

Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 5, N. 1 Rio de Janeiro, março 2024

Águas Subterrâneas nos Municípios Costeiros da Região de Planejamento do Litoral Norte do Estado do Ceará

*Groundwater in the coastal municipalities of the Planning Region
of the North Coast of Ceará - Brazil*Robério Bôto de Aguiar (roberio.boto@sgb.gov.br)¹Rafael Rolim de Sousa (rafael.sousa@sgb.gov.br)¹Sônia Maria Silva Vasconcelos (smaria@ufc.br)²¹ Serviço Geológico do Brasil - SGB, Residência de Fortaleza² Universidade Federal do Ceará

Abstract

This study aimed to analyze the lithological units present in the coastal municipalities of the Northern Coastal Planning Region, with the goal of assessing the hydrological potential, the dynamics of groundwater flow, and the renewable reserves of these sources, in addition to the quality of their waters. The study began with the execution of a bibliographic review and analysis of existing data, which culminated in a synthesis of all technical-scientific knowledge in the study area. Subsequently, a description of the geological units in the region was undertaken, emphasizing their hydrogeological properties. Through technical drilling reports, profiles of boreholes registered in the Groundwater Information System – SIAGAS database, and hydraulic parameter calculations, it was possible to perform the hydrogeological characterization of the aquifer units emerging in the area. The hydrostratigraphic units were defined and classified in terms of water productivity and quality. Consequently, the following aquifer units were identified in the study area: Alluvial Deposits (Q2a), Coastal Aeolian Deposits (Q2el), Barreiras Group (Enb), and Undifferentiated Crystalline Basement (Fr). As the primary source of recharge for these aquifers is precipitation, a water balance was employed to estimate the amount of rainfall available for groundwater recharge. Using the values of potentiometric levels measured in May and September 2022, it was possible to calculate the groundwater drawdown during that period showed elevated levels of certain elements above legal limits. Given the region's economic and touristic importance, there is an urgent need for efficient management of water and environmental resources to enhance the quality of life for both the local population and visitors.

Keywords: Groundwater, Northern Coastal Planning Region, Hydrological potential, Water quality.

Palavras-chave: Água subterrânea, Região de Planejamento do Litoral norte, Qualidade da água.

INTRODUÇÃO

Com o objetivo aperfeiçoar as atividades de planejamento, monitoramento e implementação de políticas públicas de forma regionalizada, o Governo do Ceará criou as Regiões de Planejamento, agrupando os 184 municípios cearenses em quatorze territórios conforme suas características semelhantes, relacionadas, sobretudo, aos aspectos político-institucionais, geoambientais, socioeconômicos e de rede de fluxos (IPECE, 2015).

A Região de Planejamento do Litoral Norte do Ceará localiza-se no extremo norte do estado, entre as fozes dos rios Ubatuba (oeste) e Aracatiaçu (leste), sendo composta por treze municípios e perfazendo uma área

territorial de 9.336 km² (6,3% do Ceará). Trata-se de uma zona litorânea de grande atividade morfodinâmica, condicionada tanto pelo regime fluvial dos rios, quanto pela sazonalidade dos regimes de ventos, marés e ondas da zona *offshore* adjacente. Apresenta grande potencial turístico e um importante polo urbano regional, cuja economia está calcada no turismo, na pesca e carcinicultura, na agroindústria de produtos tipicamente regionais e na agricultura irrigada. No entanto, o conhecimento detalhado do meio físico da região é de fundamental importância para que determinadas intervenções humanas não promovam a degradação ambiental deste delicado geocossistema.

Diante do significativo crescimento demográfico e das aglomerações urbanas cada vez maiores, aliados à necessidade de incremento na produção de alimentos e nas pressões ambientais, os mananciais subterrâneos têm assumido o papel de fonte estratégica de recursos hídricos, seja para as gerações atuais, mas, sobretudo, para as futuras. Dessa forma, é essencial conhecer os tipos de rochas que ocorrem na região, sua distribuição espacial, estruturas e porosidades, bem como, suas propriedades hidráulicas (Albuquerque Filho *et al.*, 2011).

Este estudo tem o objetivo de analisar as unidades litológicas existentes nos municípios litorâneos da Região de Planejamento do Litoral Norte, visando avaliar o potencial hídrico, a dinâmica do fluxo subterrâneo e as reservas renováveis desses mananciais, além da qualidade de suas águas. Essas informações constituem importantes ferramentas de gestão para o ordenamento territorial e são fundamentais para a tomada de decisões por parte dos gestores, a fim de atender à demanda do crescimento econômico, em consonância com as boas práticas ambientais.

ÁREA DE ESTUDO

A área deste trabalho está inserida na Região de Planejamento do Litoral Norte, ocupando uma área de 3.825 km², que abrange os municípios litorâneos de Chaval, Barroquinha, Camocim, Jijoca de Jericoacoara, Cruz, Acaraú e Itarema (Figura 1). A cidade de Itarema, a mais próxima de Fortaleza, está localizada a 211 km da capital pela rodovia estadual CE-085, enquanto a mais distante, Chaval, encontra-se a 401 km de distância.

De acordo com os primeiros resultados do Censo IBGE de 2022, a população desses municípios é de 252.070 habitantes, sendo que, 55% residem na zona urbana e 45% na zona rural.

Com exceção de Camocim, onde o serviço de saneamento básico é municipalizado, todos os demais municípios têm suas sedes atendidas pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (Cagece). Os distritos e comunidades difusas são abastecidos por sistemas simplificados, geralmente mantidos pelas prefeituras. Em alguns municípios, a Cagece também

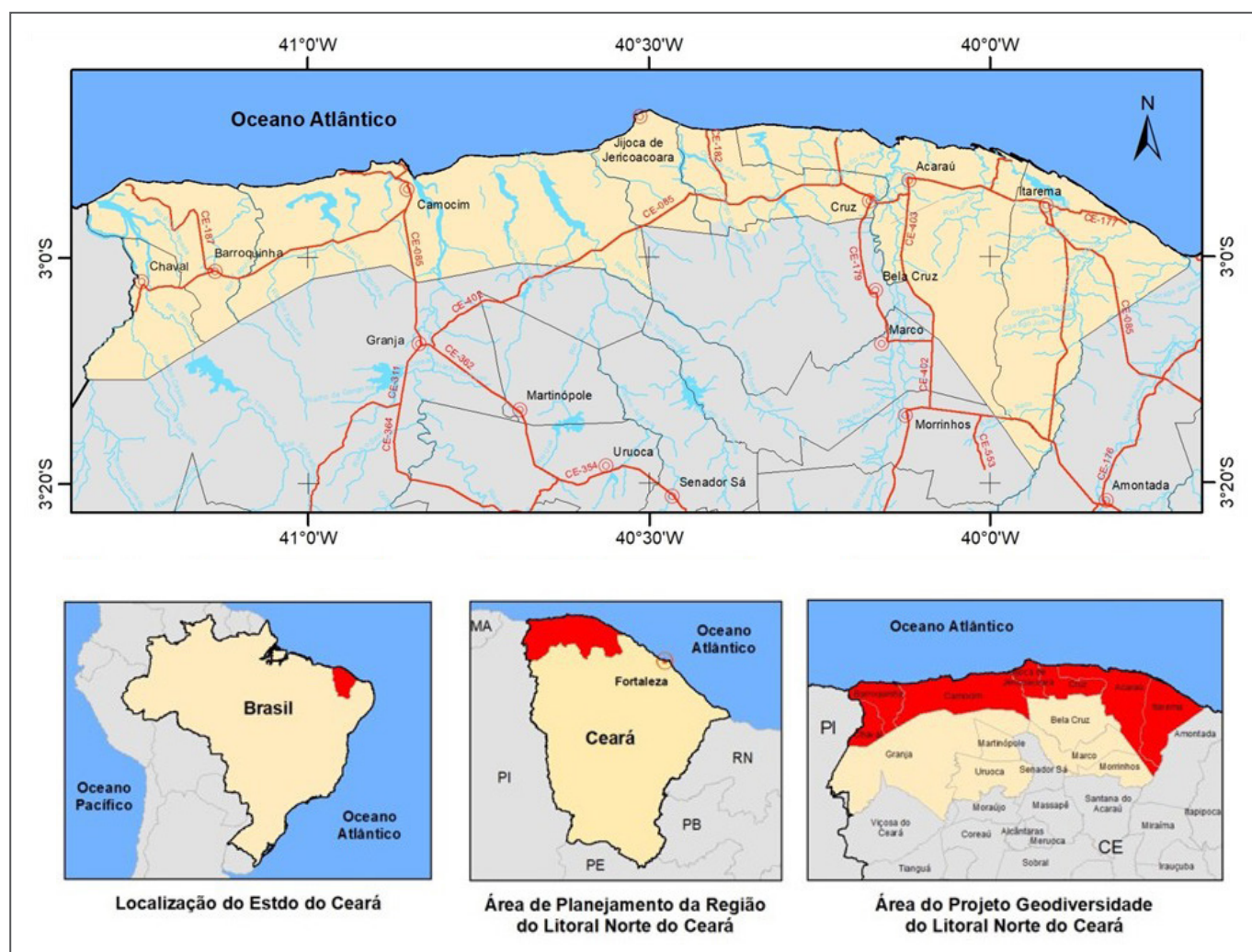


FIGURA 1 - Mapa de localização e acesso da área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores.

atende os principais distritos, como é o caso da Vila de Jericoacoara em Jijoca e Bitupitá em Barroquinha – duas localidades bastante conhecidas pelas suas belas praias.

É importante ressaltar que, dos sete municípios, apenas Chaval e Barroquinha, são abastecidos por água superficial, proveniente do Açude Itaúna, construído pelo Governo do Estado do Ceará em 2001, com capacidade para 77,5 hm³.

De acordo com pesquisa realizada em agosto de 2023 no banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil estão cadastrados na área de estudo 1.162 poços tubulares, assim distribuídos: 342 estão no município de Acaraú, 244 em Itarema, 207 em Camocim, 173 em Jijoca de Jericoacoara, 106 em Cruz, 64 em Barroquinha e 26 em Chaval. No entanto, acredita-se que exista uma quantidade bem maior de poços construídos e que não estão cadastrados devido à informalidade da atividade de perfuração e da ausência de outorgas para uso das águas subterrâneas.

