

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

INTEGRAÇÃO DE DADOS HIDROGEOLÓGICOS
DOS SISTEMAS AQUÍFEROS
DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE, CEARÁ, BRASIL

Ivan Rizzi Grecchi

Prof. Dr. Didier Gastmans (orientador)

Me. José Guilherme Filgueira da Silva (coorientador)

Rio Claro (SP)

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

IVAN RIZZI GRECCHI

INTEGRAÇÃO DE DADOS HIDROGEOLÓGICOS
DOS SISTEMA AQUÍFEROS
DA BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE, CEARÁ, BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro – SP

2023

G789i

Grecchi, Ivan Rizzi

Integração de dados hidrogeológicos dos sistemas aquíferos da Bacia Sedimentar do Araripe, Ceará, Brasil / Ivan Rizzi Grecchi. -- Rio Claro, 2023
90 p. : il., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Didier Gastmans

Coorientador: José Guilherme Filgueira da Silva

1. Águas subterrâneas. 2. Hidrogeologia. 3. Aquíferos. 4. Hidrologia. 5. Bacia do Araripe. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

IVAN RIZZI GRECCHI

INTEGRAÇÃO DE DADOS HIDROGEOLÓGICOS DOS
SISTEMAS AQUÍFEROS DA BACIA SEDIMENTAR DO
ARARIPE, CEARÁ, BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para
obtenção do grau de Geólogo.


Comissão Examinadora

Prof. Dr. Didier Gastmans (orientador)


Ma. Nathália de Souza Arruda

Dr. Roberto Kirchheim

Rio Claro, 05 de dezembro de 2023.

Documento assinado digitalmente
 IVAN RIZZI GRECCHI
Data: 08/12/2023 11:21:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do aluno

Documento assinado digitalmente
 DIDIER GASTMANS
Data: 08/12/2023 11:33:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do orientador

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todos que contribuíram para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso. Este trabalho não teria sido possível sem o apoio e a colaboração de diversas pessoas que compartilharam seu tempo, conhecimento e incentivo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Didier Gastmans pela orientação e paciência ao longo do ano. Ao meu coorientador Me. José Guilherme Filgueira da Silva (COGERH), sua expertise foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. Aos colegas do Laboratório de Recursos Hídricos e Isótopos Ambientais (LARHIA) pelo companheirismo, troca de aprendizado e, principalmente, incentivo ao trabalho. Aos demais companheiros do Centro de Estudos Ambientais (CEA – Unesp) pelas horas juntos e risadas no cafezinho.

A Fundação de Apoio à Pesquisa, Ensino e Extensão – Funep, processo 1.248/2023, pelo apoio financeiro que possibilitou a realização do trabalho, bem como as demais agências de fomento que propiciam a continuidade das pesquisas do grupo.

Aos meus pais Raquel e Milton, a minha avó Sílvia e a minha irmã Letícia pela compreensão, ao incentivo para seguir em frente e pela ajuda para superar cada desafio. Cada palavra de encorajamento foi um combustível vital para minha motivação.

Agradeço também aos amigos e colegas que contribuíram com discussões construtivas e em momentos de descontração. Em especial, meu agradecimento ao amigo Thales D. Leandro pela valiosa contribuição no trabalho, ajudando na elaboração e correção.

À instituição de ensino UNESP pela infraestrutura e aos professores do curso de Geologia pelos ensinamentos, sobretudo a Profa. Dra. Rosemarie Rohn pelo apoio e encorajamento durante os anos de graduação.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, direta ou indiretamente, colaboraram para o sucesso deste trabalho.

Muito obrigado a todos!

“Águas escuras dos rios
Que levam a fertilidade ao sertão
Águas que banham aldeias
E matam a sede da população...
Águas que movem moinhos
São as mesmas águas que encharcam o chão
E sempre voltam humildes
Pro fundo da terra
Terra! Planeta Água
Terra! Planeta Água”
(Guilherme Arantes)

RESUMO

A Bacia Sedimentar do Araripe (BSA) é a maior bacia de interior do Nordeste brasileiro. Apresenta sistemas aquíferos que se destacam pela abundância de águas subterrâneas, amplamente utilizadas pela população para diversos fins. A hidrogeologia da BSA é constituída pelo Sistema Aquífero Superior, Aquiclude Santana, Sistema Aquífero Médio, Aquiclude Brejo Santo e Sistema Aquífero Inferior, e vem sendo estudado da perspectiva hidrogeológica desde o início do século XX. O presente trabalho tem como objetivo subsidiar a gestão do uso das águas subterrâneas da BSA por meio da integração de dados hidrogeológicos. Para tanto, foram compilados dados construtivos e hidrodinâmicos de poços selecionados, distribuídos em 14 municípios da região da BSA. Destes, 19 poços foram selecionados para a elaboração de perfis hidrogeológicos integrando dados de superfície do terreno, hidrogeologia e estrutura da bacia. Dados hidrodinâmicos e de qualidade dos parâmetros de condutividade elétrica (CEI), nível estático (NEs), nível dinâmico (NDi), vazão específica (VEp) e vazão de estabilização (VEs) dos 743 poços selecionados foram interpolados para gerar mapas de isovalores. O perfil litológico dos poços corresponde à estratigrafia BSA e ao funcionamento dos seus sistemas aquíferos. A estruturação interna da bacia apresenta controle geológico-estrutural sobre os sistemas aquíferos, condicionando a hidrogeologia local. Os mapas de isovalores indicam áreas mais apropriadas para a perfuração de poços. A integração de dados hidrogeológicos mostra-se indispensável para a elaboração de planejamentos estratégicos sobre a gestão do uso da água subterrânea na região da BSA.

Palavras-chave: Geologia. Hidrologia. Poços tubulares profundos. SIAGAS.

ABSTRACT

The Araripe Sedimentary Basin (ASB) is the largest interior basin of Northeastern Brazil. It has an aquifer system that stands out for its abundant groundwater, widely used by the population for various purposes. The ASB aquifer system comprises the Superior Aquifer System, Santana Aquiclude, Medium Aquifer System, Brejo Santo Aquiclude, and Inferior Aquifer System. This dynamic system has been the setting of hydrogeological studies since the beginning of the 20th century. However, the potential of hydrogeological knowledge for managing groundwater use in the ASB is generally neglected. The present study aims to support the groundwater use management in the ASB through integrating hydrogeological data. For this purpose, water well construction and hydrodynamic data were retrieved from selected water wells distributed in 14 municipalities in the ASB region. Nineteen water wells were chosen to prepare hydrogeological profiles integrating land surface, hydrogeological, and basin structure data. Hydrodynamic data of electrical conductivity, static level, dynamic level, specific flow rate, and stabilization flow rate from 743 selected water wells were interpolated to generate isovalue maps. The lithological profile of the studied water wells corresponds to the ASB stratigraphy and the functioning of its aquifer system. The internal structure of the basin exhibits geological-structural control over the ASB aquifer system, influencing the local hydrogeology. Isovalue maps indicate areas most suitable for drilling water wells. The integration of hydrogeological data is essential for developing strategic plans for managing groundwater use in the ASB region.

Key words: Geology. Hidrology. Water wells. SIAGAS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA) no Nordeste brasileiro	17
Figura 2 – Mapa e seção geológica da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA)	18
Figura 3 – Carta estratigráfica da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA), incluindo sequências deposicionais e tectônicas	19
Figura 4 – Modelo de evolução das bacias interiores do Nordeste	27
Figura 5 – Proposta de Ponte & Ponte Filho para a estruturação interna da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA)	28
Figura 6 – Mapa geológico-estrutural de parte da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA)	28
Figura 7 – Representação esquemática dos tipos de aquífero quanto à porosidade e superfície	30
Figura 8 – Representação esquemática de um poço tubular profundo em rocha sedimentar	31
Figura 9 – Divisão dos sistemas aquíferos da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA) baseado em DNPM (1996) e seu funcionamento proposto por Mendonça (2001)	32
Figura 10 – Localização dos 14 municípios do estado do Ceará, Brasil, que compreendem a área de estudo na Bacia Sedimentar do Araripe (BSA)	37
Figura 11 – Exemplo de perfil de poço e possibilidades de consulta de dados hidrogeológicos via Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS)	39
Figura 12 – Área de estudo na Bacia Sedimentar do Araripe (BSA) com a localização dos 19 poços selecionados para a descrição do perfil hidrogeológico	41
Figura 13 – Perfis topográficos gerados a partir das seções geológicas da área de estudo na Bacia Sedimentar do Araripe (BSA)	42
Figura 14 – Seção geológica A-A', abrangendo os municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda	45
Figura 15 – Seção geológica B-B', abrangendo os municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha	48
Figura 16 – Seção geológica C-C', abrangendo os municípios de Abaiara, Milagres e Mauriti	51

Figura 17 – Seção geológica D-D', abrangendo os municípios de Jardim e Porteiras	53
Figura 18 – Interpolação de dados de condutividade elétrica (CEI) de poços da área de estudo	54
Figura 19 – Interpolação de dados de nível estático (NEs) de poços da área de estudo	55
Figura 20 – Interpolação de dados de nível dinâmico (NDi) de poços da área de estudo	56
Figura 21 – Interpolação de dados de vazão específica (VEp) de poços da área de estudo	57
Figura 22 – Interpolação de dados de vazão de estabilização (VEs) de poços da área de estudo	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Extensão da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA) segundo diferentes autores	17
Tabela 2 – Seções geológicas, municípios e poços selecionados para a descrição do perfil hidrogeológico da área de estudo	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABA – Abaiara

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

ANA – Agência Nacional de Águas

ANM – Agência Nacional de Mineração

ASB – Araripe Sedimentary Basin

BAR – Barbalha

BSA – Bacia Sedimentar do Araripe

ca. – cerca de

CE – Ceará

CEI – condutividade elétrica

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CRT – Crato

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

E – Leste (East em inglês)

e.g. – por exemplo

EUA – Estados Unidos da América

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

i.e. – isto é

IFOCS – Inspetoria Federal de Obras Contra a Seca

JAR – Jardim

JUN – Juazeiro do Norte

K – condutividade hidráulica

km – quilômetro

km² – quilômetro quadrado

m – metro

m³ – metro cúbico

m³/ano – metro cúbico por ano

MAU – Mauriti

m³/h – metro cúbico por hora

m³/h/m – metro cúbico por hora por metro

MIL – Milagres
mm – milímetros
m/s / $m.s^{-1}$ – metro por segundo
 m^3/s – metro cúbico por segundo
N – Norte (North em inglês)
NDi – nível dinâmico
NE – Nordeste (Northeast em inglês)
NEs – nível estático
NOL – Nova Olinda
NW – Noroeste (Northwest em inglês)
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU – Organização das Nações Unidas
POR – Porteiras
S – Sul (South em inglês)
SAC – Santana do Cariri
SE – Sudeste (Southeast em inglês)
SGB – Serviço Geológico do Brasil
SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SRTM – Shuttle Radar Topography Mission
SW – Sudoeste (Southwest em inglês)
UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
VEp – vazão específica
VEs – vazão de estabilização
W – Oeste (West em inglês)
 $\mu S/cm$ – microsiemens por centímetro
° – grau(s)
°C – graus Celsius

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA	16
3. CONTEXTO GEOLÓGICO DA BSA	17
3.1. Geologia Regional	17
3.2. Estratigrafia e Deposição	20
3.2.1. Sequência Paleozoica	21
Formação Cariri	21
3.2.2. Sequência Pré-rifte	21
Formação Brejo Santo	22
Formação Missão Velha	22
3.2.3. Sequência Rifte	22
Formação Abaiara	22
3.2.4. Sequência Pós-rifte I	23
Formação Barbalha	23
Formação Crato	24
Formação Ipubi	24
Formação Romualdo	24
3.2.5. Sequência Pós-rifte II	25
Formação Araripina	25
Formação Exu	25
3.2.6. Coberturas Sedimentares Cenozoicas	26
3.3. Geotectônica	26
4. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO DA BSA	29
4.1. Fundamentação Teórica	29
4.2. Contexto Histórico	32
4.3. Sistema aquífero da BSA	32
Sistema Aquífero Superior	35
Aquicluda Santana	35
Sistema Aquífero Médio	36
Aquicluda Brejo Santo	36
Sistema Aquífero Inferior	36

5. MATERIAL E MÉTODOS	37
5.1. Área de estudo na BSA	37
5.2. Seleção de poços	38
5.3. Descrição do perfil hidrogeológico	39
5.4. Interpolação de parâmetros hidrodinâmicos	42
6. RESULTADOS	43
6.1. Perfil hidrogeológico	43
Seção A-A'	43
Seção B-B'	46
Seção C-C'	49
Seção D-D'	52
6.2. Parâmetros hidrodinâmicos	54
Condutividade elétrica (CEI)	54
Nível estático (NEs)	55
Nível dinâmico (NDi)	56
Vazão específica (VEp)	57
Vazão de estabilização (VEs)	59
7. DISCUSSÃO	59
7.1. O contexto geológico-estrutural e sua influência na captação de águas subterrâneas	59
7.2. Qualidade da água subterrânea e capacidade de produção dos poços	62
8. CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
APÊNDICES	75
Apêndice A – Poços selecionados para a análise do perfil hidrogeológico e dos parâmetros hidrodinâmicos	76
Apêndice B – Tabela síntese das unidades geológicas da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA)	86

1. INTRODUÇÃO

A Bacia Sedimentar do Araripe (BSA), maior bacia de interior do Nordeste brasileiro, compreende a Chapada do Araripe e se estende até o Vale do Cariri. A BSA instala-se em terrenos pré-cambrianos da Zona Transversal da província Borborema e ao Sul do Lineamento de Patos (BRITO-NEVES *et al.*, 2000), onde se originou a partir de reativações tectônicas e do rifteamento do Gondwana (ALMEIDA, 1967). A separação continental gerou reativações de zonas de cisalhamento que causaram depressões e a formação da BSA e de outras bacias de interior (ALMEIDA, 1967).

A BSA apresenta cinco sequências deposicionais (ASSINE, 1992; 2007): (i) Sequência Paleozoica, representada pela Formação Cariri; (ii) Sequência Pré-rifte, constituída pelas Formações Brejo Santo e Missão Velha; (iii) Sequência Rifte, representada pela Formação Abaiara; (iv) Pós-rifte I, constituído pela Formação Barbalha e Grupo Santana; e (v) Pós-rifte II, que abrange as Formações Araripina e Exu.

A hidrogeologia da BSA é de grande importância, visto que a população e as atividades industriais e agrícolas da região dependem da exploração de águas subterrâneas. É definido na região, de acordo com as características de cada formação rochosa, um sistema aquífero dividido em Aquífero Superior, Aquíclode Santana, Aquífero Médio, Aquíclode Brejo Santo e Aquífero Inferior (DNPM, 1996).

O uso de recursos hídricos subterrâneos tem sido de extrema relevância em todo o mundo, especialmente em regiões onde a disponibilidade de água é limitada, como no semiárido do nordeste do Brasil. Nesta região do país, o uso da água subterrânea é essencial para o abastecimento urbano e rural.

A gestão do uso de águas subterrâneas parte do princípio de conhecer a hidrogeologia da região e a caracterização de seu sistema aquífero. Neste trabalho, para a BSA, foram criados perfis geológicos modelos da área e interpolados parâmetros hidrodinâmicos para subsidiar a exploração de água subterrânea na região. A compreensão da dinâmica hidrogeológica desta bacia é fundamental para a implementação de políticas de gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, contribuindo com a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento socioeconômico da região.

2. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

Este trabalho visa subsidiar a gestão do uso de águas subterrâneas dos sistemas aquíferos da BSA, localizada ao sul do estado do Ceará, Brasil.

