



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

LEANDRO MENDES LAGO

**SUSTENTABILIDADE HÍDRICA NO PARÁ: ESTUDO DO
COMPORTAMENTO DE POÇOS TUBULARES EM DIFERENTES
CONTEXTOS REGIONAIS**

***WATER SUSTAINABILITY IN PARÁ: STUDY OF THE BEHAVIOR OF
TUBULAR WELLS IN DIFFERENT REGIONAL CONTEXTS***

TUCURUÍ-PA
2025

LEANDRO MENDES LAGO

**SUSTENTABILIDADE HÍDRICA NO PARÁ: ESTUDO DO
COMPORTAMENTO DE POÇOS TUBULARES EM DIFERENTES
CONTEXTOS REGIONAIS**

***WATER SUSTAINABILITY IN PARÁ: STUDY OF THE BEHAVIOR OF
TUBULAR WELLS IN DIFFERENT REGIONAL CONTEXTS***

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Sanitária e Ambiental,
Faculdade de Engenharia Sanitária e
Ambiental, Campus Universitário de
Tucuruí, Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo
Aguar de Souza Costa.

TUCURUÍ-PA
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L177s Lago, Leandro Mendes.
SUSTENTABILIDADE HÍDRICA NO PARÁ: ESTUDO DO
COMPORTAMENTO DE POÇOS TUBULARES EM
DIFERENTES CONTEXTOS REGIONAIS / Leandro Mendes
Lago. — 2025.
39 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Carlos Eduardo Aguiar de Souza Costa
Coorientador(a): Prof. Dr. Josias da Silva Cruz
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do
Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia
Sanitária e Ambiental, Tucuruí, 2025.

1. Gestão Sustentavel. 2. hidrogeologia. 3. Águas
subterrâneas. I. Título.

CDD 621.20424

LEANDRO MENDES LAGO

**SUSTENTABILIDADE HÍDRICA NO PARÁ: ESTUDO DO
COMPORTAMENTO DE POÇOS TUBULARES EM DIFERENTES
CONTEXTOS REGIONAIS**

***WATER SUSTAINABILITY IN PARÁ: STUDY OF THE BEHAVIOR OF
TUBULAR WELLS IN DIFFERENT REGIONAL CONTEXTS***

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Data de Aprovação:

Conceito:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Eduardo Aguiar de Souza Costa
Orientador – FAESA/CAMTUC/UFPA

Prof. Dr. Josias da Silva Cruz
Coorientador – PPGEC/ITEC/UFPA

Prof. Dr. Davi Edson Sales e Souza
Examinador Interno – FAESA/CAMTUC/UFPA

Eng. Me. Wanleysson Larry Dias Martins
Examinador Externo – BION Engenharia

RESUMO

A gestão dos recursos hídricos subterrâneos é um desafio essencial para garantir o abastecimento de água em diversas regiões do Brasil. No estado do Pará, onde a exploração dos aquíferos é intensiva devido a fatores como o crescimento urbano, atividades agrícolas e mineração, compreender o comportamento dos aquíferos torna-se fundamental para uma gestão eficiente. Este estudo teve como principal objetivo analisar o comportamento hidráulico de poços tubulares em sete municípios paraenses (Altamira, Belém, Oriximiná, Parauapebas, Paragominas, Salinópolis e Santarém). Foram avaliadas variáveis como profundidade, vazão, níveis estático e dinâmico, rebaixamento e eficiência dos filtros, com base em dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). A metodologia empregou análise estatística para identificar os padrões de recarga, exploração e impactos antrópicos sobre os aquíferos. Os resultados indicaram variações significativas entre os municípios, influenciadas principalmente pela geologia local e pelo uso dos recursos hídricos. Em áreas com intensa atividade mineradora, como Parauapebas e Oriximiná, verificou-se um rebaixamento expressivo dos níveis freáticos e menor capacidade de recarga, evidenciando exploração intensa e potencial risco de comprometimento dos aquíferos. Por outro lado, municípios como Belém, Salinópolis e Paragominas apresentaram condições mais favoráveis de reposição hídrica, devido à presença de aquíferos sedimentares com maior capacidade de armazenamento. A pesquisa enfatiza a necessidade de monitoramento contínuo, pesquisas complementares e políticas públicas eficazes para a gestão sustentável das águas subterrâneas, visando à segurança hídrica da população e à preservação dos recursos na região.

Palavras-chave: Águas subterrâneas, Hidrogeologia, Gestão Sustentável.

ABSTRACT

Groundwater resource management is a key challenge to ensure water supply in several regions of Brazil. In the state of Pará, where aquifer exploitation is intensive due to factors such as urban growth, agricultural and mining activities, understanding aquifer behavior is essential for efficient management. The main objective of this study was to analyze the hydraulic behavior of tubular wells in seven municipalities in Pará (Altamira, Belém, Oriximiná, Parauapebas, Paragominas, Salinópolis and Santarém). Variables such as depth, flow, static and dynamic levels, drawdown and filter efficiency were evaluated, based on data from the Groundwater Information System (SIAGAS). The methodology used statistical analysis to identify patterns of recharge, exploitation and anthropogenic impacts on aquifers. The results indicated significant variations among municipalities, mainly influenced by local geology and the use of water resources. In areas with intense mining activity, such as Parauapebas and Oriximiná, there was a significant drop in water tables and reduced recharge capacity, indicating intense exploitation and a potential risk of compromising aquifers. On the other hand, municipalities such as Belém, Salinópolis and Paragominas presented more favorable conditions for water replenishment, due to the presence of sedimentary aquifers with greater storage capacity. The research emphasizes the need for continuous monitoring, complementary research and effective public policies for the sustainable management of groundwater, aiming at the water security of the population and the preservation of resources in the region.

Keywords: Groundwater, Hydrogeology, Sustainable Management.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1 ÁREA DE ESTUDO	8
2.2 BASE DE DADOS.....	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	13
3.1 ESPACIALIZAÇÃO DOS POÇOS	13
3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	20
3.3 ANÁLISE DE COMPARAÇÃO GRÁFICA ENTRE OS DADOS	26
4 CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS.....	34
ANEXO I – E&S ENGINEERING AND SCIENCE (Qualis B2 – Engenharias I)	39

1 INTRODUÇÃO

No contexto da Agenda 2030 e dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, o uso sustentável das águas subterrâneas no Brasil, em especial no Pará, assume um papel estratégico. Segundo Hirata et al. (2019), esses recursos são essenciais para garantir o abastecimento público de inúmeras populações, sustentar a irrigação agrícola, atender às demandas da produção industrial e preservar ecossistemas. A gestão de recursos hídricos no Brasil, no entanto, enfrenta desafios significativos, como a necessidade de equilibrar o desenvolvimento econômico com a sustentabilidade ambiental. Ferreira e Silva (2013) destacam que a gestão integrada e participativa dos recursos hídricos ganhou impulso na década de 1960 e tornou-se praticamente um consenso mundial, embora sua implementação efetiva ainda exija avanços.

Santos (2022) enfatiza que as atividades antrópicas, como a agricultura e a mineração, além de contribuírem para grandes desigualdades sociais, exercem forte pressão sobre os aquíferos e outros recursos naturais. Esse cenário reforça a necessidade de estudos aprofundados e ações concretas para a preservação desses recursos. Viel et al. (2024), por exemplo, ao analisarem a qualidade das águas do Aquífero Alter do Chão, destacaram a importância do monitoramento regular para a proteção dos recursos hídricos, especialmente em áreas agrícolas da Amazônia. Tais iniciativas são fundamentais para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas e o bem-estar das populações que dependem desses recursos.

De acordo com a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS), o poço tubular é uma obra de engenharia geológica de acesso a água subterrânea, executada com Sonda Perfuratriz mediante a uma perfuração vertical com diâmetros que variam de 4 a 36 polegadas e profundidade de até 2000 metros, para captação de água. Esses poços geralmente recebem revestimentos de tubos metálicos ou plásticos, como PVC (policloreto de vinil), PVC geomecânico ou aço, que evitam o colapso das paredes e protegem o fluxo de água subterrânea, garantindo sua durabilidade e eficiência (Feitosa et al., 2008; Vasconcelos, 2017). A perfuração deve ser acompanhada por estudos detalhados da área, uso de materiais adequados e envolvimento de profissionais qualificados, assegurando não apenas a qualidade da água captada, mas também a minimização de impactos negativos no ecossistema (Fagundes e Andrade, 2015).

A perfuração de poços é uma atividade ainda em expansão no Brasil, impulsionada por fatores que vão desde as vantagens econômicas, como o custo reduzido de captação em comparação com o fornecimento das concessionárias locais, até a necessidade de autossuficiência diante da insuficiência do sistema público de abastecimento (ANA, 2018). No

Estado do Pará, situado na Região Norte do país, a realidade não é diferente. Apesar de possuir uma grande extensão territorial e recursos hídricos abundantes, com uma vasta rede de rios e aquíferos, o desafio de gerenciar esses recursos de forma sustentável persiste. A Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), controlada pelo governo estadual, atende apenas 53 dos 144 municípios paraenses, deixando os demais sob responsabilidade das prefeituras locais (SNIS, 2022). Essa fragmentação na gestão dos recursos hídricos contribui para a complexidade do cenário.

Ainda de acordo com dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, o Pará enfrenta diversos desafios no que diz respeito ao abastecimento de água e ao saneamento básico. Cerca de 49,9% da população do estado não tem acesso à água tratada, e 91,5% não conta com coleta de esgoto doméstico. Esses índices refletem a urgência de políticas públicas mais eficazes e investimentos em infraestrutura para garantir o acesso universal a serviços básicos de qualidade. A gestão sustentável dos recursos hídricos, aliada à ampliação da cobertura de saneamento, é essencial para melhorar as condições de vida da população e preservar os ecossistemas locais. Além disso, é fundamental promover a conscientização sobre o uso racional da água e a importância do tratamento de esgoto, reduzindo impactos ambientais como a contaminação de rios e aquíferos.

Por exemplo, em municípios como Parauapebas e Oriximiná, onde as atividades de mineração são intensas, a demanda por água é alta, pressionando os aquíferos locais. A extração de minerais, como ferro e bauxita, consome grandes volumes de água subterrânea. De acordo com Bichueti et al. (2014), a mineração ocorre, frequentemente, em nível freático e pode interferir diretamente nas águas superficiais e subterrâneas, produzindo efeitos hidrológicos (em termos qualitativos e quantitativos), ambientais e econômicos importantes, que podem se estender por muito tempo após o cessar das atividades.

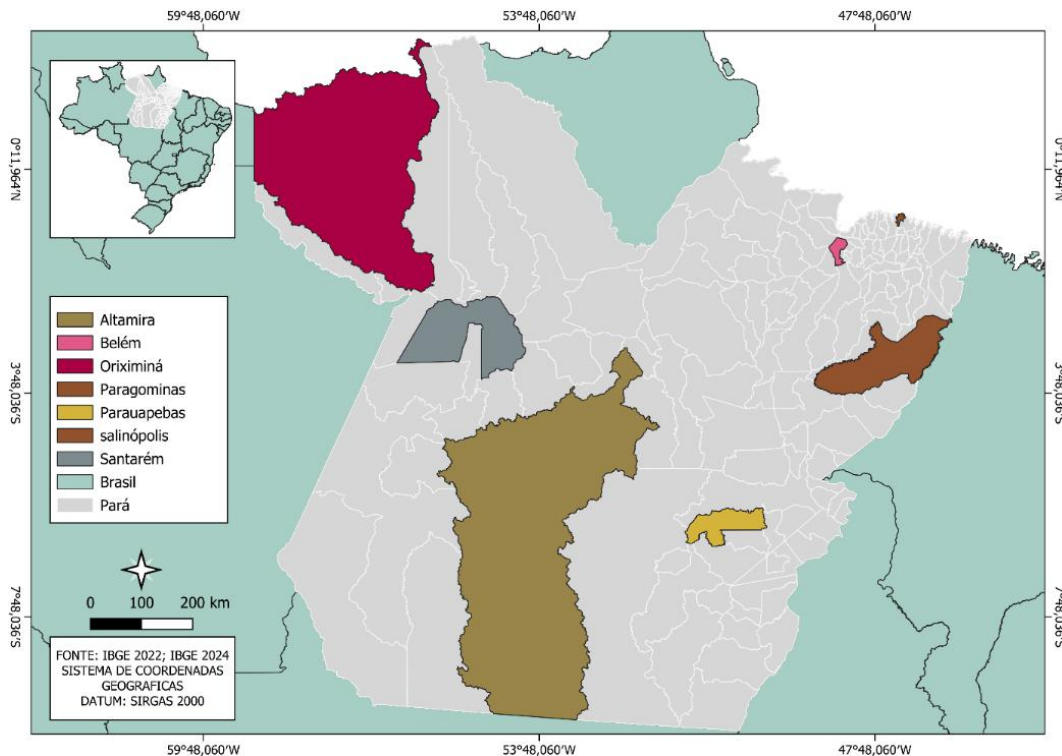
Assim, este trabalho tem como objetivo investigar a variação hidráulica dos poços tubulares em diversos municípios no estado do Pará, identificando padrões de recarga e exploração. O estudo também busca contribuir para o entendimento da sustentabilidade e do uso dos recursos hídricos subterrâneos em cada uma dessas localidades, promovendo uma visão mais abrangente sobre as peculiaridades regionais e suas implicações para a gestão desses recursos. Destaca-se a relevância desta pesquisa frente à escassez de estudos semelhantes na Amazônia, região que carece de dados detalhados e análises específicas sobre suas características hidrogeológicas, essenciais para o planejamento e a gestão sustentável dos recursos hídricos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o estado do Pará possui uma área total de aproximadamente 1.245.870,704 km² e uma população de 8.120.131 habitantes. Para este estudo, foram selecionados os municípios de Altamira, Belém, Oriximiná, Paragominas, Parauapebas, Salinópolis e Santarém (Figura 1), que representam uma amostra significativa da diversidade geográfica e demográfica do estado. A escolha desses municípios também foi fundamentada na disponibilidade e qualidade dos dados, como informações cadastrais de poços, níveis estáticos e dinâmicos, e vazões, essenciais para análises consistentes e comparativas.