METODOLOGIA

O estudo teve início com a execução de um levantamento bibliográfico e de dados existentes, por meio da consulta, principalmente a instituições públicas e de pesquisa. Com base nessas informações, foi elaborada uma síntese de todo o conhecimento técnico-científico da área de estudo, o qual orientou e fundamentou o planejamento das atividades subsequentes. A partir desse levantamento, procedeu-se à descrição das unidades geológicas existentes na região, com ênfase em suas propriedades hidrogeológicas. Também foram analisados os sistemas de captação e distribuição de água subterrânea nos municípios envolvidos no estudo. Por meio dos relatórios técnicos de perfuração, de perfis de poços tubulares cadastrados na base de dados do Siagas e do cálculo de coeficientes hidráulicos, foi possível realizar a caracterização hidrogeológica das unidades aquíferas aflorantes na área.

Considerando a premissa básica de uniformidade dos produtos do SGB-CPRM, a caracterização hidrogeológica foi elaborada com base nas informações do Mapa Hidrogeológico do Ceará (Souza; Aguiar; Paula, 2022) e dos dados de poços cadastrados no Siagas. Essas bases foram ajustadas e simplificadas para se adequarem à escala adotada.

Visando a padronização dos trabalhos de cartografia hidrogeológica, Diniz *et al.* (2014) propuseram a utilização dos conceitos de “hidrolitologia” e “hidroestratigrafia”, além de estabelecerem um sistema de hierarquização aquífera baseado em classes de

produtividade, criando quatro unidades básicas de referência para agrupar as unidades litológicas:

- 1) Domínios Hidrolitológicos (granulares, cársticos e fraturados), nos quais se considera apenas a forma de acúmulo e condução de água subterrânea;
- 2) Sistemas Aquíferos, que correspondem a união de dois ou mais aquíferos, para criar um novo conjunto de unidades aquíferas;
- 3) Aquíferos, formações geológicas capazes de armazenar e transferir água, em decorrência da porosidade e permeabilidade;
- 4) Unidades Hidroestratigráficas, que agrupam formações geológicas ou parte delas, e transmissão de águas subterrâneas, e com produtividades da mesma ordem de grandeza. Essas unidades hidroestratigráficas constituem os elementos indivisíveis básicos do mapeamento.

Posteriormente, Monteiro *et al.*, (2016) acrescentaram uma nova unidade: Não Aquíferos, que correspondem às unidades geológicas que não armazenam água ou que, mesmo armazenando, não a transmitem.

Para a hierarquização dessas unidades hidroestratigráficas em termos de produtividade hídrica, foi elaborada uma tabela de “Caracterização Hidráulica das Classes dos Aquíferos”, baseada no trabalho de Struckmeier e Margat (1995), apresentada na Tabela 1. Para fins de comparação das produtividades de cada poço analisado, foram definidos intervalos de bombeamentos contínuos de 0 a 12 horas e rebaixamento de coluna d’água fixado em 25 metros.

Para a classificação das unidades aquíferas sedimentares foram utilizados os valores médios das vazões específicas dos poços perfurados em cada unidade, tendo em vista a inexistência de testes de aquíferos que possibilitassem o cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos de cada aquífero.

No caso das rochas fraturadas, considerando que o valor da vazão específica pode refletir a transmissividade de um aquífero – e que, conforme admitido pela maioria dos autores, não se aplica o conceito clássico de transmissividade a esses meios – adotou-se, como método comparativo, apenas dados de vazão, também referidas ao mesmo tempo de bombeamento.

Foram realizadas duas etapas de campo neste projeto. A primeira campanha ocorreu em maio de 2022, correspondente ao período chuvoso na região, e a segunda em setembro de 2022, durante a estiagem. Em cada etapa, foram coletadas 40 amostras de água e medidos, *in loco*, parâmetros físico-químicos como sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, pH, e temperatura, além no nível estático nos poços tubulares previamente selecionados.

TABELA 1 - Proposta de caracterização hidráulica das classes de aquíferos. Adaptada de Struckmeier e Margat (1995), in Diniz *et al.* (2012).

Q/s (m ³ /h/m) (*)	T (m ² /s)	K (m/s)	Vazão (m ³ /h) (**)	Produtividade (***)	Classe
≥ 4,0	≥ 10 ⁻⁰²	≥ 10 ⁻⁰⁴	≥ 100	Muito Alta: Fornecimentos de água de importância regional (abastecimento de cidades e grandes irrigações). Aquíferos que se destaquem em âmbito nacional.	(1)
2,0 ≤ Q/s < 4,0	10 ⁻⁰³ ≤ T < 10 ⁻⁰²	10 ⁻⁰⁵ ≤ K < 10 ⁻⁰⁴	50 ≤ Q < 100	Alta: Características semelhantes à classe anterior, contudo situando-se dentro da média nacional de bons aquíferos.	(2)
1,0 ≤ Q/s < 2,0	10 ⁻⁰⁴ ≤ T < 10 ⁻⁰³	10 ⁻⁰⁶ ≤ K < 10 ⁻⁰⁵	25 ≤ Q < 50	Moderada: Fornecimento de água para abastecimento locais em pequenas comunidades, irrigação em áreas restritas.	(3)
0,4 ≤ Q/s < 1,0	10 ⁻⁰⁵ ≤ T < 10 ⁻⁰⁴	10 ⁻⁰⁷ ≤ K < 10 ⁻⁰⁶	10 ≤ Q < 25	Geralmente baixa, porém localmente moderada: Fornecimentos de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.	(4)
0,04 ≤ Q/s < 0,4	10 ⁻⁰⁶ ≤ T < 10 ⁻⁰⁵	10 ⁻⁰⁸ ≤ K < 10 ⁻⁰⁷	1 ≤ Q < 10	Geralmente baixa, porém localmente muito baixa: Fornecimentos de água para suprir abastecimentos locais ou consumo privado.	(5)
< 0,04	< 10 ⁻⁰⁶	< 10 ⁻⁰⁸	< 1,0	Pouco produtiva ou não aquífera: Fornecimentos insignificantes de água. Abastecimento restritos ao uso de bombas manuais.	(6)

(*) Valores referentes a 12 horas de bombeamento obtidos em testes.

(**) Valores calculados utilizando-se um rebaixamento de 25 metros.

(***) Na definição de classes de produtividade para os aquíferos cárstico e fissural utiliza-se apenas dados de vazão.

As amostras foram coletadas antes de a água passar por qualquer processo de tratamento e reservação, seguindo os procedimentos de coleta, armazenamento, tratamento e análise dos levantamentos realizados pelo SGB-CPRM.

As análises químicas foram realizadas pelo Centro de Biologia Experimental Oceanus, no Rio de Janeiro, e contemplaram 27 cátions (Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, V e Zn) e sete ânions (fluoreto, cloreto, brometo, nitrito, nitrato, sulfato e fosfato).

Os resultados das análises passaram por um processo sistemático de verificação de consistência ao longo do desenvolvimento das ferramentas de interpretação dos dados. Para cada elemento analisado, foram calculados valores estatísticos de tendência, localização e dispersão, como a média, mediana, valores máximos e mínimos e desvio-padrão.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Conforme o Mapa Geológico do Estado do Ceará (Pinéo *et al.*, 2020), a área é constituída predominantemente por rochas sedimentares do Grupo Barreiras (79%), depósitos eólicos litorâneos (7%) e depósitos aluvionares (9%), de idade cenozoica (Figura 2). No entanto, nas extremidades sudeste e sudoeste da área, afloram rochas do embasamento cristalino proterozoico.

Destaca-se a ocorrência de rochas quartzíticas da Formação São Joaquim na região conhecida como Ponta de Jericoacoara e que, devido às suas feições erosivas resultantes da abrasão marinha, atrai milhares de turistas do mundo todo com seu espetacular promontório rochoso, em especial no geosítio Pedra Furada.

O termo “Barreiras” foi utilizado inicialmente por Branner, em 1902, para designar os depósitos sedimentares situados ao longo da costa nordestina. Conforme Moura-Fé (2014), na literatura científica nacional os entendimentos sobre a origem, os mecanismos de deposição e as características litológicas dos sedimentos Barreiras variam, se sobrepõem, se imbricam e se sucedem, refletindo até mesmo na denominação atribuída a esses importantes depósitos sedimentares que ocorrem na zona costeira brasileira. Pinéo, *et al.* (2020) denominam de Grupo Barreiras os arenitos argilosos, com matriz argilo-caulínica e cimento argiloso, ferruginosos e, por vezes, silicosos, de granulação fina a média, com leitos conglomeráticos na base, ocorrendo ao longo de toda costa do estado do Ceará.

Os depósitos aluvionares são corpos alongados que ocorrem de maneira dispersa por todas as drenagens, com maior concentração ao longo dos principais rios. São constituídos por seixos, areias finas a grossas, com níveis de cascalhos e argilas. Já os depósitos eólicos litorâneos são representados por dunas fixas ou paleodunas, compostas por areias de granulação fina a média, quartzosas

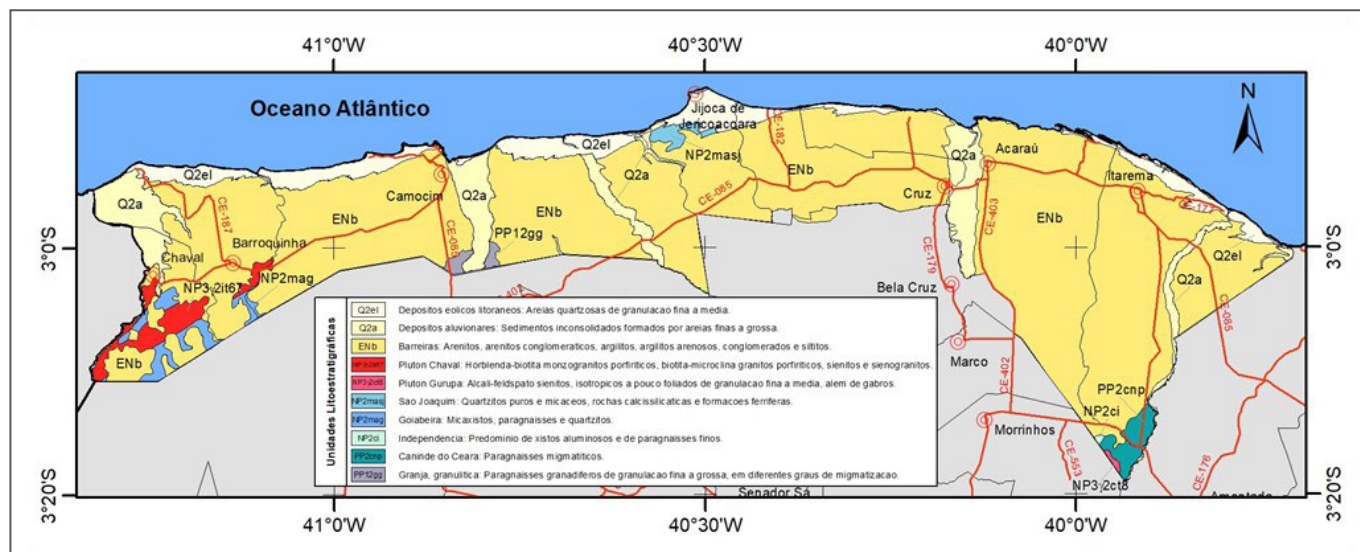


FIGURA 2 - Unidades litológicas aflorantes na área de estudo. Adaptado de Pinéo *et al.*, 2020.

ou quartzo-feldspáticas, raramente siltosas, bem selecionadas, com tonalidades que variam entre cinza-claro e alaranjada no topo, e avermelhada na base, podendo apresentar caráter consolidado ou inconsolidado, com espessuras médias superiores a dez metros. As dunas móveis são formadas por sedimentos inconsolidados, do tipo areias quartzosas de granulação fina a média, esbranquiçadas, bem selecionadas e com espessuras que podem atingir a trinta metros.