No Brasil, 36% dos municípios são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas do sistema aquífero local (ANA, 2010). Nas regiões semiáridas brasileiras, como ao sul do estado do Ceará, a captação de águas subterrâneas via poços tubulares profundos é indispensável para o abastecimento humano e a manutenção das atividades agrícolas. Por outro lado, na região do Cariri, por exemplo, a perfuração indiscriminada de poços vem contribuindo com a degradação dos recursos hídricos subterrâneos.

Estima-se que 4 bilhões de pessoas vivam em regiões que sofrem de grave escassez hídrica pelo menos um mês ao ano. O Relatório Mundial Sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, da UNESCO, aponta que o baixo uso de águas subterrâneas não se deve à falta de água subterrânea renovável, mas sim, dentre outros fatores, à falta de conhecimento sobre o recurso (UNESCO, 2022).

O estudo de águas subterrâneas é uma ciência sobretudo geológica. Não há compreensão adequada sobre o funcionamento de um determinado sistema aquífero sem a integração de dados hidrológicos e geológicos. Associar o contexto geológico ao contexto hidrodinâmico é fundamental para promover a produção de modelos de planejamento e exploração de águas subterrâneas, que atuam como catalisadores para o uso e manutenção eficiente da disponibilidade hídrica local.

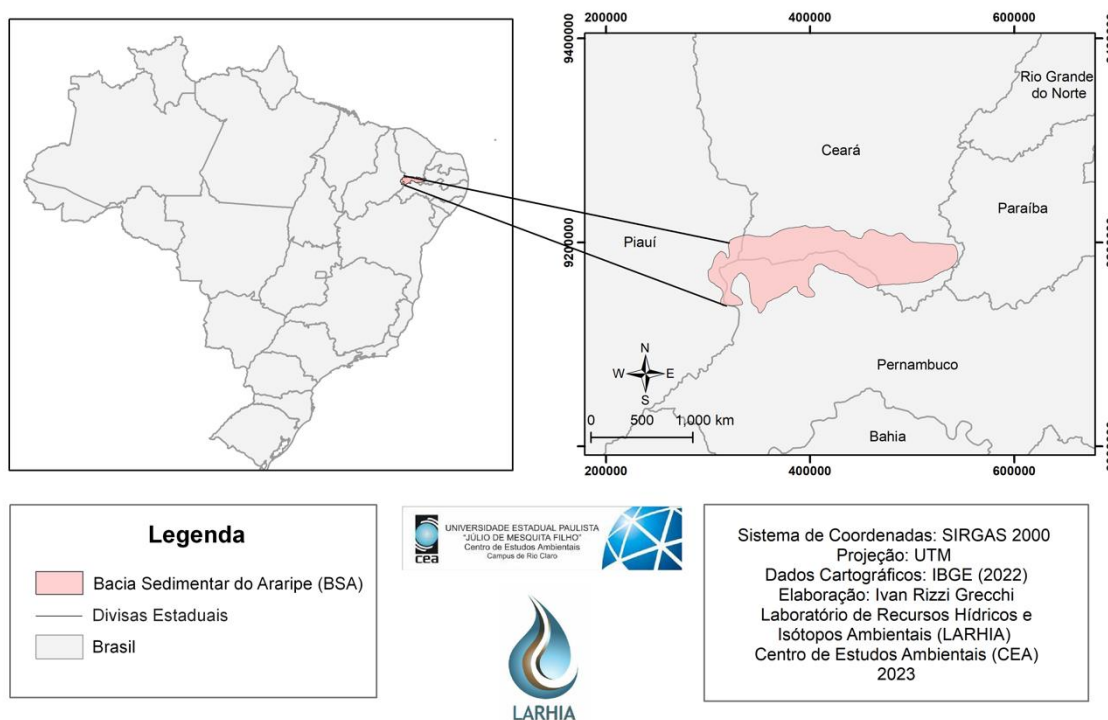
Neste trabalho, a elaboração de perfis hidrogeológicos e a interpolação de parâmetros qualitativos e hidrodinâmicos contribuem para a gestão do uso de águas subterrâneas na BSA. Elucidar a dinâmica hidrogeológica da região é essencial para fomentar o avanço do cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS/ONU, 2015) no Brasil.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO DA BSA

3.1. Geologia Regional

A BSA está localizada no Nordeste brasileiro, entre os estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Piauí (Figura 1). Embora dados sobre sua extensão sejam divergentes na literatura, a maioria dos pesquisadores inferem que a BSA compreende área de cerca de 9.000 km² (Tabela 1), abrangendo a Chapada do Araripe e o Vale do Cariri (FAMBRINI *et al.*, 2020), com alongamento Leste-Oeste e mergulho da Chapada para o Oeste (PONTE, 1996).

Figura 1 – Localização da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA) no Nordeste brasileiro



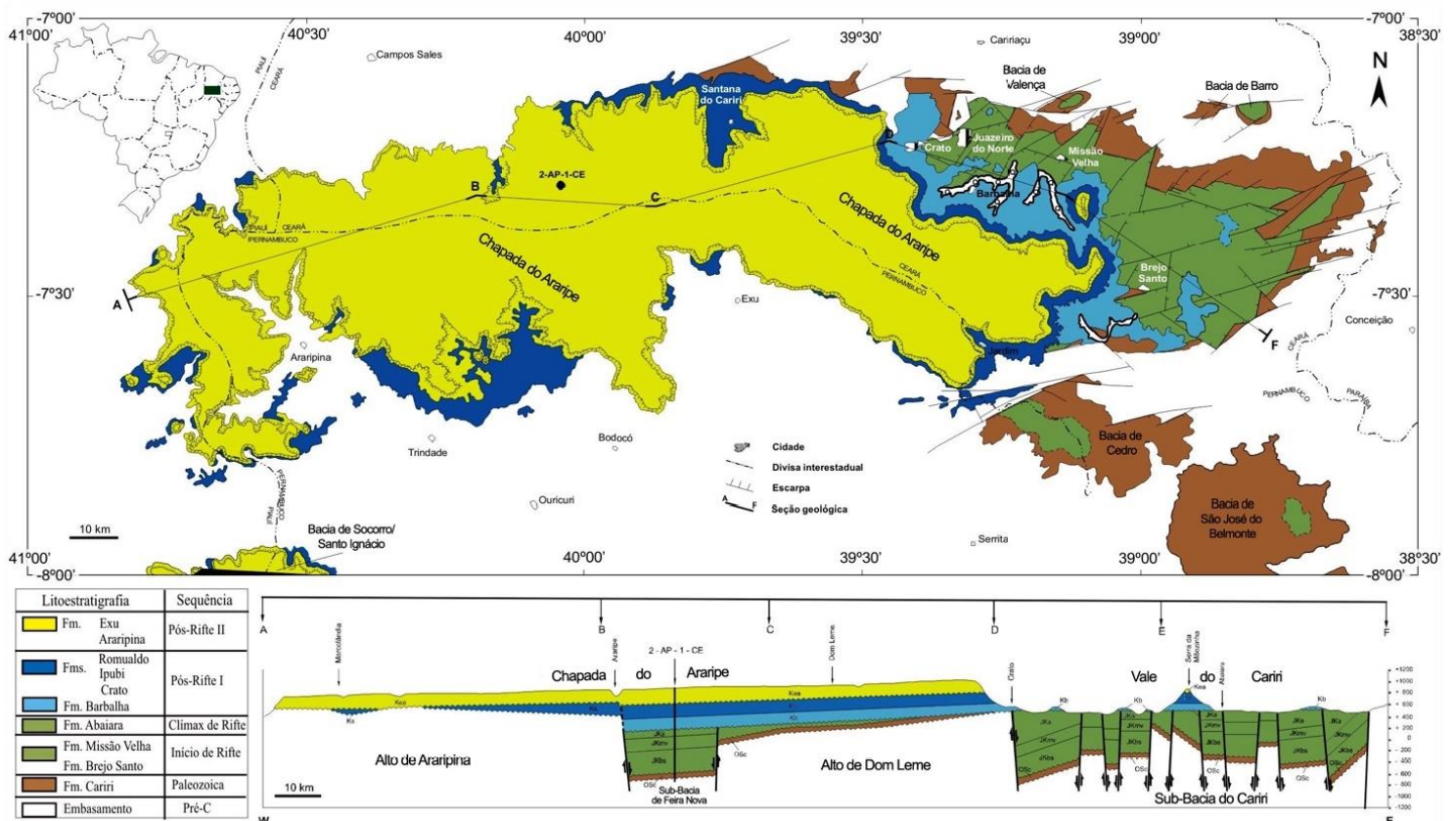
Fonte: Autor (2023).

Tabela 1 – Extensão da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA) segundo diferentes autores

Área (km ²)	Referência	Área (km ²)	Referência
8.000	Rand & Manso (1984)	9.000	Scherer <i>et al.</i> (2014)
9.000	Assine (1992)	9.000	Fambrini <i>et al.</i> (2020)
11.000	CPRM (2005)	9.000	Rosa <i>et al.</i> (2023)

A BSA está instalada em terrenos de idade pré-cambriana da Zona Transversal da Província Borborema (Pré-cambriana), ao Sul do Lineamento de Patos (BRITO-NEVES *et al.*, 2000). Almeida (1967) mencionou que as reativações tectônicas e o rifteamento do Gondwana causaram transformações estruturais no interior do Nordeste durante o Mesozoico. Estas transformações, geradas durante a separação continental e abertura do Atlântico Sul, reativaram zonas de cisalhamentos no Cretáceo, que favoreceram a abertura de depressões no continente e a consequente formação das bacias interiores do Mesozoico. Desta forma, a BSA (Figura 2) é cronoestratigraficamente correlata às demais geradas no Nordeste brasileiro, ao passo que é considerada a bacia interior com o registro sedimentar mais completo da região (ASSINE, 2007).

Figura 2 – Mapa e seção geológica da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA)

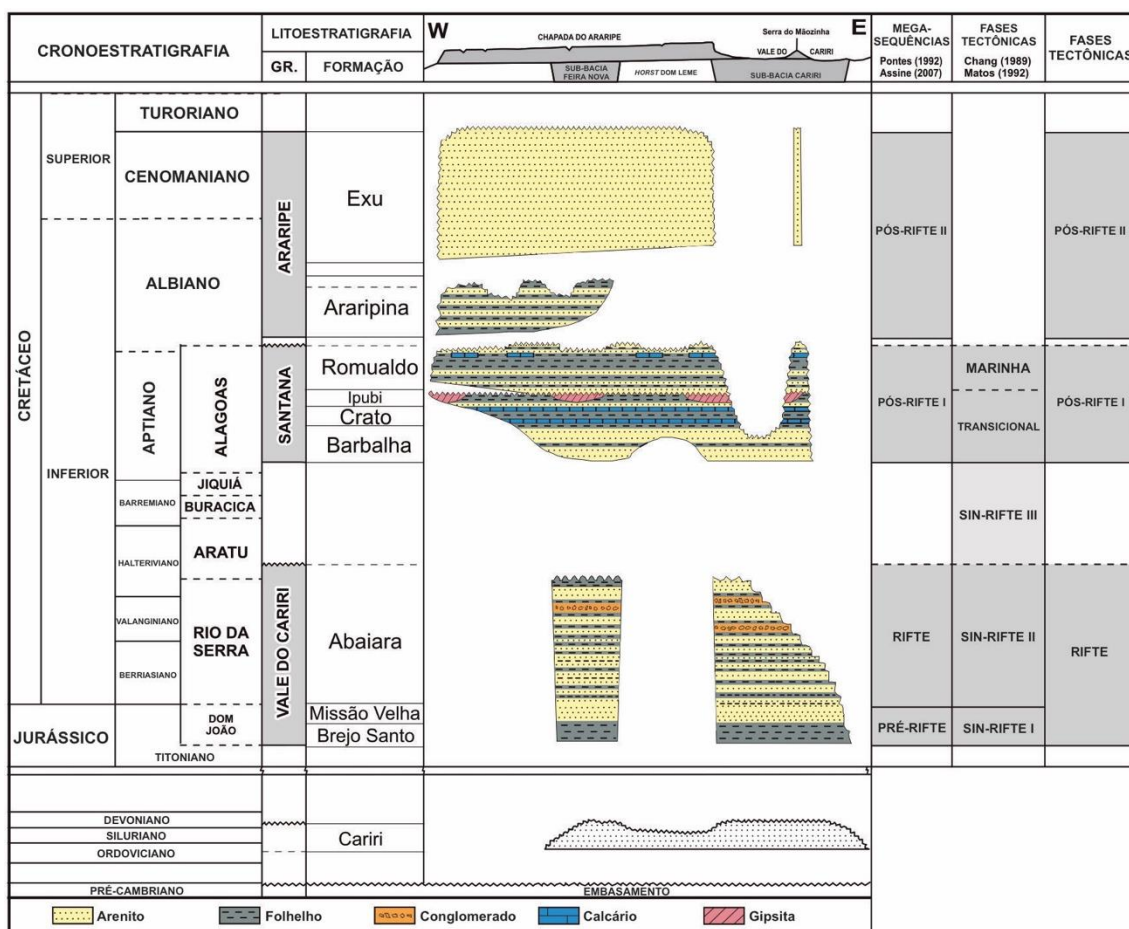


Fonte: Assine (1990).

O primeiro registro de citação da BSA data do século XIX (SPIX & MARTIUS, 1823), seguido do trabalho litoestratigráfico detalhado de Small (1913). Beurlen (1962;

1963), por sua vez, definiu as formações e estabeleceu a espessura de 850 m para o pacote sedimentar. Desde então, vários autores vêm estudando a BSA e propondo diferentes terminologias para as unidades e formações geológicas (e.g., ASSINE, 1990; 1992; 2007; PONTE & APPI, 1990; NEUMANN & CABRERA, 1999); o que limitou o estabelecimento de uma proposta unificada de coluna litoestratigráfica. Por outro lado, os trabalhos de Assine (1992; 2007), Assine *et al.* (2014) e Fambrini *et al.* (2020) estão dentre os mais relevantes para subsidiar a elaboração de propostas de coluna litoestratigráfica para este trabalho (e.g., Figura 3).

Figura 3 – Carta estratigráfica da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA), incluindo seqüências deposicionais e tectônicas



Fonte: Modificado de Rosa *et al.* (2023).

Na BSA, observa-se três zonas geomorfológicas definidas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM; atual Agência Nacional de Mineração – ANM) em seu relatório de geologia e hidrologia: Zona da Chapada, Zona de Talude e Zona de

Pediplano. Cada zoneamento apresenta características distintas na litologia, no relevo, na hidrografia e na vegetação (DNPM, 1997).

- *Zona da Chapada (Chapada do Araripe)*: Formada pelos arenitos das Formações Exu e Araripina, com relevo tabular parcialmente plano, abrange extensa área limitada por escarpas abruptas, de contornos irregulares e desníveis de cerca de 300 m. Na Zona da Chapada, observam-se dois segmentos. O primeiro ocorre nos limites do Ceará e de Pernambuco na direção E-W, com largura entre 30 a 50 km e altitude entre 700 e 1000 m. Este segmento delimita o divisor de águas das bacias hidrográficas do São Francisco ao Sul e Jaguaribe ao Norte. Já o segundo segmento ocorre nos limites de Pernambuco, Ceará e Piauí na direção N-S, com largura média de 20 km e altitude média de 760 m. Este segmento funciona como divisor de águas das bacias do São Francisco a Leste e Parnaíba a Oeste. Contudo, verifica-se ausência de extensa rede de drenagem devido às características do solo (oriundo de arenitos), que é poroso e permeável.

- *Zona de Talude*: Circunda o sopé da Chapada e inclui a Formação Araripina e as rochas do Grupo Santana. Apresenta solo pouco permeável e fértil, Nos contatos das Formações Exu e Araripina e Araripina com Grupo Santana há exutórios naturais de água (i.e., fontes) utilizados pela população para o abastecimento e a irrigação de plantações.

