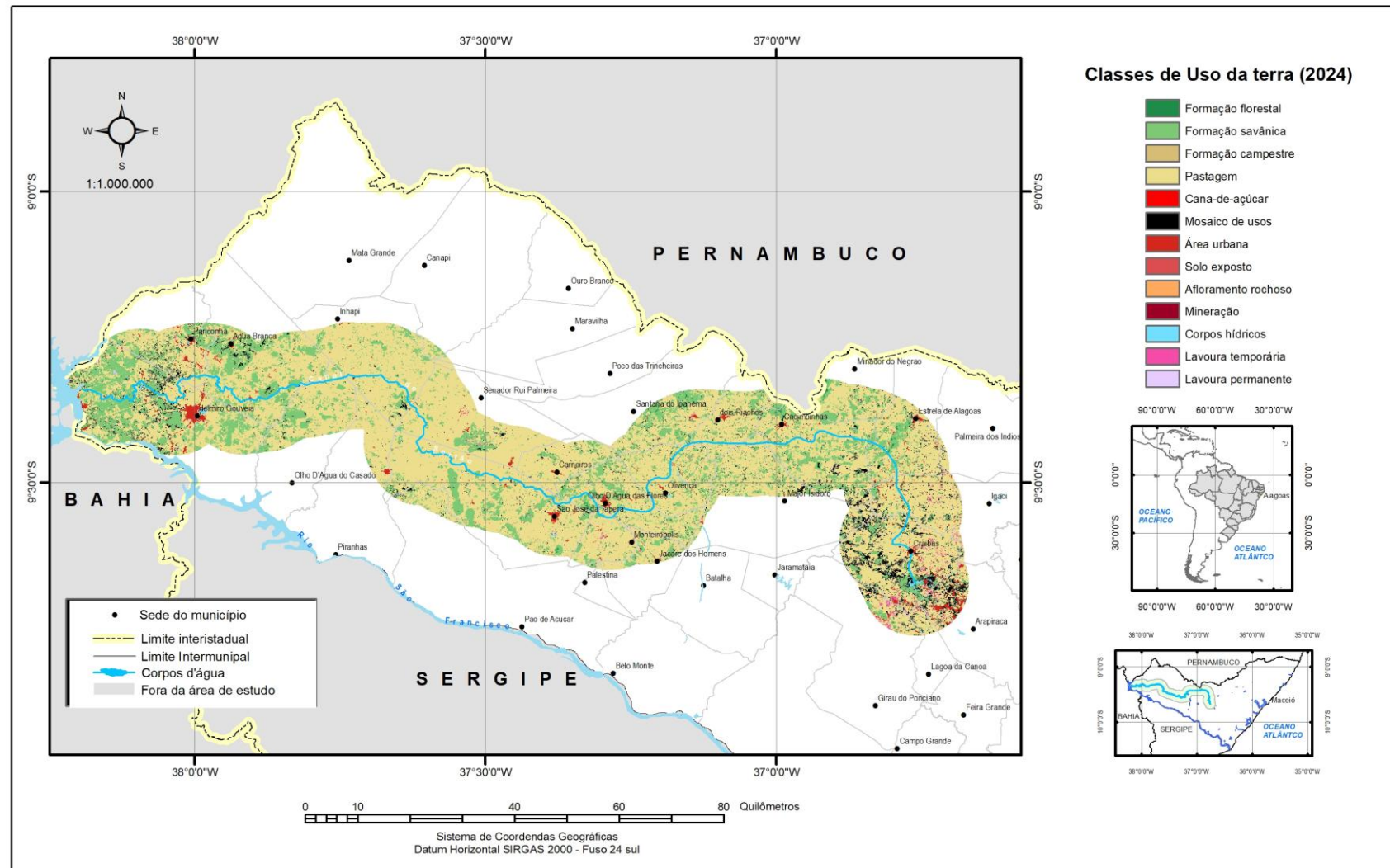
Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2025.

Figura 12- Uso e cobertura no ano de 2010 da área beneficiável do Canal do Sertão Alagoano



Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2025.

Figura 13-Uso e cobertura no ano de 2024



Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2025.

A integração dessas observações aos conceitos de pressão antrópica reforça que a descrição dos padrões de uso da terra deve ser acompanhada por uma interpretação de como tais mudanças impactam os recursos ambientais.

Nesse sentido, o uso intensivo da terra manifestado pela expansão de lavouras, urbanização e pelo surgimento da atividade de mineração, inexistente até 2010 constitui uma intervenção humana direta que compromete a resiliência de ecossistemas frágeis, como o semiárido e o agreste alagoano (Lambin; Geist, 2006; Medeiros; Gheyi; Soares, 2017).

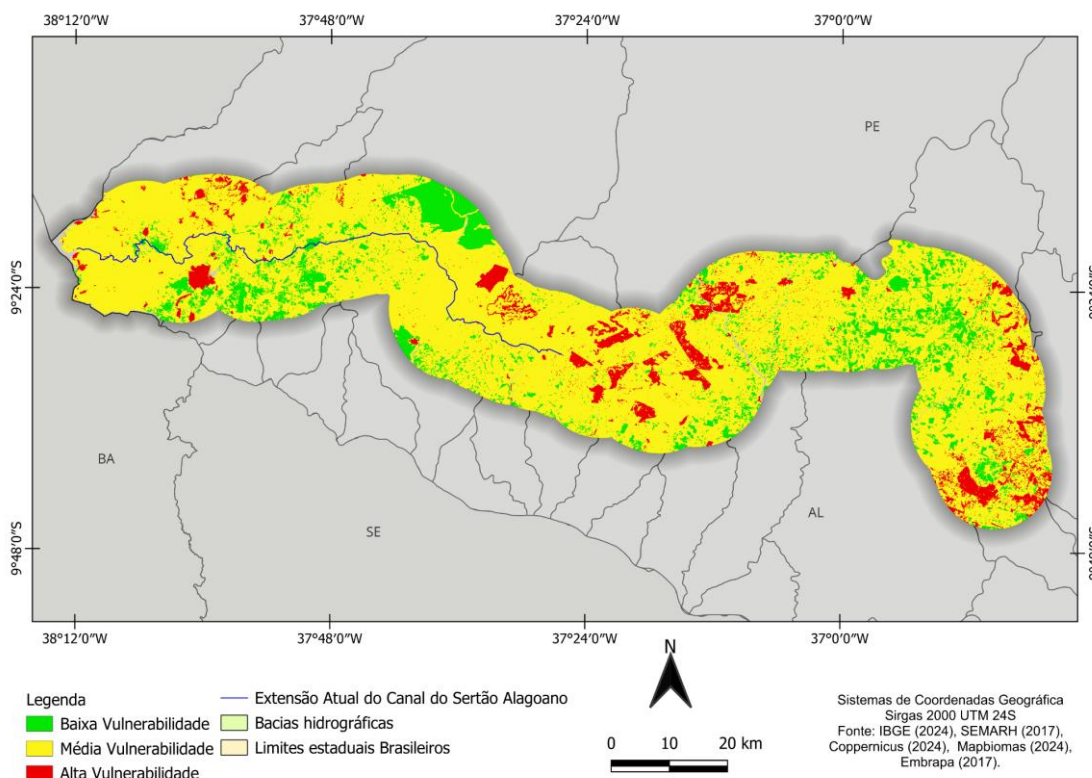
O aumento das áreas de solo exposto, que engloba tanto feições erosivas naturais (como ravinas e deslizamentos) quanto terras cultiváveis em períodos de entressafra, agrava a instabilidade ambiental local. Conforme apontam Turner II, Lambin e Reenberg (2007), esse cenário, derivado da supressão vegetal e do preparo intensivo da terra, potencializa a mobilização de sedimentos e reduz a capacidade de retenção de água e nutrientes, comprometendo diretamente o equilíbrio hidrológico e pedológico.