Figura 1: Municípios selecionados para o estudo



Fonte: Autores, 2025.

Juntos, os municípios analisados correspondem a 25,08% do território paraense e abrigam 27,64% da população estadual. Essa representatividade é essencial para compreender as variáveis hidrodinâmicas e os desafios de gestão hídrica em diferentes contextos regionais, desde áreas urbanas densamente povoadas até regiões com menor densidade populacional e características geológicas distintas. Além disso, a qualidade e a abrangência dos dados

disponíveis nesses municípios permitiram uma análise detalhada e confiável, justificando sua seleção como áreas prioritárias para o estudo.

A escolha dos municípios reflete sua relevância socioeconômica e a diversidade de atividades que impactam os recursos hídricos. Parauapebas e Oriximiná destacam-se pela intensa atividade mineradora, que impulsiona a economia, mas gera riscos ambientais, como degradação da água e poluição de mananciais, conforme Pereira (2014). Paragominas e Altamira têm forte influência agrícola, enquanto Santarém combina turismo, agroindústria e expansão urbana. Salinópolis é marcado pelo turismo costeiro e crescimento populacional sazonal, e Belém, como capital e um dos municípios mais populosos do Brasil, enfrenta desafios urbanos. Essa diversidade permite analisar os impactos das atividades humanas sobre os recursos hídricos em diferentes contextos econômicos e sociais (Silva et al., 2018; Gauthier et al., 2019; Mourão e Pereira, 2020; Freitas et al., 2020).

Situado no sudoeste paraense, Altamira é conhecido por sua vasta extensão territorial. Conforme observaram Estronioli e Miranda Neto (2021), a rápida valorização das terras urbanas na região, combinada com o crescimento populacional provocado pela construção da usina de Belo Monte, exacerbou as desigualdades sociais, criando formas de segregação urbana. Esse fenômeno se reflete, por exemplo, no aumento das ocupações em áreas alagadiças do município, que são ambientalmente frágeis e inadequadas para habitação. Além disso, estudos hidrogeológicos realizados por Baptista et al. (1998) indicam que a cobertura predominante de solos avermelhados, provenientes da alteração das soleiras de diabásio, representa um obstáculo para a exploração de água subterrânea. Isso ocorre tanto pelos custos elevados de perfuração necessários para atravessar essas formações rochosas, quanto pela qualidade química da água, que muitas vezes não atende aos padrões de potabilidade.

Assim como Altamira, outros municípios paraenses enfrentam desafios relacionados ao uso do solo e à pressão sobre os recursos naturais. Belém, a capital do Pará, por exemplo, é um importante centro econômico e administrativo do estado, concentrando grande parte das atividades comerciais, industriais e de serviços. No entanto, a expansão urbana acelerada e a falta de planejamento adequado têm impactado a qualidade de vida da população e a sustentabilidade ambiental. De acordo com os dados geológicos dos poços cadastrados no portal Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), corroborados pelo estudo de Carvalho et al. (2020), os solos do município são predominantemente dos tipos arenosos, areno-argilosos e argilo-arenosos, o que influencia diretamente a infraestrutura urbana e a gestão dos recursos hídricos.

Na região oeste do estado, Oriximiná é outro município que enfrenta desafios socioambientais. A implantação de projetos mineradores tem trazido transformações significativas à região, elevando a pressão sobre os recursos naturais, mas sem que a infraestrutura urbana acompanhasse esse crescimento, resultando em desigualdades sociais e ambientais (Chaves et al., 2021). Os solos de Oriximiná, conforme registrados no portal SIAGAS, são do tipo areno-argiloso, arenito e argilito, o que também influencia a dinâmica de ocupação e exploração do território.

Já Paragominas, localizada na região nordeste do estado, possui solos compostos predominantemente por três unidades geológicas: a Formação Itapecuru, com arenitos avermelhados e argilosos; o Grupo Barreiras, constituído por arenito e conglomerados ferruginosos; e os depósitos coluvionares e aluvionares, que incluem cascalhos, areias e argilas (Araújo et al., 2006). Essas características geológicas têm implicações diretas para as atividades econômicas locais, como a agricultura e a mineração, que são fundamentais para a economia do município.

No sudeste do estado, Parauapebas se destaca como um município de forte atividade mineradora. O crescimento acelerado da cidade está diretamente relacionado à migração de trabalhadores para atender às demandas da mineração. Pinheiro e Costa (2020) afirmam que essa expansão desordenada tem resultado em pressões sobre os recursos naturais, incluindo os recursos hídricos. A composição geológica dos solos de Parauapebas, descrita nos dados construtivos dos poços, revela a predominância de rochas intemperizadas e minério de ferro, o que reflete a importância da mineração para a economia local, mas também os desafios ambientais associados a essa atividade.

Outro município que enfrenta problemas relacionados ao uso do solo e à gestão ambiental é Salinópolis, localizado na costa paraense. A ausência de planejamento para o desenvolvimento socioeconômico e a falta de gerenciamento costeiro têm levado a problemas como ocupação desordenada, falta de saneamento básico e poluição ambiental (Souza, 2021). A composição geológica dos solos de Salinópolis, conforme descrita nos dados construtivos dos poços, inclui tipos como areno-argiloso, calcário e granito, o que influencia tanto a ocupação humana quanto a exploração dos recursos naturais.

Por fim, Santarém, situada na confluência dos rios Tapajós e Amazonas, é um dos principais centros urbanos do oeste do Pará e um importante polo agroindustrial e turístico da região. No entanto, a insuficiência de investimentos em saneamento contribui para baixos índices de cobertura, o que compromete a qualidade de vida da população e a integridade ambiental, especialmente em áreas periféricas (Oliveira et al., 2020). Além disso, estudos

geológicos realizados por Oliveira et al. (2000) indicam que a litologia de Santarém é caracterizada, de modo geral, por arenitos, siltitos, argilitos e, subordinadamente, por conglomerados, em alternância de cores claras e avermelhadas, o que influencia a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos na região. Para uma visão detalhada das dimensões territoriais e populacionais dos municípios abordados, consulte a Tabela 1.

Tabela 1: Dados socioeconômicos e dimensões territoriais dos municípios estudados

Municípios	População	Área (km ²)	PIB per capita (R\$)	IDH
Altamira	126.279	159.533,306	26.595,80	0,665
Belém	1.303.403	1.059,458	22.216,33	0,746
Oriximiná	68.294	107.613,629	30.413,04	0,623
Paragominas	105.550	19.342,565	36.952,54	0,645
Parauapebas	267.836	6.885,865	227.449,71	0,715
Salinópolis	44.772	226,120	15.593,74	0,647
Santarém	331.942	17.899,238	20.725,66	0,691

Fonte: Adaptado de IBGE, 2022.

A Tabela 1 apresenta informações que evidenciam as diferenças socioeconômicas e geográficas dos municípios estudados. Altamira possui a maior extensão territorial, enquanto Belém apresenta maior população e maior índice de desenvolvimento humano (IDH). Parauapebas tem o PIB per capita mais alto, refletindo sua forte economia ligada a atividades mineradoras, enquanto Salinópolis tem o menor, influenciado principalmente pela sazonalidade do turismo. Oriximiná registra o menor IDH, indicando desafios no desenvolvimento humano.

2.2 BASE DE DADOS

A metodologia adotada neste trabalho baseia-se na análise de dados secundários obtidos através do SIAGAS, um banco de dados nacional administrado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) e disponível de maneira pública. O SIAGAS permite o acesso a dados cadastrais, construtivos, geológicos, hidrogeológicos, testes de bombeamento e análises químicas de diversos poços por todo o território nacional. Utilizando o filtro de pesquisa por município, foram selecionados os dados dos poços localizados nos municípios de interesse do estudo.

Este estudo também levará em consideração o trabalho realizado por Costa et al. (2015) para o município de Belém-PA, onde os autores definiram os mesmos parâmetros que serão considerados posteriormente.

A seleção foi baseada seguindo parâmetros definidos em conformidade com as orientações técnicas das normas NBR 12212/1992 (Projeto de poço tubular profundo para

captação de água subterrânea) e NBR 12244/2006 (Construção de poço tubular profundo para captação de água subterrânea), que estabelecem as variáveis adotadas, tais como:

Profundidade total do poço (m): Este parâmetro indica a extensão da perfuração realizada até a base do aquífero explorado. Segundo a NBR 12212:1992, a profundidade deve ser determinada com base nas características hidrogeológicas da área, de modo a assegurar a captação de água na zona produtiva mais adequada, respeitando tanto a qualidade quanto o volume disponível do aquífero (ABNT, 1992).

Nível estático e dinâmico da água (m): O nível estático representa a profundidade da água medida antes do bombeamento, enquanto o nível dinâmico corresponde à profundidade durante a operação. Conforme a NBR 12244:2006, o registro desses níveis é fundamental para calcular o rebaixamento do aquífero e dimensionar os sistemas de bombeamento (ABNT, 2006).

Vazão (m^3/h): De acordo com a NBR 12212:1992, a vazão deve ser obtida por meio de testes de bombeamento controlados, realizados em diferentes estágios de extração para avaliar a capacidade máxima sustentável do poço. Este parâmetro reflete a produtividade do aquífero e orienta o dimensionamento do sistema de bombeamento e tubulação (ABNT, 1992).

Rebaixamento (m): Este parâmetro refere-se à diferença entre os níveis estático e dinâmico durante o bombeamento. A NBR 12244:2006 enfatiza a importância de monitorar o rebaixamento para avaliar a eficiência do poço e a resposta do aquífero à extração (ABNT, 2006).

Vazão específica ($m^3/h/m$): Calculada pela razão entre a vazão e o rebaixamento, a vazão específica indica a eficiência do poço em termos de produção de água por metro de rebaixamento. A determinação desse parâmetro, recomendada na NBR 12212:1992, é essencial para avaliar o desempenho do poço e auxiliar na tomada de decisões operacionais (ABNT, 1992).

As variáveis profundidade, nível estático e nível dinâmico são essenciais para a caracterização hidrodinâmica dos poços tubulares. O nível estático representa a profundidade natural da água antes do bombeamento, enquanto o dinâmico é a profundidade durante a operação. A diferença entre eles, chamada de rebaixamento, é definida pela NBR 12.244 como a variação entre esses níveis durante o bombeamento. Um pequeno rebaixamento indica que o aquífero possui boa capacidade de recarga, equilibrando a retirada de água.