- *Zona de Pediplano*: Depressão topográfica que circunda a Chapada, representada pelas falésias e escarpas da Chapada e pelo Vale do Cariri. A topografia apresenta altitude média de 400 m, de morros alongados intercalados por vales de fundo plano. As litologias presentes são das Formações Abaiara, Brejo Santo, Missão Velha e Cariri, balizadas por rochas do embasamento cristalino.

3.2. Estratigrafia e Deposição

De acordo com Assine (1992; 2007), a deposição sedimentar da BSA se deu em cinco sequências:

- *Sequência Paleozoica*: Formação Cariri com arenitos médios a grossos e de deposição fluvial, com idade neordoviciana a eossiluriana;
- *Sequência pré-rifte*: pelitos da Formação Brejo Santo e arenitos da Formação Missão Velha, com idade neojurássica;
- *Sequência Rift*: pelitos da Formação Abaiara, com idade neocomiana;
- *Pós-rifte I*: constituída pelo Grupo Santana, com idade aptiana-albaiana;

- *Pós-rifte II*: sedimentos aluviais da Formação Araripina e Formação Exu, com idades alabiano-cenomaniana.

3.2.1. Sequência Paleozoica

Formação Cariri

Denominada Formação Cariri por Beurlen (1962), é a sequência basal da BSA, constituída de uma única camada litoestratigráfica. Aflora na porção Leste definindo os contornos do Vale do Cariri (ASSINE, 2007) e assenta-se sobre o embasamento da BSA. É limitada ao topo pela Formação Brejo Santo.

A Formação alcança cerca de 100 m de espessura e é caracterizada por arenitos imaturos médios a muito grossos, com grãos angulares/subangulares (ASSINE, 2007), de cor branca, amarela e cinza, mal selecionados e bem litificados. Na porção inferior predominam arcóseos brancos a róseos com granulação média a grossa e muitas vezes com níveis conglomeráticos. Na parte basal é comum a ocorrência de fragmentos líticos do embasamento cristalino e de feldspatos. Apresenta estratificação cruzada tabular e acanalada (FAMBRINI *et al.*, 2020), e sistema deposicional fluvial entrelaçado (ASSINE 1992; 2007).

A unidade é predominantemente afossilífera, apresentando somente traços de animais de corpo mole (FAMBRINI *et al.*, 2020); com isso a determinação de sua idade segue debatida. Contudo, Assine (2007) estabeleceu idade no Ordoviciano superior/Devoniano inferior.

3.2.2. Sequência Pré-rifte

Esta sequência deposicional é constituída pelas Formações Brejo Santo e Missão Velha, e foi formada por história geológica de subsidência mecânica causada por rifteamento (CHANG *et al.*, 1988; ROSA *et al.*, 2023). Associações fossilíferas indicam idade do Jurássico superior, enquanto a presença abundante de troncos silicificados na Formação Missão Velha sugere que a área era coberta por extensa floresta de coníferas (ASSINE, 2007).

Formação Brejo Santo

A Formação Brejo Santo, com cerca de 450 m de espessura, deposita-se discordantemente sobre a Formação Cariri e é sobreposta pela Formação Missão Velha, com transição gradual (ASSINE, 1992; FAMBRINI *et al.*, 2020). Sua natureza, predominantemente pelítica, resultou em poucos afloramentos naturais, enquanto a ação do intemperismo e de processos pedogenéticos fizeram com que estes afloramentos fossem rapidamente destruídos, formando solos de textura psamo-pelítica (FAMBRINI *et al.*, 2020).

A Formação é constituída por argilitos e folhelhos argilosos calcíferos, siltitos de cor cinza-esbranquiçada a esverdeada, com estratos bem laminados, localmente maciços e com baixo grau diagenético, além de siltitos. Raramente, são encontradas camadas de arenito fino com pequenas camadas de argila de estratificação cruzada tabular. Tais características não marinhas indicam ambiente de deposição lacustre, corroborado pela ausência de fósseis marinhos (ASSINE, 2007).

Formação Missão Velha

A Formação Missão Velha, que se sobrepõe concordantemente à Formação Brejo Santo, apresenta espessura de 200 m (ASSINE, 2007). Inicialmente definida por Small (1913) e Beurlen (1962; 1963), esta Formação é caracterizada pela abundância de troncos de coníferas silicificados.

Litologicamente, é constituída por arenitos quartzosos, feldspáticos e caolínicos, e conglomerados. Estes arenitos exibem estratificação cruzada planar e acanalada, além de camadas decimétricas de siltitos arroxeados (ASSINE, 2007). Análises das litofácies indicam deposição em ambientes de planícies fluviais com sistemas entrelaçados e canais rasos de alta energia (ASSINE, 2007).

3.2.3. Sequência Rifte

Formação Abaiara

O estágio de rifte na BSA teve início no Neocomiano com a deposição da Formação Abaiara, unidade de cerca de 280 m que apresenta variedade faciológica tanto lateral quanto vertical, sobressaindo no registro sedimentar pré-rifte (ASSINE, 2007).

Nesta Formação são encontrados litotipos como folhelhos e siltitos vermelhos, além de camadas decimétricas de arenito fino. Também ocorrem lentes de arenito fino a

grosso com conglomerados, de estratificação cruzada. Apresenta registro fóssilífero escasso, porém ostracodes estão presentes na parte superior. Estes cenários indicam deposição em ambiente continental, com lagos rasos paulatinamente substituídos por planícies fluviais de canais entrelaçados (ASSINE, 2007). Feições transtrativas associadas à reativação do Lineamento de Patos, que, localmente, resulta em horts e grabens na direção NE-SW (ROSA *et al.*, 2023), também são observadas.

3.2.4. Sequência Pós-rifte I

Esta sequência é marcada pela idade neoaptiana-eoalbiana e guarda como registro o estágio pós-rifte da BSA, resultado de subsidência flexural térmica. Diferencia-se das duas sequências sotopostas pela sua estrutura, estratigrafia e discordância angular (ASSINE, 2007). Compreende as formações do Grupo Santana: Barbalha, Crato, Ipubi e Romualdo.

Formação Barbalha

A Formação Barbalha, unidade inferior do Grupo Santana, limita-se na base pela discordância pré-Alagoana e foi sedimentada discordantemente sobre a Formação Abaiara. Aflora nos sopés no entorno da Chapada do Araripe e na porção Leste do Vale do Cariri (FAMBRINI *et al.*, 2020). Posicionada no Aptiano superior, esta Formação constitui importante marco estratigráfico na BSA (ASSINE, 1992) pela presença da camada Batateiras (ca. 10 m), que é caracterizada pelos primeiros sistemas lacustres com condições anóxicas (ASSINE, 2007).

Na Formação Barbalha predominam arenitos com níveis intercalados de folhelhos avermelhados, que, em algumas localidades, são betuminosos. Os arenitos são finos a médios, subarredondados e subangulares, com seixos e argila (ASSINE, 2007). O ciclo deposicional compreende dois estágios fluviais com granodecrescência ascendente que se encerram em níveis pelíticos lacustres ou fluviais (ASSINE, 2007; FAMBRINI *et al.*, 2016; 2020). Também ocorrem bancos de arenitos fluviais de grãos médio a grossos como granocrescência ascendente para arenitos médios a finos, siltitos argilosos e folhelhos fóssilíferos e orgânico no topo (AGUIAR *et al.*, 2006).

Formação Crato

Sobre os pelitos da Formação Barbalha é encontrado um pacote sedimentar de rochas carbonáticas com cerca de 20 m, a Formação Crato. Esta Formação é representada por folhelhos calcíferos intercalados com calcários micríticos laminados e argilosos (FAMBRINI *et al.*, 2020) depositados durante o Aptiano (PONS *et al.*, 1990). Devido ao grande número de carapaças de ostracodes, também ocorrem folhelhos pirobetuminosos com teores de 25% de carbono e calcíferos (ASSINE, 1992).

Assine (1992) reporta que a sequência carbonática é condizente com sistema de baixa energia, com aporte terrígeno que decresce em direção ao topo. Segundo Goldberg *et al.* (2019), esta Formação marca a primeira conexão marinha na BSA.

Formação Ipubi

A Formação Ipubi é caracterizada por pacote sedimentar de evaporitos com gipsita e folhelhos margosos. Segundo Assine (2007), os depósitos evaporíticos de gipsita apresentam textura paliçada e são formados internamente por cristais colunares agrupados. Na Formação há evaporitos, que apresentam intercalações de folhelhos esverdeados e pretos e finas camadas areníticas com calcário laminado. O sistema deposicional da Formação é do tipo *playa-lake*, com ação de fenômenos hidrotermais (FAMBRINI *et al.*, 2020).

Formação Romualdo

A Formação Romualdo é conhecida pela sua abundância de fósseis. É constituída por arenitos com intervalos de folhelhos escuros ricos em matéria orgânica com até 5 m, folhelhos esverdeados e margas com concreção fossilíferas (ARAI & COIMBRA, 1990). No topo da Formação, há uma camada de cerca de 1 m de coquina e depósitos de tempestitos recobertos por sedimentos silteosos e arenosos, incluindo fósseis de água doce; o que marca o início do fim do evento transgressivo do mar (BEURLLEN, 1971).

Foram descritas cerca de 18 espécies de peixes fósseis, além de outros vertebrados, como dinossauros (ASSINE, 2007; ASSINE *et al.*, 2014). Assine (2007) interpretou, pelo grau de preservação dos fósseis, como ambiente de sedimentação de águas calmas, possivelmente lagunar.

3.2.5. Sequência Pós-rifte II

Esta última sequência é sedimentada sobre a Formação Romualdo e por vezes sobre o embasamento por extravasar as bordas dos grabens. É caracterizada por condições marinhas transgressivas até o final do Cretáceo. Fazem parte desta sequência as Formações Araripina e Exu, que são separadas por discordância erosiva e sustentam a Chapada do Araripe (ASSINE, 2007).

Formação Araripina

A Formação Araripina é constituída por ritmitos areníticos finos e argilosos com corpos de arenitos médios e grossos. Na região ocorrem estruturas plano-paralelas e estratificação cruzada com marcas de onda. Assine (2007) identificou estruturas de sobrecargas, como almofadas e pseudonódulos, além de truncamento de estratificações. Em intervalos, estes ritmitos podem apresentar dobras convolutas de deformações penecontemporâneas (FAMBRINI *et al.*, 2020).

Assine (2007) definiu o ambiente deposicional como planícies de leques aluviais medianos a distais depositados em ambientes lagunares e planícies de inundação com condição oxidante.

Formação Exu

A Formação Exu é constituída por arenitos que recobrem toda a extensão da Chapada do Araripe. Com atitude sub-horizontal, é limitada em sua base por estrutura erosiva sobre a Formação Araripina (FAMBRINI *et al.*, 2020).

Valença (1987) definiu a unidade como tectono-sedimentar, com arenitos friáveis, argilosos (com caulinita) e bastante silicificados. A unidade apresenta ciclos de granodecrescência com arenitos conglomeráticos na base, que passam a arenitos grossos com estratificação cruzada no topo, intercalados com pelitos de planície de inundação (ASSINE, 2007).

A unidade apresenta apenas traços de fósseis sem valor estratigráfico (ASSINE, 2007). Segundo Ponte & Appi (1990), a idade é neoalbina a eocenominiana.

3.2.6. Coberturas Sedimentares Cenozoicas

Coberturas sedimentares cenozoicas na BSA são constituídas por sedimentos recentes e em sua maioria inconsolidados (PINÉO *et al.*, 2020), destacando-se:

Depósitos Colúvio-eluviais: incluem areias, areias argilosas e argilas;

Depósitos de Tálus Recente: fragmentos líticos com matriz de areia e silte argila com composição heterogênea;

Depósitos Aluvionares: sedimentos inconsolidados com seixos, areias finas a grossas, onde ocasionalmente ocorrem níveis de cascalhos e argila.

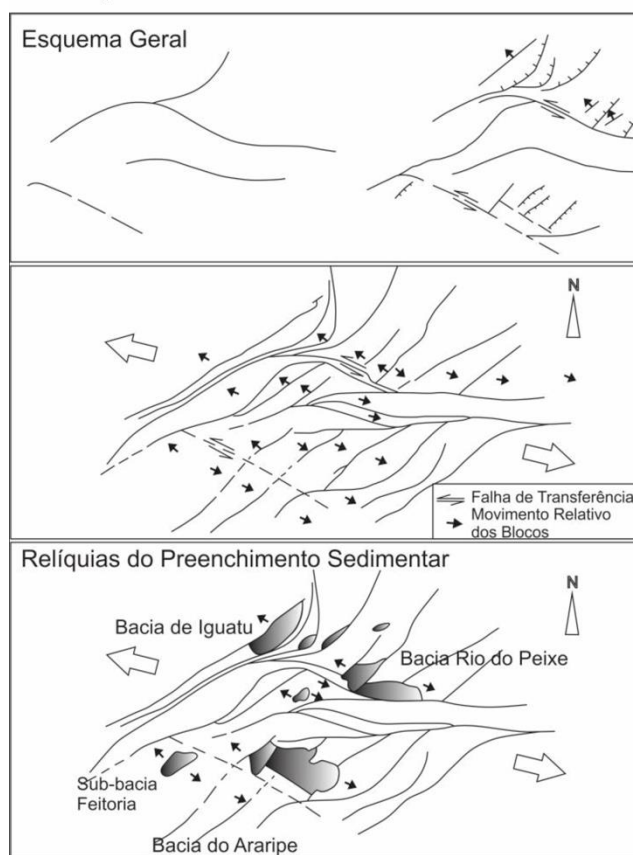
3.3. Geotectônica

O estilo e a geometria da BSA são similares a modelos de bacias do tipo *pull-apart* (SILVA, 1983). Este tipo de bacia é gerado por falhas transcorrentes transtensionais em regime *strike-slip*, formando zona de subsidência estrutural concebida por estriamento crustal local em inflexão distensiva de falhas transcorrentes (INGERSOLL & BUSBY, 1995).

As bacias intracontinentais brasileiras geradas no Cretáceo apresentam geometria controlada por estruturas do tipo zona de cisalhamento, de idades proterozoicas, com direção preferencial NE-SW (MATOS, 1992) (Figura 4).

A Zona de Cisalhamento de Patos se destaca devido a sua importância no comportamento geotectônico da região (CORSINI *et al.*, 1996; ANGELIM *et al.*, 2004). Esta estrutura geológica, que apresenta feição curvilínea com desvio para o Oeste, passou por distensão de direção NE-SW durante o Cretáceo, transformando falhas transpressionais em falhas normais e gerando as bacias interiores do Nordeste brasileiro (MATOS, 1992).

Na BSA, a Zona de Cisalhamento de Patos desenvolve um traçado, inicialmente, E-W com posterior inflexão NE, retornando para a direção inicial no Oeste da Bacia (i.e., forma de “S”). Durante a formação da BSA, esta zona de cisalhamento representou uma zona de sutura do orógeno Borborema, o que facilitou o seu processo de abertura. (CAMACHO, 2016).

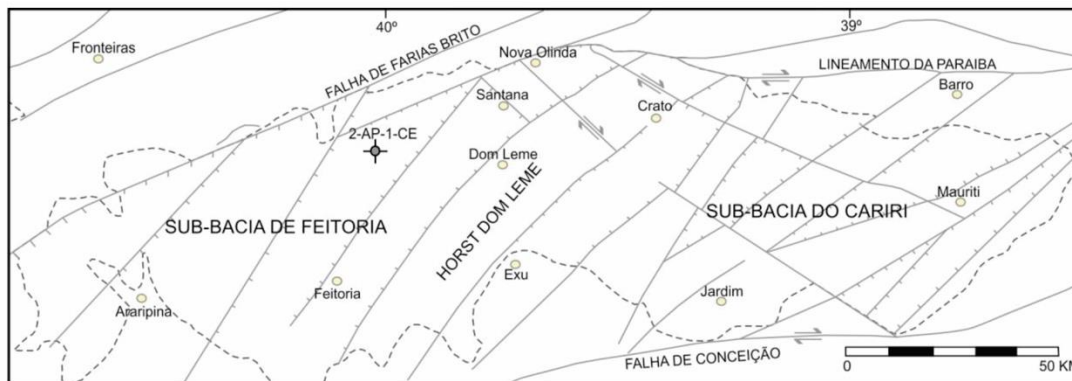
Figura 4 – Modelo de evolução das bacias interiores do Nordeste

Fonte: Baseado em Matos (1992), modificado por Camacho (2016).