Paralelamente, o mosaico de usos apresentou um crescimento expressivo na área de estudo, saltando de 5.881 para 18.087 hectares. Essa classe caracteriza-se por áreas de uso agropecuário onde a transição entre pastagem e agricultura não é claramente distinguível, englobando paisagens que podem incluir pastagens abandonadas em estágios iniciais de regeneração natural ou zonas antropizadas inseridas em áreas protegidas. Além disso, essa categoria reflete a complexidade das ocupações periurbanas, representadas por chácaras, sítios, pequenas propriedades rurais e conjuntos habitacionais e também a construção do canal na porção oeste e central evidenciando uma fragmentação da paisagem e uma transição no uso da terra que dificulta a tipificação isolada de atividades rurais ou urbanas.

4.3 Identificação das áreas de vulnerabilidade socioambiental dos solos

A identificação das áreas de vulnerabilidade socioambiental dos solos constitui a síntese integradora deste estudo, unindo os fatores naturais e antrópicos analisados. O mapa resultante (**Figura 15**) expressa a vulnerabilidade pedológica à degradação produtiva por irrigação inadequada, obtida a partir da interação entre a vulnerabilidade natural e as pressões do uso da terra. Essa síntese foi viabilizada pela integração de cinco fatores condicionantes, sendo eles: classes de solo, uso e cobertura da terra, geologia, geomorfologia e declividade, ponderados pelo método AHP, conforme detalhado na metodologia. Dessa forma, o produto cartográfico final não representa apenas a fragilidade física do meio, mas a suscetibilidade do sistema solo frente às intervenções humanas na área beneficiável do Canal do Sertão Alagoano.

Figura 14- Áreas de vulnerabilidade socioambiental dos solos na área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano



Elaboração: Jeilson Rodrigues da Silva Junior, 2026.

Analisando a Tabela 3 é possível verificar que na área de estudo foram mapeados baixa, média e alta vulnerabilidade socioambiental. Dentre as classes de identificadas, as áreas de média vulnerabilidade socioambiental registraram a maior ocorrência, com 320.659,36 hectares (64,18%). A predominância de média vulnerabilidade socioambiental ao longo da área objeto deste estudo, configurando uma faixa contínua que acompanha a extensão do Canal do Sertão Alagoano, indica uma dinâmica espacial em que fatores naturais e antrópicos coexistem de forma equilibrada, porém com potencial de alteração sob mudanças no uso do solo, o que é consistente com estudos que ressaltam a importância do uso da terra para a vulnerabilidade ambiental de solos em regiões semiáridas brasileiras (Oliveira et al., 2024).

Tabela 3 – Valores de vulnerabilidade socioambiental

Intervalos de vulnerabilidade socioambiental	Área	
	Hectares	%
Baixo	95.406,9	17,95
Média	320.659,36	64,18
Alta	84.777,76	15,95

Elaboração: Autor, 2025.

As áreas mapeadas como baixa vulnerabilidade socioambiental ocupam 1795% (95.406,9 hectares), estão fragmentadas e associadas a setores com menor intensidade de pressão antrópica e condições naturais relativamente estáveis. Por sua vez, as porções mapeadas como alta vulnerabilidade socioambiental ocupam apenas 15,95% (84.777,76 hectares), mas revelam zonas específicas onde a combinação entre fragilidade natural e influência humana intensifica os riscos de degradação do solo. Adicionalmente, identificou-se uma lacuna cartográfica de 10.185,56 hectares por meio da ferramenta Diferença, correspondente às superfícies hídricas não catalogadas nas bases de dados de vulnerabilidade originais. Este montante refere-se especificamente à calha principal do Rio São Francisco no ponto de captação, aos espelhos d'água adjacentes e ao próprio leito da transposição do Canal do Sertão Alagoano.

As áreas mapeadas como alta vulnerabilidade socioambiental refletem a sobreposição de características naturais limitantes e usos da terra que intensificam a pressão sobre o meio físico, tais como áreas agrícolas, pastagens e superfícies com cobertura vegetal reduzida. Esse padrão corrobora a literatura que associa práticas de uso do solo menos sustentáveis à amplificação dos processos de degradação, elevando a perda de solo, a compactação e a alteração da qualidade ambiental (Rocha; Santos, 2025).

A média vulnerabilidade socioambiental, a mais representativa no mapeamento do presente estudo, conforme já mencionado, delimita áreas em que os fatores naturais e antrópicos se encontram em relativo equilíbrio. Embora essas áreas não apresentem fragilidade extrema, elas demandam atenção no manejo do uso do solo, pois alterações na cobertura vegetal ou intensificação das atividades produtivas podem elevar rapidamente seu nível de vulnerabilidade, o que está em consonância com abordagens multicritério vistas em avaliação ambiental no semiárido (Garrido; Nascimento, 2025).

As áreas de baixa vulnerabilidade socioambiental concentram-se em ambientes com solos mais profundos, relevo suave e maior cobertura vegetal, associados a usos da terra de menor impacto. Elas demonstram uma maior capacidade de suporte às atividades humanas, embora ainda possam ser afetadas por mudanças intensas no padrão de uso e ocupação. Um aspecto destacado em análises de vulnerabilidade ambiental que ressaltam a influência conjunta de fatores naturais e antrópicos na estabilidade dos sistemas de solo conforme visto em estudos realizados por Santos (2019).

A distribuição espacial das classes de vulnerabilidade ao longo da faixa beneficiável do Canal do Sertão Alagoano evidencia que essa infraestrutura hídrica está inserida em um território

com distintos níveis de suscetibilidade socioambiental. Em trechos com predominância de classes de média a alta vulnerabilidade, a introdução ou intensificação de atividades agrícolas irrigadas pode amplificar os riscos de degradação dos solos, caso práticas de manejo e conservação sejam insuficientes ou inadequadas, o que destaca o papel do ordenamento territorial e da gestão sustentável dos recursos naturais no planejamento ambiental (Oliveira et al., 2024).