O embasamento cristalino da área está representado por unidades do Paleoproterozoico e Neoproterozoico, pertencentes ao Complexo de Granja, ao Grupo Martinópole e à Suíte Intrusiva Chaval. Segundo Brasil (1981), o Complexo de Granja constitui a unidade geológica mais antiga do Domínio Médio Coreaú (DMC), sendo interpretado como um complexo metamórfico de alto grau, sobre o qual se assentam as formações da Faixa Martinópole-Ubajara. Segundo Santos *et al.* (2001), o Complexo de Granja é formado por gnaisses de diferentes composições, granulitos e migmatitos.

Para Santos *et al.* (2008) o Grupo Martinópole representa a primeira sequência supracrustal de idade neoproterozoica aflorante no DMC. Assenta em discordância sobre as rochas do Complexo de Granja e é, majoritariamente, constituído por metapelitos, metagrauvacas e quartzitos, contendo, localmente, intercalações de rochas calcossilicatadas, metacarbonatadas e metavulcânicas. Esses autores subdividem a sequência em quatro formações:

- (1) São Joaquim, composta essencialmente por quartzitos, com intercalações de rochas calcossilicatadas e rochas félsicas vulcânicas;
- (2) Covão, é dominada por metapelitos interestratificados com finas bancadas quartzíticas;

(3) Santa Terezinha, constituída por metapelitos e metacarbonatos com intercalações de metagrauvacas, quartzitos e rochas metavulcânicas félsicas;

(4) Goiabeira, formada por metapelitos e, em menor proporção, paragneisses quartzo-feldspáticos.

O Granito Chaval foi inicialmente identificado nos levantamentos cartográficos do Projeto Jaibaras e compõe um corpo batolítico com cerca de 2.000 km², localizado próximo à zona costeira atlântica, tendo como localidades referenciais as cidades de Chaval (CE) e Bom Princípio (PI). Grande parte do corpo encontra-se recoberta por depósitos sedimentares cenozoicos costeiros ao norte, no entanto, excelentes exposições ocorrem ao longo das principais drenagens ou em morros de baixa expressão topográfica, como na cidade de Chaval e seus arredores. Esse granito apresenta uma relação intrusiva com as rochas do Complexo de Granja e do Grupo Martinópole, ao longo do seu flanco leste. De um modo geral, as rochas exibem marcantes feições miloníticas, com estruturas tipo *augen* e foliação S-C com quartzo fitado e anastomosado (Gorayeb; Lima, 2014).

CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Para caracterizar o contexto hidrogeológico da área, foram utilizadas as informações do Mapa Hidrogeológico do Ceará (Souza; Aguiar; Paula, 2022) e os dados de novos poços cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (Siagas), do Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM). Também foram realizadas medições dos níveis potenciométricos de alguns poços para determinar o comportamento espacial e temporal da água subterrânea.

Inicialmente, foram definidas as unidades hidroestratigráficas e realizada a sua classificação em termos de produtividade hídrica. Sendo assim, foram identificadas as seguintes unidades hidroestratigráficas na área de estudo: Depósitos Aluvionares (Q2a), Depósitos Eólicos Litorâneos (Q2el), Grupo Barreiras (Enb) e Embasamento Cristalino Indiferenciado (Fr), conforme apresentado na Figura 3.

A seguir, serão descritas as principais características dessas unidades, da mais recente para as mais antigas, bem como indicadas suas respectivas áreas de ocorrência.

Depósitos Aluvionares (Q2a) – São depósitos sedimentares, inconsolidados, que ocorrem ao longo dos cursos d'água da região, com maior expressão, ao longo dos principais rios, ocupando planícies e terraços fluviais, em uma área aproximada de 338 km² (Figura 3). São constituídos predominantemente por areias, siltes, cascalhos e intercalações argilosas, apresentando maior relevância quanto à produtividade quando ocorrem com maiores espessuras saturadas, maiores extensões laterais ou quando associados a cursos d'água volumosos e perenes. Trata-se de aquíferos livres, descontínuos, de extensão limitada, com porosidade e permeabilidade elevadas, e com superfícies freáticas rasas, relacionadas às calhas dos rios aos quais estão hidráulicamente associados.

Apesar da facilidade de recarga direta em sua superfície – ou oriunda de escoamento superficial das áreas vizinhas do embasamento, durante o período de precipitação –, o armazenamento de água subterrânea pode ser comprometido devido à pequena espessura e à elevada taxa de evapotranspiração.

Apesar das limitações quanto à produção de água por meio de poços, essa unidade pode oferecer água de melhor qualidade físico-química quando comparado ao Embasamento Cristalino Indiferenciado, sendo frequentemente aproveitada para consumo humano. Os valores de condutividade elétrica geralmente variam entre 150 e 1000 µS/cm, podendo atingir valores acima de 1.500 µS/cm.

O melhor aproveitamento está condicionado às áreas com melhor circulação e interação hidráulica com os cursos d'água superficiais, e também à ausência de fontes poluidoras nas proximidades. Quando ocorrem em áreas sedimentares, são esperadas vazões baixas (Classe 4b), compreendidas entre 10 e 20 m³/h. Já em áreas cristalinas, as vazões tendem a ser muito baixas, podendo localmente atingir valores das Classes 5a e 5b, compreendidas entre 4 e 10 m³/h.

Depósitos Eólicos Litorâneos (Q2el) – São depósitos sedimentares que se estendem por toda região litorânea, na forma de estreitas faixas que compreendem

tanto depósitos litorâneos quanto dunas móveis, ocupando uma área de cerca de 280 km² (Figura 3).

Os depósitos litorâneos são representados por dunas fixas ou paleodunas constituídas por areias de granulação fina a média, quartzosas ou quartzo-feldspáticas, raramente siltosas, bem selecionadas, com tonalidades cinza-claro e alaranjada, no topo, e, avermelhada, na base. Podem apresentar caráter consolidado ou inconsolidado, com espessuras médias superiores a dez metros.

As dunas móveis são formadas por sedimentos inconsolidados, compostos por areias quartzosas esbranquiçadas, bem selecionadas, de granulação fina a média, com espessuras que podem atingir até trinta metros.

Esses depósitos, juntamente com a Formação Barreiras, compõem um importante sistema aquífero. São aquíferos livres, contínuos, porém com extensão e espessura limitadas. A recarga ocorre de forma direta, por meio da infiltração das águas de chuvas.

A produtividade esperada é geralmente muito baixa, embora possa ser localmente baixa (Classe 5), com vazões compreendidas entre 1 e 4 m³/h. As águas apresentam valor médio de sólidos totais dissolvidos (STD) de 326 mg/L, com valores mínimos de 38 mg/L e máximo de 1.534 mg/L.

Grupo Barreiras (Enb) – Este aquífero margeia todo o litoral, ocorrendo em extensas faixas com espessuras bastante variadas, resultantes das oscilações topográficas e das dissecações causadas pela ação dos rios (Figura 3).

É constituído, predominantemente por arenitos argilosos de cores variegadas, com granulometria variando de fina a grosseira, podendo apresentar níveis conglomeráticos. Seus litótipos, em geral, são pouco consolidados, com baixo grau de cimentação e compactação.

O aquífero é classificado como contínuo, de extensão regional litorânea, e geralmente livre, com porosidade e permeabilidade médias, ocupando uma área aproximada de 3.000 km². A espessura média varia entre 40 e 50 metros, podendo ultrapassar os 100 metros em algumas regiões.

Quanto à produtividade, são observadas variações espaciais significativas:

- **Entre os rios Una e Acaraú:** o aquífero apresenta vazões moderadas (Classe 3a), entre 41 e 50 m³/h;
- **Entre os rios Acaraú e Aracati-Mirim:** classificado com vazões moderadas (Classe 3b), entre 33 e 41 m³/h;
- **Entre os rios da Chapada e Coreaú:** apresenta vazões moderadas (Classe 3c), entre 25 e 33 m³/h;

- **Entre os rios Coreaú e Una:** classificado como “Geralmente Baixa”, porém “Localmente moderada” (Classe 4a), com vazões entre 20 e 25 m³/h.
- **Na porção nordeste do município de Itarema:** classificado como “Geralmente Baixa, porém Localmente Moderada” (Classe 4b), com vazões entre 15 e 20 m³/h;
- **Na porção sul dos municípios de Chaval, Barroquinha, Camocim, Acaraú e Itarema:** apresenta produtividade “Geralmente Muito Baixa, porém Localmente Baixa” (Classe 5c), com vazões entre 1 e 4 m³/h, sendo difícil garantir fornecimentos contínuos;
- **Na porção oeste do município de Chaval:** o aquífero é classificado como uma unidade pouco produtiva ou não aquífera.

De modo geral, as águas desse aquífero não apresentam boa qualidade química, com valor médio de STD superiores a 1.500 mg/L.

Embasamento Indiferenciado (Fr) – A unidade aquífera do embasamento indiferenciado ocorre de forma disseminada, ocupando aproximadamente 185 km², com maior incidência no município de Chaval (Figura 3).