Ponte & Ponte Filho (1996) propuseram a estruturação para a BSA subdividindo-a em Sub-bacia Leste (Cariri) e Sub-bacia Oeste (Feitosa), separadas entre si pelo alto estrutural denominado horst Dom Leme. Baseado em dados de geofísica e de perfuração de poços, os autores mostraram que a BSA é constituída de falhamentos de orientações N-E, E-E e NW, além de grabens assimétricos de orientação NE-SW (Figura 5).

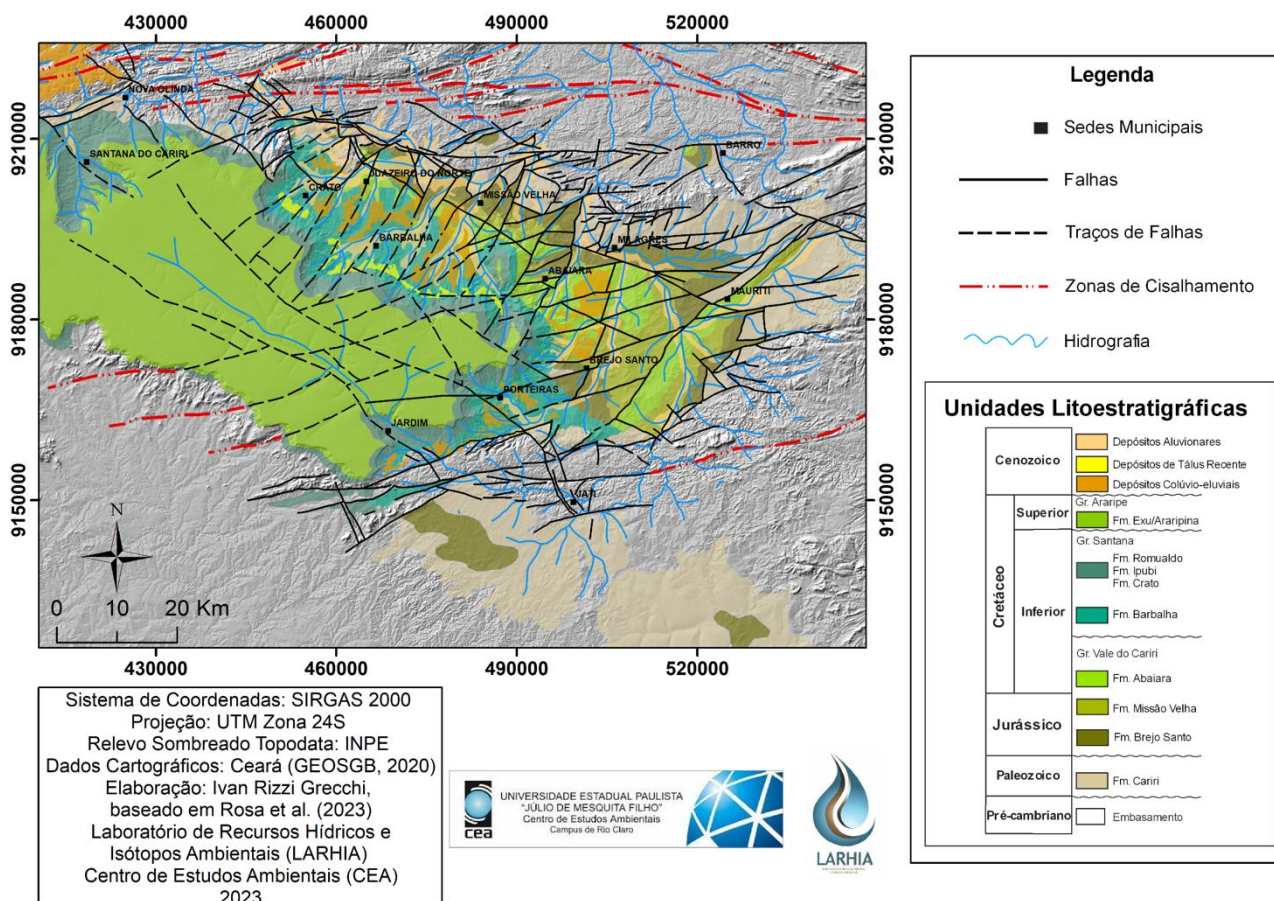
As sub-bacias e seus principais blocos são limitados por falhamentos normais de direção NE-SW que seguem o estilo estrutural do embasamento cristalino (PONTE & PONTE FILHO, 1996) (Figura 6). Algumas destas falhas exibem continuidade com as zonas de cisalhamento pré-cambrianas (PONTE & PONTE FILHO, 1996). Já a trama de falhamentos E-W concorda com a direção dos lineamentos da Zona Transversal (Domínio Central da Província Borborema), ao passo que falhamentos NE-SE não são frequentes no embasamento, embora importantes na formação da BSA (PONTE & PONTE FILHO, 1996).

Figura 5 – Proposta de Ponte & Ponte Filho para a estruturação interna da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA)



Fonte: Baseado em Ponte & Ponte Filho (1996), modificado por Camacho (2016).

Figura 6 – Mapa geológico-estrutural de parte da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA)



Fonte: Autor (2023).

4. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO DA BSA

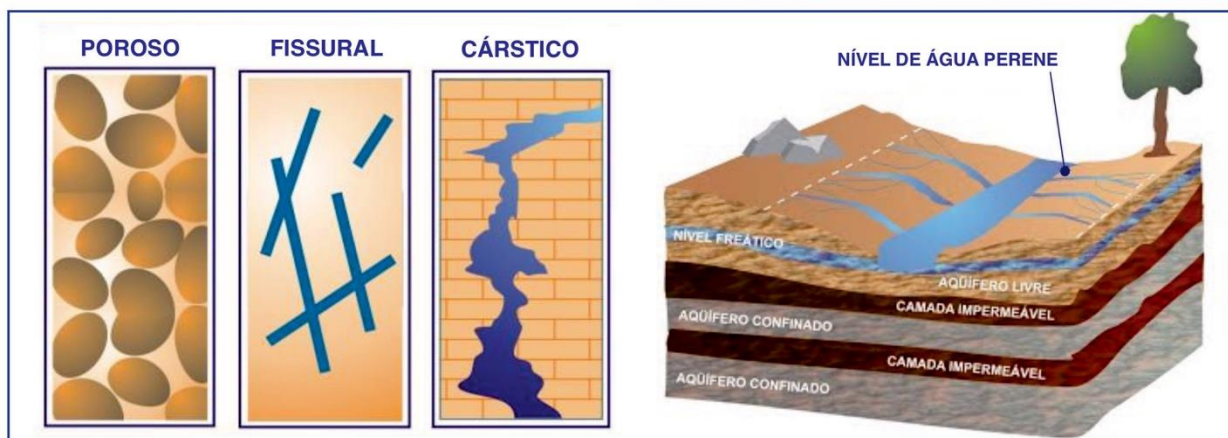
4.1. Fundamentação Teórica

Água subterrânea é definida pela Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) como “toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos”. Consideradas de extrema importância para a sociedade, no Brasil, águas subterrâneas são utilizadas em diversos setores: doméstico (30%), agropecuário (24%), abastecimento público urbano (18%), abastecimento múltiplo (14%) e industrial (10%) (HIRATA *et al.*, 2019).

Águas subterrâneas são armazenadas em subsuperfície nos aquíferos, unidades geológicas constituídas por rochas permeáveis que armazenam água em seus poros e fraturas (BORGHETTI *et al.*, 2004). Os aquíferos são divididos em três grupos quanto à porosidade (Figura 7): (i) poroso, quando constituídos de rochas sedimentares clásticas; (ii) fissural, quando constituídos de rochas cristalinas; e (iii) cárstico, quando constituídos de rochas calcáreas. Quanto à pressão, os aquíferos podem ser (i) livres ou freáticos e (ii) confinados (Figura 7). Outro tipo de unidade geológica que abriga água subterrânea é o aquíclode. Neste tipo de formação, as rochas possuem baixa permeabilidade, sendo incapazes de transmitir água.

Os aquíferos apresentam uma zona de reabastecimento, que pode ser de dois tipos (BRAGA *et al.*, 2011; DILL & FETTER, 2012): (i) direta, onde a recarga ocorre pela infiltração de água das chuvas em zonas de afloramento do aquífero; e (ii) indireta, onde a recarga ocorre da drenagem superficial das águas e do fluxo subterrâneo. A zona de descarga ocorre quando as águas emergem do sistema ou em poços jorrantes (BRAGA *et al.*, 2011; DILL & FETTER, 2012).

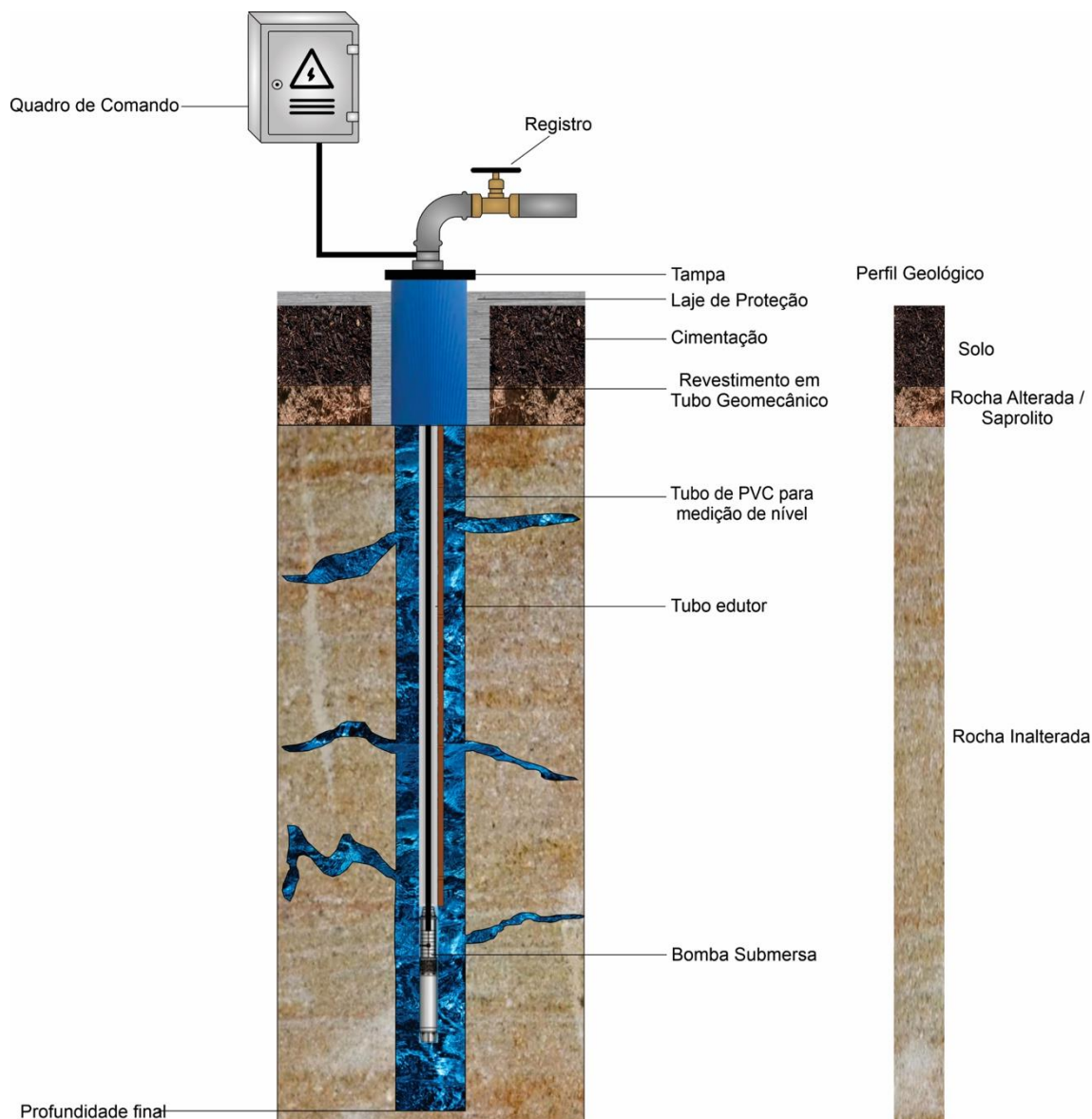
Figura 7 – Representação esquemática dos tipos de aquífero quanto à porosidade e superfície



Fonte: Modificado Borghetti *et al.*, (2004)

Atualmente, poços tubulares são os mais utilizados para a captação de águas subterrâneas, sejam eles pequenos poços residenciais ou grandes poços de abastecimento urbano e industrial. De maneira geral, poços tubulares são estruturas destinadas a exploração da água subterrânea em aquíferos (Figura 8). São construídos por perfuração mecanizada do terreno e posterior revestimento total ou parcial por tubos (e.g., plástico geomecânico e aço inox). O revestimento é responsável pela estabilidade do furo, entrada de água e introdução da bomba. A natureza do aquífero determina o tipo de perfuração e o revestimento do poço (PERRONI *et al.*, 2022).

Figura 8 – Representação esquemática de um poço tubular profundo em rocha sedimentar



Fonte: Autor (2023).

As águas possuem diversos parâmetros físicos de qualidade, dentre eles a condutividade elétrica, expressa em microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Este parâmetro trata da capacidade da água em conduzir corrente elétrica e é associado à quantidade de sais presentes na água. Um fator crucial a se considerar reside no tipo de ambiente geológico em que a água está presente. Por exemplo, é possível observar uma condutividade elétrica mais pronunciada nas águas associadas a calcários em comparação com aquelas ligadas a granitos e quartzitos (COGERH, 2019). Águas subterrâneas com elevada condutividade elétrica indicam maior quantidade de sais (cátions e ânions)

(VASCONCELOS *et al.*, 2019), ao passo que águas com condutividade elétrica superior a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ não são recomendadas para consumo (WATERWATCH AUSTRALIA, 2005).

Quanto à dinâmica da água no poço, quatro parâmetros merecem destaque: nível estático, nível dinâmico, vazão específica e vazão de estabilização. O nível estático é o nível da coluna de água quando o poço não está bombeando (CPRM, 1998), medida em relação ao nível do terreno e expressa em metros (m) (DAEE, 2007). Na operação de um poço tubular profundo, o nível dinâmico é a profundidade mais baixa do nível de água, atingida no final do período de bombeamento a uma certa vazão (CPRM, 1998). A medida, expressa em metros (m) a partir da boca do poço, deve ser realizada antes da bomba desligar e simultaneamente à medição de vazão, com registro de tempo de duração do teste (DAEE, 2007). Já a vazão específica, expressa em metros cúbicos por hora por metro ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$), é a quantidade de água que sai do poço em um determinado período. Este é um parâmetro útil na avaliação do desempenho do poço tubular (DAEE, 2007).

O registro do nível estático, do nível dinâmico e da vazão específica subsidiam a determinação da vazão de estabilização de um poço (i.e., vazão média). Precisamente, significa a capacidade de produção do poço (DAEE, 2007), expressa em metros cúbicos por hora (m^3/h).