Após a coleta, os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos a análises estatísticas descritivas, com foco em parâmetros como profundidade dos poços, níveis estático e dinâmico da água e vazões. Para a elaboração dos mapas das áreas estudadas, foi

utilizado o software QGIS (Quantum Geographic Information System), um Sistema de Informação Geográfica que permitiu a integração de dados georreferenciados, como coordenadas e características hidrogeológicas. Essa etapa foi essencial para a visualização espacial das informações, possibilitando a identificação de padrões e anomalias nas regiões analisadas, além de fornecer uma base sólida para interpretações geológicas e hidrológicas.

Na etapa comparativa, as informações foram categorizadas conforme as particularidades hidrogeológicas de cada município, com o objetivo de detectar tendências ou desvios hidrodinâmicos. A análise quantitativa concentrou-se nas vazões de exploração, nos níveis estático e dinâmico, e na correlação desses fatores com as condições geológicas locais e os usos predominantes da água subterrânea. Para garantir a consistência dos resultados, foram incluídos apenas poços artesianos com mais de 100 metros de profundidade, assegurando que os dados refletissem sistemas aquíferos mais profundos e menos suscetíveis a variações superficiais.

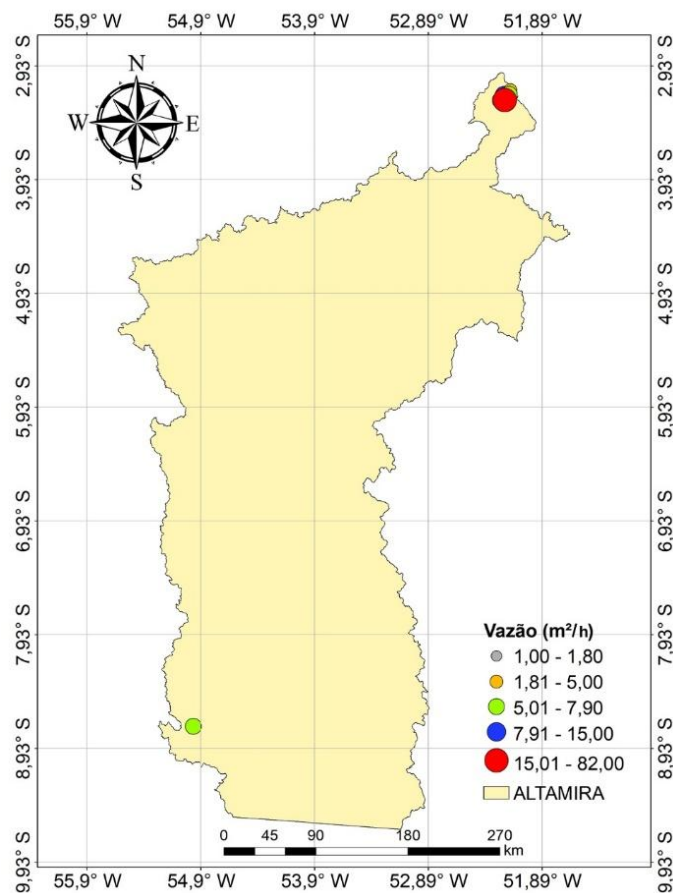
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ESPACIALIZAÇÃO DOS POÇOS

Os mapas a seguir foram elaborados para representar a distribuição dos poços nos municípios estudados. Para isso, foram utilizados círculos de tamanhos e cores variados, onde o tamanho indica a magnitude da vazão e as cores diferenciam os níveis registrados. Essa abordagem permite visualizar de forma clara a espacialização e a concentração dos poços em cada localidade, destacando áreas com maior densidade e variação de vazões.

Na Figura 2, que retrata Altamira, nota-se uma concentração significativa de poços na região nordeste do município. A sobreposição de círculos em alguns pontos indica áreas com alta densidade de poços e variação de vazões. Em contraste, no sudoeste, há apenas um poço isolado, representado por um círculo verde que denota uma vazão moderada. Essa distribuição desigual sugere possíveis padrões de uso ou características geológicas específicas nessa região.

Figura 2: Distribuição dos poços no município de Altamira

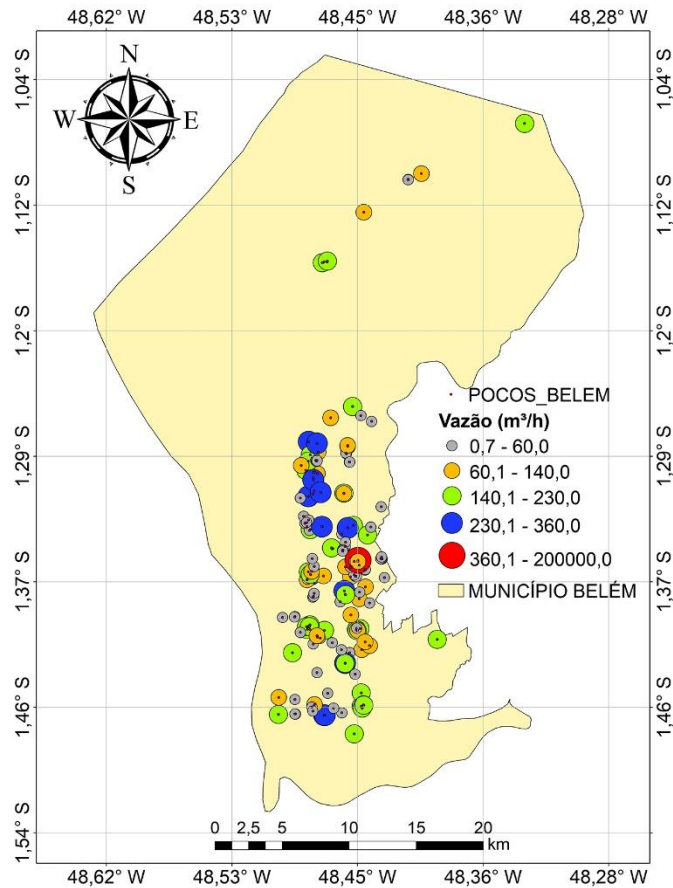


Fonte: Autores, 2025.

Soares e Miranda Neto (2024) destacam que o crescimento urbano de Altamira foi impulsionado pela abertura da Rodovia Transamazônica, resultando em uma expansão direcionada para múltiplas áreas, com destaque para as regiões nordeste e sudoeste. Esse processo não apenas redefiniu a estrutura espacial da cidade, mas também intensificou fluxos migratórios e a ocupação de zonas periféricas. Além disso, os autores ressaltam que tal dinâmica trouxe desafios socioambientais, como a pressão sobre infraestruturas urbanas e a necessidade de planejamento territorial mais eficiente.

A Figura 3 ilustra a distribuição dos poços em Belém, destacando uma maior concentração nas regiões central e sul do município. Além disso, observa-se uma presença significativa de poços nas áreas norte e nordeste, alguns dos quais apresentam vazões elevadas. A densidade de poços é mais acentuada nas zonas centrais, onde os pontos se sobrepõem, indicando uma alta concentração de captações de água. A variação de cores e tamanhos dos círculos reflete as diferenças nas vazões registradas, permitindo identificar padrões espaciais e variações hidrodinâmicas ao longo da cidade.

Figura 3: Distribuição dos poços no município de Belém

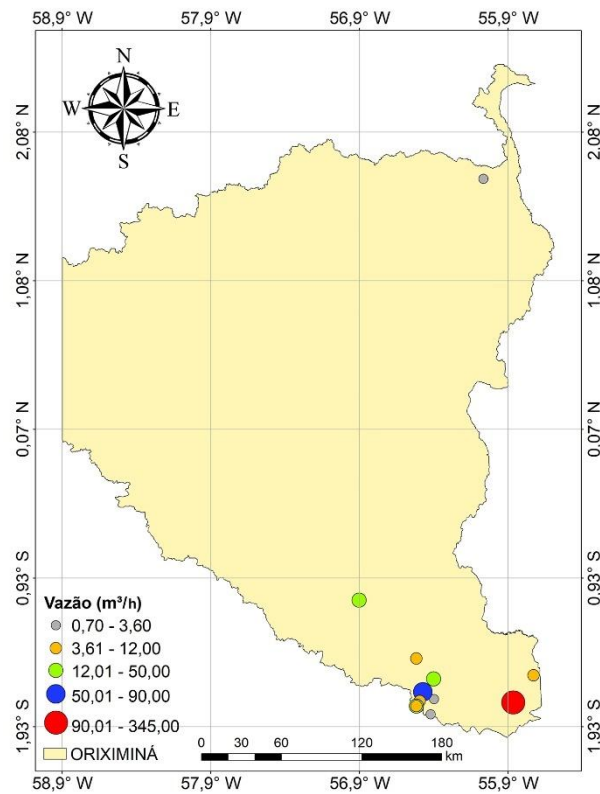


Fonte: Autores, 2025.

Segundo Imbiriba Junior et al. (2021), a região metropolitana de Belém possui um grande número de poços destinados ao abastecimento urbano, distribuídos em diversas localidades, o que ressalta a importância desse recurso em diferentes contextos urbanos. Essa configuração reflete tanto a densidade populacional quanto a necessidade de alternativas para suprir a demanda hídrica na região.

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial dos poços em Oriximiná, evidenciando uma maior concentração na região sul do município. Enquanto a porção norte registra apenas um poço isolado, a área sul exibe diversos pontos distribuídos em diferentes localidades. Essa disparidade sugere uma densidade significativamente maior de poços na região sul, possivelmente relacionada a fatores como demanda por recursos hídricos, características geológicas ou infraestrutura de captação. A visualização permite identificar padrões de distribuição e áreas prioritárias para estudos hidrogeológicos mais detalhados.

Figura 4: Distribuição dos poços no município de Oriximiná

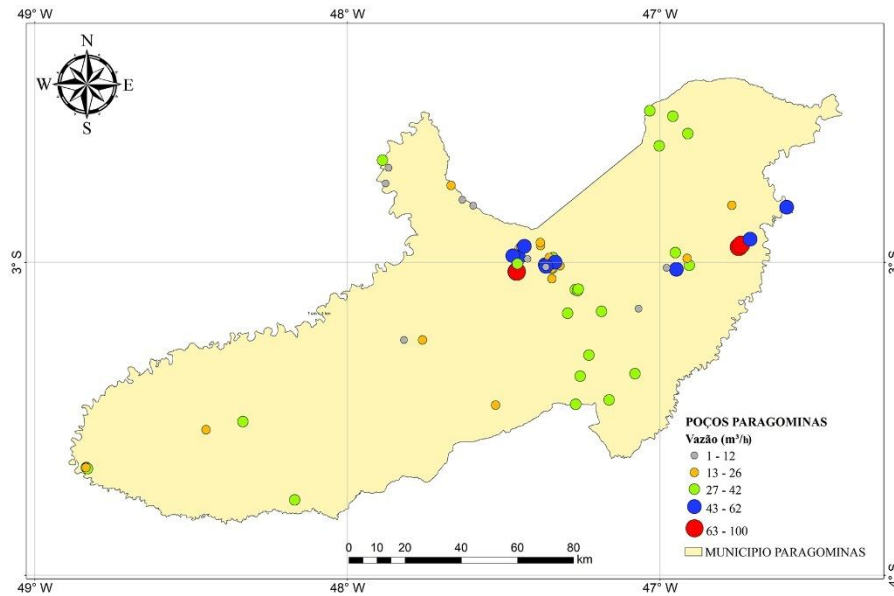


Fonte: Autores, 2025.

A falta de um controle eficiente da qualidade da água e a ausência de um planejamento adequado para o abastecimento representam desafios significativos para a segurança hídrica no município. Diante desse cenário, torna-se urgente a implementação de estratégias mais eficazes para assegurar o acesso à água potável e a sustentabilidade dos recursos hídricos (Pinheiro et al., 2023).

A Figura 5 demonstra a distribuição dos poços em Oriximiná, com uma concentração predominante nas regiões central e nordeste do município. Nessas áreas, destacam-se poços com vazões elevadas, representados por círculos de tamanho maior e cores mais intensas. Em contraste, o restante do município apresenta uma quantidade menor de poços, com vazões menores e pouca variação entre os registros.