É composta por granitóides, rochas vulcânicas, migmatitos, gnaisses, xistos, quartzitos e metavulcânicas. Trata-se de um aquífero descontínuo, anisotrópico, livre, de extensão regional, com porosidade planar associada à presença de sistemas de falhas e/ou fraturas aleatórias, que podem ou não estar interligados.

As características hidrogeológicas dessa unidade estão condicionadas à ocorrência de arranjos estruturais e ao tipo de compartimentações geomorfológicas favoráveis. A recarga ocorre de forma direta, por precipitação, ou indireta, por outras unidades sobrejacentes.

Esta unidade é classificada como “Geralmente Muito Baixa, porém Localmente Baixa” (Classe 5c), com vazões situadas entre 1 a 4 m³/h.

Entre os poucos poços cadastrados, apenas dois forneceram dados de STD, com valores variando entre 507 e 614 mg/L. É importante ressaltar que, de acordo com a média das análises de água coletadas em poços perfurados no embasamento cristalino do estado do Ceará, os valores ficaram em torno de 1.837 mg/L.

Segundo Custódio e Llamas (1983), o estudo das superfícies potenciométricas permite obter informações sobre o movimento e o comportamento da água subterrânea. Pode-se tanto realizar uma interpretação qualitativa quanto quantitativa, seja por meio de observações ao longo do tempo, seja pela análise comparativa de uma mesma superfície em diferentes períodos.

Nesta pesquisa foram selecionados 60 poços para medição do nível d'água, realizada em duas etapas. A primeira, ocorreu em maio de 2022, correspondendo ao final do período de chuvas na região; a segunda, em setembro de 2022, correspondendo ao final do período chuvoso na região. Cabe ressaltar que as medidas foram realizadas, sempre que possível, nos mesmos poços.

A Tabela 2 apresenta a relação dos poços selecionados, suas localizações e os valores de nível estático medido. Observa-se, como era esperado, um rebaixamento generalizado dos níveis d'água em decorrência da ausência de chuvas (recarga) no segundo semestre do ano e do aumento do consumo hídrico para suprir as necessidades da população.

A Figura 4 apresenta as superfícies de depleção dos aquíferos estudados, que, em média, indicam um rebaixamento de quase um metro no nível do manancial subterrâneo.

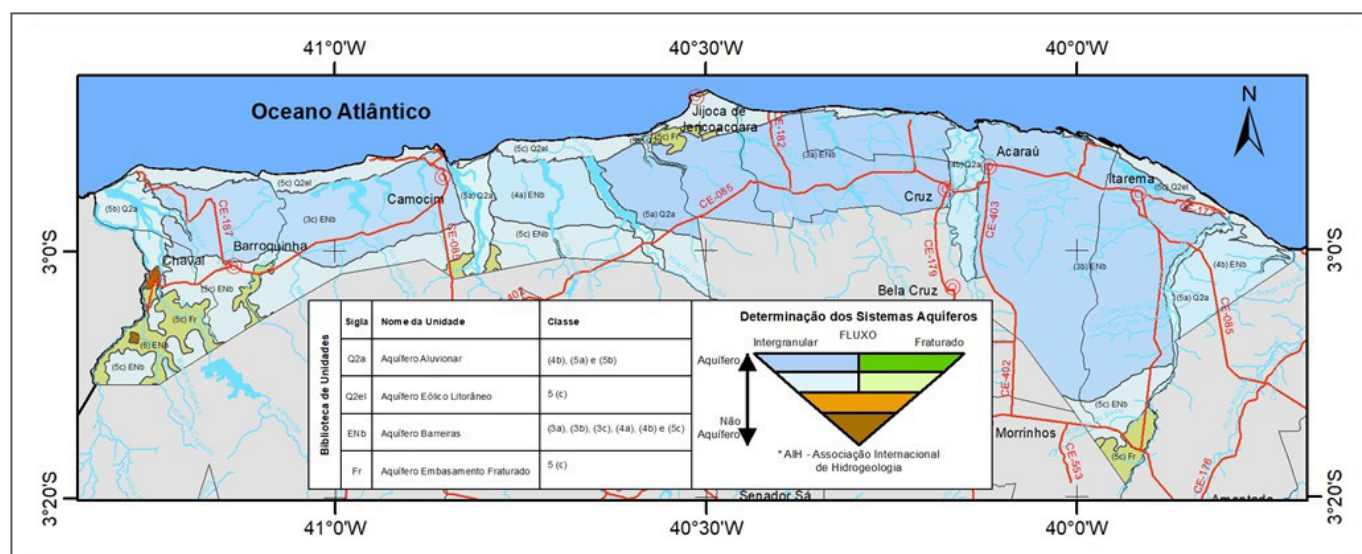


FIGURA 3 - Unidades hidroestratigráficas aflorantes na área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores.

TABELA 2 - Relação dos poços utilizados nas medições dos níveis potenciométricos. Fonte: Elaborado pelos autores.

Poço	Município	Localidade	Coordenadas		N.E. (m)		Rebaix. (m)
			UTM-E	UTM-S	Mai	Set	
PT01	Chaval	Pernambuquinho	257.022	9.665.189	17,23	17,45	0,22
PT02	Chaval	Japão	256.275	9.667.921	20,00	20,15	0,15
PT03	Camocim	Jatobá	279.810	9.670.158	13,25	13,90	0,65
PT04	Camocim	Flamenga do Vitorinos	290.487	9.676.544	10,00	10,10	0,10
PT05	Camocim	Amarelas	274.280	9.672.929	13,00	13,70	0,70
PT06	Jijoca	Campo de Aviação	336.503	9.680.238	12,56	12,68	0,12
PT07	Jijoca	Lagoa Grande	336.438	9.685.312	4,05	4,93	0,88
PT08	Jijoca	Lagoa Grande	334.030	9.684.833	3,50	4,35	0,85
PT09	Jijoca	Forquilha	331.744	9.680.775	4,15	4,57	0,42
PT10	Jijoca	Córrego do Mourão	337.723	9.673.957	22,47	22,51	0,04
PT11	Jijoca	Rotatória CE085	339.984	9.678.624	11,55	12,00	0,45
PT12	Cruz	Caldeirão	352.107	9.672.969	14,70	14,80	0,10
PT13	Cruz	Canafistula	353.671	9.674.961	11,28	11,25	-0,03
PT14	Cruz	Córrego do Perfeito	343.902	9.681.745	4,47	5,00	0,53
PT15	Cruz	Poço Doce	354.386	9.680.191	4,20	5,00	0,80
PT16	Cruz	Gamileirinha	352.406	9.682.368	8,05	8,58	0,53
PT17	Acarau	Lagoa da Volta	361.696	9.687.623	4,80	5,35	0,55
PT18	Acarau	Tope de Baixo	360.826	9.684.260	8,78	9,45	0,67
PT19	Cruz	Lagoa Grande	364.591	9.680.431	7,07	9,65	2,58
PT20	Cruz	CE085	362.641	9.680.031	7,80	8,50	0,70
PT21	Itarema	Guabiraba	394.926	9.679.502	8,90	9,75	0,85
PT22	Itarema	Itapagé	394.294	9.680.054	8,65	9,51	0,86
PT23	Acarau	Córrego dos Silvérios	389.529	9.680.692	20,76	26,10	5,34
PT24	Acarau	Almécegas	383.251	9.677.800	5,00	6,10	1,10
PT25	Acarau	Tucunzeiro	381.047	9.674.409	6,47	9,05	2,58
PT26	Acarau	Macabeu	377.272	9.672.652	14,50	15,10	0,60
PT27	Acarau	Tabuleirinho	373.110	9.673.101	3,85	3,90	0,05
PT28	Acarau	Escadinha	374.498	9.669.321	14,80	15,20	0,40
PT29	Acarau	Lagoa Grande	374.726	9.666.526	18,74	19,00	0,26
PT30	Itarema	Maracanã	399.447	9.646.840	16,67	17,32	0,65
PT31	Itarema	Paratí	399.706	9.649.120	24,40	25,50	1,10
PT32	Itarema	Oriente/Rua Meneses	395.657	9.652.579	8,00	8,40	0,40
PT33	Itarema	Catanduba	399.467	9.661.538	7,08	7,43	0,35
PT34	Itarema	Brilhante	405.096	9.660.969	14,67	15,00	0,33
PT35	Itarema	Camundongo	405.042	9.665.634	9,53	10,40	0,87
PT36	Itarema	Varjota/Escola	408.809	9.670.113	9,86	14,39	4,53
PT37	Itarema	Patos	416.851	9.668.194	11,50	12,00	0,50
PT38	Chaval	Jatobá dos Aprígios	252.182	9.650.885	21,40	21,50	0,10
PT39	Chaval	Retiro/Casa Popular	249.485	9.658.963	8,00	8,40	0,40
PT40	Camocim	Estreito	270.782	9.662.630	6,70	7,30	0,60
PT41	Barroquinha	Assent. Iria Fernandes	265.245	9.667.654	19,10	19,00	-0,10
PT42	Barroquinha	Chapada	255.995	9.672.616	10,35	15,00	4,65
PT43	Barroquinha	Curimãs	256.668	9.679.896	0,85	1,50	0,65
PT44	Barroquinha	Lagoa do Barro	264.488	9.676.146	11,05	10,70	-0,35
PT45	Camocim	Lagoa das Pedras	275.224	9.669.739	13,50	14,00	0,50
PT46	Camocim	Pereiros	290.095	9.669.639	12,30	13,65	1,35
PT47	Camocim	Olho D'água/SAAE	290.364	9.682.168	18,25	15,48	-2,77
PT48	Camocim	Olho D'água	301.318	9.674.467	19,70	19,95	0,25
PT49	Camocim	Urtiga	303.012	9.668.454	33,00	35,82	2,82
PT50	Camocim	Lagoa Grande	316.260	9.678.299	9,60	9,71	0,11
PT51	Camocim	Vila dos Martins	324.646	9.672.600	15,60	15,66	0,06
PT52	Jijoca	Mangue Seco	325.761	9.684.616	6,40	6,40	0,00
PT53	Cruz	Preá/Associação	343.075	9.688.007	7,00	7,65	0,65
PT54	Acarau	Castelhano/Ius	350.079	9.686.630	4,10	5,55	1,45
PT55	Cruz	Córrego da Poeira	361.733	9.676.480	6,05	6,12	0,07
PT56	Acarau	Curral Velho	379.153	9.684.065	22,85	26,30	3,45
PT57	Acarau	São Gerardo	381.957	9.654.911	1,90	2,66	0,76
PT58	Acarau	Solidão	388.099	9.647.296	7,35	7,68	0,33
PT59	Itarema	Saguin	412.430	9.663.335	4,80	4,90	0,10
PT60	Itarema	Aroeira/Corrêgo Novo	389.642	9.665.723	7,00	7,57	0,57