4.2. Contexto Histórico

Estudos pioneiros em hidrogeologia no Nordeste brasileiro iniciaram-se no século XX com a criação, em 1909, da Inspetoria Federal de Obras Contra a Seca (IFOCS, atual Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS). Entre 1913 e 1914, H.L. Samall fez expedições nos estados do Ceará e do Piauí com o objetivo de correlacionar as águas subterrâneas com a geologia da região (CPRM, 2005). O avanço do conhecimento resultou no grande desenvolvimento da hidrogeologia regional, com perfuração de poços via técnicas modernas.

Entre os anos 1960 e 1970, diversos estudos foram publicados visando o entendimento hidrogeológico da BSA e de outras bacias do Nordeste (e.g., GASPARY & ANJOS, 1964; GASPARY *et al.*, 1965; CRUZ & FRANÇA, 1970). Eles objetivaram, essencialmente, o combate às secas e o abastecimento da população, que demandava maior quantidade de água (CPRM, 2005). Gaspary *et al.* (1967) determinaram, do ponto de vista hidrogeológico, três sistemas de aquíferos na BSA: (i) arenitos Feira Nova, na

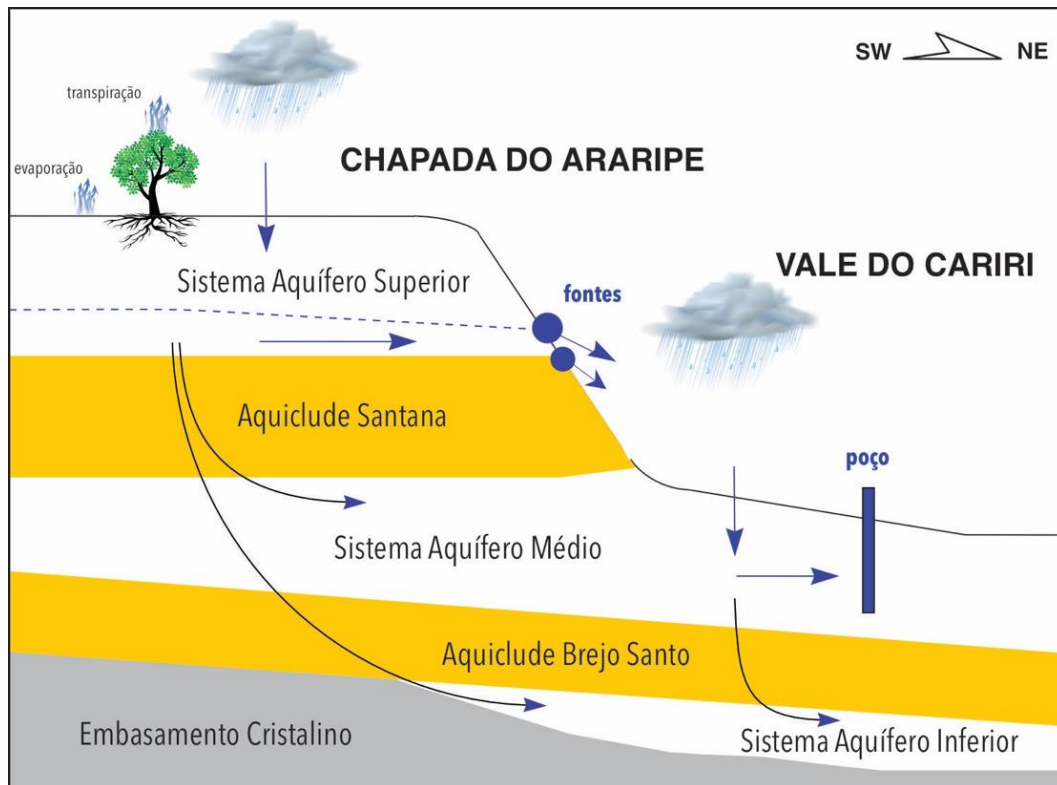
Chapada; (ii) arenitos Missão Velha, no Vale do Cariri; e (iii) arenitos Mauriti, também no Vale do Cariri. Os autores afirmaram que estes sistemas eram separados por rochas mais impermeáveis (Grupo Santana e Formação Brejo Santo). Além disso, estimaram para a Chapada do Araripe reserva total de água de $2,5 \times 10^9 \text{ m}^3$ e condutividade hidráulica de $3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, enquanto no Vale do Cariri, reserva na ordem de $1,65 \times 10^9 \text{ m}^3$ e condutividade hidráulica de $1,6 \times 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$.

Já entre 1980 e 1990, métodos geofísicos foram empregados na prospecção de águas subterrâneas no Nordeste. Esta prospecção levou a perfurações de poços profundos, o que contribuiu para o conhecimento geológico e hidrológico das bacias sedimentares. Até os dias de hoje, estudos são realizados para ampliar o conhecimento da hidrogeologia destas bacias que, em virtude do crescimento populacional observado a partir do final dos anos 1990 e início dos anos 2000, elevou a demanda hídrica para o abastecimento e irrigação de lavouras (DNPM, 1996; CPRM, 2005).

4.3. Sistemas aquíferos da BSA

Na BSA ocorre grande variação de litotipos que alternam entre sequências de arenitos, calcários, folhelhos, argilitos e siltitos, favorecendo a ocorrência de aquíferos, aquíferos e aquícludes, com variação espacial e lateral. O DNPM (1996) propôs a seguinte divisão hidrogeológica da BSA (Figura 9): Sistema Aquífero Superior, Aquíclode Santana, Sistema Aquífero Médio, Aquíclode Brejo Santo e Sistema Aquífero Inferior. Mendonça (2001), por sua vez, descreve o funcionamento deste conjunto de sistemas de aquíferos da seguinte forma (Figura 9): (i) a água da chuva cai sobre a Chapada, onde parte é interceptada pelas folhas da vegetação, contribuindo para a evaporação e evapotranspiração; (ii) a maior parte da água chega ao solo, onde infiltra-se rapidamente, e é majoritariamente absorvida pelo sistema radicular da vegetação, contribuindo para a evapotranspiração; e (iii) o restante percola através das formações geológicas.

Figura 9 – Divisão dos sistemas aquíferos da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA) baseado em DNPM (1996) e seu funcionamento proposto por Mendonça (2001)



Fonte: Modificado de Mendonça (2001).

A divisão hidrogeológica adotada atualmente leva em consideração similaridades hidrogeológicas entre os componentes dos sistemas aquíferos presente na BSA (DNPM, 1996). Contudo, imprecisões ocorrem devido às diferentes características geológicas entre as Formações. Além disso, a divisão considera apenas a profundidade e não qual componente do sistema aquífero realmente capta água.

- *Sistema Aquífero Superior*: Formações Exu e Araripina;
- *Aquicluda Santana*: Formações Crato, Ipubi e Romualdo;
- *Sistema Aquífero Médio*: Formações Barbalha, Abaiara e Missão Velha;
- *Aquicluda Brejo Santo*: parte superior da Formação Brejo Santo, com cerca
- *Sistema Aquífero Inferior*: parte basal da Formação Brejo Santo e Formação Cariri.

Sistema Aquífero Superior

O Sistema Aquífero Superior apresenta maior área de exposição na BSA. Com cerca de 7.500 km², estende-se por toda a Chapada do Araripe e é quase ausente na região do Vale do Cariri, onde é encontrado em morros residuais (DNPM, 1996).

Representado pelas Formações Exu e Araripina, possui mergulho de aproximadamente 5° de Sul para Norte (DNPM, 1996). Diferenças na espessura do pacote sedimentar são observadas e são resultado, principalmente, de processos erosivos no topo da Chapada e basculamentos tectônicos provocados por reativações de falhas no neocominiano (DNPM, 1996). Apesar de considerável volume sedimentar, apenas de 30 a 50 m de espessura de sedimentos são saturados com água – geralmente não conservada em virtude dos exutórios (fontes) naturais que ocorrem na Chapada (DNPM, 1996).

O Sistema não apresenta característica hidrológica uniforme. A Formação Exu possui maior porosidade quando comparada com a Formação Araripina. Mendonça (2006) estabeleceu condutividade hidráulica de $K = 3 \times 10^{-5}$ m/s para a Formação Exu e de $K = 10^{-6}$ m/s para a Formação Araripina. A recarga do Sistema ocorre por meio da precipitação direta de águas de chuvas e, como descarga, atuam a evapotranspiração e as fontes naturais.

No topo da Chapada, poços são utilizados para o abastecimento populacional via bombeamento de águas subterrâneas. A captação de água do Sistema Aquífero Superior é limitada devido à elevada profundidade. Contudo, em áreas de falhas, o aquífero é menos profundo e seu nível estático mais raso (Mendonça, 2001).

Aquiclude Santana

Nesta formação geológica ocorrem litologias com baixa permeabilidade, classificando-a como aquiclude; ou seja, há água, mas não é possível transmiti-la naturalmente através das rochas. Apesar disso, o Aquiclude Santana é explorado via poços tubulares com sistema de bombeamento, ao passo que sua recarga é dificultada devido às camadas impermeáveis expressas (DNPM, 1996).

Este Aquiclude é representado pelo Grupo Santana (Formações Romualdo, Ipubi e Crato). O Grupo Santana é caracterizado por margas, folhelhos e evaporitos compondo pacote sedimentar com predominância de materiais impermeáveis. Contudo, há regiões com lentes de arenitos (rocha porosa) que favorecem a exploração de água na região. Estima-se que 90 a 98% deste pacote sedimentar seja constituído de pelitos, onde não ocorrem recargas (DNPM, 1996).

Sistema Aquífero Médio

O Sistema Aquífero Médio localiza-se em sedimentos das Sub-bacias de Feira Nova e Cariri, representadas pelas rochas das Formações Barbalha, Abaiara e Missão Velha (DNPM, 1996). Na região da Sub-bacia do Cariri, o controle tectônico afetou as estruturas geológicas e levou a criação de horts e grabens, o que dificulta o dimensionamento do aquífero (CAMACHO, 2016).

Mendonça (2001) estabeleceu condutividade hidráulica de $K = 10^{-6}$ m/s para este Sistema. Sua alimentação ocorre nas áreas aflorantes das Formações, por meio da água das chuvas e da infiltração de rios influentes. Estudos mostraram que há vazão de escoamento de 2,88 m³/s e recarga anual de 90,8x10⁶ m³, com contribuição de fontes de 2,23 x 10⁶ m³/ano, totalizando 93,1 x 10⁶ m³/ano (DNPM, 1996). Rios efluentes e a evapotranspiração atuam como exutórios deste Sistema, onde há grande exploração de água subterrânea via poços tubulares.

Aquiclude Brejo Santo

Caracterizado pela parte superior da Formação Brejo Santo, este Aquiclude é constituído de argilitos e folhelhos (SANTOS *et al.*, 2021). Assim como no caso do Aquiclude Santana, suas rochas são majoritariamente pelíticas, o que limita a exploração e a percolação de água. Contudo, a exploração ainda é possível nos arenitos da parte basal, em contato com a Formação Cariri.

Sistema Aquífero Inferior

O Sistema Aquífero Inferior é caracterizado predominantemente pela Formação Cariri e pela parte basal da Formação Brejo Santo, que possui arenitos expostos na região do Vale do Cariri. A área de exposição da Formação Cariri apresenta relevo ondulado que atua como elemento de transição entre o pediplano e o embasamento cristalino da BSA (DNPM, 1996).

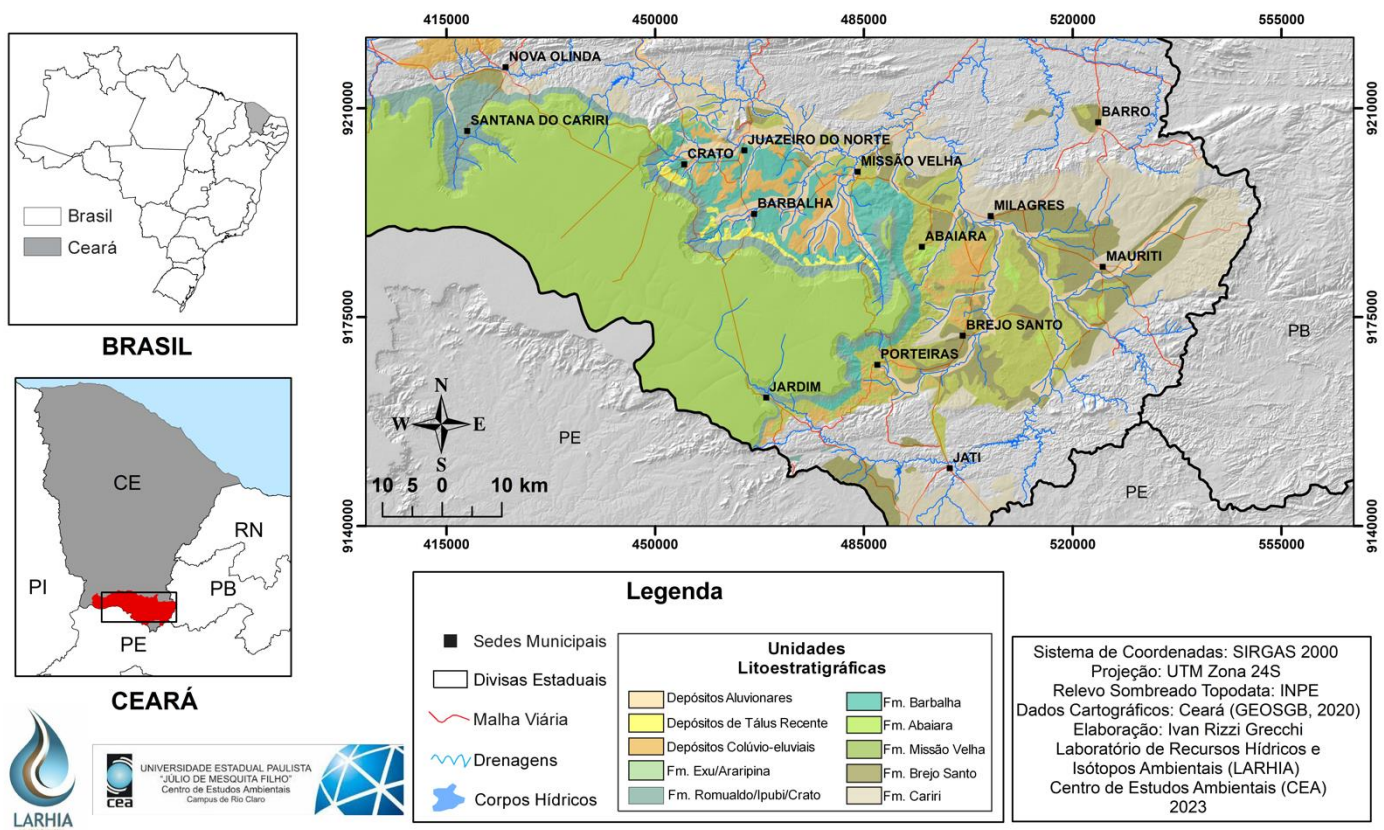
A alimentação deste Sistema ocorre em áreas de afloramento das Formações. Sua recarga ocorre pela infiltração direta de água das chuvas devido à parte superior majoritariamente argilosa da Formação Brejo Santo, que impede a circulação descendente de água; além de drenagens. Já a descarga ocorre naturalmente, por meio de ressurgências e restituição de drenagens, e artificialmente via poços para o abastecimento da população (DNPM, 1996). Dados apontaram condutividade hidráulica de $K = 4 \times 10^{-6}$ m/s (DNPM, 1996; MENDONÇA, 2001) para este Sistema.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Área de estudo na BSA

A área de estudo abrange 14 municípios do estado do Ceará (CE) localizados na Chapada do Araripe e/ou no Vale do Cariri (Figura 10), onde a dependência de recursos hídricos subterrâneos é alta devido à utilização no abastecimento público e privado, bem como nas atividades agrícolas (CPRM, 2005).