Os resultados obtidos permitem corroborar a hipótese central deste estudo, uma vez que se verificou a predominância de solos com baixo grau de desenvolvimento pedogenético, especialmente Planossolos e Neossolos, os quais apresentam limitações físicas e maior suscetibilidade à degradação. Além disso, a análise multitemporal do uso da terra evidenciou a expansão significativa das áreas agrícolas entre 2000 e 2024, particularmente em setores que coincidem com zonas de média a alta vulnerabilidade socioambiental. Essa sobreposição espacial entre fragilidade natural e intensificação do uso antrópico configura um cenário de risco ambiental crescente na área de influência do Canal do Sertão Alagoano, confirmando a hipótese proposta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida ao longo deste estudo revelou a complexidade socioambiental da área beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano, evidenciando como fatores naturais e antrópicos se entrelaçam na configuração da vulnerabilidade dos solos. O refinamento do mapeamento pedológico, aliado à análise multitemporal do uso e cobertura da terra, permitiu compreender de forma mais precisa as transformações territoriais ocorridas nas últimas duas décadas e seus reflexos sobre a estabilidade ambiental da região.

Os resultados demonstraram que a chegada do Canal do Sertão representou um marco na reconfiguração produtiva do território. A disponibilidade hídrica, historicamente limitante no semiárido alagoano, viabilizou a expansão da agricultura irrigada e o crescimento urbano, alterando profundamente a dinâmica de uso do solo. No entanto, essa transformação não ocorreu de forma homogênea: enquanto algumas áreas apresentam baixa vulnerabilidade socioambiental, outras exibem fragilidades que demandam atenção urgente.

A predominância da classe de média vulnerabilidade ao longo da área de influência do Canal indica que o território se encontra em um ponto de equilíbrio delicado. Isso significa que decisões inadequadas de manejo ou a intensificação descontrolada das atividades produtivas podem rapidamente elevar os níveis de degradação, comprometendo não apenas a qualidade dos solos, mas também a sustentabilidade dos sistemas agrícolas que dependem deles.

As manchas de alta vulnerabilidade identificadas merecem destaque especial. Nessas áreas, a combinação entre solos rasos, relevo mais movimentado e pressão antrópica intensificada cria um cenário propício à erosão, perda de fertilidade e degradação estrutural. A presença crescente de solo exposto e o surgimento de atividades mineradoras agravam ainda mais esse quadro, sinalizando processos de degradação que podem se tornar irreversíveis se não forem adequadamente mitigados.

Por outro lado, as áreas de baixa vulnerabilidade demonstram que é possível conciliar desenvolvimento e conservação ambiental. Essas porções do território, caracterizadas por solos mais profundos, cobertura vegetal preservada e usos menos impactantes, constituem exemplos de como o manejo adequado pode garantir a sustentabilidade das atividades produtivas a longo prazo. O mapeamento integrado de vulnerabilidade socioambiental produzido neste estudo não representa apenas um diagnóstico técnico, mas uma ferramenta essencial para o planejamento territorial. Em um contexto onde grandes investimentos em infraestrutura hídrica estão sendo realizados, torna-se fundamental que as decisões de uso e ocupação do solo considerem as capacidades e limitações de cada porção do território.

Por fim, é importante reconhecer que a sustentabilidade do desenvolvimento regional depende do compromisso com práticas de manejo que respeitem as características naturais dos solos e minimizem os impactos ambientais. O Canal do Sertão Alagoano trouxe oportunidades inquestionáveis, mas também responsabilidades. Cabe aos gestores públicos, produtores rurais e à sociedade como um todo garantir que o potencial produtivo dessa região seja explorado de forma consciente, preservando os recursos naturais para as gerações futuras.

5.1 Conclusões

Este estudo alcançou seu objetivo de identificar e espacializar as áreas de vulnerabilidade socioambiental dos solos na região beneficiável pelo Canal do Sertão Alagoano, integrando análises pedológicas, geomorfológicas e de uso da terra por meio de métodos multicritério e lógica fuzzy. O refinamento do mapeamento pedológico da EMBRAPA mostrou-se essencial para representar com maior precisão a heterogeneidade dos solos da região.

A reclassificação das unidades pedológicas, apoiada em variáveis morfométricas e geomorfológicas, permitiu diferenciar solos com distintos graus de desenvolvimento e suscetibilidade à degradação, desde Latossolos profundos e bem drenados até Neossolos rasos e Planossolos com limitações estruturais.

A análise multitemporal do uso e cobertura da terra para os anos de 2000, 2010 e 2024 revelou transformações profundas na paisagem regional. A expansão das lavouras temporárias de 60 ha para mais de 2.000 ha, o crescimento urbano que elevou as áreas construídas de 2.243 ha para 6.070 ha, e o surgimento de atividades mineradoras evidenciam o impacto direto da infraestrutura hídrica na reconfiguração territorial. Essas mudanças, embora representem avanços socioeconômicos, intensificam as pressões sobre os recursos naturais, especialmente em um ambiente semiárido historicamente vulnerável.

O mapeamento de vulnerabilidade socioambiental dos solos identificou três classes principais: baixa, média e alta vulnerabilidade. A predominância da classe média indica que grande parte do território se encontra em situação de equilíbrio instável, onde alterações no manejo podem rapidamente agravar os processos de degradação. As áreas de alta vulnerabilidade, embora menos extensas, concentram-se em setores onde a fragilidade natural dos solos se soma à pressão antrópica intensificada, demandando medidas prioritárias de conservação.

A metodologia empregada, baseada na integração de análise hierárquica de processos (AHP) e lógica fuzzy, mostrou-se adequada para sintetizar múltiplos fatores ambientais e antrópicos em um único produto cartográfico. Essa abordagem permitiu ponderar adequadamente a importância relativa de cada variável e modelar as transições graduais entre as classes de vulnerabilidade, superando as limitações das classificações dicotômicas tradicionais.

Os resultados obtidos confirmam que a disponibilização de recursos hídricos pelo Canal do Sertão Alagoano, embora tenha viabilizado o desenvolvimento agrícola da região, trouxe consigo desafios ambientais que não podem ser negligenciados. A conversão de áreas naturais em lavouras e pastagens, a redução da cobertura vegetal e o aumento do solo exposto são processos que comprometem a resiliência dos ecossistemas e aceleram a degradação dos solos.