Figura 5: Distribuição dos poços no município de Oriximiná

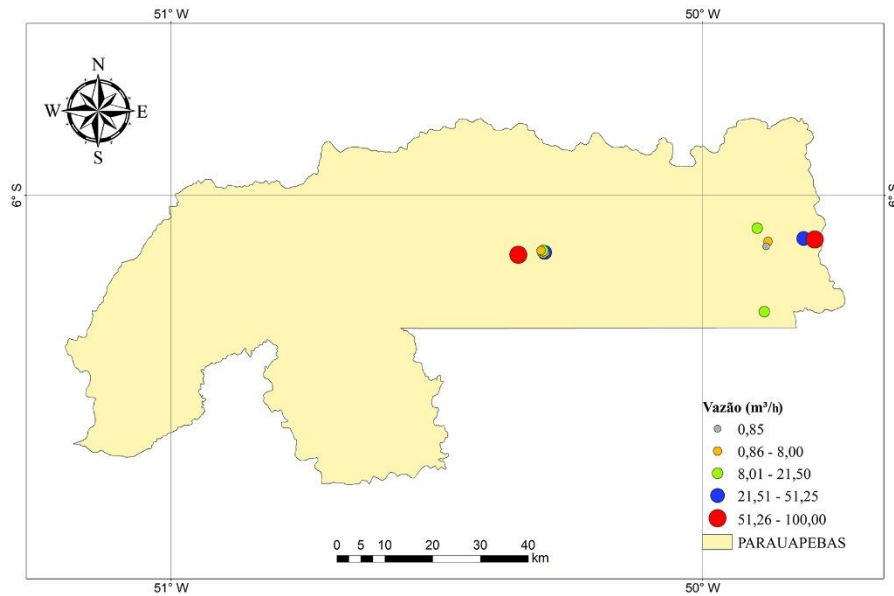


Fonte: Autores, 2025.

A concentração de poços nas áreas central e nordeste de Paragominas sugere uma exploração intensa dos aquíferos nessas regiões, provavelmente impulsionada pelas atividades agroindustriais. Segundo Chaves et al. (2007), a dinâmica de ocupação do território nos últimos trinta anos em Paragominas foi marcada pela conversão desordenada de áreas florestais em terrenos para uso agropecuário, realizada sem uma avaliação adequada dos impactos ambientais, especialmente sobre os recursos hídricos. Essa prática evidencia a necessidade de um planejamento mais sustentável, que equilibre o desenvolvimento econômico com a preservação dos ecossistemas e a garantia da segurança hídrica.

A Figura 6 ilustra a distribuição dos poços em Parauapebas, evidenciando uma disposição heterogênea ao longo do município. As regiões central e sudeste apresentam a maior concentração de poços, com predominância de círculos vermelhos e azuis, que indicam vazões mais elevadas. Outras áreas do município registram uma presença menos expressiva de poços, com menor variação de tamanhos e cores, sugerindo vazões mais baixas e uma distribuição menos densa.

Figura 6: Distribuição dos poços no município de Parauapebas

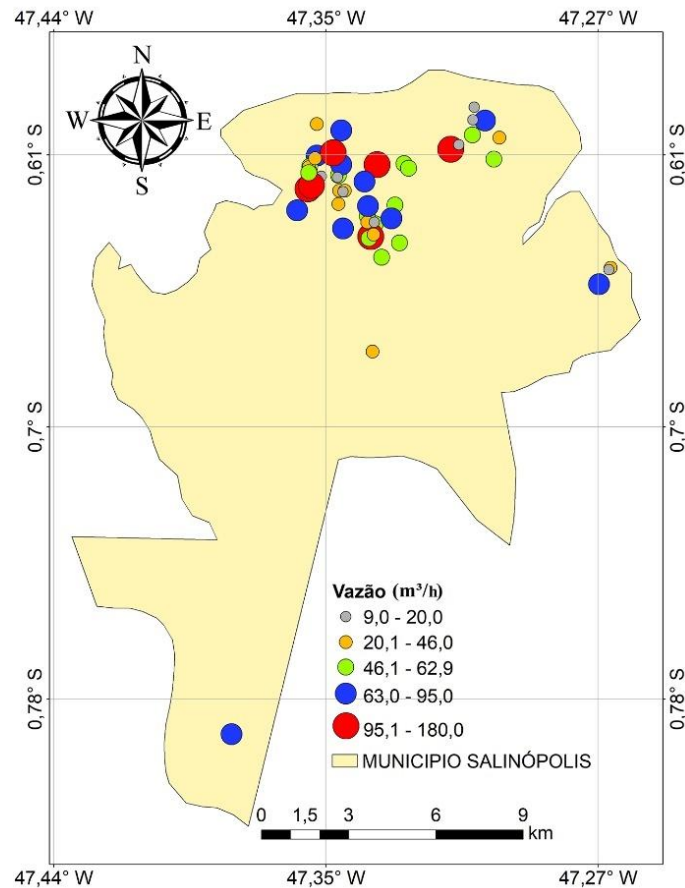


Fonte: Autores, 2025.

Segundo Carvalho et al. (2019), na área urbana de Parauapebas, uma parcela significativa de condomínios residenciais e domicílios particulares utilizam poços tubulares e escavados do tipo "Amazonas" como principal fonte de captação de água para abastecimento. Essa prática evidencia a dependência da população em relação aos recursos hídricos subterrâneos, comumente adotado como alternativa ao sistema público de abastecimento.

A Figura 7 apresenta a distribuição dos poços em Salinópolis, destacando uma maior concentração na região norte do município, área que abriga os principais pontos turísticos. Além disso, observam-se poços dispersos nas regiões nordeste e sul, representados por círculos menores e de cores variadas, indicando vazões mais baixas e uma menor densidade de captações.

Figura 7: Distribuição dos poços no município de Salinópolis

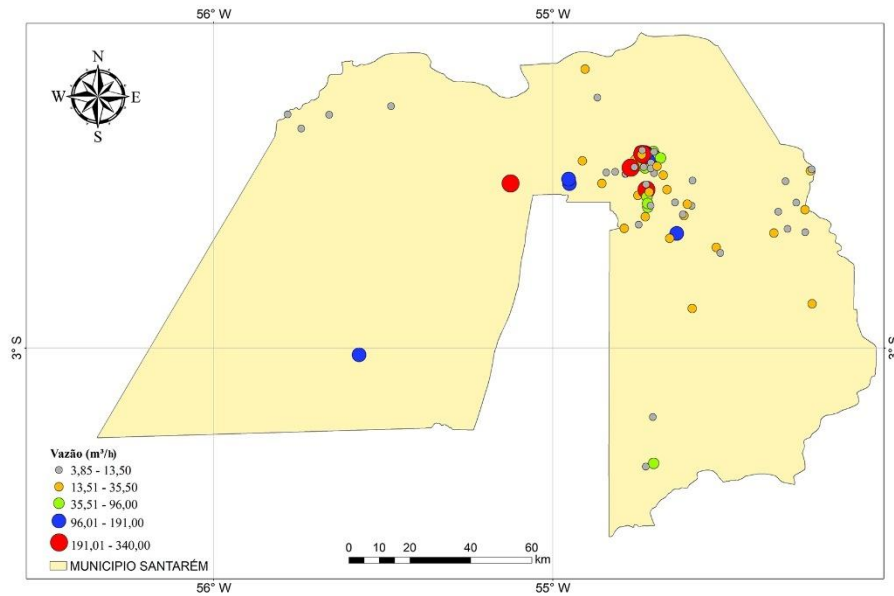


Fonte: Autores, 2025.

A maior concentração de poços observados na região norte de Salinópolis está associada principalmente à presença de hotéis e pousadas nesta região, que demandam um abastecimento robusto para atender ao fluxo sazonal de turistas. Já a menor quantidade de poços nas áreas sul e nordeste reflete uma demanda hídrica reduzida, alinhada às características populacionais e econômicas dessas localidades. Essa distribuição evidencia a influência do turismo na dinâmica hídrica do município.

Por fim, a Figura 8 ilustra a distribuição dos poços em Santarém, com uma concentração mais expressiva na região nordeste do município. Além disso, observam-se poços dispersos nas áreas central e oeste, alguns dos quais apresentam vazões mais elevadas, representadas por círculos de maior tamanho e cores mais intensas. Essa distribuição heterogênea destaca a importância de análises locais para uma gestão eficiente dos recursos hídricos.

Figura 8: Distribuição dos poços no município de Santarém



Fonte: Autores, 2025.

A distribuição dos poços em Santarém indica uma demanda por água impulsionada principalmente pela expansão urbana e pela intensa atividade industrial na área. Silva e Descovi Filho (2023) destacam que existem 280 poços na zona urbana de Santarém, com uma distribuição mais dispersa nas demais regiões, possivelmente associada a variações geológicas e à disponibilidade hídrica local. Essa distribuição desigual evidencia a necessidade de estudos detalhados sobre a hidrologia da região, visando à gestão sustentável dos recursos hídricos e ao planejamento adequado do abastecimento, especialmente em áreas de maior pressão antrópica.

3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Seguindo os mesmos parâmetros metodológicos adotados por Costa et al. (2015), que analisaram variáveis estatísticas e correlacionaram os dados previamente mencionados para o município de Belém, a análise foi aplicada a todos os municípios estudados. Foram elaboradas tabelas semelhantes para cada localidade, consolidando os dados obtidos dos poços e permitindo uma análise comparativa e detalhada das características hidrogeológicas. A Tabela 2 apresenta os resultados referentes aos poços localizados em Belém, servindo como referência inicial para a interpretação dos padrões observados.

Tabela 2: Análise estatística de poços em Belém

	Profundidade (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m ³ /h)	Rebaixamento (m)	Qe. Rebaixamento (m ³ /h/m)	Comprimento do filtro (m)	Qe. filtro (m ³ /h/m)
Média	206,25	14,44	29,40	115,11	13,95	10,65	33,48	3,73

Desvio padrão	77,80	7,74	10,98	86,57	9,56	8,73	20,82	2,71
Coef. Variação (%)	0,38	0,50	15,44	0,75	0,69	0,82	0,62	0,73
Mínimo	100,00	7,53	7,74	5,50	0,60	0,33	6,00	0,23
Máximo	370,00	70,00	0,50	360,00	56,00	38,10	154,50	12,64
Nº de dados (uni)	136							

Fonte: Autores, 2025.

Em Belém-PA, Costa et al. (2015) observaram uma profundidade média dos poços de 273,41 metros, enquanto este estudo indicou uma profundidade média de 206,25 metros nos poços analisados, com um rebaixamento médio de 13,95 metros. O nível estático médio de 15,44 metros sugere uma disponibilidade hídrica próxima da superfície, o que pode facilitar o acesso à água subterrânea. A vazão média é de 115,11 m³/h, com uma eficiência média dos filtros de 3,73 m³/h/m, valor relativamente elevado que indica uma resposta positiva à exploração. Esse desempenho pode estar associado às características geológicas locais, que favorecem a produtividade dos aquíferos na região.

A Tabela 3 apresenta os dados referentes aos poços de Altamira. Nesse município, a profundidade média dos poços é de 139,33 metros, com uma vazão média de 31,30 m³/h. No entanto, observa-se uma alta variação na vazão, com um coeficiente de variação de 140%, o que sugere heterogeneidade nas características geológicas dos aquíferos explorados. O rebaixamento médio de 29,77 metros indica uma resposta limitada à exploração, possivelmente devido a uma recarga insuficiente ou à baixa permeabilidade das formações geológicas locais. Essa condição é refletida na baixa eficiência dos filtros, com um valor médio de 0,63 m³/h/m, evidenciando desafios na exploração sustentável dos recursos hídricos na região.

Tabela 3: Análise estatística de poços em Altamira

	Profundidade (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Rebaixamento (m)	Qe. Rebaixamento (m³/h/m)	Comprimento do filtro (m)	Qe. filtro (m³/h/m)
Média	139,33	27,33	57,10	31,30	29,77	0,92	34,33	0,63
Desvio padrão	36,90	30,62	36,51	43,92	6,93	1,21	26,73	0,55
Coef. Variação (%)	26	112,00	64,00	140,00	23,00	132,00	78,00	87,00
Mínimo	108	4,00	26,00	4,90	22,00	0,22	16,00	0,31

Máximo	180	62,00	97,30	82,00	35,30	2,32	65,00	1,26
Nº de dados (uni)				13				

Fonte: Autores, 2025.