Figura 10 – Localização dos 14 municípios do estado do Ceará, Brasil, que compreendem a área de estudo na Bacia Sedimentar do Araripe (BSA)



Fonte: Autor (2023).

A região é caracterizada por clima de zona tropical com inverno seco (Aw) e clima semiárido (BSh) (KÖPPEN, 1936; ALVARES *et al.*, 2013). A precipitação anual média é de 1.001,4 mm, com picos entre janeiro e abril, enquanto os meses entre junho e novembro apresentam baixos índices de chuvas (KIMURA, 2003; VERÍSSIMO *et al.*,

2007). A temperatura média é bastante estável ao longo do ano, variando entre 24°C e 26°C, com alto índice de insolação (CPRM, 2005).

A hidrografia na BSA é marcada por baixa quantidade de redes de drenagem na parte superior da Chapada, que é plana e permeável. Na vertente da Chapada, há uma zona torrencial, onde águas pluviais se juntam com os exutórios naturais, e uma zona onde são depositadas estas águas, com maior extensão das redes de drenagem no Vale do Cariri (DNPM, 1996).

Os solos são do tipo Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho-Amarelo, profundos, bem drenados e planos (IBAMA, 2005). Em menores porções, são encontrados solos dos tipos Aluviais Eutróficos, formados por aluviões não consolidados, além de Litólicos Eutróficos, formados na encosta da Chapada (CPRM, 2005).

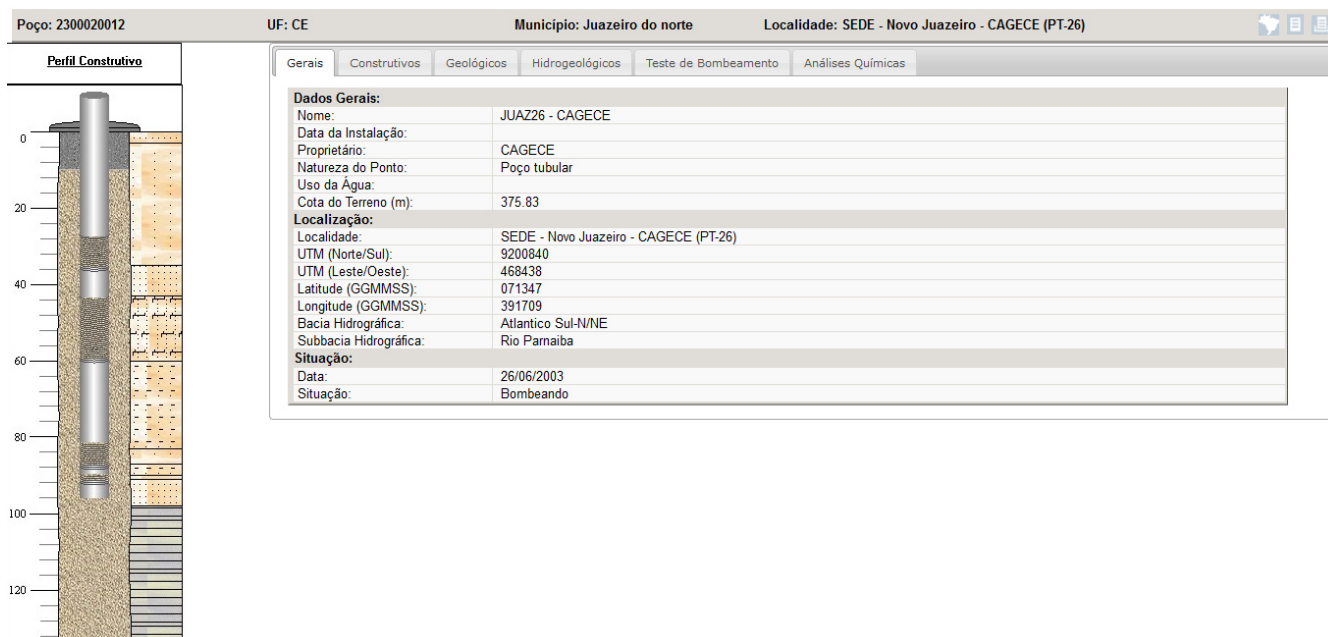
As fitofisionomias da região são dos tipos Floresta Subperenifólia Tropical Plúvio-Nebular (mata úmida), Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (mata seca), Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga arbórea) e Floresta Subcaducifólia Tropical Xeromorfa (Cerrado) (CPRM, 2005; IBAMA, 2005).

5.2. Seleção de poços

A seleção de poços foi realizada após compilação e análise de dados hidrogeológicos referentes aos municípios que abrangem a área de estudo. Para tanto, utilizou-se o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS (SGB/CPRM, 2023), base de dados permanentemente atualizada, referente ao cadastro de poços brasileiros (Figura 11).

A consulta ao SIAGAS (SGB/CPRM, 2023) resultou em 3.621 poços distribuídos dentre os 14 municípios de interesse. Destes, 2.777 poços foram descartados por não conterem informações litológicas ou conterem informações litológicas incompletas/inconsistentes, restando 844 poços adequados para a extração de dados (Apêndice A).

Figura 11 – Exemplo de perfil de poço e possibilidades de consulta de dados hidrogeológicos via Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS)



Fonte: SGB/CPRM (2023).

5.3. Descrição do perfil hidrogeológico

A descrição do perfil hidrogeológico foi associada a seções geológicas da área de estudo. Para tanto, utilizando o *software* ArcMap 10.5 (ESRI, Califórnia, EUA), foram criadas quatro seções geológicas integradas a informações de superfície do terreno a partir de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*, em inglês) (STRM, 2003). Ao todo, as quatro seções compreenderam 19 poços dos 844 previamente selecionados, distribuídos em nove municípios da área de estudo (Figura 12; Tabela 2). A seleção de poços profundos foi priorizada para garantir ampla informação litológica da região.

Dados topográficos das quatro seções foram transferidos para o Google Earth (Google Inc., Califórnia, EUA) e os perfis topográficos gerados (Figura 13) foram importados ao *software* CorelDRAW™ (Corel Corporation, Ottawa, Canadá) para vetorização – recurso utilizado para transformar pixels em curvas, linhas e pontos, e proporcionar a edição de elementos específicos durante a elaboração do perfil hidrogeológico. Ainda no Google Earth, as coordenadas geográficas dos 19 poços foram associadas ao mapa da área de estudo para garantir a representação fiel da geolocalização

de cada poço nos perfis topográficos. Os perfis topográficos gerados foram então utilizados como base para a descrição do perfil hidrogeológico.

Tabela 2 – Seções geológicas, municípios e poços selecionados para a descrição do perfil hidrogeológico da área de estudo

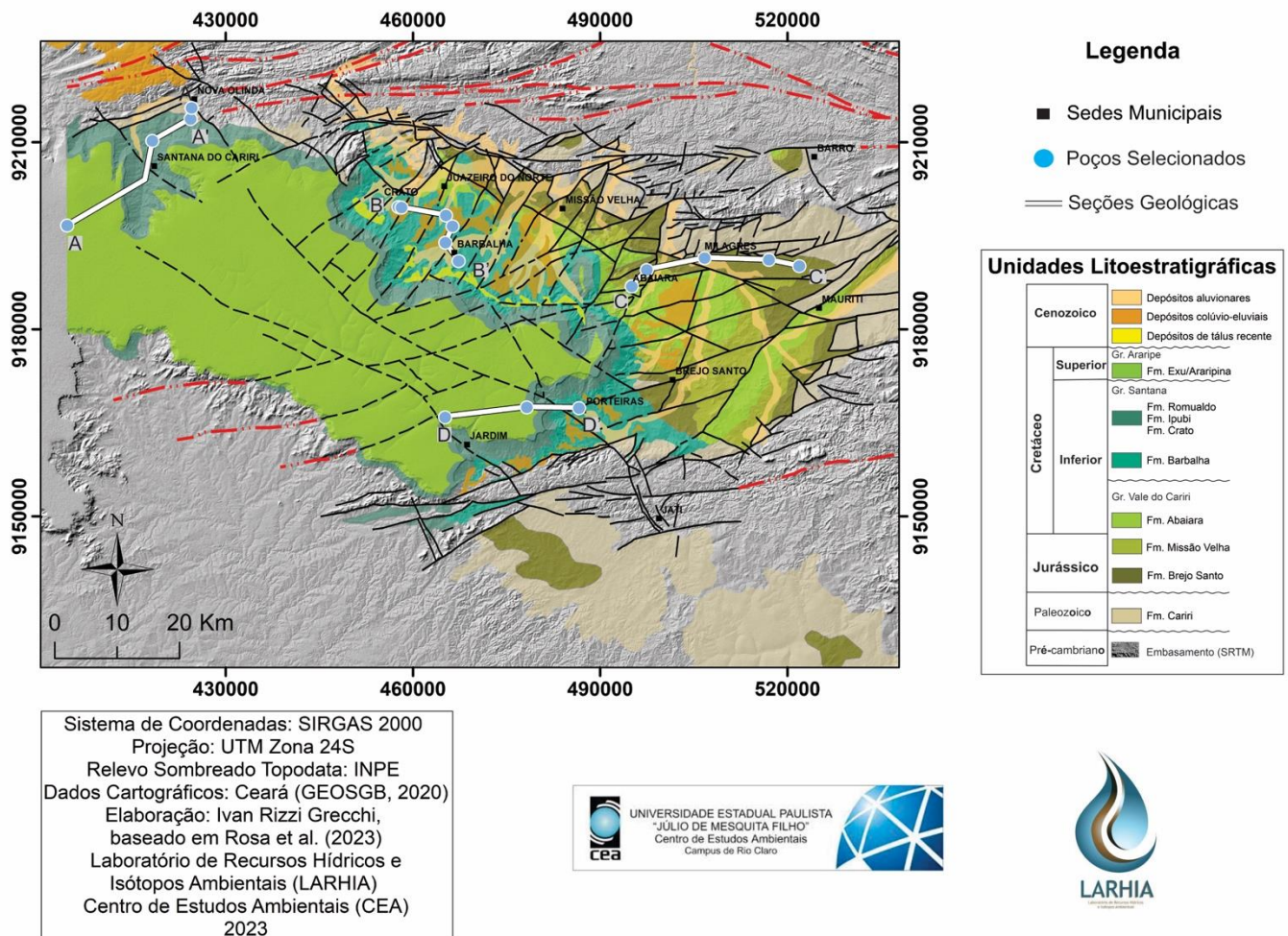
Seção	Município	Poços selecionados	
A – A'	Nova Olinda	2300020027	
		2300019191	
	Santana do Cariri	2300020086	
		2300020087	
		2300019193	
B – B'	Barbalha	2300019956	
		2300023484	
		2300002078	
	Crato	2300034503	
		2300023098	
Juazeiro do Norte	2300022885		
C – C'	Abaiara	2300001676	
		2300010243	
	Mauriti	2300020243	
		Milagres	2300017714
			2300036012
D – D'	Jardim	2300022232	
		2300026736	
	Porteiras	2300035367	

Para a descrição do perfil hidrogeológico, informações litológicas e dados construtivos dos 19 poços foram obtidos via SIAGAS (SGB/CPRM, 2023) e associados aos perfis topográficos gerados, preservando as escalas. A descrição textual, padronizada via agrupamento de poços por município, foi baseada no perfil litológico do poço tendo como referencial a superfície do terreno até a profundidade final do poço.

A interpretação do perfil hidrogeológico foi baseada em informações litológicas e dados construtivos de cada poço, além de informações estruturais, estratigráficas e hidrogeológicas da área de estudo. Parte dos dados utilizados para a interpretação hidrogeológica foi sumarizada no Apêndice B. Representações visuais e interpretativas em subsuperfície das características hidrogeológicas da área de estudo foram elaboradas

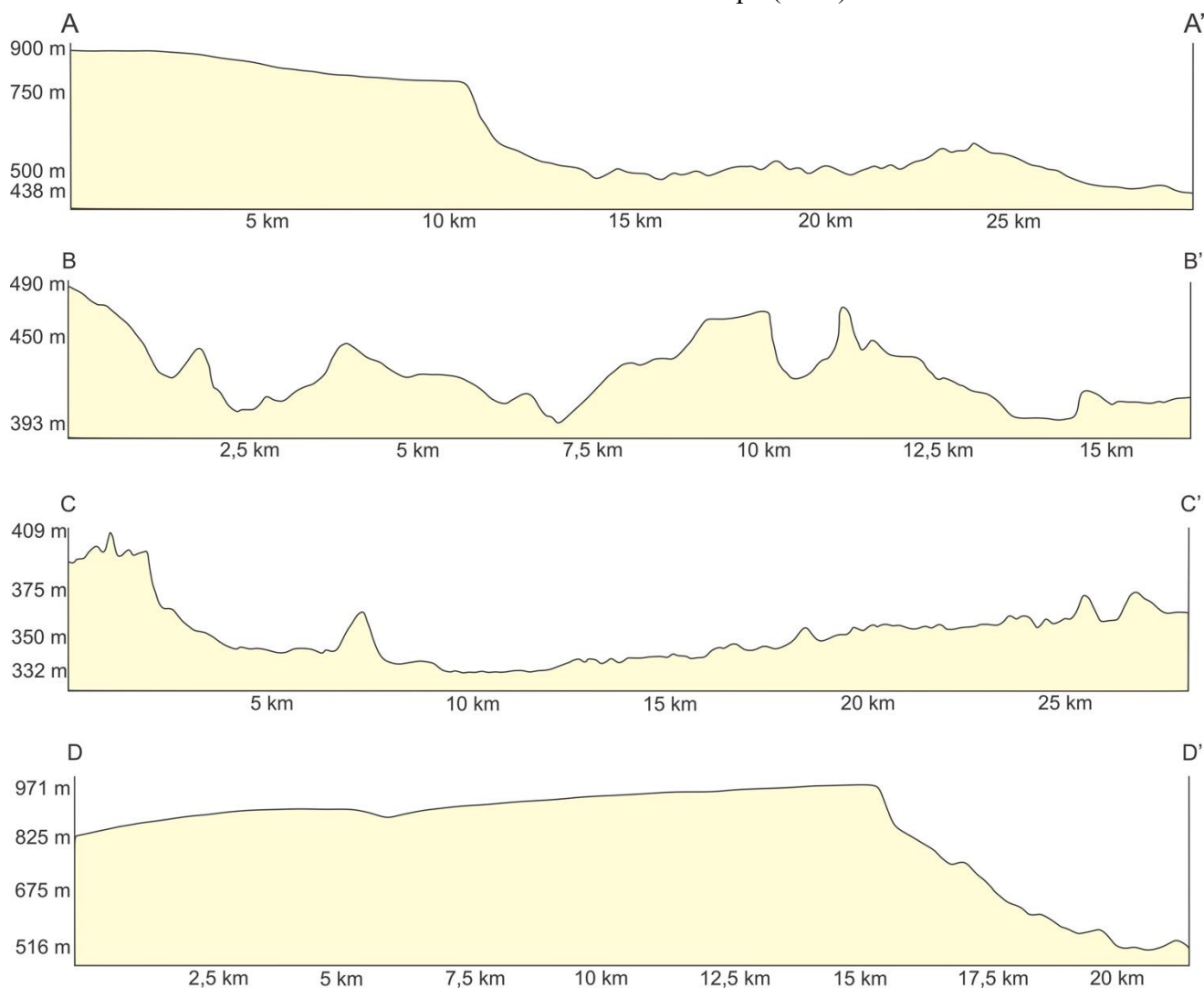
no *software* CorelDRAW™, preservando as escalas, quando possível, mediante dados estruturais e da profundidade de cada poço.

