

UFRRJ

PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO,
LEVANTAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE SOLOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

O Uso do Sensoriamento Remoto e do
Geoprocessamento na Detecção de Consumo não
Autorizado em Sistemas Rurais de Abastecimento de
Água

André da Costa Pinheiro

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PRÓ-REITORIA DE EXTENSÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO,
LEVANTAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE SOLOS

O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO E DO
GEOPROCESSAMENTO NA DETECÇÃO DE CONSUMO NÃO
AUTORIZADO EM SISTEMAS RURAIS DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA

ANDRÉ DA COSTA PINHEIRO

Sob a Supervisão do Professor
Gustavo Mota de Sousa

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido como requisito parcial para
obtenção do título de **Especialista** em
Geoprocessamento, Levantamento e
Interpretação de Solos.

Seropédica, RJ
Junho de 2025



ESPECIALIZAÇÃO
Geoprocessamento, levantamento e
interpretação de solos
UFRRJ - UFPA - UFV - UFPA





Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central/Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
Com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P654u Pinheiro, André da Costa, 1983-
 O uso do sensoriamento remoto e do
geoprocessamento na detecção de consumo não autorizado em
sistemas rurais de abastecimento de água / André
da Costa Pinheiro. - Seropédica, 2025.
 44 f.: il.

 Orientador: Gustavo Mota de Sousa.
Monografia (Especialização). -- Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro, Especialização em Geoprocessamento,
Levantamento e Interpretação de Solos, 2025.

 1. Geoprocessamento. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Perdas
em sistemas rurais de abastecimento de água.
I. Sousa, Gustavo Mota de, 1977-, orient. II Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. Especialização em
Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos III.
Título.

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de
Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.**

É permitida a cópia parcial ou total deste documento, desde que seja citada a fonte.



ATA Nº 3625/2025 - CEAD (12.28.01.36)

Nº do Protocolo: 23083.040555/2025-83

Seropédica-RJ, 25 de julho de 2025.

ATA DE DEFESA

Aos quinze dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e cinco, às dezesseis horas e trinta minutos, através de web conferência, instalou-se a banca examinadora de Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos, do cursista **André da Costa Pinheiro** sob a orientação do professor **Gustavo Mota de Sousa**. A banca examinadora foi composta pelos pesquisadores **Rômulo Weckmüller Vieira** e **Tabilla Verena da Silva Leite**. A defesa do TCC intitulado "**O Uso do Sensoriamento Remoto e do Geoprocessamento na Detecção de Consumo não Autorizado em Sistemas Rurais de Abastecimento de Água**", foi iniciada às dezesseis horas e trinta minutos e teve a duração de vinte minutos de apresentação seguida da avaliação pela banca. O cursista, após avaliado pela banca examinadora obteve o resultado:

(X) APROVADO, devendo o cursista proceder a eventual revisão solicitada pelo supervisor e/ou pela banca, e entregar a versão final em até 15 dias à coordenação do Curso.

() NÃO APROVADO.

Seropédica, 15 de julho de 2025.

Rômulo Weckmüller Vieira
Primeiro Examinador

Tabilla Verena da Silva Leite
Segunda Examinadora

Gustavo Mota de Sousa
Presidente

André da Costa Pinheiro
Cursista

(Assinado digitalmente em 25/07/2025 11:13)
GUSTAVO MOTA DE SOUSA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeGEOIA (11.39.39)
Matricula: ###661##

(Assinado digitalmente em 25/07/2025 12:27)
ANDRÉ DA COSTA PINHEIRO
DISCENTE
Matricula: 2024#####1

(Assinado digitalmente em 25/07/2025 14:51)
TABILLA VERENA DA SILVA LEITE
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.602-##

(Assinado digitalmente em 27/07/2025 21:08)
RÔMULO WECKMÜLLER VIEIRA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.787-##

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido saúde, sabedoria e forças nos momentos de dificuldade. Pela luz que me guiou durante toda esta caminhada acadêmica, mesmo quando os desafios pareciam grandes demais. Sem Sua presença constante, nada disso teria sido possível.

À minha família, pelo amor, apoio e, principalmente, por compreenderem minha ausência durante esse período de estudos. Obrigado por entenderem quando precisei me recolher, silenciar ou priorizar minhas tarefas acadêmicas.

À Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, pelo apoio durante a pesquisa. Agradeço em especial aos amigos José Augusto de Souza, Subgerente Comercial da Borborema - CAGEPA, pelo apoio logístico concedido, sem o qual não teria sido possível a conclusão deste trabalho; José Rivel da Silva e Otoniel Rocha da Silva, pelo acompanhamento nas visitas de campo; e a Diego Silveira Varela, Subgerente de Geoprocessamento - CAGEPA, grande especialista na área, pelos ensinamentos e treinamentos que foram de extrema importância para o desenvolvimento deste trabalho e do curso como um todo.

Ao Professor Gustavo Mota de Sousa, meu orientador, pela confiança, pela orientação generosa e por conduzir este trabalho com equilíbrio entre o rigor acadêmico e a sensibilidade prática. Sua dedicação e seu conhecimento foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Professor Milton César Costa Campos, do Campus Areia - PB, da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, que de forma gentil e generosa nos recebeu para as aulas práticas, as quais foram muito enriquecedoras.

A todo o corpo discente do curso, em especial à Professora Lúcia Helena Cunha dos Anjos, pela dedicação incansável à construção de um ensino público de qualidade, comprometido com a ciência, a ética e a transformação social. Sua atuação inspiradora foi essencial para manter viva a motivação e o propósito durante essa jornada.

A todos vocês, que direta ou indiretamente fizeram parte dessa caminhada, minha mais profunda gratidão. Cada gesto de apoio, cada palavra de incentivo e cada ensinamento recebido contribuíram significativamente para que este trabalho se tornasse realidade. Este é um resultado coletivo, que carrega um pouco de cada um. Muito obrigado!



RESUMO

Pinheiro, André da Costa. **O uso do sensoriamento remoto e do geoprocessamento na detecção de consumo não autorizado em sistemas rurais de abastecimento de água.** 2025. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento, Levantamento e Interpretação de Solos). Pró-reitoria de Extensão, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2025.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade do sensoriamento remoto e do geoprocessamento na identificação de possíveis pontos de consumo não autorizado e perdas em sistemas rurais de abastecimento de água operados pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) no semiárido paraibano. A metodologia utilizou imagens do satélite Sentinel-2A e a aplicação do Índice de Diferença Normalizada de Umidade (NDMI) aliado ao mapeamento da rede de abastecimento da companhia. Foram gerados mapas temáticos que permitiram localizar áreas com maior teor de umidade ao longo das tubulações em três comunidades rurais localizadas no Distrito de Galante - Campina Grande/PB: Fazenda Velha, Massapê e Sítio Santana. Posteriormente foram realizadas visitas de campo para verificação dos pontos mapeados, permitindo confrontar os dados obtidos via sensoriamento remoto com as condições reais. Os resultados indicaram que, dos 26 pontos analisados, 10 necessitam de fiscalização, dos quais 5 apresentaram fortes indícios de uso não autorizado, como derivações clandestinas e irrigações não autorizadas. A metodologia proposta mostrou-se eficiente, de baixo custo e de fácil replicabilidade, contribuindo para otimizar o processo de fiscalização e reduzir as perdas em sistemas rurais. Além disso, sugere-se que esta abordagem também possa ser aplicada na gestão de recursos hídricos e na detecção de passivos ambientais.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Geoprocessamento. NDMI. Perdas de água. Abastecimento rural.

ABSTRACT

Pinheiro, André da Costa. **The use of remote sensing and geoprocessing in the detection of unauthorized consumption in rural water supply systems.** 2025. 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Specialization in Geoprocessing, Soil Survey and Interpretation). Pró-reitoria de Extensão, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2025.

This study aims to evaluate the applicability of remote sensing and geoprocessing in identifying possible points of unauthorized consumption and losses in rural water supply systems operated by the Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) in the semi-arid region of Paraíba, Brazil. The methodology used Sentinel-2A satellite images and the application of the Normalized Difference Moisture Index (NDMI) combined with mapping of the company's water supply network. Thematic maps were generated to locate areas with higher moisture content along the pipelines in three rural communities located in the District of Galante - Campina Grande/PB: Fazenda Velha, Massapê, and Sítio Santana. Subsequently, field visits were conducted to verify the mapped points, allowing the confrontation of data obtained via remote sensing with real conditions. The results indicated that, of the 26 points analyzed, 10 require inspection, of which 5 showed strong evidence of unauthorized use, such as clandestine derivations and unauthorized irrigation. The proposed methodology proved to be efficient, low-cost, and easily replicable, helping to optimize the inspection process and reduce losses in rural systems. Additionally, it is suggested that this approach can also be applied to water resource management and the detection of environmental liabilities.

Keywords: Remote sensing. Geoprocessing. NDMI. Water losses. Rural water supply.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conceção Geral de um Sistema de Abastecimento de Água	4
Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo - Distrito de Galante - Campina Grande/PB ...	9
Figura 3 - Fluxograma metodológico	10
Figura 4 - Dados pluviométricos referentes ao ano de 2024	11
Figura 5 - Mapa de rede de água	12
Figura 6 - Mapa de umidade (NDMI)	14
Figura 7 - Planta com os pontos a serem fiscalizados	15
Figura 8 - Veículo empregado nas visitas de campo	16
Figura 9 - Mapa da Comunidade Fazenda Velha - achados de campo	17
Figura 10 - Mapa da Comunidade Massapê - achados de campo	18
Figura 11 - Mapa da Comunidade Sítio Santana - achados de campo	19

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Configuração de cores no QGIS	13
Quadro 2 - Pontos para fiscalização - coordenadas UTM	15
Quadro 3 - Quadro-resumo dos resultados das visitas de campo	20
Quadro 4 - Descrição dos achados de campo na Comunidade de Fazenda Velha	26
Quadro 5 - Descrição dos achados de campo na Comunidade Massapê	28
Quadro 6 - Descrição dos achados de campo na Comunidade Sítio Santana	31

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

CDD – Classificação Decimal de Dewey

ESA – Agência Espacial Europeia

ETA – Estação de Tratamento de Água

GIS – Geographic Information System (Sistema de Informações Geográficas)

IWA – International Water Association

ITB – Instituto Trata Brasil

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INSA – Instituto Nacional do Semiárido

NDMI – Normalized Difference Moisture Index (Índice de Diferença Normalizada de Umidade)

NIR – Near Infrared (Infravermelho Próximo)

QGIS – Quantum Geographic Information System (Software de Sistema de Informações Geográficas)

REM – Radiação Eletromagnética

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SWIR – Shortwave Infrared (Infravermelho de Onda Curta)

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
1.1. <i>Objetivo Geral</i>	2
1.2. <i>Objetivos Específicos</i>	2
1.3. <i>Justificativa</i>	2
CAPÍTULO II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1. <i>Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água</i>	4
2.2. <i>Geotecnologias</i>	5
2.2.1. <i>Geoprocessamento</i>	5
2.2.2. <i>Sistemas de Informações Geográficas</i>	6
2.2.3. <i>Sensoriamento Remoto</i>	7
2.2.3.1. <i>Assinatura Espectral</i>	7
2.2.4. <i>Índice de umidade - NDMI</i>	7
CAPÍTULO III - ÁREA DE ESTUDO	9
CAPÍTULO IV - METODOLOGIA	10
4.1. <i>Materiais</i>	11
4.1.1. <i>Dados pluviométricos</i>	11
4.1.2. <i>Imagens de satélite</i>	11
4.1.3. <i>Dados de redes de água</i>	12
4.2. <i>Métodos</i>	13
4.2.1. <i>Calculando e interpretando o NDMI</i>	13
4.2.2. <i>Identificação dos pontos a serem fiscalizados</i>	15
CAPÍTULO V - RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
5.1. <i>Resultados</i>	17
5.1.1. <i>Comunidade de Fazenda Velha - mapa e descrição dos resultados</i>	17
5.1.2. <i>Comunidade Massapê - mapa e descrição dos resultados</i>	18
5.1.3. <i>Comunidade Sítio Santana - mapa e descrição dos resultados</i>	19
5.1.4. <i>Resultados consolidados das visitas de campo</i>	20
5.2. <i>Discussões</i>	20
CAPÍTULO VI - CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
8. APÊNDICES	26

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

O saneamento básico, em especial o abastecimento de água, tem apresentado baixa eficiência no Brasil, com índices elevados de perdas ao longo de toda a cadeia de produção, desde a captação até a distribuição final. Segundo relatório do Instituto Trata Brasil (ITB), publicado em junho de 2024, o país registra, em média, uma perda de 37,78% da água tratada, o que corresponde a bilhões de metros cúbicos desperdiçados anualmente. Esse volume representa não apenas um problema operacional, mas também acarreta prejuízos econômicos, sociais e ambientais, impactando diretamente a sustentabilidade dos sistemas de abastecimento e a qualidade dos serviços prestados à população.