Os poços analisados em Altamira apresentaram uma ampla variação em suas vazões, o que pode refletir diferenças na capacidade de armazenamento e recarga dos aquíferos locais. Segundo Alves et al. (2024), em cidades situadas às margens de rios, como é o caso de Altamira, as variações sazonais podem influenciar significativamente a dinâmica dos recursos hídricos subterrâneos. Essa flutuação ressalta a complexidade do sistema hidrogeológico da região e a necessidade de estudos contínuos para compreender e gerenciar de forma sustentável a disponibilidade de água subterrânea, especialmente em um contexto de mudanças climáticas e pressões antrópicas crescentes.

A Tabela 4 apresenta os dados referentes aos poços de Oriximiná. Nesse município, os poços analisados apresentam uma profundidade média de 149,05 metros, com um nível dinâmico médio de 77,52 metros, resultando em um rebaixamento médio de 18,28 metros. A eficiência de rebaixamento mostra grande variabilidade, com um coeficiente de variação de 88%, o que reflete a diversidade das condições geológicas na região. Essa variação pode estar associada às intensas atividades mineradoras, que exercem pressão sobre os aquíferos, aumentando a necessidade de monitoramento constante para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Tabela 4: variáveis estatísticas de poços em Oriximiná

Fonte: Autores, 2025.

	Profundidade (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m ³ /h)	Rebaixamento (m)	Qe. Rebaixamento (m ³ /h/m)	Comprimento do filtro (m)	Qe. filtro (m ³ /h/m)
Média	149,05	59,24	77,52	26,83	18,28	1,91	29,34	2,26
Desvio padrão	50,39	19,07	23,6	22,66	10,67	1,68	25,46	4,96
Coef. Variação (%)	34,00	32,00	30,00	84,00	58,00	88,00	87,00	219,00
Mínimo	102,00	29,66	41,00	0,70	4,00	0,02	4,00	0,01
Máximo	258,00	87,00	112,94	90	42,00	6,00	88,00	22,50
Nº de dados (uni)				23				

A análise dos dados indica que a exploração dos aquíferos em Oriximiná pode estar se aproximando de um limite crítico, principalmente nas áreas mais impactadas pela atividade mineradora. Essa relação é semelhante ao trabalho de Babidge (2021), em que o autor afirma que a extração de águas subterrâneas pela indústria de mineração no Salar de Atacama, no Chile, tem efeitos ecológicos e sociais de longo prazo, mas seus efeitos não são imediatamente detectáveis devido à natureza fragmentada da água e às condições políticas e econômicas. Esse fato pode comprometer o abastecimento de água no futuro, com possíveis danos irreversíveis ao meio ambiente e às comunidades que dependem desses recursos.

A Tabela 5 apresenta os dados obtidos para os poços no município de Paragominas. Observa-se que os poços possuem uma profundidade média de 140,74 metros, com uma vazão média de 29,68 m³/h e um rebaixamento médio de 9,77 metros. A baixa variação no rebaixamento, com um coeficiente de variação de 105%, sugere uma boa capacidade de recarga dos aquíferos, provavelmente influenciada pelas características favoráveis dos sistemas sedimentares da região. Essa condição indica uma resposta equilibrada à exploração, refletindo a estabilidade hidrogeológica local.

Tabela 5: Análise estatística de poços em Paragominas

	Profundidade (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m ³ /h)	Rebaixamento (m)	Qe. Rebaixamento (m ³ /h/m)	Comprimento do filtro (m)	Qe. filtro (m ³ /h/m)
Média	140,74	33,80	43,58	29,68	9,77	5,18	40,20	1,31
Desvio padrão	47,52	15,40	18,22	19,28	10,25	5,05	17,80	4,76
Coef. Variação (%)	34,00	46,00	42,00	65,00	105,00	98,00	44,00	362,00
Mínimo	100,00	0,00	10,70	1,00	1,80	0,07	1,41	0,07
Máximo	300,80	96,00	98,00	100,00	66,00	32,26	92	43,97
Nº de dados (uni)				84				

Fonte: Autores, 2025.

Em comparação com o estudo de Araújo et al. (2006), que destaca a forte influência do Aquífero Itapecuru na região de Paragominas, os dados da pesquisa atual revelam uma profundidade média dos poços superior àquela registrada anteriormente. Enquanto Araújo et al. (2006) observaram profundidades variando entre 56,70 e 96,90 metros, os poços analisados neste trabalho atingem até 120 metros. Essa discrepância pode ser atribuída às diferenças na localização dos estudos e às condições geológicas específicas de cada área, que podem exigir

perfurações mais profundas para acessar os recursos hídricos subterrâneos. Tais variações reforçam a importância de considerar as particularidades locais na gestão e exploração dos aquíferos.

Os dados demonstrados na Tabela 6 são relativos ao município de Parauapebas, onde poços analisados possuem uma profundidade média de 127,61 metros e uma vazão média de 24,70 m³/h. O rebaixamento médio é significativo, atingindo 33,37 metros, enquanto o coeficiente de variação para o nível estático é elevado (89%). Esses indicadores sugerem uma exploração intensa dos recursos hídricos em uma região com limitações de recarga, característica comum em áreas de mineração. A pressão de uso contínuo sobre os aquíferos pode resultar em uma resposta hidrodinâmica moderada e, a longo prazo, aumentar o risco de esgotamento, destacando a necessidade de um manejo sustentável desses recursos.

Tabela 6: Análise estatística de poços em Parauapebas

	Profundidade (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m ³ /h)	Rebaixamento (m)	Qe. Rebaixamento (m ³ /h/m)	Comprimento do filtro (m)	Qe. filtro (m ³ /h/m)
Média	127,61	26,39	59,76	22,87	33,37	1,06	31,86	0,73
Desvio padrão	31,23	23,39	28,64	29,85	23,93	1,16	23,19	0,82
Coef. Variação (%)	24,00	89,00	48,00	131,00	72,00	109,00	73,00	117,00
Mínimo	100,00	2,60	3,75	0,85	1,15	0,02	8,00	0,08
Máximo	200,00	76,90	98,20	100	78,50	3,45	80,87	3,33
Nº de dados (uni)				17				

Fonte: Autores, 2025.

Os dados de Parauapebas revelam um elevado rebaixamento médio dos aquíferos, indicando uma pressão significativa sobre os recursos hídricos subterrâneos. Essa situação, se mantida, pode comprometer a disponibilidade de água a longo prazo, colocando em risco o abastecimento da região. Assim como em Oriximiná, o uso predominante da água em Parauapebas é para atividades de mineração, comprometendo os recursos hídricos e exigindo melhor planejamento para expansão urbana e uso do solo (Rocha et al., 2020).

A Tabela 7 apresenta os dados referentes aos poços artesianos de Salinópolis. Os poços analisados possuem uma profundidade média de 142,38 metros, com uma vazão média relativamente alta de 62,32 m³/h e um rebaixamento médio de 23,08 metros. Esse

comportamento hidrodinâmico sugere que os aquíferos da região apresentam boa capacidade de exploração, provavelmente devido à presença de formações sedimentares permeáveis, típicas de áreas costeiras. A eficiência do rebaixamento, com um valor de 3,68 m³/h/m, combinada com a menor variação nos níveis estático e dinâmico, indica uma recarga consistente e uma resposta positiva dos aquíferos à retirada de água, refletindo condições favoráveis para o uso sustentável dos recursos hídricos na região.

Tabela 7: Análise estatística de poços em Salinópolis.

	Profundidade (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m ³ /h)	Rebaixamento (m)	Qe. Rebaixamento (m ³ /h/m)	Comprimento do filtro (m)	Qe. filtro (m ³ /h/m)
Média	142,38	24,94	48,01	62,32	23,08	3,68	30,85	2,18
Desvio padrão	18,39	11,54	15,52	39,73	12,26	3,56	8,98	1,49
Coef. Variação (%)	13,00	46,00	32,00	64	53,00	97,00	29,00	68,00
Mínimo	103,00	6,00	12,00	9,00	1,00	0,45	6,00	0,25
Máximo	175,00	42,00	74,00	180	54,90	17,05	52,00	7,69
Nº de dados (uni)				57				

Fonte: Autores, 2025.

De acordo com o estudo Freimann e Alves (2013), que trata sobre os perfis geofísicos no município de Salinópolis, o ambiente sedimentar dos poços em Salinópolis apresenta camadas permeáveis (areias, arenitos, calcarenitos) que são os aquíferos em potencial. No entanto, a proximidade com o litoral exige atenção especial aos riscos de intrusão salina, que podem comprometer a qualidade da água. Han et al. (2015) comentam que a intrusão de água do mar em aquíferos costeiros pode ser revertida com atividades agrícolas, mas a mistura de água do mar com água subterrânea doce continua sendo um risco para essas áreas, e possivelmente em Salinópolis também é assim.

A Tabela 8 apresenta os dados referentes aos poços de Santarém. Os poços analisados possuem uma profundidade média de 162,18 metros, com uma vazão média de 47,60 m³/h e um rebaixamento médio de de 13,79 metros. A elevada variabilidade do rebaixamento, com um coeficiente de variação de 97%, combinada com a baixa eficiência dos filtros, sugere uma exploração intensa em aquíferos de baixa permeabilidade. Essa condição, aliada à alta demanda hídrica na região, coloca os aquíferos sob risco de exaustão, destacando a necessidade de um manejo mais sustentável e de medidas para garantir a recarga e a preservação desses recursos.

Tabela 8: Análise estatística de poços em Santarém

	Profundidade (m)	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m ³ /h)	Rebaixamento (m)	Qe. Rebaixamento (m ³ /h/m)	Comprimento do filtro (m)	Qe. filtro (m ³ /h/m)
Média	162,18	40,19	53,97	47,60	13,79	4,69	30,77	1,41
Desvio padrão	49,64	32,36	30,01	67,55	12,39	6,64	21,47	1,49
Coef. Variação (%)	31,00	43,00	56,00	142,00	97,00	141,00	70,00	106,00
Mínimo	100,00	0,00	5,00	3,85	0,40	0,10	8,00	0,07
Máximo	261,00	122,00	144,00	340,00	58,70	45,00	167,00	6,46
Nº de dados (uni)				105				

Fonte: Autores, 2025.

A baixa eficiência dos filtros sugere aquíferos com menor permeabilidade, o que pode ser corroborado através estudo de Siqueira Neto et al. (2023), onde o autor fez estudos geofísicos no solo do município de Santarém e observou que existe uma cobertura Latéfica em algumas áreas do município, fazendo com que o solo tenha menos permeabilidade. Além disso, a escassez de dados atualizados é preocupante: dos 643 poços cadastrados, apenas 105 tinham informações suficientes para análise. A falta de registros completos compromete a precisão das avaliações e dificulta a implementação de políticas eficazes de gestão hídrica na região.

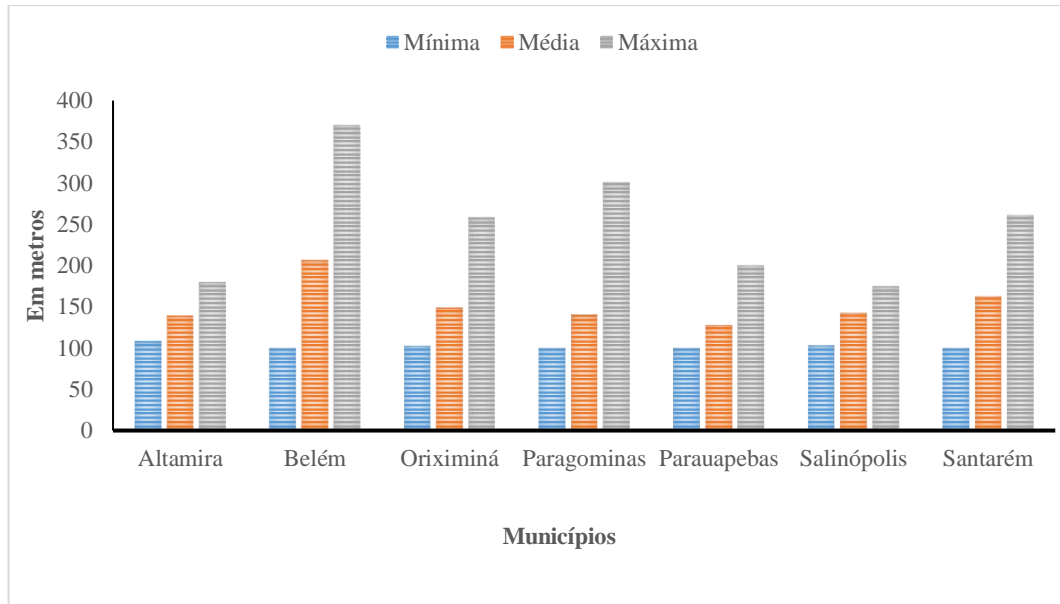
3.3 ANÁLISE DE COMPARAÇÃO GRÁFICA ENTRE OS DADOS

A interpretação dos dados é fundamental para a análise dos poços estudados. Para facilitar a compreensão e visualização das informações, foram elaborados gráficos com base nas variáveis consideradas neste trabalho, como profundidade, vazão, níveis estático e dinâmico, e rebaixamento. Esses gráficos permitem uma análise mais clara e detalhada das características hidrodinâmicas e geológicas dos aquíferos, contribuindo para uma avaliação mais precisa dos recursos hídricos nas áreas estudadas.