Conclui-se, portanto, que o planejamento territorial na área de influência do Canal do Sertão Alagoano deve necessariamente incorporar critérios de vulnerabilidade socioambiental. As áreas classificadas como de alta vulnerabilidade requerem restrições de uso e adoção de práticas conservacionistas rigorosas, enquanto as áreas de média vulnerabilidade demandam monitoramento contínuo e manejo adequado para evitar sua transição para classes mais críticas. Somente por meio de uma gestão integrada, que considere as potencialidades e limitações de cada porção do território, será possível conciliar o desenvolvimento regional com a conservação dos recursos naturais.

5.2 Recomendações

Recomenda-se a implantação de um sistema contínuo de monitoramento da qualidade dos solos, com avaliação periódica de indicadores de degradação e atualização dos mapas de uso e cobertura da terra por sensoriamento remoto e validação de campo. Esse acompanhamento permitirá identificar precocemente processos de degradação, especialmente em áreas de média e alta vulnerabilidade, possibilitando ações preventivas.

Também é sugerida a definição de áreas prioritárias para recuperação ambiental, concentrando esforços nas zonas de alta vulnerabilidade, onde a combinação entre fragilidade natural e pressão antrópica aumenta o risco de degradação. Nessas áreas, devem ser adotadas práticas de restauração da cobertura vegetal, controle da erosão e, quando necessário, restrição de usos intensivos, visando aumentar a resiliência ambiental regional.

6 REFERÊNCIAS

- A, Cícero Ferreira de. *Campesinato e migração em Alagoas*. Maceió: Edufal, 2017.
- ALAGOAS. Decreto nº 40.183, de 14 de abril de 2015. Dispõe sobre a administração do Canal Adutor do Sertão Alagoano [...].
- ALAGOAS. Portaria nº 496, de 15 de setembro de 2016. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos.
- ALMEIDA, Alison Van Der Linden de et al. Atributos físicos, macro e micromorfológicos de Neossolos Regolíticos [...]. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 1235–1246, 2015.
- ALVES, J. R. et al. Dinâmica do uso da terra e infraestrutura hídrica no semiárido brasileiro. *Revista de Geografia Ambiental*, 2022.
- ALVES, J.; NEVES, P.; SILVA, R. Aplicação de Índice de Transformação Antrópica [...]. *Revista Brasileira de Geografia Ambiental*, 2023.
- ANDRADE, E. de L. *Áreas de risco ambiental aos acidentes com transporte rodoviário de produtos perigosos [...]*. 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFAL, Maceió, 2016.
- ANDRADE, E. K. P. et al. Estudos de periodicidades [...]. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 3, n. 1, p. 100–117, 2018.
- ANDRADE-LIMA, Dárdano de. The caatingas dominium. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 4, n. 2, p. 149–153, 1981.
- AQUINO, C. M. S.; VALLADARES, G. S. Geografia, geotecnologias e planejamento ambiental. *Geografia*, v. 22, n. 1, p. 117–138, 2013.
- ARAÚJO FILHO, J. C. de. *Horizontes cimentados em argissolos [...]*. São Paulo: USP, 2003.

- ARAÚJO, Carlos Eduardo. *História econômica de Alagoas*. Recife: EdUFPE, 2004.
- ASSIS, J. S. de. *Um projeto de unidades de conservação para o Estado de Alagoas*. 1998. Tese (Doutorado) – UNESP, Rio Claro, 1998.
- KHANDAY, Azhar Rashid. To examine the impact of canal irrigation systems [...]. *International Journal for Research Publication and Seminar*, v. 15, n. 1, p. 217–223, 2024.
- BARCELLOS, Christovam; BASTOS, Francisco Inácio. Geoprocessamento, ambiente e saúde [...]. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 12, n. 3, p. 389–397, 1996.
- BARROS, A. H. C. et al. *Climatologia do Estado de Alagoas*. Embrapa, 2012.
- BEN, F. Utilização do método AHP em decisões de investimento ambiental. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006.
- BERNARDES, L. M. C. Notas sobre o clima da bacia do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Geologia*, v. 13, n. 3, p. 473–489, 1951.
- BERROUET, L. M. et al. A systematic review of vulnerability [...]. *Ecological Indicators*, 2018.
- BERROUET, Lina María; MACHADO, Jenny; VILLEGAS-PALACIO, Clara. Vulnerability [...]. *Ecological Indicators*, v. 84, p. 632–647, 2018.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 10. ed. São Paulo: Ícone, 2017.
- BIELECKA, E. Análise espacial e autocorrelação em SIG [...]. *Geosciences*, v. 10, n. 11, p. 421, 2020.
- BOMFIM, J. A. F. S.; NASCIMENTO, M. C. do. Canal do Sertão de Alagoas [...]. *Revista Contexto Geográfico*, v. 8, n. 16, p. 100–113, 2023.
- BRASIL. CPRM. Projeto cadastro de fontes de abastecimento [...]. Recife: CPRM, 2005.
- BRAZ FILHO, P. A. Prospecto turfa (Baixo Rio São Francisco). Salvador: CPRM, 1980.
- BÜNDNIS ENTWICKLUNG HILFT. *WorldRiskReport 2016*. Berlin, 2016.
- BURNEY, Jennifer et al. Climate change adaptation [...]. *Climatic Change*, v. 126, p. 45–59, 2014.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. U. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. INPE, 2001.
- CAMARGO JUNIOR, C. L.; MAGGI FILHO, G. O. Protótipo de sistemas de irrigação [...]. 2022. TCC – PUC Goiás.
- CASAL. *Carta anual de políticas públicas e governança corporativa 2024*.

- CASAL. Governo transfere administração do Canal do Sertão. 2023.
- CASTELAO, R. A. et al. Employment, income and environment [...]. *Ciência e Natura*, v. 42, 2022.
- CAVALCANTI, A. P. B.; RODRIGUEZ, J. M. M. O meio ambiente [...]. Fortaleza: UFC, 1997.
- CHAVEZ JR., P. S. Remote sensing techniques [...]. *Remote Sensing of Environment*, 1988; 1989.
- CHOW, V. T. *Open channel hydraulics*. New York: McGraw-Hill, 1959.
- CHUADHARY, A. K. *Irrigation sector development*. 2020.
- CREPANI, E. et al. *Sensoriamento remoto aplicado ao ZEE*. INPE, 2001.
- CREPANI, E. et al. Vulnerabilidade ambiental [...]. INPE, 2001.
- CRIADO, R. C.; PIROLI, E. L. Geoprocessamento [...]. *Revista Geonorte*, 2012.
- CRUZ, F. R. S. et al. Vulnerabilidade socioeconômica [...]. *Scientia Plena*, 2013.
- CUTTER, S. L. et al. Social vulnerability [...]. *Social Science Quarterly*, 2003.
- CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L. Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 2003.
- DA COSTA, Miriam Monteiro et al. Family agriculture in mesoregions of the state of Alagoas, Brazil: analysis from the production of rural settlements. *African Journal of Agricultural Research*, v. 18, n. 5, p. 340–345, 2022.
- DA SILVA JÚNIOR, Ivanildo Batista et al. Space-time variability of drought characteristics in Pernambuco, Brazil. *Water*, v. 16, n. 11, p. 1490, 2024.
- DA SILVA, Flávio Argemiro. Impactos do saneamento “in situ” nas águas da bacia hidrográfica do riacho Piauí: perímetro urbano do município de Arapiraca (AL). *Revista Ambientale*, v. 3, n. 3, p. 99–107, 2012.
- DE AGUIAR, Maria Ivanilda et al. Florística e estrutura vegetal em áreas de Caatinga sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 39, 2019.
- DE AMORIM, José Francisco Oliveira; DOS PRAZERES, Rodolfo Vilar; DOS SANTOS, Clélio. O desenvolvimento do APL de confecções: um estudo socioeconômico sobre o Agreste pernambucano. *Revista Economia Política do Desenvolvimento*, v. 7, n. 19, p. 39–56, 2016.
- DE DONATIS, Mauro; PAPPAFICO, Giulio Fabrizio. Applying a geographic information system and other open-source software to geological mapping and modeling: history and case studies. *Geomatics*, v. 3, n. 4, p. 465–477, 2023.