No Estado da Paraíba, a situação segue a mesma tendência. As perdas médias, segundo o mesmo estudo, chegam a 37,01%, um índice superior às metas estabelecidas pelo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020), que determina que, até 2033, as perdas devem ser reduzidas para no máximo 25%. Tal cenário revela uma ineficiência crítica, sobretudo em regiões semiáridas, onde a escassez hídrica agrava os impactos das perdas.

Essas perdas ocorrem por diversos fatores, que incluem desde vazamentos nas tubulações, extravasamento de reservatórios, até ligações clandestinas e fraudes no consumo. Além dos prejuízos econômicos para as empresas operadoras, que deixam de faturar pela água produzida, essas perdas representam uma grave ameaça à segurança hídrica, especialmente em regiões onde os recursos são naturalmente limitados, como é o caso da região em estudo.

A consequência desse quadro reflete diretamente na capacidade de investimento das companhias de saneamento, como é o caso da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA). A redução nas receitas, somada aos custos elevados com manutenção, impede a realização de melhorias nos sistemas, impactando negativamente a ampliação do acesso à água tratada, a modernização dos sistemas e a própria sustentabilidade econômica e ambiental da operação.

Diante desse contexto, torna-se imperativo buscar soluções tecnológicas que contribuam para a identificação, controle e redução das perdas de água, sobretudo em áreas rurais, onde o monitoramento físico é mais desafiador devido às grandes extensões e à dispersão das redes.

Neste cenário, o uso de ferramentas de geotecnologias, especialmente o sensoriamento remoto e o geoprocessamento, surge como uma alternativa eficiente, de baixo custo relativo e de grande aplicabilidade. Essas tecnologias permitem, por meio da análise de imagens de satélite e do cruzamento de informações espaciais, identificar anomalias na cobertura do solo, na vegetação e nos índices de umidade, que podem ser indicativos de vazamentos ou consumo não autorizado, como derivações clandestinas destinadas à irrigação.

Portanto, o presente estudo tem como objetivo principal avaliar a eficácia do uso do sensoriamento remoto associado ao geoprocessamento na detecção de perdas de água em sistemas rurais de abastecimento, operados pela CAGEPA, com foco em três comunidades localizadas na zona rural do Distrito de Galante, no município de Campina Grande – PB: Fazenda Velha, Massapê e Sítio Santana.



A proposta metodológica envolve a utilização de imagens de satélite, especialmente do sensor Sentinel-2, aplicando o Índice de Diferença Normalizada de Umidade (NDMI), que permite mapear áreas com maior teor de umidade no entorno das tubulações da companhia. O cruzamento desses dados com o cadastro técnico da rede de abastecimento da CAGEPA permitirá localizar possíveis pontos críticos, onde há indícios de vazamentos ou consumo irregular.

Vale destacar que, devido às limitações do sensoriamento remoto em áreas urbanizadas e pavimentadas, este estudo se concentra especificamente em áreas rurais, onde a vegetação e o solo exposto respondem de maneira mais direta às variações de umidade, aumentando a precisão na identificação de anomalias.

Com isso, espera-se contribuir para a otimização dos processos de fiscalização, a redução das perdas e, conseqüentemente, para a melhoria da gestão dos recursos hídricos, especialmente em uma região marcada pela escassez hídrica e pelos desafios logísticos associados ao monitoramento convencional.

1.1. Objetivo Geral

Análise geoespacial dos sistemas rurais de abastecimento de água no semiárido paraibano.

1.2. Objetivos Específicos

- ✓ Identificação de pontos de maior umidade no sistema de abastecimento rural no semiárido paraibano utilizando o NDMI.
- ✓ Correlacionar os dados NDMI com a localização da rede de abastecimento da CAGEPA.
- ✓ Propor medidas de fiscalização com base nos achados.

1.3. Justificativa

A eficiência no saneamento básico, em especial o abastecimento de água, é um problema relevante a ser resolvido no Brasil. Em estudo recente do Instituto Trata Brasil (ITB) publicado em 2024, realizado em parceria GO Associados, é feita uma radiografia da ineficiência dos sistemas de abastecimento de água no país. Os dados para o estudo foram extraídos do Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento (SNIS, 2022) e trazem uma relação entre essa ineficiência das empresas de saneamento e o não atendimento com água tratada, principalmente de populações vulneráveis.

No estudo, o ITB revela que aproximadamente 32 milhões de pessoas ainda sofrem pela ausência de abastecimento com água tratada. Por outro lado, a ineficiência dos sistemas de abastecimento espalhados pelo país revela uma preocupante realidade, onde o índice de perdas na distribuição, ou seja, água tratada que não chega à população, é de 37,78% do total produzido, o que equivale a 7,0 bilhões de m³ de água não faturada só no ano de 2022. Segundo dados do mesmo relatório, "isso equivale a quase 7.636 piscinas olímpicas de água tratada desperdiçadas diariamente ou mais de sete vezes (7,1) o volume do Sistema Cantareira – o maior conjunto de reservatórios do estado de São Paulo".

Dessa forma, é importante entender como e onde ocorrem essas perdas, ou seja, quais são as causas e a origem delas. Para isso é importante compreender que no processo de abastecimento de água, que possui várias etapas, podem ocorrer perdas por diversos motivos, como vazamentos, erros de medição e consumos não autorizados, conhecidos como ligações clandestinas, entre outros. Tudo isso, conjuntamente, gera, conforme o mesmo relatório, "um grande impacto à receita e aos custos de produção das empresas, o que deixa mais caro o sistema como um todo, prejudicando, em última instância, todos os usuários".

Outro fato relevante que merece destaque no cenário de saneamento nacional é a aprovação da Lei nº 14.026/2020, conhecida como Marco Legal do Saneamento. Essa lei estabelece que até o ano 2033, 99% da população brasileira seja atendida com abastecimento de água e 90% de coleta e tratamento de esgoto, entre outras determinações. No que se refere a perdas, o Marco Legal estabelece que o índice deve ser reduzido para 25% no mesmo prazo já citado anteriormente. Essas metas deverão ser cumpridas pelas empresas prestadoras, sejam elas públicas ou privadas, e estima-se que vultosos volumes de investimentos ocorram nesse período.

Nesse contexto, o estado da Paraíba, que possui a Companhia de Água e Esgoto (Cagepa) como a maior concessionária atuando no estado, operando os sistemas de abastecimento de água de 200 dos 223 dos municípios paraibanos, apresenta, conforme dados do mesmo relatório, um índice de perda de 37,01%, o que o coloca na 11ª posição, acima da média nacional em nível de estado, porém com um índice bem elevado, muito acima dos 25% estabelecidos na Lei nº 14.026/2020 (Novo Marco do Saneamento). Com isso, percebe-se que há muito a ser feito no Brasil e consequentemente no Estado da Paraíba, tanto no que se refere à ampliação de sistemas, inclusive rurais, como no que se refere à redução nos índices de perdas.

É importante destacar ainda o cenário desafiador do Estado da Paraíba, que apresenta 194 dos 223 municípios dentro da área classificada como semiárida, conforme dados do Instituto Nacional do Semiárido (INSA). Com isso, a alternativa para o abastecimento da maioria dos municípios é a adução de água por dezenas de quilômetros, formando uma malha com vários sistemas integrados, o que torna o sistema mais suscetível a vazamentos e consumo não autorizado (furto), considerando a grande dificuldade de identificação de ambos problemas, com destaque para o segundo. Outro fator desafiador é a ampliação dos sistemas rurais, os quais atendem grandes extensões, apresentando os mesmos problemas dos sistemas integrados, acrescido de uma maior incidência de consumo não autorizado.

E é nesse cenário, fazendo um recorte nas perdas que ocorrem nos sistemas rurais de abastecimento, que apresentamos a proposta de TCC, que tem por objetivo central a criação de uma metodologia de trabalho com uso das ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para a identificação dos solos com maior umidade nos trajetos próximos dessas tubulações. Para tanto, utilizar-se-á a resposta espectral desses solos e da vegetação adjacente, que na região do semiárido sofre estresse hídrico em parte considerável do ano, que por sua vez ajudará a localizar, com um menor custo econômico, áreas que necessitam de uma maior atenção, inclusive com o envio de equipes *in loco*.

CAPÍTULO II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que embasam a presente pesquisa. Inicialmente, são discutidos os principais componentes de um sistema de abastecimento de água, bem como as causas e classificações das perdas que ocorrem ao longo de seu funcionamento. Em seguida, abordam-se as geotecnologias utilizadas na identificação e análise dessas perdas, com ênfase no geoprocessamento, nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), no sensoriamento remoto e no índice espectral NDMI. A utilização integrada dessas ferramentas possibilita a obtenção de informações espaciais e ambientais com maior precisão, favorecendo o monitoramento de áreas críticas e subsidiando a tomada de decisões voltadas à redução de perdas e ao aprimoramento da eficiência dos sistemas de abastecimento de água.

2.1. Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água

Inicialmente é importante apresentar a composição mais comum de um Sistema de Abastecimento de Água, para depois entendermos como as perdas ocorrem nesses sistemas e como evitá-las. Nesse sentido, Tsutiya (2008, p. 32) nos informa que os Sistemas de Abastecimento de Água apresentam concepções variáveis, pois há uma dependência de vários fatores, como o porte da cidade, a posição do manancial em relação a localidade de abastecimento, a topografia, dentre outros. Porém, de forma geral, esses sistemas são compostos por: manancial, captação, estação elevatória, adução, estação de tratamento de água, reservatório e rede de distribuição, conforme a Figura 1.

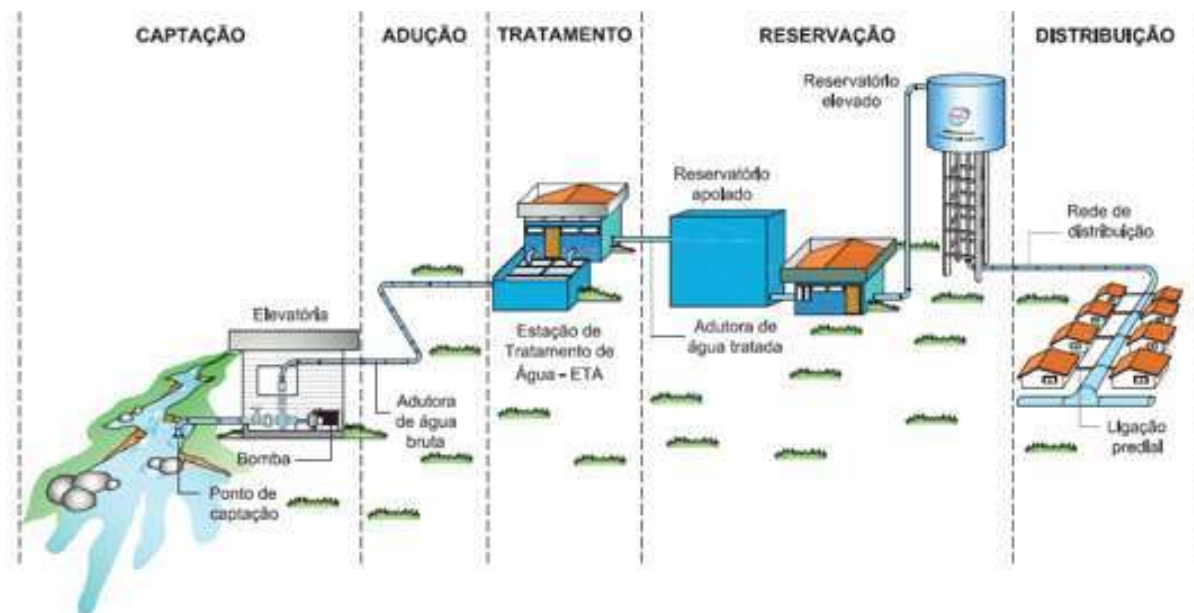


Figura 1 - Concepção Geral de um Sistema de Abastecimento de Água

Fonte: Disponível em: <https://enciclopediajuridica.pucsp.br/verbete/325/edicao-1/saneamento-basico:-conceito-juridico-e-servicos-publicos>. Acesso em 17 de Jun de 2025.