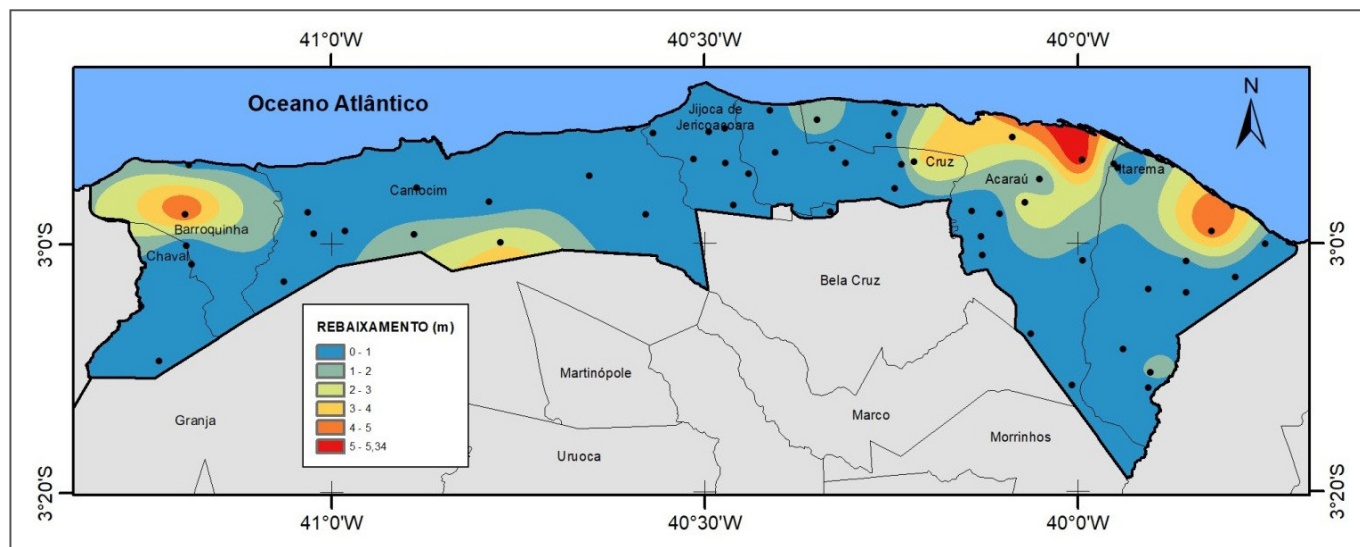


FIGURA 4 - Mapa de depleção dos aquíferos entre os meses de maio e setembro: Elaborado pelos Autores.

AVALIAÇÃO DA RESERVA HÍDRICA SUBTERRÂNEA

As reservas de águas subterrâneas são calculadas utilizando-se dados de pluviometria, associados às características dimensionais e hidrodinâmicas dos sistemas aquíferos e podem ser divididas em duas categorias: renováveis, também denominadas de dinâmicas, e permanentes, conhecidas como estáticas ou geológicas. As reservas renováveis representam o volume de água que participa do ciclo hidrológico em uma escala de tempo anual ou sazonal, ou seja, que se encontra em constante movimento (Teixeria *et al.*, 2000).

A parcela da precipitação que infiltra através da zona não saturada do solo e alcança o sistema aquífero é definida como recarga subterrânea. Essa recarga pode ocorrer de forma natural, por precipitação direta ou infiltração em leitos de rios e lagos, ou de forma induzida, por atividades antrópicas como a irrigação e urbanização.

Segundo Oliveira (2004), a quantificação da recarga de águas subterrâneas é um processo estimativo que, normalmente, apresenta dificuldades quanto à validação dos resultados obtidos por qualquer método aplicado. Devido à complexidade intrínseca do tema, existem diversos métodos, com diferentes níveis de confiabilidade para estimar a recarga de maneira satisfatória.

Dessa forma, a solução adotada para estimar com maior segurança a recarga dos aquíferos sedimentares na área de estudo foi o cálculo da parcela do balanço hídrico que infiltra no solo, utilizando-se o método de

Thornthwaite. Foram empregados dados de dezoito postos pluviométricos existentes na área, com os quais se calcularam os valores de precipitação, evapotranspiração e infiltração efetiva média anual, conforme apresentado na Tabela 3.

A partir dos valores de infiltração efetiva calculados, foi gerada uma malha de interpolação utilizando-se o método de krigagem, com modelo de variograma linear. Com isso, foi possível traçar um mapa de isolinhas de infiltração efetiva, revelando sua variação espacial (Figura 5).

Para estimar a quantidade de água disponível para recarga subterrânea na área de estudo, consideraram-se quatro classes de infiltração efetiva:

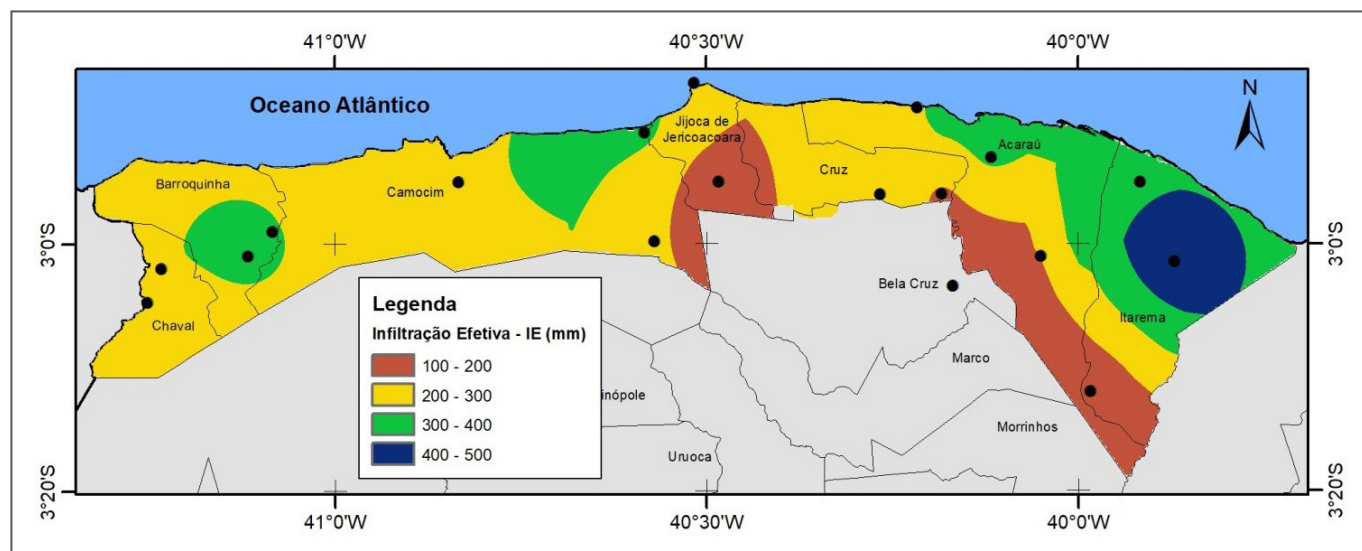
- i) entre 100 e 200 mm (média de 150 mm) numa área de 572,88 km²;
- ii) de 200 a 300 mm (média de 250 mm) numa área de 2.174,47 km²;
- iii) entre 300 e 400 (média de 350 mm) numa área de 827,74 km²;
- iv) de 400 a 500 mm (média de 450 mm) numa área de 249,27 km².

Essas informações estão detalhadas na Tabela 4.

Assim, considerando que a área de estudo possui uma extensão total de 3.824,37 km², estima-se uma disponibilidade hídrica anual para recarga dos aquíferos porosos de 1.031.433.500 metros cúbicos, o que corresponde a aproximadamente 24% da precipitação média anual calculada para a região – um valor expressivo, especialmente se comparado com outras áreas do estado.

TABELA 3 - Postos pluviométricos com os respectivos valores das médias totais anuais de precipitação (PPT), evapotranspiração (ETR), infiltração efetiva (Ie) e percentagem de água disponível para infiltração no solo. Fonte: ANA (2023).

NOME	MUNICÍPIO	ANOS	PPT (mm)	ETR (mm)	Ie (mm)	Ie (%)
Acaraú	Acaraú	48	1.142,84	718,60	324,24	28,37
Aranaú	Acaraú	44	1.108,34	764,29	297,51	26,84
Lagoa do Carneiro	Acaraú	21	989,85	687,32	202,53	20,46
Barroquinha	Barroquinha	32	1.118,02	706,17	311,84	27,89
Bela Cruz	Bela Cruz	40	846,47	600,19	146,28	17,28
Bela Cruz-Prata	Bela Cruz	21	1.056,82	660,13	296,69	28,07
Camocim II	Camocim	47	1.138,16	737,26	300,90	26,44
Barroquinha	Camocim	26	1.182,99	780,18	302,81	25,60
Guriú	Camocim	33	1.074,97	700,07	323,01	30,05
Pesqueiro	Camocim	17	1.057,71	742,15	215,56	20,38
Chaval	Chaval	68	1.057,90	698,96	294,71	27,86
Retiro	Chaval	8	1.057,71	703,54	254,18	24,03
Cruz	Cruz	33	931,85	650,84	181,01	19,42
Itarema	Itarema	33	1.176,17	743,53	367,39	31,24
Carvoeiro	Itarema	19	816,35	619,64	101,77	12,47
Vila Nova	Itarema	16	1.340,92	741,17	499,75	37,27
Jijoca	Jijoca	25	800,40	570,63	129,77	16,21
Jericoacoara	Jijoca	20	826,11	605,30	120,81	14,62

**FIGURA 5** - Mapa de isolinhas de infiltração efetiva calculada para os municípios da área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores.**TABELA 4** - Estimativa de recarga subterrânea para os municípios da área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores.