DE LIMA, M. B. et al. Determinação do coeficiente de cultivo do amendoim BR 1 para o Agreste Alagoano. *South American Sciences*, v. 1, n. 2, p. e2082, 2020. DOI: 10.17648/sas.v1i2.82. Disponível em: [Acessar artigo](#). Acesso em: 5 maio 2025.

DE QUEIRÓZ, Andreza Galindo Alves; DE MACÊDO, Dartagnan Ferreira; REIS JÚNIOR, Márcio Antônio Gomes. Degradação ambiental no Sertão de Alagoas: um estudo sobre um programa de fiscalização socioambiental. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 7, n. 3, p. 191–214, 2018.

DIMANOVA, Donika. Geographical information systems and their application in various fields. *Journal Scientific and Applied Research*, v. 27, n. 1, p. 90–96, 2024.

DO CARMO BRITO, Thyago Rodrigues et al. Mudanças no uso da terra e efeito nos componentes do balanço hídrico no Agreste pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 2, p. 870–886, 2020.

DOS SANTOS COSTA, Isabelly et al. Mapeamento da precipitação em uma região do Nordeste brasileiro por meio de técnicas geoestatísticas. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 5, p. 761–769, 2021.

DOS SANTOS, Ana Carolina Pires; MATSUOKA, Jaqueline Vicente. Identificação de áreas aptas à instalação de estação de tratamento de esgoto descentralizadas no município de Monte Carmelo-MG utilizando o método AHP e álgebra de mapas. *Revista GeTeC*, v. 10, n. 34, 2021.

DOS SANTOS, Anderson Moreira Aristides; OLIVEIRA, José Jefferson Barbosa; DOS SANTOS, Manoel Silva. Evolução da pobreza e da desigualdade de renda nas áreas rurais e urbanas dos municípios do Sertão de Alagoas no período 2000–2010. *Revista Economia Política do Desenvolvimento*, v. 7, n. 18, p. 9–34, 2016.

DOS SANTOS, Daris Correia et al. Precipitation variability using GPCC data and its relationship with atmospheric teleconnections in Northeast Brazil. *Climate Dynamics*, v. 61, n. 11, p. 5035–5048, 2023.

DOS SANTOS, Wilma Roberta et al. Carbon and nutrient dynamics in landscapes under different levels of anthropogenic intervention in the semi-arid region of Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 368, p. 109020, 2024.

EASTMAN, J. R. *IDRISI/TerrSet manual: geospatial monitoring and modeling*. Clark University, 2016.

EMBRAPA. Climatologia do Estado de Alagoas. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, n. 211. Recife: Embrapa Solos, 2012.

EMBRAPA. *Solos do município de Delmiro Gouveia - Estado de Alagoas*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FANTINEL, Roberta Aparecida; BENEDETTI, Ana Caroline Paim. Avaliação dos fatores influentes na vulnerabilidade à erosão do solo [...]. *Ciência e Natura*, v. 38, n. 1, p. 156–163, 2016.

FERREIRA, Francisco; LEITE, Ana Maria de Almeida. A marca do tropeirismo e os caminhos do gado em Alagoas. *Diversitas Journal*, v. 5, n. 2, 2020. Disponível em: [Acessar artigo](#). Acesso em: 2 jul. 2025.

FERREIRA, José Robson Gonçalves; LEITE, Angela Maria Araújo. A marca do tropeirismo e os caminhos do gado em Alagoas. *Diversitas Journal*, v. 5, n. 1, p. 122–129, 2020. DOI: 10.17648/diversitas-journal-v5i1-1031.

FILIPPINI ALBA, M. *Agricultura de precisão: integração de dados espaciais e tomada de decisão*. Brasília: Embrapa, 2014. Disponível em: [Acessar documento](#). Acesso em: 29 dez. 2025.

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. *Science*, v. 309, n. 5734, p. 570–574, 2005.

FRAGA, Nilson Cesar; BUENO, Victória Jandira. A ideia de sertão na formação socioterritorial brasileira [...]. *Revista Caminhos da Geografia*, 2023.

FRAGA, Rosana; BUENO, Gustavo. Sertão: categoria e memória na formação do território brasileiro. *Revista GeoNordeste*, v. 34, n. 1, p. 56–72, 2023.

FRANCH-PARDO, I. et al. Uso de SIG na vigilância epidemiológica [...]. *BMC Health Services Research*, v. 24, p. 583–597, 2024. Disponível em: [Acessar artigo](#). Acesso em: 29 dez. 2025.

FREIMAN, P.; CARVALHO, L. Modelagem multicritério com lógica fuzzy [...]. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 2, p. 45–59, 2023.

FREIMAN, P.; SANTOS, R. Aplicação de métodos multicritério [...]. *Geociências*, v. 39, n. 3, p. 299–315, 2020.

FREIRE, Neison Cabral Ferreira et al. The lagoons of Alagoas in the Caatinga biome [...]. *Caminhos de Geografia*, v. 23, n. 87, p. 36–52, 2022.

FREIRE, O.; PESSOTTI, J. E. S. Erodibilidade dos solos do Estado de São Paulo. *Anais da ESALQ*, v. 31, p. 333–350, 1974.

FUSHIMI, M. *Fragilidade ambiental e vulnerabilidade social: fundamentos teóricos e metodológicos*. 2012. Dissertação (Mestrado) – UNESP.

GIRÃO, I. R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos [...]. *Revista de Geociências do Nordeste*, 2018.

GOMES, H. B. *Distúrbios ondulatórios de leste no nordeste brasileiro*. 2012. Tese (Doutorado) – USP.