Ainda segundo Tsutiya (2008, p. 33), a perda de água nos sistemas de abastecimento ocorre em todo o processo, desde a captação até a entrega ao usuário final, mas com contribuições diferentes em cada etapa. Essa avaliação, segundo o autor, ocorrerá pela

medição dos volumes de entrada e saída de uma unidade do sistema. Como exemplo, medindo-se o volume de saída de água em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) e todos os volumes nos pontos de entrega na rede de distribuição (usuário final), dentro do mesmo período, a diferença entre esses volumes será classificada como perda.

Vale salientar que essa forma de calcular perdas, citada no parágrafo anterior, conforme tratado pela ABES no documento intitulado: Controle e Redução de Perdas nos Sistemas Públicos de Abastecimento de Água, é conceitualmente conhecida como Balanço Hídrico, conceito esse já consolidado mundialmente pela International Water Association (IWA). E dentro dessa metodologia, ainda em conformidade com o documento da ABES, a IWA subdivide as perdas em Aparentes ou comerciais: fraudes, erros no sistema comercial e submedição dos hidrômetros dos consumidores; e perdas reais ou físicas: vazamento nas adutoras e redes de distribuição, vazamento nos ramais prediais e vazamentos e extravasamentos nos reservatórios e aquedutos.

Portanto, de forma simplificada, a perda de água é a diferença entre o volume de entrada em um sistema e o volume de saída (ou entrega ao usuário final) desse mesmo sistema. Como exemplo hipotético, imaginemos que no sistema representado na Figura 1, foi feita a captação de 1.000 m³ de água. Após todo transporte e passagens nas unidades que compõe o sistema, realizou-se a medição nas unidades consumidoras por meio dos hidrômetros residenciais, obtendo-se o somatório 630 m³ de água. Logo, foram perdidos aproximadamente, por formas diversas, 370 m³, que equivale a 37 % do que foi produzido. Esse é o conceito simplificado de perda e esse valor de 37 % de volume perdido são os índices apresentados no relatório do ITB para o Brasil, inclusive para o Estado da Paraíba, conforme já tratado nesse documentos.

2.2. Geotecnologias

As geotecnologias englobam um conjunto de métodos e ferramentas voltados à coleta, tratamento, análise e visualização de informações georreferenciadas, desempenhando um papel fundamental no diagnóstico e na gestão de fenômenos espaciais. No contexto da gestão de sistemas de abastecimento de água, essas tecnologias possibilitam uma abordagem mais eficiente na identificação de áreas com potencial de perdas, por meio da análise integrada de dados espaciais e espectrais. Esta seção apresenta os principais fundamentos e aplicações das geotecnologias utilizadas neste estudo, com destaque para o **geoprocessamento**, que fornece a base para a manipulação dos dados espaciais; os **Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**, que organizam e analisam as informações geográficas; o **sensoriamento remoto**, responsável pela captação de dados da superfície terrestre sem contato direto; e o **índice NDMI**, que permite estimar o teor de umidade da vegetação e do solo. A seguir, cada uma dessas ferramentas será detalhada, com ênfase em sua contribuição para a análise das perdas hídricas.

2.2.1. Geoprocessamento

O geoprocessamento é um campo do conhecimento que integra diversas ciências e tecnologias com o objetivo de adquirir, processar, analisar e representar informações georreferenciadas da superfície terrestre. Segundo Piroli (2010), o termo pode ser decomposto em "geo", referente à Terra, e "processamento", relacionado ao tratamento de informações — geralmente por meio de recursos computacionais. Dessa forma, o geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de tecnologias voltadas à manipulação de dados espaciais, com

aplicação em diversas áreas como meio ambiente, agricultura, planejamento urbano, cartografia, entre outras.

Rosa (2013, p. 59) define o geoprocessamento como “o conjunto de tecnologias destinadas a coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação”. Em outras palavras, o geoprocessamento pode ser considerado como uma ferramenta computacional, onde há uma entrada de dados, o processamento desses dados com ênfase na sua localização espacial e, por fim, a saída de dados e/ou informações que também possuem a localização geográfica como fator chave na interpretação dos fenômenos em estudo.

Quanto a sua arquitetura, o geoprocessamento envolve diferentes componentes interdependentes, incluindo: informática (hardware e software), sistemas de informações geográficas (SIG), sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global (GPS), cartografia digital, topografia, processamento digital de imagens e, fundamentalmente, o profissional capacitado, responsável por interpretar e aplicar os recursos disponíveis de maneira eficiente (PIROLI, 2010).

Ainda de acordo com Piroli (2010), o geoprocessamento é essencial na produção de mapas, na análise espacial e na gestão de bancos de dados geográficos. Suas aplicações são amplas e abrangem áreas como planejamento urbano e rural, meio ambiente, agricultura de precisão, gestão de recursos naturais, monitoramento de desastres, entre outros.

2.2.2. Sistemas de Informações Geográficas

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são ferramentas computacionais que permitem a coleta, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados. Esses sistemas trabalham com informações que possuem, além dos atributos convencionais, uma referência espacial, ou seja, estão associadas a uma localização na superfície terrestre (ROSA, 2013).

De acordo com Piroli (2010), um SIG pode ser entendido como um conjunto organizado de hardware, software, dados espaciais e usuários, projetado para capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e exibir todas as formas de informação geograficamente referenciada. Isso permite que profissionais de diversas áreas possam realizar análises espaciais complexas, modelagens e simulações, otimizando processos de tomada de decisão.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) operam, essencialmente, com dois tipos principais de dados: os vetoriais e os matriciais (ou raster). Os dados vetoriais representam objetos geográficos por meio de pontos, linhas e polígonos, sendo ideais para descrever elementos como redes de abastecimento, bacias hidrográficas e estradas. Já os dados matriciais são compostos por grades de células (pixels), em que cada célula armazena um valor associado a uma variável, sendo amplamente utilizados para representar informações contínuas, como imagens de satélite, modelos digitais de elevação e mapas de umidade do solo.

Segundo Novo e Ponzoni (2001), a integração dos SIG com o Sensoriamento Remoto amplia significativamente as capacidades analíticas, permitindo não apenas visualizar

fenômenos espaciais, mas também quantificar relações, identificar padrões e modelar cenários ambientais ou urbanos.

Além disso, os SIG permitem a realização de análises multicritério, cruzamento de diferentes camadas de informação, geração de mapas temáticos e apoio à gestão de recursos naturais, planejamento urbano, agrícola, ambiental e de infraestrutura, como no caso de redes de abastecimento de água analisadas no presente estudo.

Portanto, os Sistemas de Informações Geográficas são ferramentas indispensáveis para o desenvolvimento de projetos que envolvem espaço geográfico, contribuindo diretamente para a melhoria da eficiência operacional e da gestão de territórios.

2.2.3. Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto (SR), segundo Novo e Ponzoni (2001, p. 6), é classicamente definido como o processo de obtenção de informações sobre objetos ou áreas na superfície terrestre sem que haja contato físico direto com eles. Esse processo é viabilizado por meio da captação da Radiação Eletromagnética (REM), que interage com os objetos e é registrada por sensores remotos.

De acordo com os autores, o funcionamento do sensoriamento remoto baseia-se em três elementos fundamentais: a fonte de radiação eletromagnética (REM), que pode ser o Sol, no caso dos sensores passivos, ou um sistema emissor próprio, como ocorre nos sensores ativos (radares); o alvo, que são os elementos da superfície terrestre responsáveis por refletir, absorver ou emitir radiação; e o sensor, equipamento encarregado de captar a radiação refletida ou emitida pelos alvos, permitindo a coleta e análise das informações obtidas.

2.2.3.1. Assinatura Espectral

Ainda segundo Novo e Ponzoni (2001), cada alvo na superfície terrestre apresenta um comportamento específico na interação com a REM, caracterizado pela sua **assinatura espectral**. Essa assinatura representa a variação da refletância ou emissão dos objetos em diferentes comprimentos de onda, permitindo sua identificação e diferenciação.

Nas imagens de satélite, como as utilizadas no presente estudo, a assinatura espectral é fundamental para identificar, por exemplo, solos com maior teor de umidade. Esses solos podem ser diferenciados pela análise dos níveis de refletância em bandas específicas do espectro, que são representados nas imagens por variações de tonalidade — comumente interpretadas como diferentes tons de cinza ou de cores, dependendo da composição da imagem. Da mesma forma, a vegetação apresenta respostas espectrais distintas de acordo com seu estado hídrico, sendo possível, portanto, mapear áreas com maior umidade com base nessa análise.

2.2.4. Índice de umidade - NDMI

O Índice de Diferença Normalizada de Umidade, conhecido como NDMI (*Normalized Difference Moisture Index*), é um dos índices espectrais utilizados no sensoriamento remoto para estimar o conteúdo de umidade da vegetação e do solo. Ele foi proposto por Gao (1996) com o objetivo de monitorar a umidade da vegetação a partir de dados orbitais multiespectrais.

O NDMI é calculado utilizando a diferença entre as bandas do infravermelho próximo (NIR – *Near Infrared*) e do infravermelho de onda curta (SWIR – *Shortwave Infrared*), normalizada pela soma dessas duas bandas.

Os valores do NDMI variam entre -1 e +1. Valores mais próximos de +1 indicam maior teor de umidade, enquanto valores negativos tendem a representar superfícies secas, como áreas com solo exposto ou vegetação estressada. Segundo Gabriel et al. (2024), o NDMI tem se mostrado uma ferramenta eficaz na detecção de áreas irrigadas e na avaliação de estresse hídrico da vegetação, especialmente em regiões semiáridas.

Em contextos como o do presente estudo, o NDMI permite a identificação de áreas com umidade atípica ao longo de redes de abastecimento de água, servindo como indicativo para possíveis perdas ou consumo não autorizado. A aplicação do NDMI em imagens do satélite Sentinel-2, que dispõe de bandas espectrais específicas para NIR e SWIR, possibilita a obtenção de mapas temáticos de umidade com boa resolução espacial (10 a 20 metros).

Além disso, o NDMI é amplamente utilizado por softwares de geoprocessamento como o QGIS, sendo possível a sua aplicação direta com plugins específicos como o *Sentinel-2 Image Downloader*, facilitando o processamento e a visualização dos dados.

Conforme apontado por Antunes et al. (2005), a interpretação correta do NDMI deve considerar também o contexto climático da área estudada, uma vez que chuvas recentes, presença de corpos d'água naturais ou características topográficas (como fundos de vale) podem influenciar significativamente os resultados.

CAPÍTULO III - ÁREA DE ESTUDO

A área amostral deste estudo é o polígono que abrange as comunidades de Fazenda Velha, Massapê e Sítio Santana, com área total de 23,674 km², localizada na zona rural do Distrito de Galante, município de Campina Grande, pertencente ao Estado da Paraíba, região nordeste do Brasil. A escolha do perímetro foi motivada por aspectos logísticos e pela viabilidade da execução dos trabalhos de campo necessários ao estudo, bem como por atender aos critérios pretendidos: região atendida pela Cagepa com tubulações de água em zona rural e pertencente à região do semiárido paraibano.