Setor	Ie (mm)	Área (km ²)	Recarga (x10 ³ m ³ /ano)
100 ≤ Ie < 200 mm	150	572,88	85.932,0
200 ≤ Ie < 300 mm	250	2.174,47	543.617,5
300 ≤ Ie < 400 mm	350	827,75	289.712,5
400 ≤ Ie < 500 mm	450	249,27	112.171,5
Total		3.824,37	1.031.433,5

CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As informações apresentadas neste estudo são oriundas de oitenta análises químicas realizadas em laboratório, bem como de medições efetuadas *in loco*. As coletas de água foram realizadas em duas campanhas, abrangendo quarenta poços tubulares destinados ao abastecimento humano. A primeira campanha foi realizada em maio de 2022, correspondendo ao período chuvoso na região, enquanto a segunda ocorreu em setembro de 2022, durante o período de estiagem.

A Figura 6 apresenta a distribuição espacial dos poços amostrados na área de estudo.

Vale ressaltar que os métodos analíticos para a quantificação dos constituintes da água apresentam limitações que, em determinadas situações, impossibilitam a estimativa precisa de alguns elementos em certas concentrações. Por esse motivo, os resultados são frequentemente expressos como valores abaixo de um determinado limite de detecção (LD). Esse limite representa a concentração mínima de uma substância que pode ser medida e reportada com 99% de confiança de que a concentração do analito é superior a zero (Martins; Franco; Pinto, 2019).

Do ponto de vista estatístico, dados com registros abaixo de um certo limite são denominados “censurados à esquerda” ou simplesmente “censurados”, e devem ser compreendidos como observações não qualificadas, embora se saiba que os valores se encontram entre zero e limite de detecção. A presença de dados censurados interfere diretamente em quase todos os tipos de análises estatísticas, exigindo, portanto, o uso de métodos específicos para minimizar seus efeitos negativos.

Conforme Wendelberger e Campbell (1994), existem duas abordagens para tratamento desses valores: a substituição por zero, $\frac{1}{2}LD$ ou LD ; ou o tratamento estatístico dos dados censurados. Por convenção, o SGB-CPRM adota o método de substituição simples, no qual os valores censurados são substituídos por $\frac{1}{2}LD$.

Para a avaliação dos resultados obtidos neste estudo, será utilizado o Valor Máximo Permitido (VMP) para águas destinadas ao consumo humano, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Eventualmente, também serão considerados os valores recomendados pela Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021 e CONAMA nº 357/2005.

As Tabelas 5 e 6 apresentam a relação dos elementos analisados, com seus respectivos VMPs, para as amostras de água coletadas em maio e setembro de 2022, além das medidas de tendência central e variação.

Nos resultados analíticos das amostras coletadas na primeira campanha de campo, em maio de 2022, dos 29 cátions analisados, foram encontrados valores superiores aos limites definidos pela Resolução CONAMA 396, para os seguintes elementos:

- Alumínio - 4 amostras e teor máximo de 2,34 mg/L;
- Bário - 12 amostras e teor máximo de 21,04 mg/L;
- Berílio - 4 amostras e teor máximo de 0,012 mg/L;
- Ferro - 8 amostras e teor máximo de 5,554 mg/L;
- Manganês - 4 amostras e teor máximo de 0,387 mg/L;
- Níquel - 4 amostra e teor máximo de 0,063 mg/L;
- Selênio - 1 amostra e teor máximo de 0,012 mg/L;
- Sódio - 7 amostras e teor máximo de 360,20 mg/L.

Não foram detectados os cátions dos elementos: germânio, mercúrio e titânio.

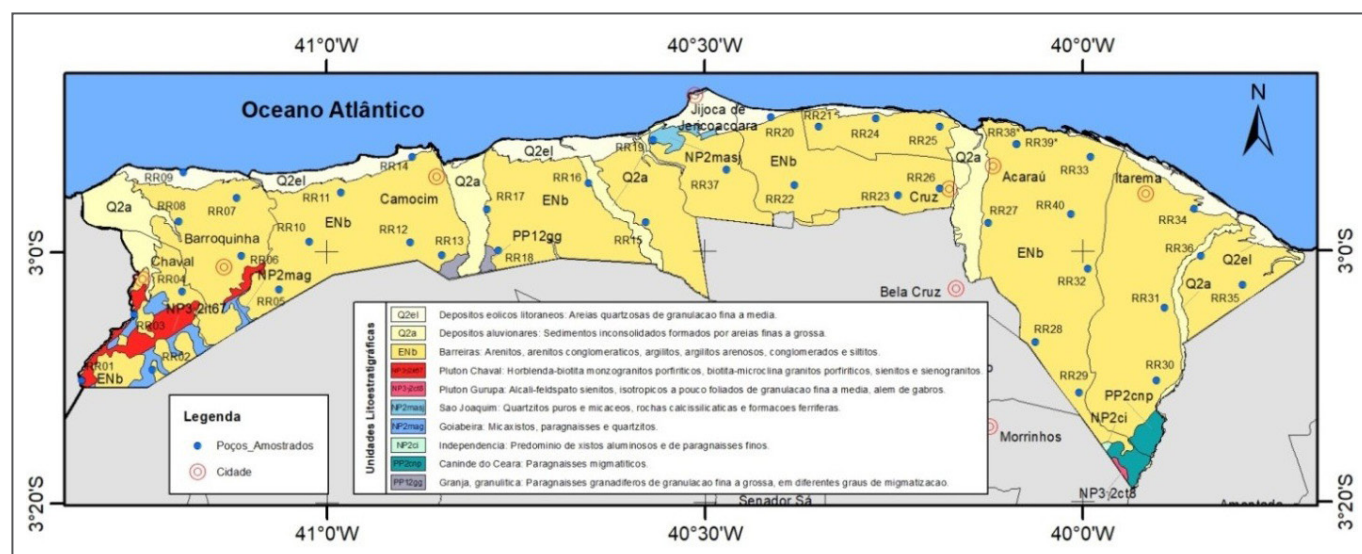


FIGURA 6 - Mapa de localização e distribuição dos poços amostrados. Fonte: Elaborado pelos autores.

TABELA 5 - Relação dos elementos analisados nas amostras de água subterrânea coletadas em maio de 2022, com seus respectivos valores de tendência central e variação, e os limites estabelecidos pelos parâmetros legais. Fonte: Elaborada pelos autores.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA – COLETA EM MAIO/2022										PARÂMETROS LEGAIS DE REFERÊNCIA		
Elementos		Unid.	Limite de Detecção	Medidas > LD	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Médio	Valor Mediano	Desvio Padrão	Conama 396	Portaria MS 888	Conama 357
Cátions	Alumínio (Al)	mg/L	0,0015	40	2,342	0,006	0,144	0,013	0,422	0,2	0,2	0,1
	Antimônio (Sb)	mg/L	0,00015	5	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,006	0,005
	Arsênio (As)	mg/L	0,00003	21	0,010	0,000	0,000	0,000	0,002	0,01	0,01	0,01
	Bário (Ba)	mg/L	0,00015	40	21,040	0,031	1,698	0,249	3,993	0,7	0,7	0,7
	Berílio (Be)	mg/L	0,00006	18	0,012	0,000	0,001	0,000	0,003	0,004		0,04
	Boro (B)	mg/L	0,015	22	0,480	0,008	0,106	0,095	0,122	0,5		0,5
	Cádmio (Cd)	mg/L	0,00015	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003	0,001
	Cálcio (Ca)	mg/L	0,015	40	127,41	0,45	22,83	5,66	35,15			
	Chumbo (Pb)	mg/L	0,00015	21	0,010	0,000	0,002	0,001	0,003	0,01	0,01	0,01
	Cobalto (Co)	mg/L	0,00015	26	0,060	0,000	0,006	0,001	0,013			0,05
	Cobre (Cu)	mg/L	0,0015	11	0,224	0,001	0,009	0,001	0,036	2	2	0,009
	Cromo (Cr)	mg/L	0,00015	38	0,004	0,000	0,002	0,002	0,001	0,05	0,05	0,05
	Estanho (Sn)	mg/L	0,0003	2	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000			
	Estrôncio (Sr)	mg/L	0,0003	40	2,133	0,009	0,341	0,150	0,488			
	Ferro (Fe)	mg/L	0,0015	40	5,554	0,010	0,407	0,059	1,090	0,3	0,3	0,3
	Germânio (Ge)	mg/L	0,0003	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
	Lítio (Li)	mg/L	0,0003	37	0,081	0,000	0,018	0,010	0,019			2,5
	Magnésio (Mg)	mg/L	0,015	40	137,14	1,16	25,26	12,26	31,50			
	Manganês (Mn)	mg/L	0,0003	35	0,387	0,000	0,042	0,022	0,073	0,1	0,1	0,1
	Mercurio (Hg)	mg/L	0,000027	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,001	
	Molibdênio (Mo)	mg/L	0,00015	5	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,07		
	Níquel (Ni)	mg/L	0,0003	30	0,063	0,000	0,007	0,003	0,012	0,02	0,07	0,025
	Potássio (K)	mg/L	0,003	40	36,22	0,62	9,66	8,65	7,69			
	Selênio (Se)	mg/L	0,0015	2	0,012	0,001	0,001	0,001	0,002	0,01	0,04	0,01
	Silício (Si)	mg/L	0,15	40	32,00	3,10	17,57	19,60	7,91			
	Sódio (Na)	mg/L	0,015	40	360,20	6,26	112,48	81,85	98,17	200	200	
	Titânio (Ti)	mg/L	0,0015	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000			
	Vanádio (V)	mg/L	0,00015	18	0,008	0,000	0,001	0,000	0,001	0,05		0,1
	Zinco (Zn)	mg/L	0,015	8	0,390	0,008	0,035	0,008	0,071	5	5	0,18
Ânions	Brometo	mg/L	0,09	24	2,900	0,045	0,655	0,495	0,702			
	Cloreto	mg/L	0,3	40	717,00	10,30	190,96	118,80	178,05	250	250	250
	Fluoreto	mg/L	0,09	5	2,480	0,045	0,138	0,045	0,392	1,4	1,5	1,4
	Fosfato	mg/L	0,015	16	0,970	0,008	0,110	0,008	0,210			
	Nitrato	mg/L	0,066	30	123,75	0,03	9,16	1,71	22,12	10	10	10
	Nitrito	mg/L	0,048	8	3,500	0,020	0,130	0,024	0,549	1	1	1
	Sulfato	mg/L	0,3	33	79,70	0,15	14,49	5,85	20,41	250	250	250
Físico-Químico	pH	-	-	40	7,43	4,31	5,79	5,81	0,75			6 a 9
	Temp.	°C	-	40	35,20	27,00	31,25	30,70	1,74			
	C.E	µS/cm	-	40	3383,00	101,90	1023,19	800,85	827,25			100
	STD	mg/L	-	40	2257,00	67,59	710,51	511,90	568,61			