Figura 12 – Área de estudo na Bacia Sedimentar do Araripe (BSA) com a localização dos 19 poços selecionados para a descrição do perfil hidrogeológico



Fonte: Autor (2023).

Figura 13 – Perfis topográficos gerados a partir das seções geológicas da área de estudo na Bacia Sedimentar do Araripe (BSA)



Fonte: Autor (2023).

5.4. Interpolação de parâmetros hidrodinâmicos

Dados sobre condutividade elétrica (CEI), nível estático (NEs), nível dinâmico (NDi), vazão específica (VEp) e vazão de estabilização (VEs) de cada um dos 844 poços previamente selecionados foram extraídos da base de dados do SIAGAS (SGB/CPRM, 2023) e planilhados junto às coordenadas de cada poço (Apêndice A). Destes, 107 poços foram excluídos por não conterem dados sobre nenhum dos cinco parâmetros selecionados. Dos 737 poços restantes, o número de poços considerados na análise de interpolação seguiu a disponibilidade de dados de cada parâmetro: (i) 271 poços para condutividade elétrica; (ii) 705 poços para nível estático; (iii) 699 poços para nível

dinâmico; (iv) 672 poços para vazão específica; e (v) 716 poços para vazão de estabilização.

A interpolação de cada um dos cinco parâmetros foi realizada no *software* ArcMap 10.5. por meio do interpolador *Topo to Raster*, que estima valores via método de diferenças finitas para gerar áreas de isovalores.

6. RESULTADOS

6.1 Perfil hidrogeológico

Seção A – A'

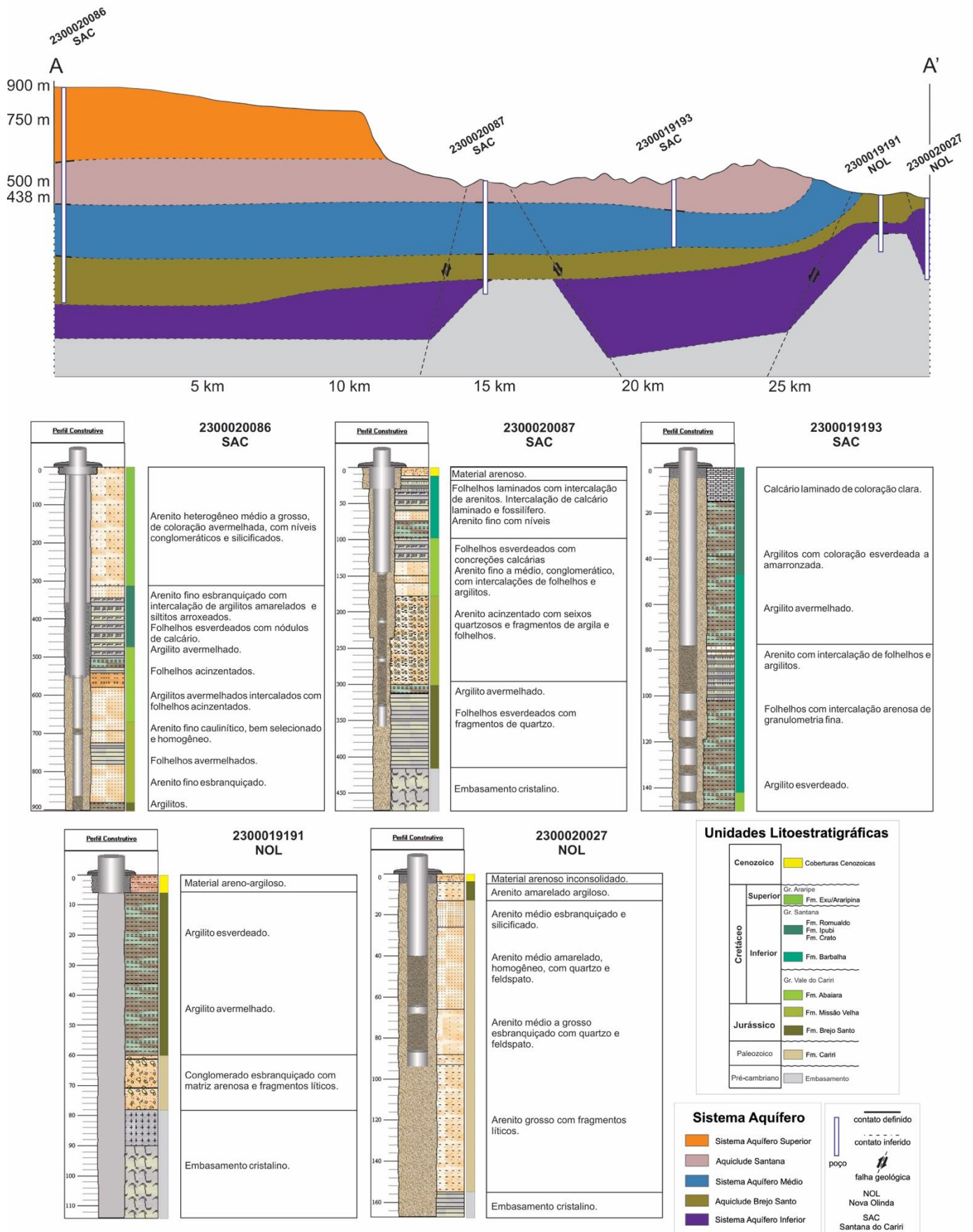
A seção *A – A'* (Figura 14) abrange a Chapada do Araripe e o Vale do Cariri. Nesta área, os cinco poços analisados estão distribuídos em dois municípios do Ceará: três poços em Santana do Cariri (SAC), sendo um na Chapada e dois no Vale; e dois poços em Nova Olinda (NOL), ambos no Vale. O poço de Santana do Cariri, na Chapada, está situado a 10,3 km do início da escarpa. A distância entre os poços de Santana do Cariri, no Vale, é de 6,1 km. Já os poços de Nova Olinda estão separados por 2,1 km de distância.

O perfil litológico dos poços de Santana do Cariri apresenta, em geral, arenitos médios a grossos, folhelhos por vezes laminados e argilitos. O poço 2300020086, na Chapada, de 902 m de profundidade, apresenta arenitos médios a grossos com níveis conglomeráticos no topo (ca. 320 m de espessura), seguido de pacote sedimentar de arenitos finos, siltitos e folhelhos intercalados por argilitos (ca. 260 m de espessura) e argilitos intercalados por arenitos finos e folhelhos (ca. 280 m de espessura). Este perfil litológico é condizente com a litologia das Formações Exu e Araripina no topo, seguidas do Grupo Santana e das Formações Abaiara, Missão Velha e Brejo Santo. Compreende o Sistema Aquífero Superior no topo, passando pelo Aquicludo Santana e pelo Sistema Aquífero Médio, até chegar ao Aquicludo Brejo Santo. O poço 2300020087, no Vale, de 474 m de profundidade, apresenta material arenoso inconsolidado no topo (ca. 2 m de espessura), seguido de folhelhos laminados intercalados por arenitos e calcário laminado e fossilífero (ca. 80 m de espessura), pacote sedimentar constituído de folhelhos com concreções calcárias e arenitos finos a médios conglomeráticos intercalados por argilitos (ca. 200 m de espessura), argilitos e folhelhos com fragmentos de quartzo (ca. 120 m de espessura) em contato com o embasamento cristalino. Este perfil litológico é condizente

com a litologia da Formação Barbalha no topo, seguida das Formações Abaiara, Missão Velha e Brejo Santo. Compreende o Aquiclude Santana no topo, passando pelo Sistema Aquífero Médio e pelo Aquiclude Santana, até o embasamento cristalino. Já o poço 2300019193, também no Vale, de 150 m de profundidade, apresenta pacote sedimentar constituído de calcário laminado e argilitos no topo (ca. 75 m de espessura), seguido de outro pacote sedimentar constituído de arenitos, argilitos e folhelhos (ca. 70 m de espessura). Este perfil litológico concorda com a litologia do Grupo Santana, seguido das Formações Barbalha e Abaiara. Compreende o Aquiclude Santana e o Sistema Aquífero Médio.

Os poços de Nova Olinda, no Vale, apresentam perfis litológicos, em geral, constituídos de argilitos e arenitos médios a grossos. O poço 2300019191, de 114 m de profundidade, apresenta material areno-argiloso no topo (ca. 6 m de espessura), seguido de argilitos (ca. 50 m de espessura) e conglomerados de matriz arenosa com fragmentos líticos (ca. de 18 m de espessura) em contato com o embasamento cristalino. Já o poço 2300020027, de 167 m de profundidade, apresenta material arenoso inconsolidado no topo (ca. 5 m de espessura), seguido de arenitos argilosos (ca. 10 m de espessura) e pacote sedimentar de arenitos médios a grossos com grãos de quartzo e feldspato e fragmentos líticos (ca. 140 m de espessura) em contato com o embasamento cristalino. O perfil litológico de ambos os poços é condizente com a litologia da Formação Brejo Santo no topo e Cariri na base do perfil, compreendendo o Aquiclude Brejo Santo e o Sistema Aquífero Inferior, respectivamente. →

→ **Figura 14** – Seção geológica A-A', abrangendo os municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda



Fonte: Autor (2023).

Seção B – B'

A seção *B – B'* (Figura 15) abrange apenas a porção do Vale do Cariri. Nesta região, os seis poços analisados estão distribuídos em três municípios do Ceará: dois poços em Crato (CRT), um poço em Juazeiro do Norte (JUN) e três poços em Barbalha (BAR). A distância entre os poços de Crato é de 391 m. Os poços mais próximos entre Crato e Juazeiro do Norte estão a 7,2 km de distância, enquanto 2,07 km separam os poços mais próximos entre Juazeiro do Norte e Barbalha. Em Barbalha, a distância média entre os três poços é de 3,2 km.

O perfil litológico dos poços de Crato apresenta, em geral, arenitos por vezes intercalados por folhelhos e argilitos e siltitos arenosos. O poço 2300023098, de 188 m de profundidade, apresenta arenitos com intercalação de folhelhos no topo (ca. 10 m de espessura), seguido de folhelhos com porções de areias finas (ca. 20 m de espessura), arenitos quartzosos com porções de folhelhos (ca. 20 m de espessura), siltitos arenosos com grãos finos (ca. 20 m de espessura), arenitos médios a muito grossos mal selecionados e fragmentos líticos (ca. 80 m de espessura) em contato com o embasamento cristalino. Este perfil litológico é condizente com a litologia da Formação Abaiara no topo, seguida das Formações Missão Velha e Brejo Santo, além da Formação Cariri em contato com o embasamento cristalino. Compreende o Sistema Aquífero Médio no topo, passando pelo Aquiclude Brejo Santo e pelo Sistema Aquífero Inferior até o embasamento cristalino. Já o poço 2300034503, de 120 m de profundidade, possui arenitos siltosos no topo (ca. 20 m de espessura), seguido de argilitos arenosos (ca. 50 m de espessura) e arenitos finos com grãos bem selecionados (ca. 50 m de espessura). Este perfil litológico concorda com a litologia da Formação Abaiara no topo, seguida das Formações Missão Velha e Brejo Santo, em transição gradual. Assim como no primeiro poço de Crato analisado (2300023098), o perfil compreende o Sistema Aquífero Médio no topo e Aquiclude Brejo Santo na base.

Em Juazeiro do Norte, o perfil litológico do poço 2300022885, de 120 m de profundidade, apresenta material areno-argiloso inconsolidado no topo (ca. 6 m de espessura), seguido de pacote sedimentar de arenitos finos a grossos (ca. 90 m de espessura) e folhelhos (ca. 30 m de espessura). Este perfil litológico é condizente com litologia da Formação Abaiara no topo e Missão Velha na base. Compreende o Sistema Aquífero Médio.

Os perfis litológicos dos poços de Barbalha apresentam, em geral, material areno-argiloso, arenitos finos a grossos e argilitos por vezes com níveis arenosos. O poço 2300023484, de 150 m de profundidade, apresenta sedimentos finos no topo (ca. 4 m de espessura), seguido de pacote sedimentar constituído de arenitos finos de maior granulação conforme a profundidade do poço (ca. 124 m de espessura) e argilitos (ca. 4 m de espessura). Este perfil litológico concorda com litologia da Formação Abaiara no topo, seguida das Formações Missão Velha e Brejo Santo. Compreende o Sistema Aquífero Médio no topo e por volta de 3 m de profundidade do Aquíclode Brejo Santo. O poço 2300002078, de 207 m de profundidade, possui material areno-argiloso no topo (ca. 5 m de espessura), seguido de arenitos médios a grossos (ca. 13 m de espessura), argilitos com níveis arenosos (ca. 10 m de espessura), arenitos médios (ca. 12 m de espessura) e arenitos grossos com seixos dispersos na base (ca. 36 m de espessura). Este perfil exhibe litologia condizente com a Formação Barbalha no topo, seguida das Formações Abaiara e Missão Velha. Compreende o Sistema Aquífero Médio. O poço 2300019956, de 230 m de profundidade, apresenta material areno-argiloso inconsolidado no topo (ca. de 10 m de espessura), seguido de pacote sedimentar de arenitos finos a grossos (ca. 98 m de espessura), argilitos com níveis arenosos (ca. de 76 m de espessura), arenitos bem seleccionados e fraturados (ca. 40 m de espessura) em contato com o embasamento cristalino. Este perfil concorda com a litologia da Formação Missão Velha no topo, seguida da Formação Brejo Santo e Formação Cariri em contato com o embasamento. Compreende o Sistema Aquífero Médio no topo, passando pelo Aquíclode Brejo Santo e Sistema Aquífero Inferior até o embasamento cristalino.