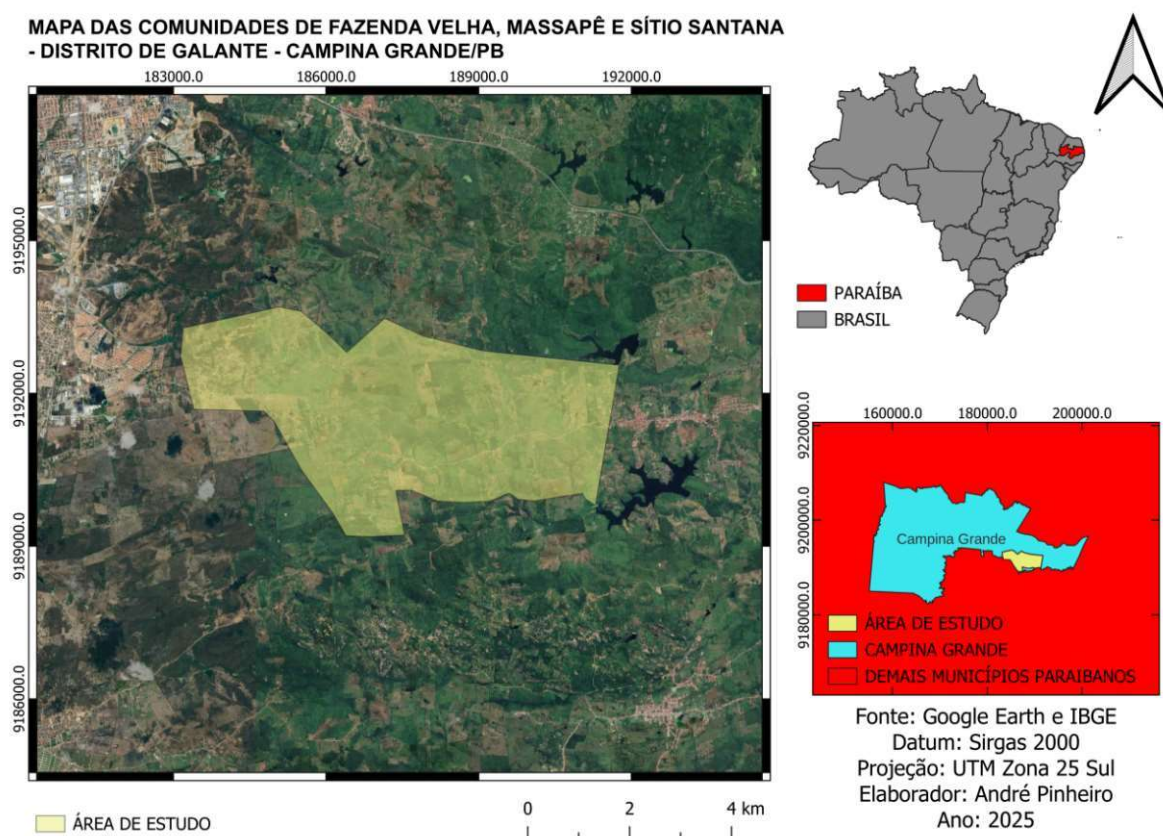


Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo - Distrito de Galante - Campina Grande/PB

CAPÍTULO IV - METODOLOGIA

Os métodos e procedimentos para realização do presente trabalho seguiram o fluxograma metodológico da Figura 3:

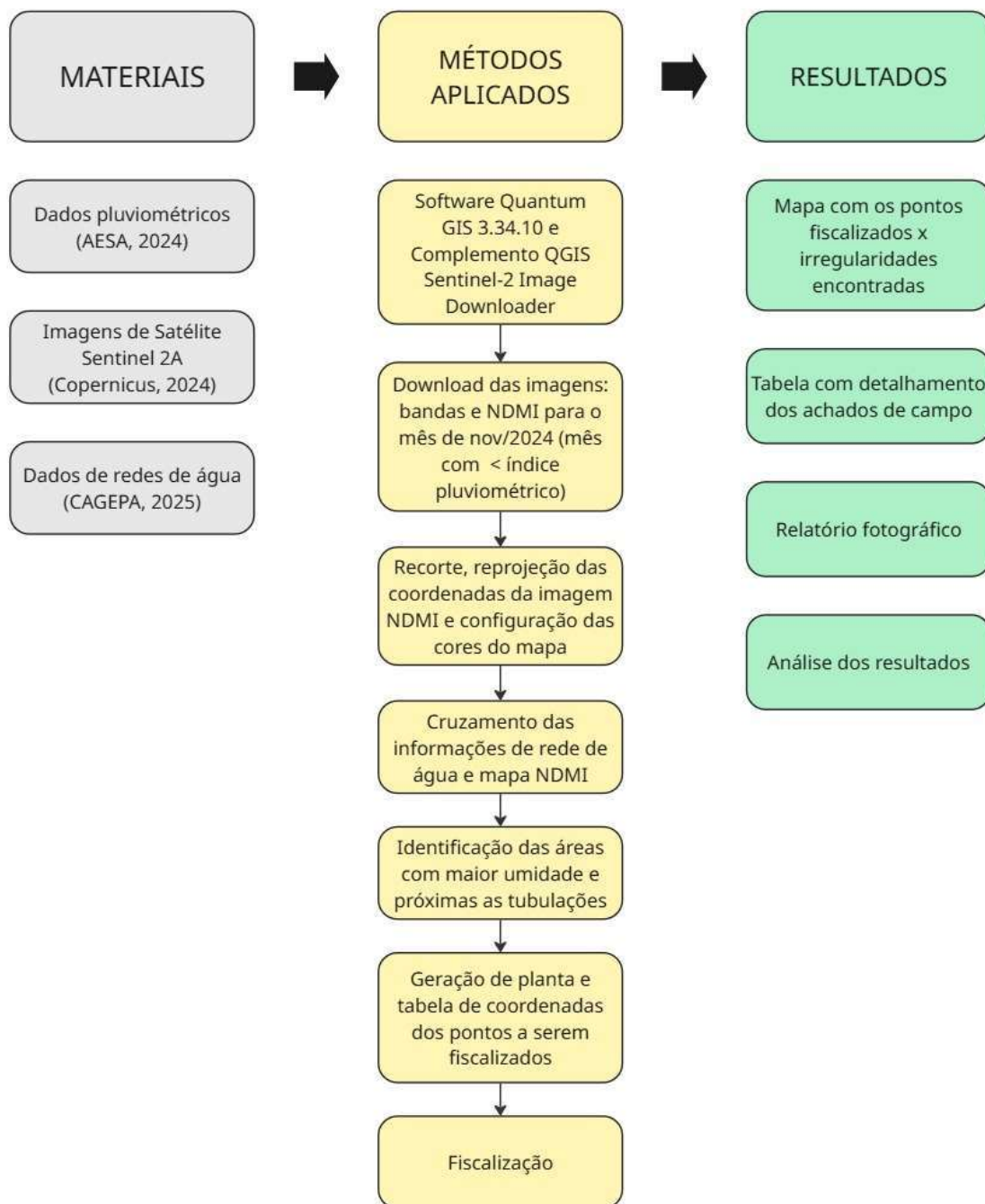


Figura 3 - Fluxograma metodológico

Fonte: Autor (2025)

4.1. Materiais

Os materiais necessários ao estudo, os quais serão apresentados em detalhe a seguir, foram: dados pluviométricos da Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAs) para o ano de 2024; imagens do satélite Sentinel 2A, baixados do Portal Copernicus da Agência Espacial Europeia (ESA) e dados de redes de água da área de estudo obtidos na Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

4.1.1. Dados pluviométricos

O estudo foi realizado com dados referentes ao ano de 2024, especificamente o mês de novembro. A escolha desse mês teve como motivação a estação seca, que, no ano em questão, apresentou os meses de outubro e novembro como o período com menores índices pluviométricos, conforme dados da AESA (Figura 4). Dessa forma, novembro se apresenta como o intervalo do ano mais adequado ao estudo, que se objetiva a identificar áreas úmidas não diretamente relacionadas à estação chuvosa, ou seja, umidade proveniente de vazamentos e/ou furto de água.

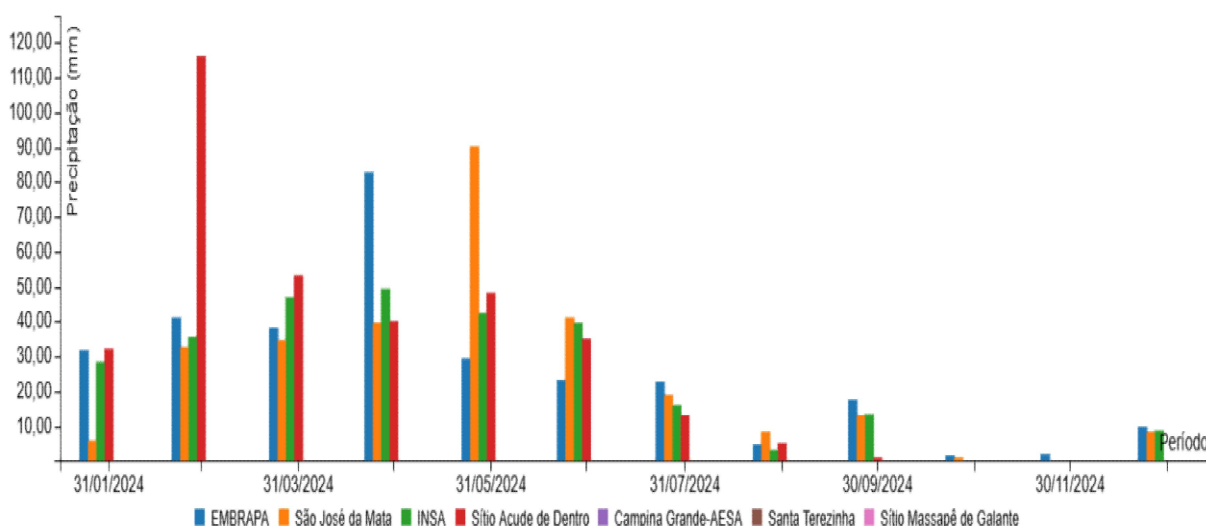


Figura 4 - Dados pluviométricos referentes ao ano de 2024

Fonte: AESA (2025)

4.1.2. Imagens de satélite

As imagens orbitais utilizadas neste estudo foram obtidas gratuitamente por meio do portal do Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu>), uma plataforma mantida pela Agência Espacial Europeia (ESA), que disponibiliza os dados gerados pelos satélites da constelação Sentinel, no âmbito do Programa Copernicus. Este programa é uma iniciativa conjunta da Comissão Europeia e da ESA, voltada ao monitoramento ambiental da Terra com alto nível de resolução espacial, temporal e espectral.

O Sentinel-2, em particular, é composto por dois satélites (Sentinel-2A e 2B), que fornecem imagens multiespectrais com resolução espacial de até 10 metros e revisita global a cada 5 dias. Essas características tornam o Sentinel-2 especialmente adequado para estudos de uso e cobertura da terra, análise da vegetação e monitoramento de recursos hídricos, como no presente trabalho. A obtenção das imagens foi facilitada pela utilização do complemento Sentinel-2 Image Downloader no software QGIS, que permite realizar buscas, downloads e pré-processamento diretamente pela interface do programa.

Considerando a resolução espacial de 10 metros, a escala máxima recomendada para a análise dessas imagens varia entre 1:50.000 e 1:25.000, pois essa faixa de escala corresponde ao nível de detalhe que os pixels de 10 metros podem representar. Trabalhar em escalas mais detalhadas que 1:25.000 pode resultar em uma percepção pixelizada e limitar a precisão da interpretação, já que o sensor não é capaz de captar informações em resoluções espaciais menores que seus pixels, tornando essencial respeitar essa faixa para garantir a qualidade e a confiabilidade das análises.

4.1.3. Dados de redes de água

Os dados da rede de abastecimento de água foram obtidos diretamente da base de dados da CAGEPA, inicialmente no formato DWG. Em seguida, foi realizada a conversão desses dados para o formato shapefile, utilizando-se o software QGIS, versão 3.34.10 (Grenoble). Com os dados já convertidos, procedeu-se à delimitação da área de estudo (Figura 1). É importante ressaltar que essa delimitação foi feita considerando, como já mencionado neste trabalho, a área atendida pela CAGEPA com tubulação de água, bem como a sua localização dentro da região de clima semiárido. Essa definição da área de interesse foi essencial para garantir a coerência espacial das análises subsequentes, possibilitando a integração com outras bases de dados geoespaciais, em especial as imagens tratadas na seção anterior. A seguir, apresentamos o resultado desse pré-processamento (Figura 5).