TABELA 6 - Relação dos elementos analisados nas amostras de água subterrânea coletadas em setembro de 2022, com seus respectivos valores de tendência central e variação, e os limites estabelecidos pelos parâmetros legais. Fonte: Elaborada pelos autores.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS PARA ÁGUA SUBTERRÂNEA – COLETA EM SETEMBRO/2022										PARÂMETROS LEGAIS DE REFERÊNCIA		
Elementos		Unid.	Limite de Detecção	Medidas > LD	Valor Máximo	Valor Mínimo	Valor Médio	Valor Mediano	Desvio Padrão	Conama 396	Portaria MS 888	Conama 357
Cátions	Alumínio (Al)	mg/L	0,0015	30	2,302	0,001	0,122	0,012	2,302	0,2	0,2	0,1
	Antimônio (Sb)	mg/L	0,00015	1	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,005	0,006	0,005
	Arsênio (As)	mg/L	0,00003	20	0,008	0,000	0,000	0,000	0,008	0,01	0,01	0,01
	Bário (Ba)	mg/L	0,00015	40	17,772	0,030	1,572	0,286	17,772	0,7	0,7	0,7
	Berílio (Be)	mg/L	0,00006	18	0,012	0,000	0,001	0,000	0,012	0,004		0,04
	Boro (B)	mg/L	0,015	22	0,410	0,008	0,094	0,065	0,410	0,5		0,5
	Cádmio (Cd)	mg/L	0,00015	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003	0,001
	Cálcio (Ca)	mg/L	0,015	40	158,89	0,34	29,23	9,42	158,89			
	Chumbo (Pb)	mg/L	0,00015	33	0,007	0,000	0,001	0,001	0,007	0,01	0,01	0,01
	Cobalto (Co)	mg/L	0,00015	23	0,046	0,000	0,006	0,001	0,046			0,05
	Cobre (Cu)	mg/L	0,0015	5	0,012	0,001	0,002	0,001	0,012	2	2	0,009
	Cromo (Cr)	mg/L	0,00015	19	0,005	0,000	0,001	0,000	0,005	0,05	0,05	0,05
	Estanho (Sn)	mg/L	0,0003	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
	Estrôncio (Sr)	mg/L	0,0003	40	1,726	0,006	0,304	0,145	1,726			
	Ferro (Fe)	mg/L	0,0015	40	4,995	0,007	0,360	0,043	4,995	0,3	0,3	0,3
	Germânio (Ge)	mg/L	0,0003	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
	Lítio (Li)	mg/L	0,0003	35	0,075	0,000	0,016	0,009	0,075			2,5
	Magnésio (Mg)	mg/L	0,015	40	140,70	0,87	24,66	12,53	140,70			
	Manganês (Mn)	mg/L	0,0003	37	0,327	0,000	0,037	0,010	0,327	0,1	0,1	0,1
	Mercurio (Hg)	mg/L	0,000027	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,001	
	Molibdênio (Mo)	mg/L	0,00015	5	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,07		
	Níquel (Ni)	mg/L	0,0003	21	0,059	0,000	0,005	0,002	0,059	0,02	0,07	0,025
	Potássio (K)	mg/L	0,003	40	37,48	0,55	9,44	8,00	37,48			
	Selênio (Se)	mg/L	0,0015	27	0,016	0,001	0,003	0,002	0,016	0,01	0,04	0,01
	Silício (Si)	mg/L	0,15	40	41,40	3,90	20,98	22,10	41,40			
	Sódio (Na)	mg/L	0,015	40	404,64	6,96	118,37	82,92	404,64	200	200	
	Titânio (Ti)	mg/L	0,0015	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001			
	Vanádio (V)	mg/L	0,00015	17	0,006	0,000	0,001	0,000	0,006	0,05		0,1
	Zinco (Zn)	mg/L	0,015	4	0,140	0,008	0,017	0,008	0,140	5	5	0,18
Ânions	Brometo	mg/L	0,09	20	2,210	0,045	0,479	0,193	2,210			
	Cloreto	mg/L	0,3	40	985,90	13,90	266,01	164,15	985,90	250	250	250
	Fluoreto	mg/L	0,09	7	0,670	0,045	0,101	0,045	0,670	1,4	1,5	1,4
	Fosfato	mg/L	0,015	6	0,760	0,008	0,059	0,008	0,760			
	Nitrato	mg/L	0,066	30	187,18	0,03	13,73	3,20	187,18	10	10	10
	Nitrito	mg/L	0,048	6	1,710	0,020	0,093	0,024	1,710	1	1	1
	Sulfato	mg/L	0,3	33	92,40	0,15	13,92	6,450	92,40	250	250	250
Físico-Químico	pH	-	-	40	7,19	4,38	5,56	5,515	7,19			6 a 9
	Temp.	°C	-	40	35,30	30,50	32,41	32,350	35,30			
	C.E	µS/cm	-	40	3181,00	160,00	1042,94	798,650	3181,00			100
	STD	mg/L	-	40	2401,00	113,40	757,77	566,250	2401,00			

Para os sete ânions analisados nesta etapa, apresentaram valores superiores aos limites legais:

- Cloreto - 12 amostras e teor máximo de 717 mg/L;
- Fluoreto - 1 amostra e teor máximo de 2,48 mg/L;
- Nitrato - 10 amostras e teor máximo de 123,75 mg/L;
- Nitrito - 1 amostra e teor máximo de 3,50 mg/L.

Na segunda campanha de análise das águas subterrâneas, realizada em setembro de 2022, os cátions germânio, mercúrio e titânio não foram detectados. No entanto, sete cátions apresentaram valores superiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396. São eles:

- Alumínio - 4 amostras e teor máximo de 2,30 mg/L;
- Bário - 13 amostras e teor máximo de 17,77 mg/L;
- Berílio - 4 amostras e teor máximo de 0,012 mg/L;
- Ferro - 4 amostras e teor máximo de 4,99 mg/L;
- Manganês - 3 amostras e teor máximo de 0,327 mg/L;
- Níquel - 3 amostra e teor máximo de 0,059 mg/L;
- Sódio - 7 amostras e teor máximo de 404,64 mg/L.

Os sete ânions foram detectados em todas as amostras e três deles apresentaram valores superiores aos limites legais:

- Cloreto - 16 amostras e teor máximo de 985,9 mg/L;
- Nitrato - 9 amostras e teor máximo de 187,18 mg/L;
- Nitrito - 2 amostras e teor máximo de 1,71 mg/L.

Com relação aos parâmetros físico-químicos medidos na primeira etapa de coleta (maio/22), a mediana dos valores de pH foi de 5,81; da condutividade elétrica foi 800,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e dos sólidos totais dissolvidos 511,9 mg/L.

Na amostragem seguinte (setembro/22), os valores medianos apresentaram uma leve redução para o pH (5,52) e para a condutividade elétrica (798,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$), enquanto para os sólidos totais dissolvidos registraram um pequeno aumento, alcançando (566,3 mg/L).

A Figura 7 apresenta a localização dos poços cujas amostras apresentaram algum elemento com valores acima dos limites legais nas campanhas de maio/22 (A) e setembro/22 (B).

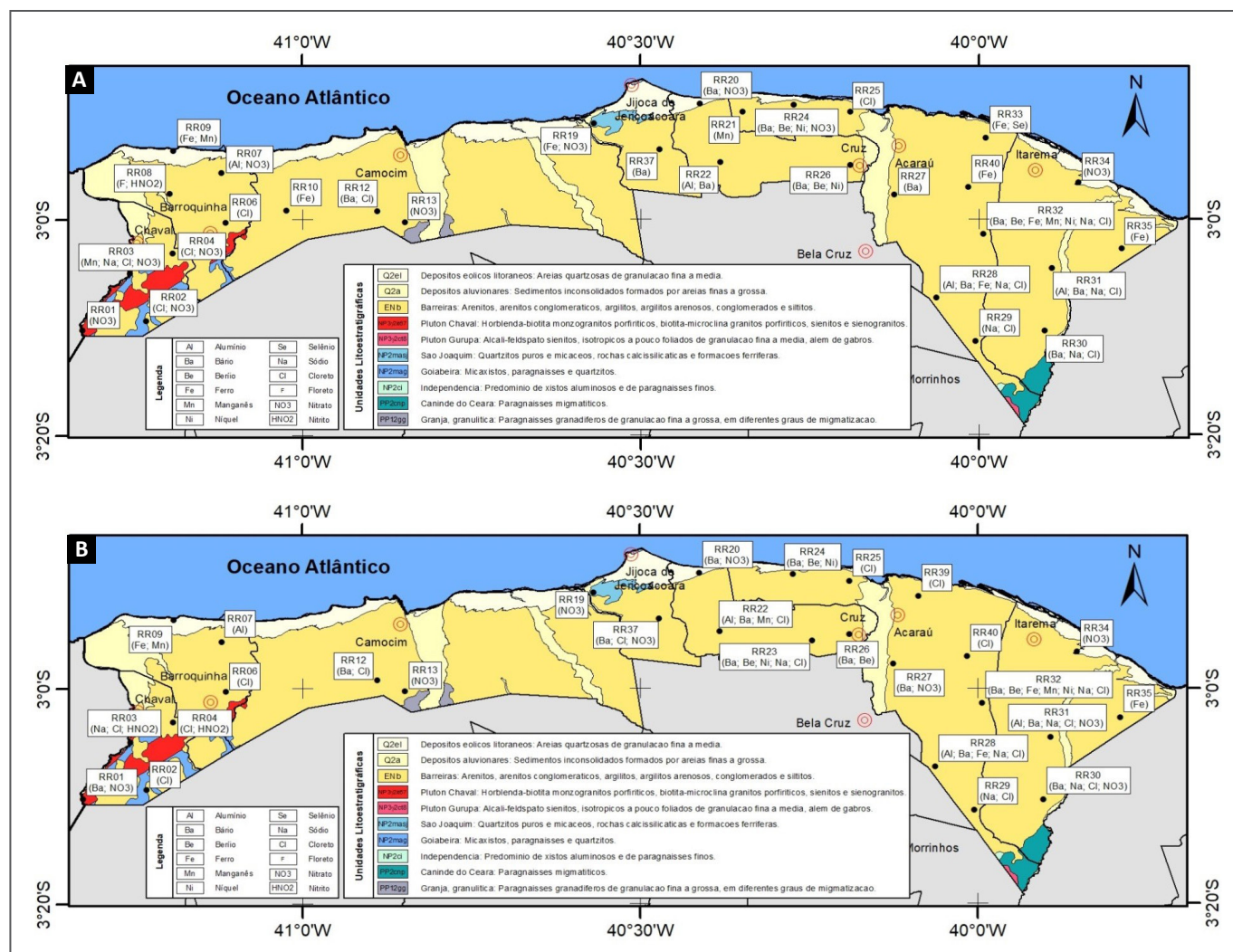


FIGURA 7 - Localização dos poços onde foram detectados elementos com valores acima dos limites legais nas campanhas de (A) maio de 2022 e (B) setembro de 2022. Fonte: Elaborado pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi possível observar que cerca de 95% da área é composta por rochas granulares e apenas 5% por rochas fraturadas. Provavelmente, por esse motivo, a principal fonte de abastecimento de água da população local é o manancial subterrâneo, com destaque para as regiões onde os arenitos do Grupo Barreiras estão sotopostos aos sedimentos dos depósitos eólicos litorâneos (dunas e paleodunas), formando o Sistema Aquífero Dunas/Barreiras, que, em geral, apresenta vazões moderadas e águas de boa qualidade.