A Figura 9 demonstra que a profundidade dos poços varia significativamente entre os municípios estudados, com médias que variam de 127 metros em Parauapebas a 206 metros em Belém. Profundidades maiores são observadas em Belém, Paragominas e Oriximiná, sugerindo que os aquíferos nessas regiões podem estar localizados em formações rochosas menos permeáveis, o que exige escavações mais profundas para alcançar os reservatórios. Por outro

lado, municípios como Salinópolis e Parauapebas apresentam poços com profundidades médias menores, possivelmente indicando maior facilidade de acesso aos recursos hídricos subterrâneos, devido a características geológicas mais favoráveis.

Figura 9: Variação da Profundidade dos Poços nos Municípios Estudados



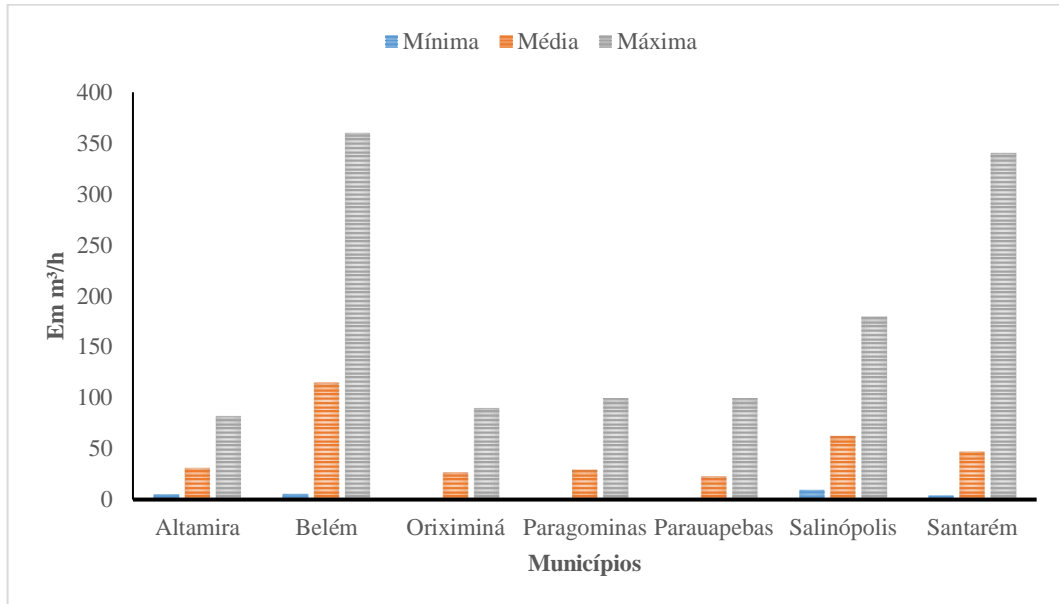
Fonte: Autores, 2025

A variação na profundidade dos poços entre os municípios reflete diferenças na estrutura geológica local e na necessidade de captação de água em níveis mais profundos em algumas áreas. Em municípios onde os poços atingem maiores profundidades, os aquíferos tendem a ser menos acessíveis, o que demanda investimentos mais elevados em infraestrutura e tecnologia para garantir o abastecimento hídrico. O trabalho de Kulkarni et al. (2021) em Bengaluru, na Índia, é um bom exemplo, pois os autores afirmam que a perfuração profunda de poços para extração de águas subterrâneas tem levado a uma exploração insustentável dos aquíferos. Observa-se que os níveis de água estão se estabilizando em profundidades cada vez menores, enquanto a profundidade dos poços aumenta continuamente, um indicativo preocupante de que os níveis dos aquíferos estão em declínio.

A Figura 10 apresenta os dados de vazão, evidenciando variações significativas entre os municípios estudados. Belém registrou a maior vazão média (115,11 m³/h), seguida por Salinópolis (62,32 m³/h), o que sugere aquíferos com alta capacidade de fornecimento de água, provavelmente devido à boa permeabilidade das formações sedimentares costeiras. Santarém destacou-se por uma vazão máxima elevada (340 m³/h), apesar de uma vazão média inferior (47,6 m³/h), indicando possíveis variações nas condições de bombeamento ou heterogeneidades

nas características dos aquíferos. Por outro lado, Parauapebas apresentou uma das menores vazões médias (22,87 m³/h), sugerindo condições menos favoráveis de transmissividade dos aquíferos, possivelmente associadas a formações geológicas de menor permeabilidade.

Figura 10: Comparação das vazões nos Poços

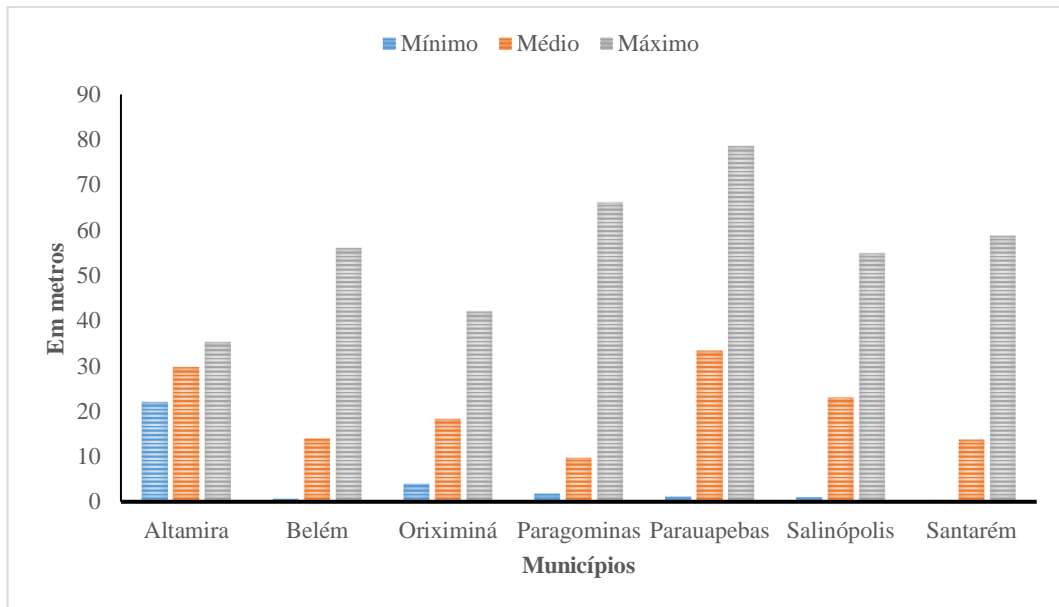


Fonte Autores, 2025.

A variação nos valores de vazão indica que as condições hidrogeológicas diferem significativamente entre os municípios. Enquanto alguns possuem aquíferos altamente produtivos, outros apresentam formações geológicas que limitam o fluxo de água subterrânea, reduzindo a disponibilidade hídrica. Essa disparidade, somada aos impactos das mudanças climáticas, que podem diminuir a vazão em determinados aquíferos, aumenta o risco de escassez de água, especialmente para centros urbanos (Valdés-Abellán et al., 2020).

A Figura 11 apresenta os dados de rebaixamento, destacando diferenças significativas entre os municípios. Parauapebas e Altamira registram os maiores rebaixamentos médios, o que pode estar associado à exploração contínua e à baixa capacidade de recarga dos aquíferos nessas regiões. Salinópolis e Oriximiná apresentam rebaixamentos intermediários, indicando condições hidrodinâmicas moderadas. Por outro lado, Belém, Paragominas e Santarém exibem os menores rebaixamentos, sugerindo boa capacidade de recuperação hídrica. Além disso, observa-se que Paragominas e Parauapebas apresentam variações extremas de rebaixamento, o que pode refletir heterogeneidades geológicas ou diferenças nas taxas de exploração entre os poços.

Figura 11: Análise do nível de Rebaixamento dos Aquíferos nos Municípios

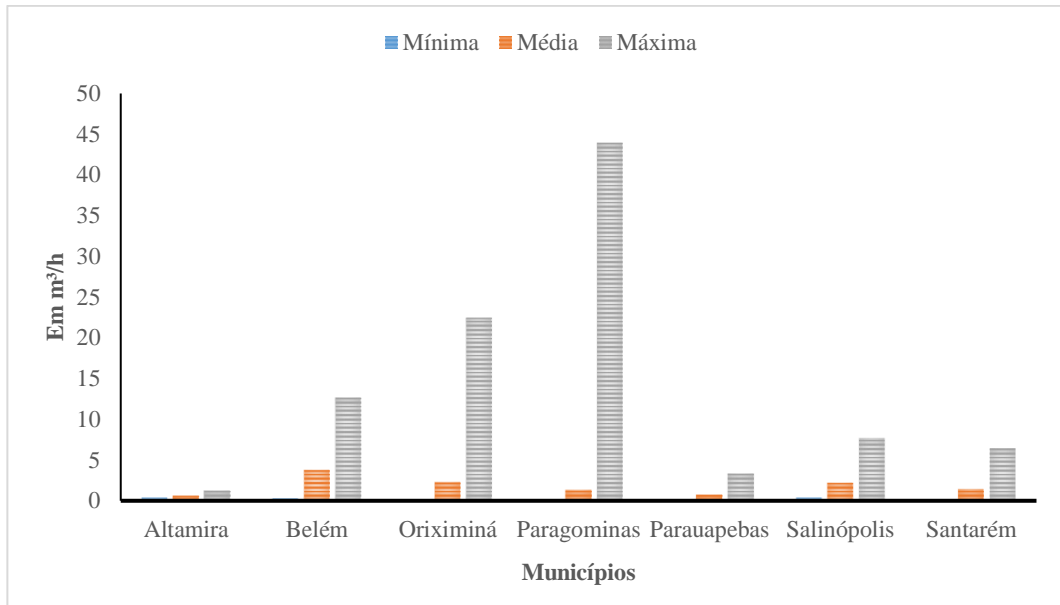


Fonte: Autores, 2025.

Os diferentes níveis de rebaixamento observados evidenciam tanto a intensidade da exploração quanto a capacidade de recuperação dos aquíferos. Em áreas onde o rebaixamento é mais acentuado, é provável que a extração de água supere a taxa de recarga natural, colocando em risco a sustentabilidade dos recursos hídricos. Diante disso, torna-se imprescindível a implementação de um monitoramento mais rigoroso e contínuo, aliado a práticas de gestão que equilibrem a demanda com a capacidade de reposição dos aquíferos, garantindo sua disponibilidade a longo prazo (Guo et al., 2022).

A Figura 12 apresenta a vazão específica dos filtros nos municípios estudados. Paragominas, com uma profundidade média de 140,74 metros, registra uma vazão específica média de 1,31 m³/h por metro, indicando razoável eficiência nos filtros. Salinópolis, que possui aquíferos sedimentares, apresenta uma vazão específica de 2,18 m³/h por metro, refletindo a boa permeabilidade dessas formações. Belém, por sua vez, destaca-se com uma vazão específica média de 3,73 m³/h por metro, sugerindo condições hidrogeológicas favoráveis. Santarém, com uma profundidade média de 162,18 metros, registra 1,40 m³/h por metro, enquanto Parauapebas, com 127,61 metros de profundidade média, apresenta a menor vazão específica (0,73 m³/h por metro), o que pode estar associado à menor permeabilidade dos aquíferos na região.