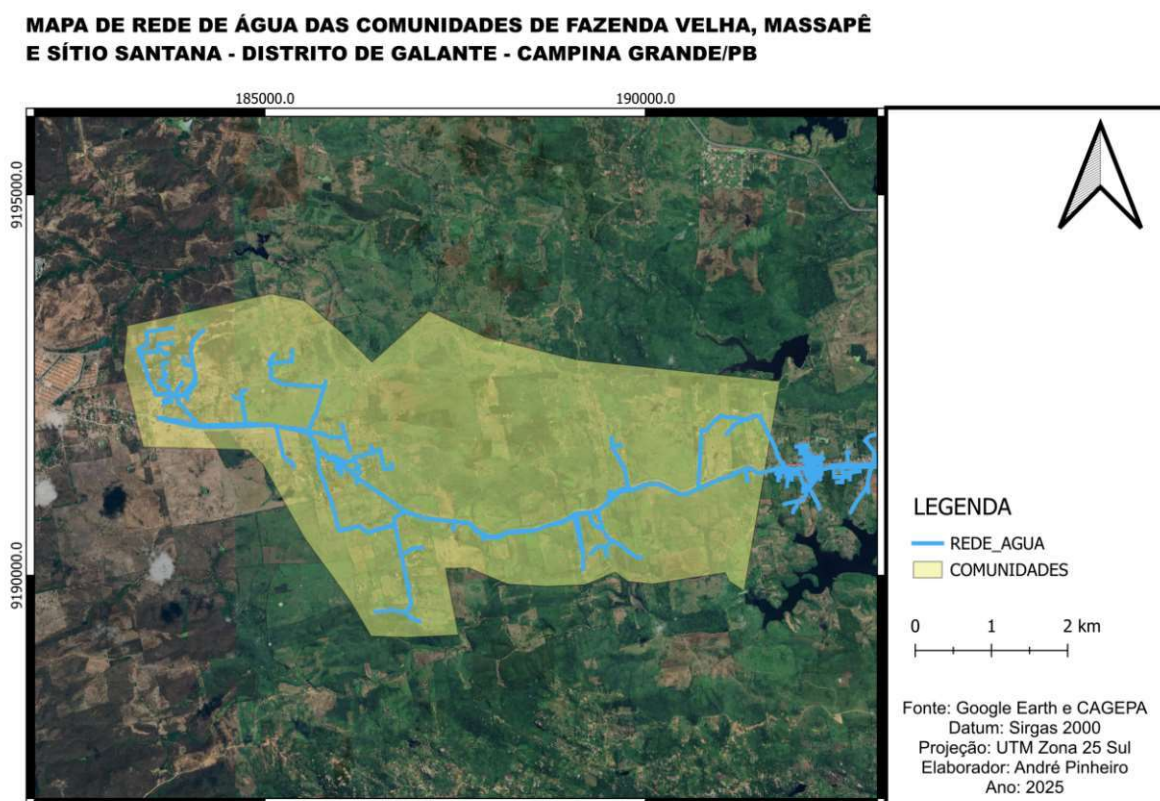


Figura 5 - Mapa de rede de água

4.2. Métodos

A manipulação dos dados foi realizada utilizando o software QGIS, versão 3.34.10 (Grenoble) e o complemento Sentinel-2 Image Downloader. Para análise das imagens e identificação das áreas com maior índice de umidade, utilizamos o Índice de Diferença Normalizada de Umidade (NDMI – Normalized Difference Moisture Index), que, conforme Gabriel et al. (2024), foi proposto por Gao (1996, apud Gabriel et al., 2024) e é amplamente utilizado para monitorar irrigação, sendo capaz de identificar os níveis de umidade do solo e da vegetação, segundo Antunes et al. (2005, apud Gabriel et al., 2024).

Ainda segundo Gabriel et al. (2024), o NDMI é calculado a partir da diferença entre a infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de onda curta (SWIR), normalizada pela soma dessas bandas, variando de -1 a 1. A fórmula é dada por:

$$\text{NDMI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$

Onde: NIR = Infravermelho próximo;

SWIR = Infravermelho de onda curta.

4.2.1. Calculando e interpretando o NDMI

O cálculo do NDMI foi realizado diretamente no portal do Copernicus e baixado por meio do complemento Sentinel-2 Image Downloader no software QGIS. Após, aplicamos as cores indicadas pelo próprio portal do Copernicus, onde os tons mais quentes (marrom, vermelho e amarelo) indicam pouca umidade no solo. Por outro lado, vegetação com cores frias, (ciano, azul e azul escuro), indicam maior umidade (Figura 6). Abaixo segue a tabela de cores indicada para configuração.

Quadro 1 - Configuração de cores no QGIS

Valor NDMI	Cor sugerida	Código Hex
-0,80	Marrom	#800000
-0,24	Vermelho	#ff0000
-0,032	Amarelo	#ffff00
0,032	Ciano	#00ffff
0,24	Azul	#0000ff
0,80	Azul escuro	#000080

Fonte: Disponível em: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/ndmi/>. Acesso em 17 de Jun de 2025.

No mapa abaixo (Figura 6) é possível notar, de forma clara, as áreas com maior teor de umidade e que necessitam de uma maior atenção no que tange a possíveis usos indevidos e/ou vazamentos.

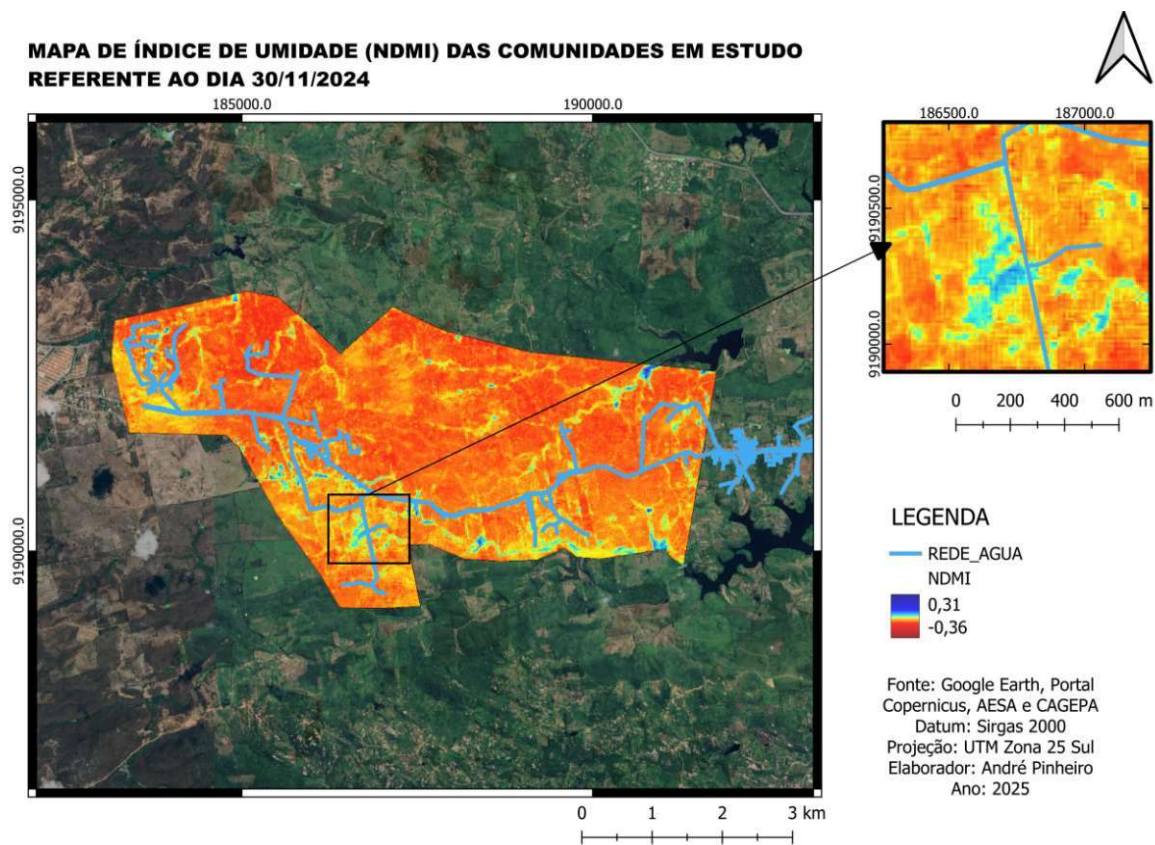


Figura 6 - Mapa de umidade (NDMI)

4.2.2. Identificação dos pontos a serem fiscalizados

Para delimitar os pontos de fiscalização, foi criado um buffer de 100 metros ao longo da rede de água, abrangendo áreas com maior umidade em ambos os lados das tubulações. Embora esse valor tenha sido definido de forma arbitrária, ele buscou equilibrar a abrangência da análise com a viabilidade operacional da fiscalização. Reconhece-se essa limitação, e recomenda-se que estudos futuros avaliem e aprimorem essa definição. Em seguida, os pontos foram demarcados visualmente na planta (Figura 7).

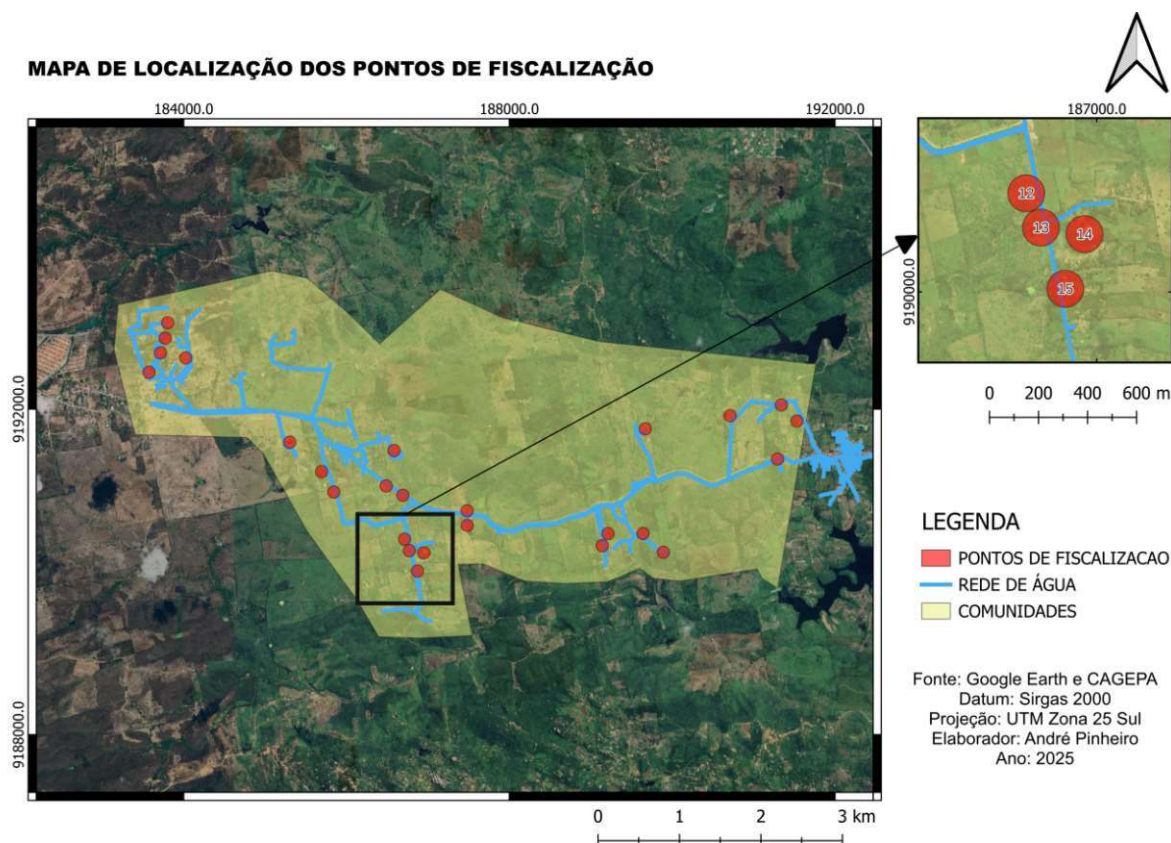


Figura 7 - Planta com os pontos a serem fiscalizados

Quadro 2 - Pontos para fiscalização - coordenadas UTM

id	PONTO	LONGITUDE	LATITUDE	id	PONTO	LONGITUDE	LATITUDE
1	AREA_1	183803,273	9193061,698	14	AREA_14	186950,282	9190236,203
2	AREA_2	183773,284	9192871,772	15	AREA_15	186872,072	9190012,891
3	AREA_3	183713,308	9192691,843	16	AREA_16	187481,833	9190752,601
5	AREA_5	184025,231	9192629,314	17	AREA_17	187481,833	9190572,672
4	AREA_4	183573,363	9192451,936	18	AREA_18	189141,184	9190322,77
6	AREA_6	185302,009	9191593,822	19	AREA_19	189211,156	9190472,711
7	AREA_7	185692,533	9191232,414	20	AREA_20	189640,988	9190472,711
8	AREA_8	185842,475	9190982,511	21	AREA_21	189890,891	9190242,801
9	AREA_9	186486,84	9191056,328	22	AREA_22	189669,221	9191758,587
10	AREA_10	186692,142	9190942,527	23	AREA_23	191293,188	9191388,67
11	AREA_11	186582,185	9191492,312	24	AREA_24	191340,323	9192052,093
12	AREA_12	186712,134	9190402,738	25	AREA_25	191531,627	9191853,621
13	AREA_13	186772,111	9190262,793	26	AREA_26	190711,719	9191919,532