GRIGORESCU, I. et al. Vulnerability assessment using GIS-based indicators. *Sustainability*, 2021.

GRIGORESCU, Ines et al. Socio-economic and environmental vulnerability [...]. *Environmental Research*, v. 192, p. 110268, 2021.

GUAJU – REVISTA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO TERRITORIAL SUSTENTÁVEL. Irrigação e mudanças no uso e cobertura da terra no semiárido brasileiro, 2025.

HENKES, Silviana L. A política, o direito e o desenvolvimento: um estudo sobre a transposição do rio São Francisco. *Revista Direito GV*, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 497–534, 2014.

HENKES, Silviana Lúcia. *A política, o direito e o desenvolvimento: um estudo sobre a transposição do rio São Francisco*. Curitiba: Juruá, 2014.

HOARE, E. R. Irrigation in semi-arid regions. *Outlook on Agriculture*, v. 5, n. 4, p. 139–143, 1967.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. História do município de São José da Tapera. Disponível em: [Histórico do município](#). Acesso em: 1 jun. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Bases de dados sobre os municípios alagoanos. Disponível em: [Bases de dados IBGE](#). Acesso em: 3 set. 2016.

IPCC. *Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

KREIS, Marjorie Beate et al. Transpiration from crystalline unconfined aquifers as the cause of groundwater salinization in a semiarid area of Brazil. *Hydrogeology Journal*, v. 32, n. 3, p. 739–758, 2024.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (ed.). *Soil erosion research methods*. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141–160. Disponível em: [Capítulo do livro](#). Acesso em: 24 set. 2024.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J. *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts*. Berlin: Springer, 2006.

CRUZ, C. Lauria Zenke da; CRUZ, C. Bernadete Madureira. Avaliação da exatidão temática da cobertura e uso da terra representada através do MapBiomias no Rio de Janeiro. *GEOgraphia*, v. 23, n. 50, 2021.

LE CAM, Lucien. Maximum likelihood: an introduction. *International Statistical Review*, p. 153–171, 1990.

LEAL, Inara R.; TABARELLI, Marcelo; SILVA, José Maria Cardoso da. *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005.

LIBERATO, José Senivaldo. A mudança da monocultura do fumo no agreste alagoano: seus arranjos produtivos locais e os impactos na estrutura social. *International Journal of Professional Business Review*, v. 1, n. 2, p. 66–75, 2016.

LIMA, Alane Rodrigues de et al. Desenvolvimento regional no semiárido: o caso do médio sertão de Alagoas, 2024.

LIMA, I. F. *Fundamentos geográficos do meio físico do Estado de Alagoas*. Maceió: Governo do Estado de Alagoas; SEPLAN; SUDENE, 1977. 106 p. (Série: Estudo de Regionalização, v. 3).

LINS, Janieide da Silva et al. A importância da agricultura familiar no semiárido alagoano: o caso da feira da agricultura familiar em Santana do Ipanema, Alagoas, 2021.

LOPES DA SILVA, Ana Paula et al. Parâmetros de qualidade de água em nascentes no município de Olho D'Água do Casado, semiárido alagoano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 6, p. 2271–2284, 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v12.6.p2271-2284. Disponível em: [Artigo completo](#). Acesso em: 9 maio 2025.

MAIA, Joselanne Luiza Trajano; RIBEIRO, Mateus Rosas. Propriedades de um Argissolo Amarelo fragipânico de Alagoas sob cultivo contínuo da cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, p. 79-87, 2004.

MAPBIOMAS. Coleção 10: séries temporais de uso e cobertura da terra no Brasil. Acesso público.

MAYS L. W., KOUTSOYIANNIS D. and ANGELAKIS A. N. A brief history of urban water supply in antiquity. *Water Science & Technology: Water Supply*. 7(1), 1–12, 2007. 10.2166/ws.2007.001.

MDS. Ministério de Desenvolvimento Social. Relatório de Informações do Bolsa Família e Cadastro Único. Disponível em: Acesso em 03 de setembro de 2016.

MEDEIROS, C. N. et al. Indicadores de vulnerabilidade socioambiental integrados em SIG. *Research, Society and Development*, 2020.

MEDEIROS, PSC de et al. Caracterização de Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos do RS e análise do seu potencial agrícola. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2007.

MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L. Uso da terra e impactos ambientais no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2017.

MENDES, G. S. Vulnerabilidade erosiva de solos e socioeconomia no semiárido pernambucano. Dissertação (Mestrado). UFPE, 2016.

MENDES, V. S.; PINHEIRO, D. M. A. ANÁLISE DE SUSTENTABILIDADE E APOIO EXTENSIONISTA EM COMUNIDADE RURAL NO SEMI-ÁRIDO ALAGOANO. *Revista Contemporânea, [S. l.]*, v. 4, n. 10, p. e6066, 2024. DOI: 10.56083/RCV4N10-065.

Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/6066>. Acesso em: 5 maio. 2025.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas na Caatinga (PPCaatinga)**. Brasília: MMA, 2011.

MORAIS, Izabel de. Ciganos Calon e mobilidade territorial no município de Carneiros, Alagoas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

MORAIS, J.; FADUL, É.; CERQUEIRA, L. Limites e desafios na gestão de recursos hídricos por comitês de bacias hidrográficas: um estudo nos estados do nordeste do Brasil. *REAd. Revista Eletrônica de Administração*, Porto Alegre, v. 24, n. 1, p. 238-264, 2018.

MORC, Dalton Aureo. A tradição espacial na Geografia. *GEOGRAFIA*, p. 53-64, 1999.

Nacional de Engenharia de Produção, v. 26, p. 1-8, 2006.

NASCIMENTO, Sheylla Patrícia Gomes do et al. Influência do clima a partir da análise da precipitação pluviométrica no Município de Pão de Açúcar, Semiárido Alagoano, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 9, n. 22, p. 981-993, 2022.

NETO, Manoel Cirício Pereira. Fitogeografia da Caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (Brasil). *Revista Do Departamento De Geografia*, v. 44, p. e205638-e205638, 2024.

NG, Kang Choon. THE PHYSIOGRAPHY OF INDIA: AN OVERVIEW. *Quantum Journal of Social Sciences and Humanities, [S. l.]*, v. 2, n. 5, p. 50–64, 2021. DOI: [10.55197/qjssh.v2i5.95](https://www.qjssh.com/index.php/qjssh/article/view/95). Disponível em: <https://www.qjssh.com/index.php/qjssh/article/view/95>. Acesso em: 11 may. 2025.

NOGUEIRA, Euler Melo et al. Cutting of dry forests in a semiarid region of northeastern Brazil. *Regional Environmental Change*, v. 24, n. 1, p. 25, 2024.