Considerando que a principal fonte de recarga desses aquíferos é a água da chuva e que a região apresenta precipitação média anual de cerca de 1.000 mm, pode-se afirmar que a área de estudo se diferencia das outras regiões do estado, onde predominam rochas fraturadas, com precipitações médias anuais entre 600 e 700 mm e baixas taxas de infiltração efetiva.

Destaca-se ainda o fato de que, das quarenta amostras de água analisadas em maio de 2022, 31 apresentaram ao menos um elemento com concentração acima dos limites legais. Já em setembro de 2022, 27 amostras apresentaram resultados semelhantes. Alguns desses elementos são indicativos de contaminações antrópicas e que podem ser mitigadas.

Dada a importância econômica e turística dessa região, torna-se urgente e necessário implementar uma gestão eficiente dos recursos hídricos e ambientais, com vistas à constante melhoria da qualidade de vida da população local e dos visitantes.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; BARBOSA, M. C.; AZEVEDO, S. G. de; CARVALHO, A. M. de. O papel das águas subterrâneas como reserva estratégica de água e diretrizes para a sua gestão sustentável. **Revista Recursos Hídricos**, Lisboa, v. 32, n. 2, p. 53 - 61, nov. 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **HidroWeb**. ANA, 2023. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/series_historicas. Acesso em: ago. 2023.
- BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. R.; CAVALCANTI, J. A. Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista Escola de Minas**, p. 45 - 51, 2004.
- BRANNER, J. C. Geology along the Pernambuco coast south of Recife. **Boletim de Geologia da Sociedade Americana**, v. 13, p. 58 - 92, 1902.
- CLETO, C. I. T. P. **O alumínio na água de consumo humano**. 2008. Dissertação (Mestrado em Química Industrial) - Departamento de Química, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2008. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/2842/1/TESE%20FINAL.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2025.
- COMPANHIA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório síntese dos estudos qualitativos e quantitativos das águas subterrâneas da Bacia do Araripe, no estado do Ceará**. Fortaleza: COGERH, 2017.
- CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea**. 2. ed. Barcelona: Omega, 1983. v. 2v.
- DINIZ, J. A. O.; MONTEIRO, A. B.; FEITOSA, F. A. C.; FREITAS, M. A. de; PEIXINHO, F. C. Metodologia para elaboração de mapas hidrogeológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 17., 2012; ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 18., 2012, Bonito, MS. **Anais [...]**. Bonito, MS: ABAS, 2012. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/1106>. Acesso em: 18 ago. 2025.
- DINIZ, J. A. O.; PAULA, T. F. de; MONTEIRO, A. B.; FEITOSA, F. A. C.; CARDOSO, A. de C. Taxonomia Hidrogeológica - Unidades Básicas de Referência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 18.; ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 19.; FENAGUA - FEIRA NACIONAL DA ÁGUA, 8., 2014, Belo Horizonte/MG. **Água nas Minas e nas Gerais: uma riqueza nacional. Anais [...]**. Belo Horizonte: ABAS, 2014. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/16615>. Acesso em: 18 ago. 2025.
- GORAYEB, P. S. D. S.; LIMA, A. M. M. D. Aspectos texturais do magmatismo e tramas da tectônica impostas ao Granito Chaval na Zona de Cisalhamento Santa Rosa, extremo Noroeste da Província Borborema. **Brazilian Journal of Geology**, v. 44, n. 4, out./dez. 2014.
- IBGE. **Censo Demográfico 2022: população e domicílios: primeiros resultados**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/mapas.html>. Acesso em: 18 ago. 2025.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. IPECE. nov. 2015. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/regioes-de-planejamento/>. Acesso em: 11 ago. 2023.
- MARTINS, G. A. D. S. P.; FRANCO, D.; PINTO, C. R. S. D. C. Avaliação de técnicas de tratamento de dados de qualidade de água censurados à esquerda. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: ABRHidro, 2019.
- MONTEIRO, A. B.; DINIZ, J. A. de O.; PAULA, T. L. F. de; CORREIA FILHO, F. L. **Taxonomia hidrogeológica do estado do Piauí**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 19.; ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 20., 2016, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: ABAS, 2016. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17652>. Acesso em: 18 ago. 2025.
- MORAES REGO, L. F. **Notas sobre a geologia do território do Acre e da Bacia do Javari**. [S. l.: s.n.], 1930. p. 45.

MORAES, L. J. D. Estudos geológicos no estado de Pernambuco. **Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil**, v. 10, n. 32/35, p. 100, 1928.

MOURA-FÉ, M. M. D. Barreira: Série, Grupo ou Formação?. **Revista Brasileira de Geografia Física**, p. v.7, n. 6, p.1055-1061, 2014.

BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SA.24 - Fortaleza**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1981.

OLIVEIRA, M. J. P. M. D. **Recarga de águas subterrâneas**: métodos de avaliação. 2004. Tese (Doutorado em geologia) - Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa. 2004.

PINÉO, T. R. G.; PALHETA, E. S. M.; COSTA, F. G.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, I. P.; GOMES, F. E. M.; BESSA, M. D. M. R.; LIMA, A. F.; HOLANDA, J. R. L.; FREIRE, D. P. C. **Mapa geológico do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM-SGB, 2020. 1 mapa, color., Escala 1: 500.000. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Ceará. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/20418>. Acesso em: 18 ago. 2025.

SANTOS, T. J. S. D.; NOGUEIRA NETO, J. de A.; FETTER, A. F.; HACKSPACHER, P. C. Petrografia e litogeoquímica das rochas do embasamento cristalino da região de Granja - Ce. **Revista de Geologia**, Universidade Federal do Ceará, v. 14, p. 33 - 48, 2001.

SANTOS, T. J. S. D.; FETTER, A. H.; HACKSPACHER, P. C.; VAN SCHUMUS, W. R. NOGUEIRA NETO, J. A. Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of the Borborema Province, NE Brazil, during the assembly of the western Gondwana. **Journal of South American Earth Sciences**. v. 25, p. 271-284, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/41797>. Acesso em: 18 ago. 2025.

SOUZA, R. R. D.; AGUIAR, R. B. D.; PAULA, T. L. F. D. **Mapa hidrogeológico do estado do Ceará**. Fortaleza: SGB-CPRM, 2022. 1 mapa, color. Escala 1:500.000. Projeto Disponibilidade Hídrica do Brasil. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23379>. Acesso em: 18 ago. 2025.

STRUCKMEIER, W. F.; MARGAT, J. **Hydrogeological maps a guide and a standart legend**. Hannover: IAH, 1995. v. 17. 177p.

TEIXEIRA, Z. A.; VASCONCELOS, M. K. de; CAVALCANTE, I. N.; FRANGIPANI, A.; VASCONCELOS, S. M. Hidrogeologia da região de Marco e Bela Cruz, estado do Ceará. **Revista Águas Subterrâneas**, Fortaleza, 2000. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23918>. Acesso em: 18 ago. 2025.

WENDELBERGER, J.; CAMPBELL, K. **Non-detect data in environmetal investigations**. Toronto: American Statistical Association, 1994. Conference.



INFORME TÉCNICO-CIENTÍFICO DE PREVENÇÃO DE DESASTRES E ORDENAMENTO TERRITORIAL
V.5, N.1, mar. 2024

Publicação on-line seriada do Serviço Geológico do Brasil – SGB
Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial
Departamento de Gestão Territorial – DEGET

Disponível em: rigeo.sgb.gov.br

Serviço Geológico do Brasil – SGB

Av. Pasteur, 404 Urca - Rio de Janeiro - RJ - BRASIL

CEP: 22.290-255

Telefone:(21) 2295-0032

Contatos: seus@sgb.gov.br / solicita.deget@sgb.gov.br

COMISSÃO DE PUBLICAÇÃO

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial: Alice Silva de Castilho

Departamento de Gestão Territorial: Diogo Rodrigues da Silva

Corpo editorial: Carlos Schobbenhaus Filho, Cassio Roberto Silva, Diogo Rodrigues da Silva, Eduardo Paim Viglio, Maria Adelaide Mansini Maia, Maria Angélica Barreto, Sandra Fernandes da Silva.

Corpo de revisores: André Luis Invernizzi, Débora Lamberty, Douglas da Silva Cabral, Heródoto Góes, Iris Celeste Nascimento Bandeira, Ivan Bispo de Oliveira Filho, José Luiz Marmos, Júlio César Lana, Marcelo Eduardo Dantas, Marcelly Ferreira Machado, Melissa Franzen, Michele Silva Santana, Patrícia da Fonseca Almeida, Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff, Raimundo Almir Costa da Conceição, Rogério Valença Ferreira, Sheila Gatinho Teixeira, Thiago Dutra dos Santos e Tiago Antonelli.

Revisão de texto: Irinéa Barbosa da Silva

Normalização bibliográfica: DIDOTE

Editoração eletrônica: Cristiane de Lima Pereira