Fonte: Autor (2025)

CAPÍTULO V - RESULTADOS E DISCUSSÕES

No dia 9 de maio de 2025, foram realizadas visitas in loco nos 26 pontos previamente mapeados. As vistorias foram conduzidas pelo cursista, com o acompanhamento de uma equipe da CAGEPA, composta por dois funcionários lotados na Subgerência Comercial da Borborema, sediada na cidade de Campina Grande – PB. Quanto aos materiais e equipamentos utilizados nessa etapa inicial, empregou-se um veículo da companhia (Figura 8) e um smartphone com o aplicativo Timestemp, que permite o registro fotográfico do local de interesse, incluindo coordenadas geográficas, data, hora e outras informações relevantes.



Figura 8 - Veículo empregado nas visitas de campo

Fonte: Autor (2025)

O objetivo inicial da visita foi verificar em campo os pontos identificados no processamento das imagens por meio do NDMI, além de, já nessa etapa preliminar, buscar indícios de uso indevido de água. As inspeções foram realizadas em todas as áreas mapeadas com base no índice de umidade, com o devido preenchimento de formulários específicos e registro fotográfico dos locais avaliados.

Concluídas as visitas de campo, procedeu-se à análise detalhada das fotografias e dos registros obtidos, com o intuito de subsidiar a elaboração de mapas no ambiente do QGIS, vinculados ao presente TCC. Esses mapas permitiram correlacionar os pontos gerados pelo NDMI com os achados verificados in loco. Para melhor organização visual dos resultados, optou-se pela divisão por comunidade: Fazenda Velha (Figura 9), Sítio Massapê (Figura 10) e Sítio Santana (Figura 11). A partir dessa análise integrada, foram produzidas tabelas contendo

os registros fotográficos e as respectivas observações, detalhando os elementos identificados em campo que justificam, ou ao menos sugerem, os altos índices de umidade detectados nas imagens.

5.1. Resultados

Os resultados que serão apresentados correspondem as seguintes comunidades: Fazenda Velha, Massapé e Sítio Santana.

5.1.1. Comunidade de Fazenda Velha - mapa e descrição dos resultados

Nesta seção apresentaremos os resultados, por meio do mapa (Figura 9) e quadro (Ver Apêndice A, Quadro 4), dos achados de campo encontrados na Comunidade de Fazenda Velha.

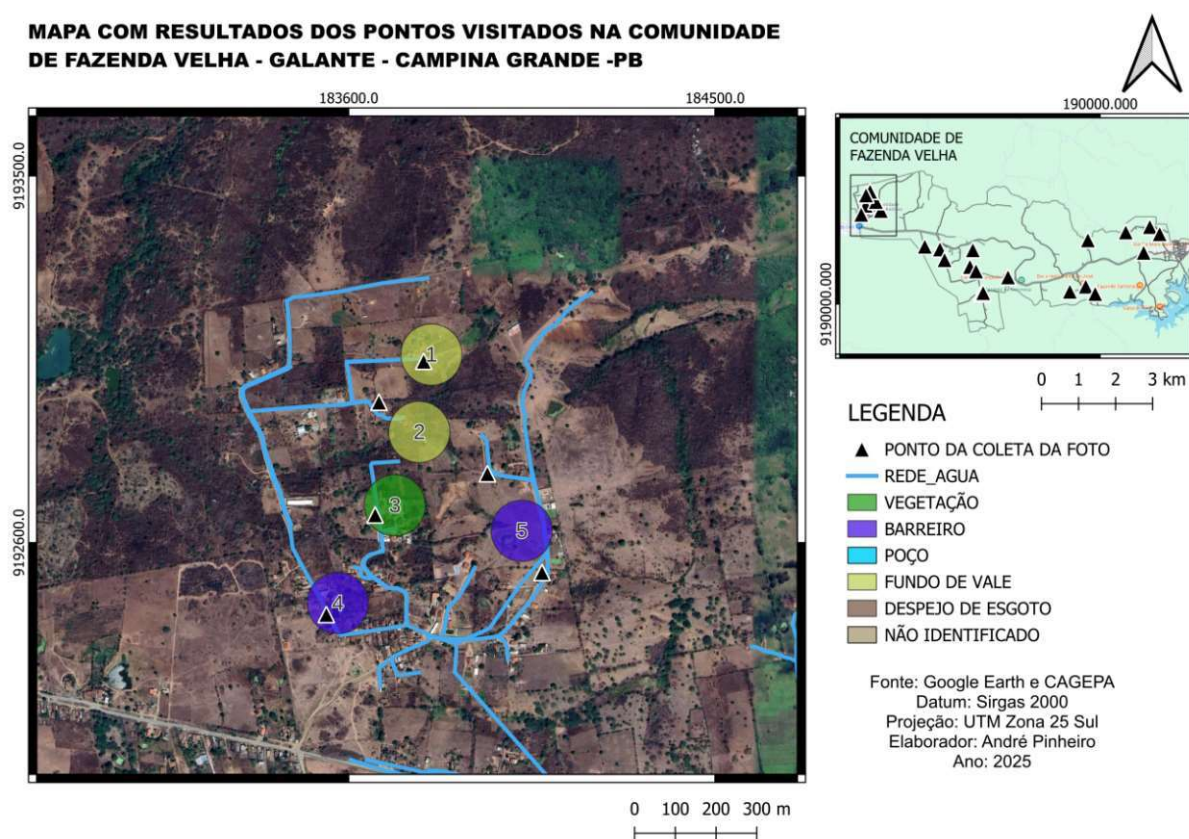


Figura 9 - Mapa da Comunidade Fazenda Velha - achados de campo

5.1.2. Comunidade Massapé - mapa e descrição dos resultados

Nesta seção apresentaremos os resultados, por meio de mapa (Figura 10) e quadro (Ver Apêndice A, Quadro 5), dos achados de campo encontrados na Comunidade Massapé.

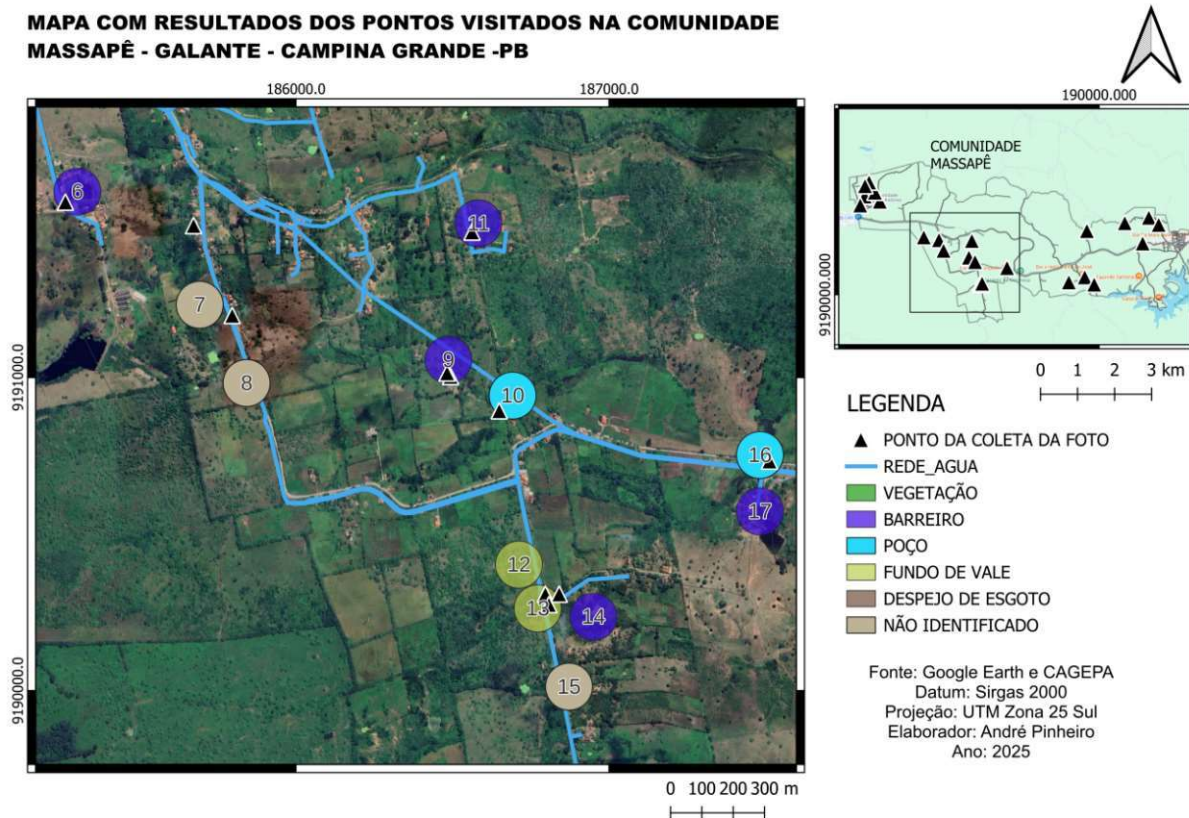


Figura 10 - Mapa da Comunidade Massapé - achados de campo

5.1.3. Comunidade Sítio Santana - mapa e descrição dos resultados

Nesta seção apresentaremos os resultados, por meio de mapa (Figura 11) e quadro (Ver Apêndice A, Quadro 6), dos achados de campo encontrados na Comunidade Sítio Santana.