OLIVEIRA SARAIVA-MAIA, J. J. et al. Vulnerabilidade à erosão do solo na bacia hidrográfica do baixo São Francisco. *Revista Contexto Geográfico*, 2024.

OLIVEIRA, A. N. S.; AMORIM, C. M. F.; LYRA-LEMOS, R. P. (Org.). As riquezas das áreas protegidas no território alagoano. Maceió: Instituto do Meio Ambiente de Alagoas; Mineração Vale Verde, 2014. 328 p.

PARANHOS FILHO, A.C.; MIOTO, C.L.; MARCATO JUNIOR, J. & TORRES, T.G. 2016. *Geotecnologias em Aplicações Ambientais*. Campo Grande: UFMS, 383 p.

PARAYBA, R. da B; SANTOS, J. C. P. dos; OLIVEIRA NETO. M. B. de; LEITE, A. P.; SILVA, M. S. L. da. *Potencial Agrícola do Município de Pariconha-AL*. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2008, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 132.

PEREIRA, L. et al. *Antropização da paisagem no município de Cáceres/MT: aplicação do Índice de Transformação Antrópica (ITA)*. *Revista Sapiência*, v. 13, n. 5, 2024.

PONZI, Gabriela Tombini et al. ANALYSIS OF SOCIO-ENVIRONMENTAL VULNERABILITY IN THE SOUTH OF RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL.

Revista Baru-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos, v. 10, n. 1, p. e13240-e13240, 2024.

PRADO, D. E. **As caatingas da América do Sul**. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (org.). *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: UFPE, 2003. p. 3–73.

QUARTAROLI, C. F.; BATISTELLA, M. Classificação digital de imagens de sensoriamento remoto: tutorial básico. 2006.

RABINOWITZ, Jonathan. Collective decision-making: the analytic hierarchy process. *Social Policy & Administration*, v. 26, n. 1, p. 87-97, 1992.

REIS, J. T. et al. Diagnóstico de vulnerabilidade socioambiental com apoio de geotecnologias. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2019.

RODRIGUES, J. A. M.; ANDRADE, A. C. de O.; VIOLA, M. R., MORAIS, M. A. V. Indicadores Hidrológicos para Gestão de Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins. *Revista Scientia Agraria (SA)*, n. 4, v. 16, p. 58-79, 2015.

RODRIGUEZ, J. M. M. *Apuntes de geografía de los paisajes*. Habana: Ed. MES, 1984.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia, USP*, 1994.

ROSS, J. L. S. *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. São Paulo: Contexto, 2012.

SAMPAIO, Everardo Valadares de Sá Barretto. **Overview of the Brazilian Caatinga**. In: BULLOCK, S. H.; MOONEY, H. A.; MEDINA, E. (org.). *Seasonally dry tropical forests*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. p. 35–63.

SANTOS FIRMINO, Paul Clívilan. OS ALICERCES DA FORMAÇÃO ECONÔMICA NO NORDESTE BRASILEIRO: UMA ANÁLISE A PARTIR DA SUB-REGIÃO AGRESTE. *Revista Contexto Geográfico, [S. l.]*, v. 4, n. 7, p. 42–53, 2019. DOI: 10.28998/contegeo.4i7.7165. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/contextogeografico/article/view/7165>. Acesso em: 5 maio. 2025.

SANTOS, Geovânia Ricardo dos; SANTOS, Jardel Estevam Barbosa dos; ARAUJO, Kallianna Dantas; COSTA, João Gomes da. COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E FITOSSOCIOLÓGICA EM AMBIENTE DE CAATINGA, NA ESTAÇÃO ECOLÓGICA CURRAL DO MEIO, ALAGOAS. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 37, p. e31804, 2020. DOI: 10.12957/geouerj.2020.31804. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/31804>. Acesso em: 6 jan. 2026

SANTOS, H. G. et al. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, Lucas Oliveira dos. Uniformidade e distribuição de água em sistema de aspersão linear móvel e autopropelido na cultura da cana-de-açúcar em Alagoas. 2023. Trabalho de

Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2023.

SANTOS, Márcio Aurélio Lins dos. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas. 2005. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SANTOS, Robson Xavier dos; CORREIA, Paloma Gomes; ALMEIDA, Ricardo Santos de. Canal do Sertão de Alagoas: território destinado para o agronegócio? *Diversitas Journal*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 153–161, 2020. DOI: 10.17648/diversitas-journal-v5i1-1067. Disponível em: https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/1067. Acesso em: 5 maio. 2025.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A. Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano. *Revista Brasileira de Engenharia. Agrícola e Ambiental*, v.16, n.8, p.871-880, 2012

SEMARH. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. Política Estadual de Recursos Hídricos. Encontro Nacional de Comitês de Bacias Hidrográficas. Maceió, 2014.

SILVA FILHO, J. O. da; HARTMANN, C. Impacto das políticas públicas de infraestrutura nas comunidades quilombolas do município de Água Branca, Alagoas. *COGNITIONIS Scientific Journal*, [S. l.], v. 7, n. 2, p. e437, 2024. DOI: 10.38087/2595.8801.437. Disponível em: <https://revista.cognitioniss.org/index.php/cogn/article/view/437>. Acesso em: 5 maio. 2025.

SILVA JUNIOR, J. Aplicações de lógica fuzzy em geoprocessamento para análise ambiental. *Revista REMOA*, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 125–140, 2025. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/18976>. Acesso em: 29 dez. 2025.

SILVA, Dyego Henrique Ferro. Estimativa da Erosividade das chuvas no Alto Sertão Alagoano através de modelos matemáticos. 2023. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca, Arapiraca, 2023.

SILVA, José Maria Cardoso da et al. **Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America**. Cham: Springer, 2017.

SILVA, Julianna Catonio da et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultura da cenoura irrigada no agreste alagoano. *Revista Ceres*, v. 65, p. 297-305, 2018.

SILVA, K. A. et al. Spatial variation in the structure and composition of the herbaceous community in a semiarid region of northeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, v. 73, p. 135-148, 2013.

SILVA, M. F.; BARBOSA, R. V. R. Regime de ventos em cidades de diferentes regiões geográficas de Alagoas a partir de dados meteorológicos recentes. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 31, 2022. DOI: 10.55761/abclima.v31i18.15606.

SILVA, Maria José. Sertão alagoano: colonização e desenvolvimento econômico. Maceió: EDUFAL, 1999.

SILVA, Paulo Rogério de Freitas. Configuração Espacial de Alagoas. Maceió: SertãoCult, 2021.

SILVA, R. B.; IORI, P.; SILVA, F. A. M. Proposição e validação de equações para estimativa da erosividade de dois municípios de São Paulo. *Irriga, Botucatu*, v.14, n.4, p.533-547, 2009.