Figura 12: Eficiência dos Filtros – Vazão Específica por Município

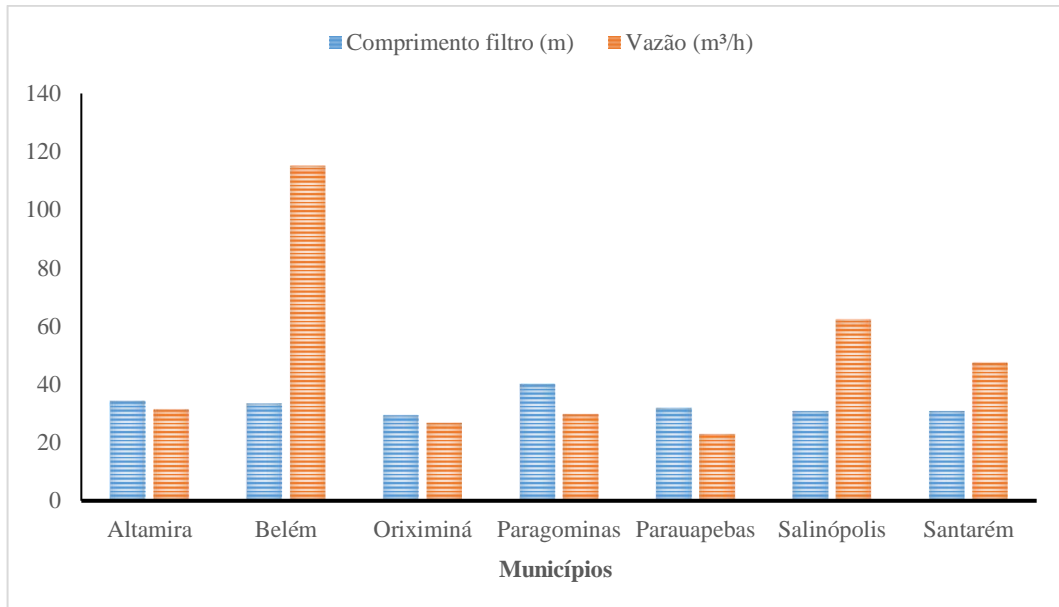


Fonte: Autores, 2025.

A eficiência na captação de água subterrânea está diretamente relacionada ao projeto dos filtros utilizados nos poços (Song et al., 2019). As diferenças observadas entre os municípios podem refletir variações na porosidade e na permeabilidade dos aquíferos, fatores que influenciam diretamente a vazão específica dos filtros. Essa relação destaca a importância de adaptar o dimensionamento e a configuração dos filtros às características hidrogeológicas locais, visando maximizar a eficiência da captação e garantir o uso sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

A Figura 13 ilustra a relação entre o comprimento médio do filtro e a vazão média dos poços nos municípios analisados. Belém apresenta a maior eficiência, com uma vazão média de 115,11 m³/h e um filtro de 33,48 metros, destacando-se pela alta produtividade dos aquíferos. Salinópolis, com uma vazão média de 62,32 m³/h e um filtro de 30,85 metros, também evidencia uma alta permeabilidade dos aquíferos da região. Paragominas, com um filtro de 40,19 metros, mantém uma vazão moderada de 29,67 m³/h. Em contraste, Altamira, Oriximiná e Parauapebas que apresentam filtros com média de 30 metros, registram vazões médias inferiores. Esses resultados sugerem que, além do comprimento do filtro, a geologia local desempenha um papel crucial na eficiência da exploração de água subterrânea.

Figura 13: Relação entre Comprimento do Filtro e Vazão dos Poços

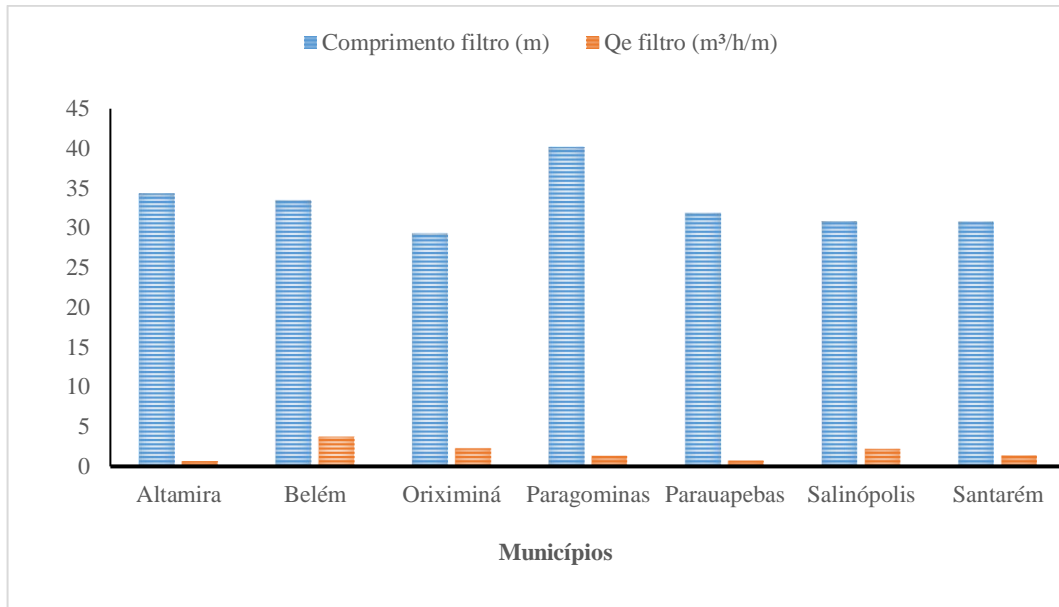


Fonte: Autores, 2025.

A relação entre o comprimento dos filtros e as vazões observadas demonstra que, além do dimensionamento dos poços, as características geológicas locais desempenham um papel crucial na exploração da água subterrânea. O estudo evidenciou que filtros mais longos nem sempre resultam em vazões mais elevadas, principalmente em áreas com baixa permeabilidade. Shandilya et al. (2022) reforçam a necessidade de considerar as particularidades hidrogeológicas de cada região no projeto e na instalação de poços, garantindo uma exploração mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

A Figura 14 ilustra a relação entre a vazão específica do filtro (Q_e) e o comprimento do filtro nos municípios estudados. Os municípios de Belém (Q_e de $3,73 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$), Salinópolis (Q_e de $2,18 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$) e Oriximiná (Q_e de $2,26 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$), apresentam um melhor aproveitamento do fluxo de água, refletindo a alta permeabilidade dessas formações. Em Paragominas, com um filtro de 40,19 metros, a Q_e é de $1,31 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, indicando uma eficiência moderada. Por outro lado, os municípios de Parauapebas (Q_e de $0,73 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$) e Altamira (Q_e de $0,63 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$), a extensão do filtro tem impacto limitado, sugerindo que restrições geológicas, como a baixa permeabilidade das formações rochosas, afetam significativamente a exploração de água subterrânea.

Figura 14: Influência do Comprimento do Filtro na Vazão Específica



Fonte: Autores, 2025.

A análise da vazão específica em relação ao comprimento do filtro confirma que a geologia local tem um impacto significativo na eficiência dos poços. Municípios com aquíferos mais porosos geralmente apresentam maior rendimento hídrico, mas a porosidade efetiva e o rendimento específico são transitórios, variando com o tempo e exigindo valores adequados para cálculos de transporte. Áreas com formações rochosas menos permeáveis enfrentam restrições na extração de água, especialmente quando a porosidade efetiva é baixa (Worthington et al., 2019).

A análise da variação hidráulica dos poços tubulares estudados revelou diferenças significativas entre os municípios, influenciadas pela geologia local e pelas pressões de uso sobre os aquíferos. Paragominas e Salinópolis destacaram-se pela presença de aquíferos sedimentares permeáveis, que apresentam menores rebaixamentos e boa capacidade de exploração hídrica, com vazões médias de 29,68 m³/h e 62,32 m³/h, respectivamente. Em contraste, Parauapebas, fortemente impactado pela atividade mineradora, registrou rebaixamentos médios elevados (33,37 metros), refletindo a pressão intensa sobre aquíferos cristalinos de baixa permeabilidade. Esses resultados reforçam a necessidade de uma gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, especialmente em regiões com alta demanda e condições geológicas desfavoráveis.

A situação observada no Pará encontra paralelos em outros estados brasileiros. No Rio Grande do Sul, Reginato e Strieder (2004) analisaram aquíferos fraturados da Formação Serra Geral, caracterizados por estruturas vulcânicas que limitam a permeabilidade, exigindo maiores

profundidades de escavação para captação de água. Esse comportamento é semelhante ao observado em Parauapebas, onde os aquíferos cristalinos também impõem desafios à exploração hídrica. Por outro lado, Luiz e Silva (2013) relataram que formações sedimentares no campus da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, permitem recargas mais rápidas, similar ao que ocorre em Salinópolis. Esses estudos evidenciam a influência decisiva da geologia na disponibilidade e na exploração de água subterrânea.

Outro estudo relevante é o de Diniz et al. (2004), que avaliaram poços tubulares em São José dos Campos-SP. Os autores destacaram que rebaixamentos significativos ocorreram devido à pressão urbana crescente, com impacto direto na sustentabilidade hídrica. Esse cenário reforça a importância de políticas públicas que equilibrem o desenvolvimento urbano e a proteção dos recursos hídricos, especialmente em áreas com alta demanda e vulnerabilidade geológica.

Por fim, o estudo de Dos Santos (2020) sobre os aquíferos Barreiras e Itapecuru na bacia do rio Paciência-MA reforça a importância do monitoramento contínuo dos poços para uma gestão hídrica sustentável. O autor observou que variações nos níveis estáticos e dinâmicos podem comprometer a capacidade de recarga se a exploração não for devidamente controlada. Esse cenário reflete as recomendações do presente trabalho para o estado do Pará, onde políticas públicas voltadas à proteção das áreas de recarga e ao uso eficiente dos recursos hídricos são essenciais para garantir a segurança hídrica e a sustentabilidade ambiental.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos revelaram diferenças significativas entre os municípios: áreas com aquíferos sedimentares, como Belém, Paragominas e Salinópolis, apresentaram maior capacidade de recarga e menores rebaixamentos, indicando uma melhor resposta à exploração hídrica. Por outro lado, municípios com forte pressão antrópica, como Parauapebas e Santarém, registraram rebaixamentos elevados e dificuldades na reposição hídrica, evidenciando a necessidade de monitoramento contínuo e gestão eficiente desses recursos para evitar a sobreexploração.

Apesar dos avanços obtidos, é importante destacar que a qualidade e a disponibilidade dos dados obtidos do SIAGAS variaram significativamente entre os municípios. A maior parte dos poços foram excluídos da análise devido à falta de informações construtivas completas, o que pode ter influenciado nos resultados. Essa limitação evidencia a necessidade de um cadastro mais detalhado e padronizado para futuras pesquisas sobre o tema.

Este trabalho está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente ao ODS 6 (água potável e saneamento), ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis), ODS 12 (produção e consumo sustentáveis) e ODS 15 (proteção da vida terrestre). A implementação de políticas públicas voltadas ao monitoramento contínuo dos poços, à atualização das normas técnicas para projetos construtivos, à proteção das áreas de recarga e ao uso eficiente dos recursos hídricos é fundamental para garantir a segurança hídrica e a sustentabilidade ambiental, assegurando o acesso à água para as gerações presentes e futuras.

Portanto, os objetivos propostos inicialmente foram atingidos. A análise da relação entre os tipos de aquíferos e a capacidade de recarga permitiu a compreensão dos padrões de reposição hídrica para cada município, enquanto a investigação da influência da pressão antrópica revelou os desafios enfrentados nos locais de maior exploração. Dessa forma, este estudo tem muito a contribuir para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, oferecendo uma base sólida para futuras pesquisas e políticas públicas voltadas à conservação dos aquíferos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA E SANEAMENTO BÁSICO-ANA. Estudos hidrogeológicos para a gestão das águas subterrâneas da região de Belém/PA: relatório final. Brasília: ANA, 2018.

Alves DATS, Gauthier C, Teixeira T, Silva AA, Leite DS, Moran E (2024) Variações sazonais na contaminação fecal de águas subterrâneas rasas em Altamira, Amazônia, Brasil. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, 45(2):157-168. doi: 10.5433/1679-0367.2024v45n2p157

ARAÚJO, P. P. BASTOS GOMES, M. R. VILLAS BOAS, J. M. Hidrogeologia prospectiva em bacia sedimentar: estudo de caso em Paragominas (PA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14, 2006. Curitiba. Anais... Curitiba: ABAS, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS-ABAS. Poços para captação de água. Disponível em: <https://www.abas.org/educacao/pocos-para-captacao-de-agua/>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.244: poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

Babidge S (2021) Seeing water: slow resistance and the material enigma of extractive effects on society and ecology. *HAU: Journal of Ethnographic Theory*, 11(2):395-411. doi: 10.1086/715788

BAPTISTA, J. J.; RIJO, L; ALVES, J. G. Estudo Hidrogeológico do Município de Altamira-Pará, Usando o Método de Eletrorresistividade. In: 6th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 1999. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBG, 1999.