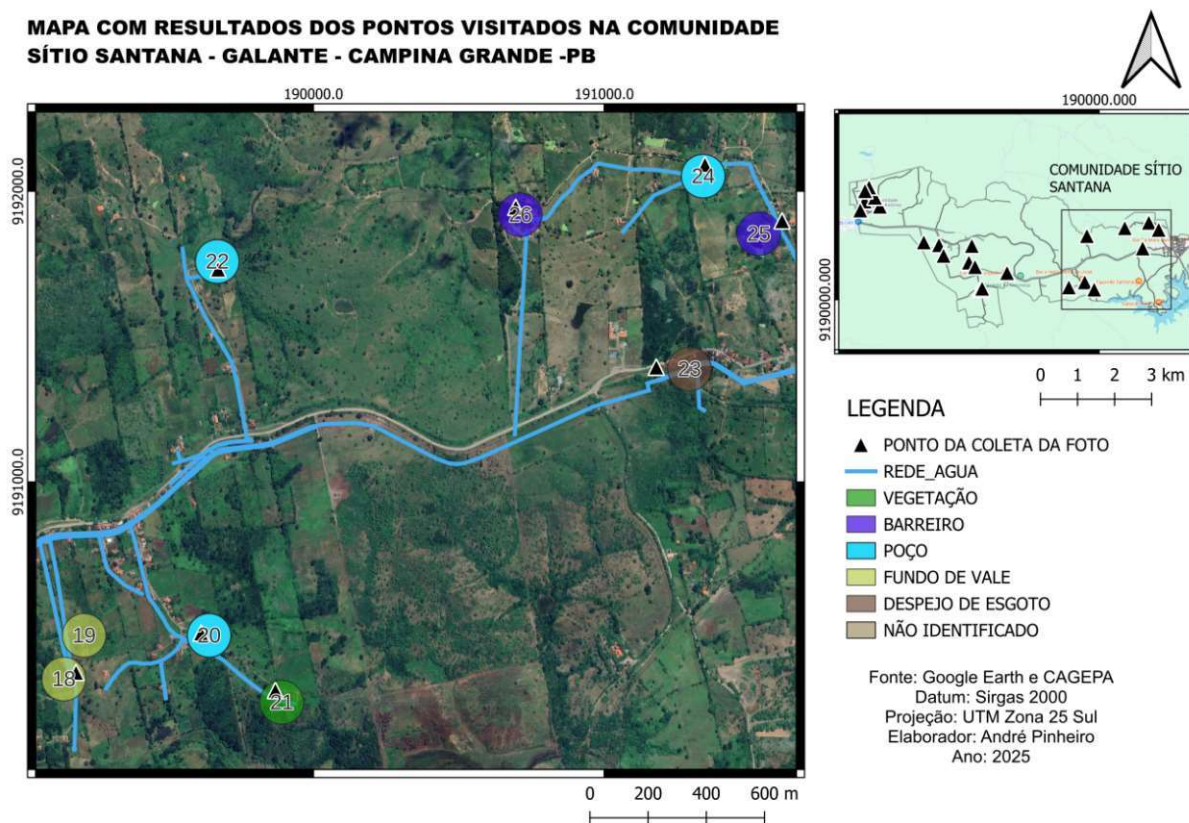


Figura 11 - Mapa da Comunidade Sítio Santana - achados de campo

5.1.4. Resultados consolidados das visitas de campo

Diante dos achados identificados nas comunidades de Fazenda Velha, Massapê e Sítio Santana, foi possível consolidar os principais resultados das visitas de campo em um quadro comparativo. Essa síntese permite visualizar de forma objetiva a quantidade de pontos visitados, os casos em que a umidade foi justificada por causas naturais, bem como os locais que apresentaram indícios de irregularidade e que, por isso, demandam ações de fiscalização por parte da companhia. O Quadro 3, a seguir, apresenta esses resultados consolidados da visita de campo, servindo como base para a priorização das ações de controle e combate às perdas nos sistemas rurais de abastecimento.

Quadro 3 - Quadro-resumo dos resultados das visitas de campo

Comunidade	Pontos Visitados	Pontos com Indício de Irregularidade	Causa Natural da Umidade	Necessitam de Fiscalização	Medida Recomendada
Fazenda Velha	5	1	2 (fundo de vale)	2	Realizar fiscalização em 2 áreas (plantação atípica e barreiro cheio)
Massapê	12	2	5 (fundo de vale ou poço)	4	Fiscalização em 4 pontos, com destaque para 1 desvio identificado e uma denúncia
Sítio Santana	9	2	3 (fundo de vale ou poço)	4	Fiscalização em 4 áreas (com destaque para tubulação exposta)
TOTAL	26	5	10	10	Intensificar fiscalização com base no NDMI

Fonte: Autor (2025)

As observações registradas no Quadro 3 complementam a avaliação dos mapas temáticos e dos quadros descritivos por comunidade, permitindo uma melhor compreensão da origem da umidade em cada ponto analisado. Considera-se como ponto com indício de irregularidade aquele em que houve suspeita de desvio, uso indevido ou presença de tubulações clandestinas e irrigação não autorizada. Já as situações classificadas como causas naturais da umidade incluem fundos de vale, presença de poços artesianos ou condições topográficas que justifiquem os valores elevados do NDMI. Por fim, foram classificados como necessários de fiscalização os locais em que os altos índices de umidade não foram explicados por fatores naturais e que apresentaram suspeitas visuais ou relatos da comunidade durante as visitas de campo. Esses critérios reforçam a utilidade da metodologia proposta para otimizar o direcionamento das equipes de inspeção e ampliar a eficiência do monitoramento em áreas rurais.

5.2. Discussões

Os resultados obtidos a partir da aplicação do índice NDMI (Normalized Difference Moisture Index) demonstraram, de maneira geral, a eficiência da metodologia proposta na identificação de áreas com potencial uso indevido de água em sistemas rurais de abastecimento. O cruzamento entre os dados orbitais e as visitas de campo revelou que, embora parte dos pontos com alta umidade se justifique por características naturais da

paisagem (como fundos de vale, corpos hídricos e poços), diversas ocorrências levantaram suspeitas de consumo não autorizado, incluindo uso para irrigação e ligações clandestinas.

Na Comunidade de Fazenda Velha, a presença de vegetação atípica e a detecção de tubulações suspeitas em áreas de cultivo de bananeiras reforçam a aplicabilidade do NDMI como ferramenta de triagem para fiscalização. Esses achados indicam a possibilidade de desvios de água tratada, o que se configura como perda aparente, segundo classificação da IWA (International Water Association), e representa um desafio adicional à sustentabilidade do sistema.

Na Comunidade Massapê, destacam-se ocorrências mais críticas. Um dos casos envolveu um barreiro sangrando, associado a uma plantação irrigada e uma tubulação clandestina de PVC com forte indício de derivação da adutora que abastece o Distrito de Galante. Essa combinação de fatores corrobora com a eficácia do sensoriamento remoto na identificação de anomalias que não seriam detectadas apenas por inspeções visuais esporádicas. A presença de moradores apontando possíveis irregularidades fortalece ainda mais a necessidade de integrar dados espaciais com denúncias da comunidade.

Já na Comunidade Sítio Santana, a metodologia também se mostrou válida. Foram encontradas áreas com vegetação tropical em ambiente semiárido e a presença de tubulações expostas próximas a plantações de coqueiros e bananeiras, condizentes com uso indevido. Embora algumas áreas apresentem explicações plausíveis para os altos índices de umidade (como poços ou despejo de esgoto), outras carecem de justificativas naturais, reforçando a necessidade de fiscalizações periódicas.

A combinação do NDMI com buffers de 100 metros ao longo da rede de água provou ser eficaz na triagem de pontos críticos, mesmo com limitações como a ausência de padronização de distâncias ideais para análise. Cabe ressaltar que, embora o valor de 100 metros tenha sido adotado de forma empírica, os resultados indicam que tal delimitação foi suficiente para detectar, em campo, áreas de interesse.

Além disso, destaca-se o potencial de replicabilidade da metodologia proposta. Considerando que os sistemas rurais representam extensas áreas com baixa densidade populacional e alto custo de monitoramento contínuo, a aplicação de índices espectrais como o NDMI se apresenta como alternativa estratégica para a priorização de vistorias técnicas, otimizando recursos humanos e financeiros das concessionárias de água.

CAPÍTULO VI - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo geral avaliar a aplicação do sensoriamento remoto, associado ao geoprocessamento, como ferramenta auxiliar e de baixo custo para a identificação de áreas com possível uso não autorizado de água em redes operadas pela CAGEPA, em zonas rurais do semiárido paraibano. A relevância do tema se justifica pelos elevados índices de perdas nos sistemas de abastecimento no estado, que alcançam cerca de 37% do volume produzido. Soma-se a isso a dificuldade de fiscalização em áreas rurais, onde longos trechos de tubulação atravessam regiões remotas, o que representa um desafio adicional para o controle efetivo dessas perdas.

Nesse sentido, com base nos resultados obtidos, o estudo demonstrou ser promissor. A aplicação do índice NDMI, em conjunto com os dados da rede de distribuição da CAGEPA, permitiu identificar com precisão áreas com alta umidade, possibilitando a seleção de pontos estratégicos para fiscalização. Posteriormente, com as inspeções de campo, confirmou-se a eficiência do índice para esse fim, pois, conforme apresentado na Tabela 6, foram identificadas 10 áreas que requerem fiscalização, das quais 5 apresentaram fortes indícios de uso não autorizado de água.

Os achados de campo reforçaram a relevância da metodologia adotada, evidenciando que é possível otimizar os processos de monitoramento em regiões extensas e de difícil acesso, com impactos diretos sobre a eficiência operacional. Destaca-se, ainda, a escalabilidade da metodologia, aliada ao seu baixo custo de aplicação, especialmente no que se refere à triagem prévia dos pontos de interesse. Como exemplo, em uma área de estudo de aproximadamente 23,674 km², foi possível delimitar 26 pontos para visita, o que demonstra a eficácia da abordagem na priorização de esforços de campo.

Apesar dos resultados satisfatórios, o estudo apresenta algumas limitações. A primeira refere-se à própria natureza do índice, que, por se basear na diferença de umidade, é mais adequado ao período seco do ano. Além disso, a proposta metodológica mostrou-se restrita à análise de áreas rurais, não sendo aplicável, para os fins deste estudo, em áreas urbanas, onde a presença de pavimentação interfere diretamente na leitura espectral da superfície. Outra limitação relevante está relacionada à escala espacial das imagens utilizadas, com resolução de 10 metros, o que inviabiliza a detecção de vazamentos e/ou uso não autorizado em pequenas extensões. Como alternativa para superar essa limitação, sugere-se o uso de VANTs equipados com sensores multiespectrais, que, apesar do custo elevado, oferecem maior resolução espacial e permitem o mapeamento de anomalias mais sutis, ampliando o potencial de aplicação da técnica em áreas menores e com maior detalhamento.

Entre as melhorias identificadas ao longo da pesquisa, destaca-se a importância da relação temporal entre o imageamento e a realização das visitas de campo. No presente estudo, as imagens foram adquiridas em 30 de novembro de 2024, enquanto as vistorias ocorreram apenas em 9 de maio de 2025. Esse intervalo de mais de cinco meses pode ter comprometido a correspondência entre os dados orbitais e as condições reais observadas, sobretudo em um

contexto sujeito a variações climáticas e alterações no uso do solo. Assim, recomenda-se que, em estudos futuros, esse intervalo seja minimizado, de modo a garantir maior aderência entre as imagens e os dados de campo.

Para futuras pesquisas, sugerem-se duas linhas de investigação que se mostraram particularmente promissoras. A primeira relaciona-se à gestão de recursos hídricos: como evidenciado neste estudo, o NDMI apresentou elevado desempenho na identificação de áreas com uso de poços, sendo localizados seis poços artesianos. Isso sugere que a metodologia pode ser útil para instituições como a AESA, auxiliando na detecção de captações sem outorga e no monitoramento de sistemas irregulares de extração.

A segunda linha de pesquisa está voltada à interface entre meio ambiente e saneamento. Observou-se que o NDMI também pode ser útil na identificação de áreas com despejo irregular de esgoto, uma vez que pontos com umidade atípica nem sempre se relacionam com vazamentos ou irrigação, podendo indicar o lançamento de efluentes no meio ambiente. Essa possibilidade reforça o potencial da ferramenta para o diagnóstico de passivos ambientais e a priorização de ações de fiscalização ambiental.