SILVA, S. V. da .; PEREIRA, J. dos S. .; SANTOS, A. F. dos; MARTINS, J. dos S.; GOMES DA COSTA, J.; COSTA FILHO, W. S.. Physico-chemical and microbiological characteristics of water transported along the channel of the Alagoas “sertão”. *Revista Ambientale, [S. l.]*, v. 12, n. 4, p. 19–28, 2020. DOI: 10.48180/ambientale. v12i4.241. Disponível em: <https://periodicosuneal.emnuvens.com.br/ambientale/article/view/241>. Acesso em: 5 maio. 2025.

SILVA, Victor Uchôa Ferreira da. Zoneamento ambiental como instrumento de gestão para avaliação da vulnerabilidade ao processo de desertificação: análise do Município de Salgueiro – PE. 2007. 219 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

SILVA, Wanubya Maria Menezes; SILVA, Paulo Rogério de Freitas. DO TERRITÓRIO DA SECA À TERRITORIALIZAÇÃO DO CANAL DO SERTÃO EM ALAGOAS. *Geo UERJ, [S. l.]*, n. 36, p. e28890, 2020. DOI: 10.12957/geouerj.2020.28890. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/28890>. Acesso em: 5 maio. 2025.

SILVA, Wanubya Maria Menezes; SILVA, Paulo Rogério de Freitas. DO TERRITÓRIO DA SECA À TERRITORIALIZAÇÃO DO CANAL DO SERTÃO EM ALAGOAS. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, n. 36, p. e28890, 2020. DOI: 10.12957/geouerj.2020.28890. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/geouerj/article/view/28890>. Acesso em: 9 maio. 2025.

SIMÕES, Margareth et al. Mapeamento da vulnerabilidade à erosão hídrica dos solos brasileiros em função da dinâmica de uso e cobertura da terra – Subsídio às políticas de conservação de solo e água conduzidas pelo MAPA. *Embrapa Solos*, 2019.

SOUZA NETO, P. F. et al. Eventos extremos de temperatura máxima no Leste do Nordeste do Brasil relacionados ao ENOS. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 36, 2025. DOI: 10.55761/abclima.v36i21.18765.

SOUZA, Elnatan Bezerra de et al. Flora and physiognomy of Caatinga vegetation over crystalline bedrock in the northern Caatinga domain, Brazil. *Rodriguésia*, v. 73, p. e01252021, 2022.

SOUZA, J. M. N. ; OLIVEIRA, V. P. V. de . Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do nordeste brasileiro. *Mercator (Fortaleza. Online)*, v. I, p. 85-102, 2006.

SOUZA, Maria Isabel; TEIXEIRA, Keuler Hissa. Dinâmica demográfica e desenvolvimento territorial na região fumageira alagoana: evidências para Arapiraca, Alagoas. *Geosul*, v. 35, n. 74, p. 290-307, 2020.

TESTEZLAF, Roberto. Irrigação: métodos, sistemas e aplicações. Campinas: Unicamp, 2017.

TOMLIN, D. Geographic information systems and Cartographic Modeling. Prentice Hall, New York, 1990.

S, R. N. et al. Aplicação Do Método Ahp Para Gestores Na Escolha Do Tipo De Embalagem No Desenvolvimento De Novas Peças No Setor. Anais [...] XIV Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Resende, p. 16, 2017.

TORRES, C. J. F. et al. ANÁLISE INTEGRADA DA VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DO SOLO NO BAIXO CURSO DO RIO SÃO FRANCISCO.2017. Anais... XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ABRH. 2017.

TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: IBGE, 1997.

TURNER II, B. L.; LAMBIN, E. F.; REENBERG, A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. PNAS, 2007.

UFCG. DCA-DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS. Dados climatológicos do Estado de Alagoas: Campina Grande: UFCG-CTRN/DCA, 2015.

VAINFAS, Ronaldo. Dicionário do Brasil Colonial: 1500–1808. Rio de Janeiro: Objetiva, 2019

VAINFAS, Ronaldo. O sertão e os sertões na história luso-brasileira. 2019.

VARNES, D. J. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, 1984.

VASCONCELOS, Francisca Maria Teixeira. Agrohidronegócio e disputas territoriais em Alagoas: na busca de uma aproximação teórico-conceitual. Revista de Geografia, [S. l.], v. 34, n. 2, 2017. DOI: 10.51359/2238-6211.2017.229364. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/229364>. Acesso em: 5 maio. 2025.

VENTER, Oscar et al. Global terrestrial Human Footprint maps for 1993 and 2009. Scientific data, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2016.

VICENTE, Luiz Eduardo; PEREZ FILHO, Archimede. Abordagem sistêmica e Geografia. Geografia, v. 28, n. 3, p. 323-344, 2003.

WELFORD, Mark R. Physical Geography Bibliography. 2013.

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. Soil Science Society of America. Proceedings, Madison, v.33, n.1, p.131, jan./feb. 1969.

XAVIER, Patricia Dornellas et al. Paleoenvironmental context of fluvial soils in the driest region of Brazilian semiarid. Earth Surface Processes and Landforms, v. 50, n. 2, p. e70024, 2025.

XAVIER, Rafael Albuquerque; DORNELLAS, Patricia da Conceição. Caracterização ambiental do município de Arapiraca, Região Agreste de Alagoas. Revista Ambiental, v. 3, n. 3, p. 108-121, 2012.

YANG, Yuanyuan et al. A review of historical reconstruction methods of land use/land cover. Journal of Geographical Sciences, v. 24, n. 4, p. 746-766, 2014.

ZINCK, J. A. Relationships between geomorphology and pedology: brief review. *Geopedology: An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies*, p. 19-34, 2023.

ROSSETTI, José Paschoal. **Introdução à Economia**. 20. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

SANTOS, Emanuel Castro dos. **Vulnerabilidade socioambiental na evolução temporal do uso solo da bacia hidrográfica do rio Pindaré-MA**. 2020. 138 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, 2020.

DE BRUIN, S.; STEIN, A. Soil-landscape modelling using fuzzy c-means clustering of attribute data derived from a digital elevation model (DEM). **Geoderma**, v. 83, n. 1-2, p. 17-33, 1998.

IPPOLITI R, Gabriela A. et al. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de " Mar de Morros"(MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 269-276, 2005.

ZIADAT, F. M.; TAYLOR, J. C.; BREWER, T. R. Merging Landsat TM imagery with topographic data to aid soil mapping in the Badia region of Jordan. **Journal of Arid Environments**, v. 54, n. 3, p. 527-541, 2003.

GIASSON, E.; ALLIPRANDINI, L. F.; VOGELMANN, E. S.; PAULETTO, E. A.; RODRIGUES, M. F. Mapeamento preliminar de solos por pedometria em área de mineração de carvão no RS. **Reega: O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 29, p. 119-140, 2013. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/33769>. Acesso em: 12 abr. 2026