Bichueti RS, Madrugá LRRG, Gomes CM, Rosa LABD (2014). O Uso da Água na Mineração: Uma Análise da Produção Científica Internacional. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 58–73. DOI: 10.5585/geas.v3i2.129.

Carvalho FIM, Dantas Filho HA, Dantas KGF (2019) Simultaneous determination of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons in groundwater by GC-FID after solid-phase extraction. *SN Applied Sciences*, 1:804. doi: 10.1007/s42452-019-0839-z.

CARVALHO, A. C. L.; ROCHA, G. M. Análise dos riscos e da vulnerabilidade socioambiental urbana, face ao desenvolvimento desordenado e a pressão aos recursos hídricos em Belém-PA. *Brazilian Journal of Development*, 6(4):18127-18142. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-108>.

Chaves EP, Menezes CGP, Monteiro AC, Rocha RM, Chaves EBP, Bibiano IS (2021) Desmatamento induzido pela mineração: análise espacial no município de Oriximiná (PA). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, 2(1):2-13. doi: 10.5281/zenodo.4743919.

CHAVES, L. M. L. SCHULER, A. E. CHAVES, C. L. Avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero em bacia de pequeno porte do Rio Uraim, Paragominas-PA. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo. Anais... São Paulo: ABRHidro, 2007.

COSTA, C. E. A. S. VIEIRA, A. S. A. ARAÚJO JÚNIOR, A. J. S. SANJAD, H. C. CARVALHO, B. G. P.; SILVA, I. Q. Análise espacial dos poços artesianos e o rendimento hidrodinâmico da captação no município de Belém-PA. In: XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2015. Brasília. Anais... Brasília : SPRH, 2015.

DINIZ, H. N. MONTEIRO, J. L. BRAGA, M. L. A. Histórico da perfuração de poços tubulares profundos e hidrodinâmica dos aquíferos no município de São José dos Campos. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, São Paulo. Anais... São Paulo: ABAS, 2004.

Dos Santos, GIFA. Ribeiro, DDQ. Cruz, WL. Dutra, EP (2020). Levantamento das características hidrogeológicas do Aquífero Barreiras e Itapecuru na bacia hidrográfica do Rio Paciência-MA. *Águas Subterrâneas*. DOI: 10.14295/ras.v34i1.29811.

Estronioli, EM.; Miranda Neto, J. Q. A Hidrelétrica de Belo Monte como fator de segregação socioespacial: uma análise a partir da cidade de Altamira-PA. *Novos Cadernos NAEA*, v. 24, n. 3, p. 219-238, 2021.

Fagundes JPR, Andrade ALA (2015). POÇOS ARTESIANOS: uma reflexão na perspectiva da sustentabilidade. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*. v. 1, n. 1, 2015. 2178-6925.

FERREIRA, V. SILVA, M.M. Fundamentos conceituais e institucionais de gestão de recursos hídricos no Brasil. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

FREIMANN, B.C. ALVES, J.G. das V. Correlação de perfis geofísicos de poços sede do município de Salinópolis-PA. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 13., 2013, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: SBGf, 2013.

FREITAS, A.; ACHETE, F.; VINZÓN, S. Characterization of the Coastal Environment as a Baseline for Alternative Tourism Segments Development in Salinópolis, Pará. World, 2020. DOI: [10.3390/world1030017](https://doi.org/10.3390/world1030017).

Gauthier C, Lin Z, Peter B, Moran E (2019). Hydroelectric Infrastructure and Potential Groundwater Contamination in the Brazilian Amazon: Altamira and the Belo Monte Dam. *The Professional Geographer*, 71:292-300. DOI: [10.1080/00330124.2018.1518721](https://doi.org/10.1080/00330124.2018.1518721).

Guo Z, Fogg G, Chen K, Pauloo R, Zheng C (2022). Sustentabilidade da qualidade regional das águas subterrâneas em resposta à recarga gerenciada do aquífero. *Water Resources Research*, 59. DOI: [10.1029/2021WR031459](https://doi.org/10.1029/2021WR031459).

Han D, Post V, Song X (2015). Processos de salinização de águas subterrâneas e reversibilidade da intrusão de água do mar em aquíferos carbonáticos costeiros. *Journal of Hydrology*, 531:1067-1080. DOI: [10.1016/J.JHYDROL.2015.11.013](https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2015.11.013).

HIRATA, R.; CONICELLI, B.; SOUZA, A. M. Água subterrânea e o ciclo hidrológico. Rio de Janeiro: SENAC, 2019.

IMBIRIBA JUNIOR, M. SANTOS, L. G. PINHEIRO, F. G. R. MELO JUNIOR, H. R. Análise crítica do monitoramento dos poços da RIMAS na cidade de Belém do Pará, cedidos pela concessionária estadual (COSANPA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 24, 2021, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABRH, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo demográfico 2022: características gerais da população. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

Kulkarni T, Gassmann M, Kulkarni C, Khed V, Buerkert A (2021). Perfuração profunda para águas subterrâneas em Bengaluru, Índia: um estudo de caso sobre o sistema aquífero de rocha dura superexplorado da cidade. *Sustainability*. DOI: [10.3390/su132112149](https://doi.org/10.3390/su132112149).

LUIZ, T. B. P. SILVA, J. L. S. Variabilidade da condutividade elétrica em poços de monitoramento no campus da UFSM. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ABRHidro, 2013.

Mourão F, Pereira J (2020). Urban expansion impacts the surface water source of the water supply system in Belém and Ananindeua, Brazil. *Research, Society and Development*, 9:303974098. DOI: [10.33448/rsd-v9i7.4098](https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4098).

Siqueira Neto AC, Santos FRP, Barros ACSPC, Arraes LD (2023). Método da Eletroresistividade aplicado à variação temporal do nível freático do aquífero alter do chão, em Santarém, Pará. *REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE*, Caicó, ano 1, v. 9, p. 88-104. DOI [10.21680/2447-3359](https://doi.org/10.21680/2447-3359).

OLIVEIRA, J. R. PASTANA, J. M. N. NAVEGANTE, P. S. C. SCHALKEN, C. G. P. S. Caracterização hidrogeológica da cidade de Santarém e das vilas de Mojuí dos Campos e Alter-do-Chão com proposta técnica para a perfuração de poços tubulares profundos. In: 1st Joint World Congress on Groundwater, 2000 Fortaleza. Anais... Fortaleza: JWCG, 2004.

OLIVEIRA, J. C. HENRIQUE, I. N. LESS, D. F. S. Caracterização do sistema de esgotamento sanitário do município de Santarém, Pará. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2020, Vitória/ES. Anais... Vitória: CBGA, 2020.

PEREIRA, V. S. Uma análise dos possíveis impactos socioambientais na área de exploração de ferro pela empresa Bahia Mineração em Caetité-BA. In: IV SIMPÓSIO CIDADES MÉDIAS E PEQUENAS DA BAHIA, 2014, Barreiras. Anais...Barreiras: SCMPB, 2014.

Pinheiro JV, Miorando PS, LIMA TF (2023). Qualidade da água para consumo humano em dois sistemas de abastecimento público no município de Oriximiná-PA, Brasil. SciELO Preprints, DOI: [10.1590/SciELOPreprints.5556](https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.5556).

REGINATO, P. A. R. STRIEDER, A. J. Caracterização hidrogeológica e potencialidades dos aquíferos fraturados da Formação Serra Geral na região nordeste do Rio Grande do Sul. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, São Paulo. Anais... São Paulo: ABAS, 2004.

Rocha GS, Pinheiro AVR, Costa CEAS (2020). Gestão dos recursos hídricos no município de Parauapebas (PA): avaliação dos usos, alteração dos cenários e possíveis impactos. Research, Society and Development, 9(4):e194943042. DOI: 10.33448/rsd-v9i4.3042.

SANTOS, V. B. Desigualdades regionais e dependência cultural na Amazônia Paraense. Cadernos CEPEC, v. 11, n. 2, 2022.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS. Disponível em: [<https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>]

Shandilya R, Bresciani, E, Kang P, Lee S (2022). Influência de parâmetros hidrogeológicos e operacionais na capacidade de bombeamento de poços. Journal of Hydrology. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2022.127643](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127643).

Silva E, Bento D, Mendes A, Da Mota F, Mota L, Fonseca A, Almeida R, De Oliveira SL (2018). Environmental impacts of sand mining in the city of Santarém, Amazon region, Northern Brazil. Environment, Development and Sustainability, 22:47-60. DOI: [10.1007/s10668-018-0183-2](https://doi.org/10.1007/s10668-018-0183-2).

Silva YA, Descovi Filho LLV (2023). Análise da vulnerabilidade intrínseca do Aquífero Alter do Chão no município de Santarém-Pará-Brasil. Contribuições à Geologia da Amazônia. Belém, PA: Sociedade Brasileira de Geologia-Núcleo Norte, v. 12, p. 212-225.

Soares DS, Miranda Neto JQD (2024). Belo Monte e a segregação planejada: uma análise a partir dos reassentamentos urbanos de Altamira-PA. Novos Cadernos NAEA, v. 27, n. 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/ncn.v27i2.13034>

Song J, Lee S, Kang B, Lee G, Jeong G (2019). Um estudo sobre as características de filtragem de água do mar de poços de camada de filtro simples e duplo por teste de campo. KSEG, 29:51-68. DOI: [10.9720/kseg.2019.1.051](https://doi.org/10.9720/kseg.2019.1.051).

Hen S (2021). Desenvolvimento costeiro na Amazônia: problemas socioambientais do litoral paraense, Brasil. Natural Resources, 11(1):62-73. DOI: 10.6008/CBPC2237-9290.2021.001.0009.

Valdés-Abellán J, Pardo M, Jodar-Abellan A, Pla C, Fernández-Mejuto M (2020). Impacto das mudanças climáticas na hidrodinâmica do aquífero cárstico na região semiárida do sul da Europa usando o modelo KAGIS. *The Science of the Total Environment*, 723:138110. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.138110](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138110).

Viel EU, Nascimento FS, Fenzl N (2024). Qualidade da água do Aquífero Alter do Chão: comunidade Jacamim, zona rural do Oeste do Pará, Amazônia, Brasil. *International Journal of Scientific Management and Tourism*, Curitiba, 10(1):543-562.

Worthington S, Foley A, Soley, R (2019). Transient characteristics of effective porosity and specific yield in bedrock aquifers. *Journal of Hydrology*. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2019.124129](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124129).

ANEXO I – E&S ENGINEERING AND SCIENCE (Qualis B2 – Engenharias I)

The screenshot shows the homepage of the journal 'ES Engineering and Science'. The header includes the journal logo and navigation links: 'Atual', 'Acervo', 'Submissão', 'Fluxo Editorial', 'Notícias', and 'Sobre'. A search bar is located on the right. The main content area features the 'Edição Atual' (Current Issue) section, which includes the volume and issue information: 'v. 13 n. 4 (2024): Edição Especial | II Simpósio Brasileiro de Biometeorologia Humana'. Below this is the journal logo and the title of the special issue: 'II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA HUMANA CURITIBA - PR Edição Especial'. To the right of the logo, the DOI is provided as <https://doi.org/10.18607/ES2024134> and the publication date is 'Publicado: 2024-12-14'. A 'Enviar Submissão' (Submit) button is visible. On the right side, there is a 'Palavras-chave' (Keywords) section with a word cloud containing terms such as 'previsão de mortalidade', 'imagem termográfica', 'saúde', 'dengue', 'mobilidade', 'frequência respiratória', 'qualidade', 'acruji', 'edifícios', 'biometeorologia', 'climatologia', 'termorregulação', 'epidemiologia', 'síndromes', 'óleo', 'monitoramento', 'amazônia', 'transmissão de calor', 'bubalinas', and 'pandemia'. Below the keywords is a section for 'Artigos mais recentes' (Most recent articles).