Conclui-se, portanto, que a integração entre sensoriamento remoto e geoprocessamento configura-se como uma estratégia eficaz e economicamente viável, contribuindo para a gestão de perdas em sistemas de abastecimento rural. Essa abordagem favorece significativamente o aumento da eficiência operacional e, por consequência, o uso racional da água — recurso fundamental e diretamente relacionado ao tripé da sustentabilidade, seja sob a ótica da concessionária prestadora do serviço, como a CAGEPA, seja sob a perspectiva da preservação ambiental.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABES. **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água: posicionamento e contribuições técnicas da ABES**. Rio de Janeiro: ABES, 2015.
- ANTUNES, J. F. G.; PEREIRA, M. C.; SILVA, R. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise de índices espectrais para detecção de umidade no solo**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 2, p. 123-135, 2005.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2022**. Brasília: SNSA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/snis>. Acesso em: 07 jun. 2025.
- COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA PARAÍBA – CAGEPA. **Mapa de rede de água georreferenciado do Distrito de Galante em formato DWG**. Campina Grande: CAGEPA, 2025.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Sistemas de informações geográficas: princípios e aplicações**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- COPERNICUS. **Sentinel-2 User Handbook**. European Space Agency, 2024. Disponível em: <https://scihub.copernicus.eu>. Acesso em: 25 maio 2025.
- ENCICLOPÉDIA JURÍDICA DA PUC-SP. **Sistema de abastecimento de água**. São Paulo: PUC-SP, 2025. Disponível em: <https://enciclopediajuridica.pucsp.br>. Acesso em: 07 jun. 2025.
- FREITAS, C. R. S.; CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; MONTEIRO, A. M. V. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São José dos Campos: INPE, 2011.
- GAO, B. C. **NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space**. *Remote Sensing of Environment*, v. 58, p. 257-266, 1996.
- GABRIEL, M. J. S.; SOUZA, G. M.; COSTA, F. S. **Aplicação do índice NDMI para detecção de umidade na agricultura irrigada do semiárido**. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 18, n. 1, p. 125-140, 2024.
- HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.
- INSTITUTO TRATA BRASIL – ITB. **Estudos de perdas de água de 2024 (SNIS, 2022): desafios na eficiência do saneamento básico no Brasil**. São Paulo: ITB, 2024.
- NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. **Introdução ao sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- PIROLI, E. L. **Introdução ao geoprocessamento**. Ourinhos: UNESP - Campus Experimental de Ourinhos, 2010. 46 p. ISBN 978-85-61775-05-6.



ROSA, R. **Apostila de introdução ao geoprocessamento**. Uberlândia: UFU, 2013.

SILVA, V. C. L.; SANTOS, M. A. C.; SOUZA, R. C. M.; CÂMARA, G. **Geoprocessamento: princípios, tecnologias e aplicações**. Brasília: Embrapa, 2007.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água: gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento: guia do profissional em treinamento – nível 2**. Salvador: ReCESA; Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (Org.), 2008. 139 p.

8. APÊNDICES

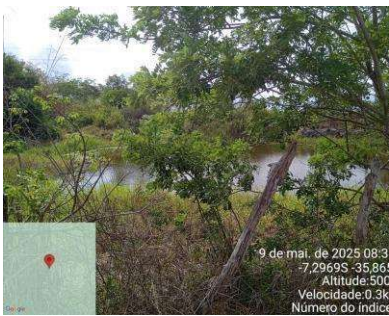
Apêndice A

Aqui serão apresentados os achados de campo, por de quadros, das vistorias realizadas nas comunidades de Fazenda Velha (Quadro 4), Massapê (Quadro 5) e Sítio Santana (Quadro 6).

Quadro 4 - Descrição dos achados de campo na Comunidade de Fazenda Velha

ÁREA DE ESTUDO	FEIÇÃO IDENTIFICADA	OBSERVAÇÃO	FOTOS
Área 1	Fundo de vale	Na visita in loco foi possível perceber que a umidade da área em questão está relacionada a sua posição na paisagem - FUNDO DE VALE. Medida a ser adotada: NADA A FAZER.	
Área 2	Fundo de vale	Na visita in loco foi possível perceber que a umidade da área em questão está relacionada a sua posição na paisagem - FUNDO DE VALE. Medida a ser adotada: NADA A FAZER.	
Área 3	Vegetação	Na visita in loco foi encontrada, dentro da área de uma chácara, vegetação em condições atípicas em comparação com as áreas adjacentes. Notou-se uma plantação de bananas, incomum para região em situações normais de umidade. Após o exame mais minucioso, foi identificada uma tubulação com fortes indícios de desvio de água. Esse foi o achado mais significativo encontrado na comunidade. Importante ressaltar que o índice identificou o bananal com boa precisão. Medida a ser adotada: FISCALIZAR.	 

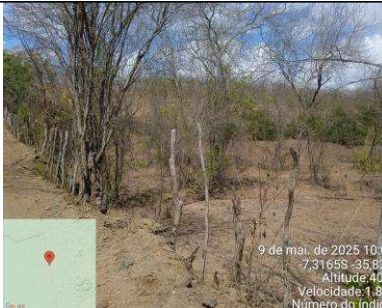


Área 4	Barreiro	Na visita in loco foi encontrado um barreiro com um volume de água próximo a 100% da capacidade. Esse fato chamou a atenção pela discrepância com os demais corpos d'água localizados na região, que, em sua maioria, estavam com nível de água muito baixo. Medida a ser adotada: FISCALIZAR.	
Área 5	Barreiro	Na visita in loco foi identificado um barreiro com baixo nível de água. Vale salientar que as fotos foram tiradas com uma certa distância pois se tratava de área particular. Vale pontuar também que foram realizadas duas fotos, onde na posição mais ao norte foi identificado um poço, que explica a umidade encontrada em área próxima, porém não visitada por está fora da faixa de 100m. Medida a ser adotada: NADA A FAZER.	 BARREIRO  POÇO

Fonte: Autor (2025)

Quadro 5 - Descrição dos achados de campo na Comunidade Massapê

ÁREA DE ESTUDO	FEIÇÃO IDENTIFICADA	OBSERVAÇÃO	FOTOS
Área 6	Barreiro	Na visita in loco foi encontrado um barreiro com um volume de água próximo a 100% da capacidade. Esse fato chamou a atenção pela discrepância com os demais corpos d'água localizados na região, que, em sua maioria, estavam com nível de água muito baixo. Medida a ser adotada: FISCALIZAR.	
Área 7	Não identificado	Na visita in loco não identificamos a área mapeada com o uso do NDMI.	
Área 8	Não identificado	Na visita in loco não identificamos a área mapeada com o uso do NDMI.	
Área 9	Barreiro	Na visita in loco foi encontrado um barreiro com um volume de água de mais de 100% da capacidade, ou seja, sangrando. Também foi identificada uma plantação de capim, com indícios de irrigação. A equipe ainda localizou uma tubulação em PVC de 20mm com fortes indícios de derivação da adutora de 150mm que passa dentro da propriedade, em área próxima ao barreiro supracitado. Esse foi, sem dúvidas, o achado mais significativo do trabalho. Medida a ser adotada: FISCALIZAR.	
Área 10	Poço	Na visita in loco foi identificado um poço artesiano, que, conforme conversa com o proprietário, é utilizado para abastecimento da propriedade, inclusive irrigação da área próxima ao poço. Medida a ser adotada: NADA A FAZER.	

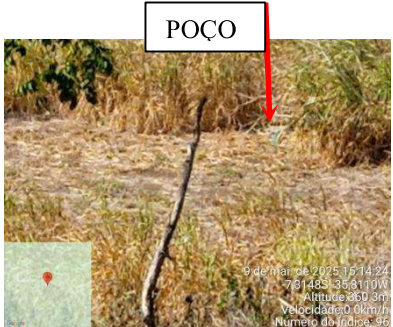
Área 11	Barreiro	Na visita in loco foi encontrado um barreiro com um volume de água próximo a 100% da capacidade. Esse fato chamou a atenção pela discrepância com os demais corpos d'água localizados na região, que, em sua maioria, estavam com nível de água muito baixo. Destacamos ainda que, no momento da visita, moradores da região abordaram a equipe para denunciar possível irregularidade no local. Medida a ser adotada: FISCALIZAR.	
Área 12	Fundo de vale	Na visita in loco foi possível perceber que a umidade da área em questão está relacionada a sua posição na paisagem - FUNDO DE VALE. Medida a ser adotada: NADA A FAZER.	
Área 13	Fundo de vale	Na visita in loco foi possível perceber que a umidade da área em questão está relacionada a sua posição na paisagem - FUNDO DE VALE. Medida a ser adotada: NADA A FAZER.	
Área 14	Barreiro	Na visita in loco foi identificado um barreiro com baixo nível de água, compatível com os demais corpos hídricos da região. Medida a ser adotada: NADA A FAZER.	
Área 15	Não identificado	Na visita in loco não identificamos a área mapeada com o uso do NDMI.	



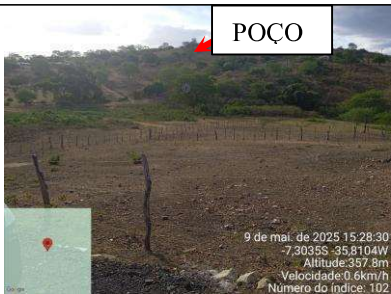
Área 16	Poço	Na visita in loco foi identificado um poço artesiano, que, conforme conversa com o proprietário, é utilizado para abastecimento da propriedade, inclusive irrigação da área próxima ao poço. Medida a ser adotada: NADA A FAZER.	
Área 17	Barreiro	Na visita in loco não foi possível adentrar a propriedade, pois trata-se de área privada. No entanto, na imagem do Google Earth é possível identificar um barreiro no local. A posição na paisagem também explica o índice de umidade mais elevado, pois é uma área de várzea. No entanto, há necessidade de fiscalização, pois trata-se de um restaurante, ou seja, uso de grande volume de água. Medida a ser adotada: FISCALIZAR.	

Fonte: Autor (2025)

Quadro 6 - Descrição dos achados de campo na Comunidade Sítio Santana

ÁREA DE ESTUDO	FEIÇÃO IDENTIFICADA	OBSERVAÇÃO	FOTOS
Área 18	Fundo de vale	Na visita in loco foi possível perceber que a umidade da área em questão provém de uma fonte não visitada, pois trata-se de área particular, situada no topo da paisagem, conforme fotos. Percebe-se uma linha verde do topo para várzea, indicando assim um escoamento de água nessa região. Medida a ser adotada: FISCALIZAR.	 LINHA DE ESCOAMENTO
Área 19	Fundo de vale	Na visita in loco foi possível perceber que a umidade da área em questão está relaciona a sua posição na paisagem - FUNDO DE VALE. Medida a ser adotada: NADA A FAZER.	
Área 20	Poço	Na visita in loco foi identificado um poço artesiano. Não conseguimos contato com o proprietário para saber mais detalhes. No entanto, foi possível perceber que a área em questão tem maior umidade que as áreas adjacentes, inclusive com plantação de capim. Medida a ser adotada: NADA A FAZER.	 POÇO
Área 21	Vegetação	Na visita in loco foi identificada vegetação atípica comparada com as áreas adjacentes. Foram identificados plantações de coqueiros e bananeiras, vegetação atípica para região. A equipe também localizou um tubo em PVC de 20mm na porteira de entrada da propriedade.	



		Medida a ser adotada: FISCALIZAR.	TUBO 25 mm 
Área 22	Poço	Na visita in loco foi identificado um poço artesiano. Não conseguimos contato com o proprietário para saber mais detalhes. No entanto, foi possível perceber que a área em questão tem maior umidade que as áreas adjacentes, inclusive com plantação de capim. Medida a ser adotada: FISCALIZAR.	POÇO  
Área 23	Despejo de esgoto	Na visita in loco foi identificado o despejo de esgoto na área, explicando assim a umidade no ponto indicado. Medida a ser adotada: NADA A FAZER.	
Área 24	Poço	Na visita in loco foi identificado um poço artesiano. A umidade percebida com a aplicação do NDMI é totalmente explicada, pois encontramos e registramos irrigação no momento da visita. Medida a ser adotada: NADA A FAZER.	 



Área 25	Barreiro	Na visita in loco não foi possível adentrar a propriedade, pois trata-se de área privada. No entanto, na imagem do Google Earth é possível identificar um barreiro no local. A posição na paisagem também explica o índice de umidade mais elevado, pois é uma área de várzea. No entanto, há necessidade de fiscalização. Medida a ser adotada: FISCALIZAR.	
Área 26	Barreiro	Na visita in loco não foi possível adentrar a propriedade, pois trata-se de área privada. No entanto, na imagem do Google Earth é possível identificar um barreiro no local. No entanto, há necessidade de fiscalização. Medida a ser adotada: FISCALIZAR.	

Fonte: Autor (2025)