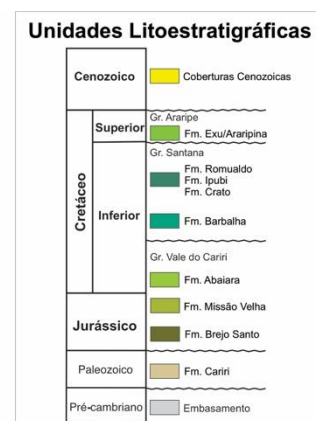
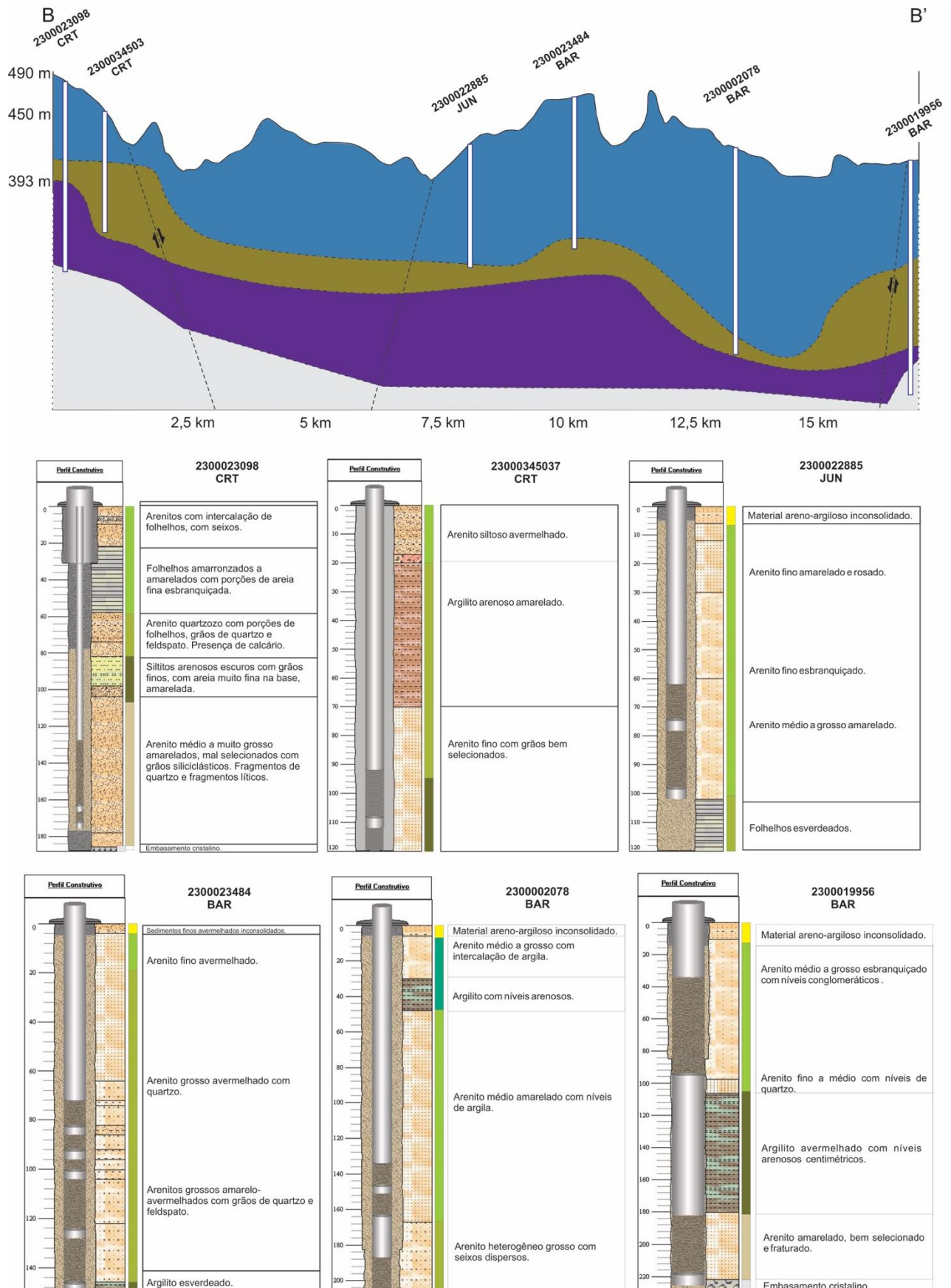


Figura 15 (legenda) – Seção geológica B-B', abrangendo os municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha

→ **Figura 15** – Seção geológica B-B', abrangendo os municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha



Fonte: Autor (2023).

Seção C – C’.

A seção C – C’ (Figura 16) também abrange apenas a porção do Vale do Cariri. Nesta área, os cinco poços analisados estão distribuídos em três municípios do Ceará: dois poços em Abaiara (ABA), dois poços em Milagres (MIL) e um poço em Mauriti (MAU). A distância entre os poços de Abaiara é de 3,6 km, enquanto os de Milagres estão separados por 10,3 km. Os poços mais próximos entre Abaiara e Milagres estão a 9,4 km de distância. Ainda nesta seção, 4,9 km separam o poço de Milagres mais próximo ao poço de Mauriti.

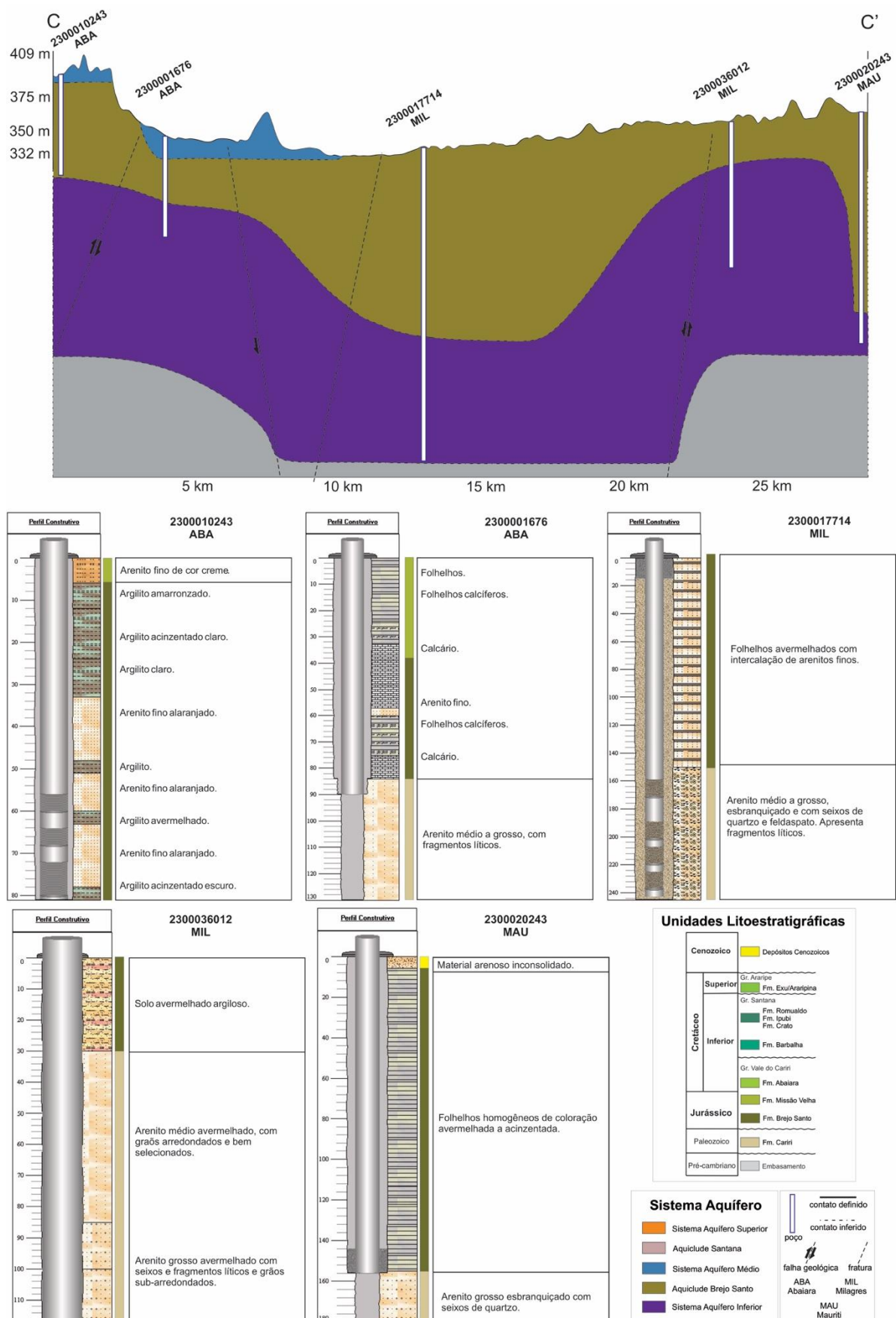
O perfil litológico dos poços de Abaiara apresenta, em geral, arenitos finos, folhelhos por vezes calcíferos, calcário e argilitos. O poço 2300010243, de 149 m de profundidade, apresenta arenitos finos no topo (ca. 8 m de espessura), seguidos de argilitos intercalados por arenitos finos até a base (ca. 75 m de espessura). Este perfil litológico concorda com a litologia da Formação Missão Velha no topo e Brejo Santo na base, compreendendo o Sistema Aquífero Médio e o Aquiclude Brejo Santo. Já o poço 2300001676, de 130 m de profundidade, apresenta folhelhos e folhelhos calcíferos (ca. 38 m de espessura), seguidos de calcários intermediados por arenitos finos e folhelhos calcíferos (ca. 84 m de espessura) e pacote sedimentar constituído de arenitos médios a grossos com fragmentos líticos (ca. 45 m de espessura). O perfil litológico é condizente com a litologia da Formação Missão Velha no topo, seguida das Formações Brejo Santo e Cariri. O perfil compreende o Sistema Aquífero Médio no topo, passando pelo Aquiclude Brejo Santo até o Sistema Aquífero Inferior.

Em Milagres, o perfil litológico dos poços apresenta, em geral, folhelhos intercalados por arenitos finos a grossos. O poço 2300017714, de 245 m de profundidade, apresenta, folhelhos com intercalação de arenitos finos no topo (ca. 140 m de espessura), seguidos de arenitos médios a grossos com seixos de quartzo e feldspato e fragmentos líticos (ca. 36 m de espessura). O poço 2300036012, de 117 m de profundidade, apresenta solo argiloso (ca. 30 m de espessura), seguido de arenitos médios que se gradam para arenitos grossos na base do perfil (ca. 62 m de espessura). Ambos os perfis são condizentes com a litologia da Formação Brejo Santo no topo e Cariri na base, compreendendo o Aquiclude Brejo Santo e o Sistema Aquífero Inferior, respectivamente.

O perfil litológico do poço 2300020243 de Mauriti, de 180 m de profundidade, apresenta material arenoso inconsolidado no topo (ca. 3 m de espessura), seguido de folhelhos homogêneos (ca. 125 m de espessura) e arenitos grossos com seixos de quartzo

(ca. 20 m de espessura). Assim como nos poços de Milagres, este perfil concorda com a litologia da Formação Brejo Santo no topo e Cariri na base, compreendendo o Aquiclude Brejo Santo e Sistema Aquífero Inferior, respectivamente. →

→ **Figura 16** – Seção geológica C-C', abrangendo os municípios de Abaiara, Milagres e Mauriti



Fonte: Autor (2023).

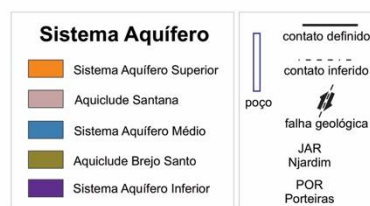
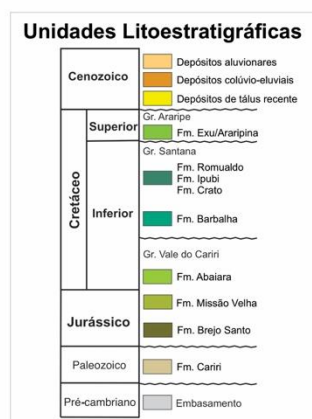
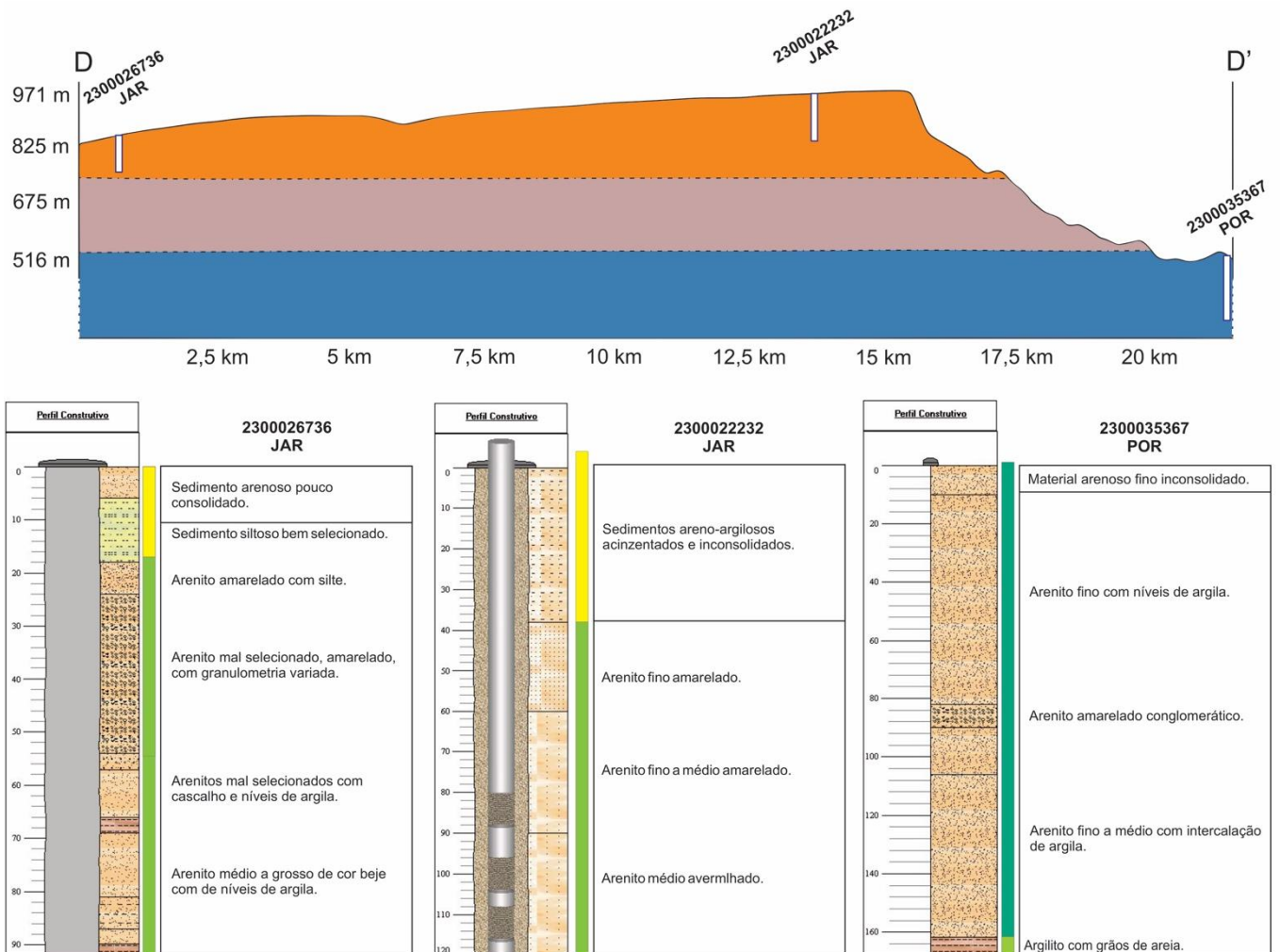
Seção D – D'.

A seção *D – D'* (Figura 17) abrange a Chapada do Araripe e o Vale do Cariri. Nesta área, os três poços analisados estão distribuídos em dois municípios do Ceará: dois poços em Jardim (JAR), na Chapada; e um poço em Porteiras (POR), no Vale. A distância entre os poços de Jardim é de 13,1 km, enquanto o poço de Porteiras está situado a 5,9 km de distância da escarpa.

O perfil litológico dos poços de Jardim apresenta, em geral, sedimentos arenosos e areno-argilosos e arenitos. O poço 2300026736, no topo da Chapada, de 92 m de profundidade, apresenta sedimentos arenosos pouco consolidados e sedimentos siltsos bem selecionados no topo (ca. 18 m de espessura), seguidos de pacote sedimentar constituído de arenitos com silte, arenitos mal selecionados por vezes com cascalho e níveis de argila e arenitos médios a grossos (ca. 70 m de espessura). Já o poço 2300022232, também no topo da Chapada, de 120 m de profundidade, apresenta litologia semelhante à descrita anteriormente, com sedimentos areno-argilosos inconsolidados no topo (ca. 4 m de espessura), seguidos de arenitos finos a médios (ca. 145 m de espessura). O perfil litológico dos poços de Jardim é condizente com a litologia da Formação Exu no topo e Araripina na base, compreendendo o Sistema Aquífero Superior.

O poço 2300035367 de Porteiras, no Vale, de 168 m de profundidade, apresenta material arenoso fino inconsolidado no topo (ca. 7 m de espessura), seguido de pacote sedimentar constituído de arenitos finos a médios com níveis ou intercalações de argila, por vezes conglomeráticos (ca. de 155 m de espessura) e argilitos (ca. 6 m de espessura). Este perfil concorda com a litologia da Formação Barbalha no topo e Abaiara na base, compreendendo o Sistema Aquífero Médio. →

→ **Figura 17** – Seção geológica D-D', abrangendo os municípios de Jardim e Porteiras



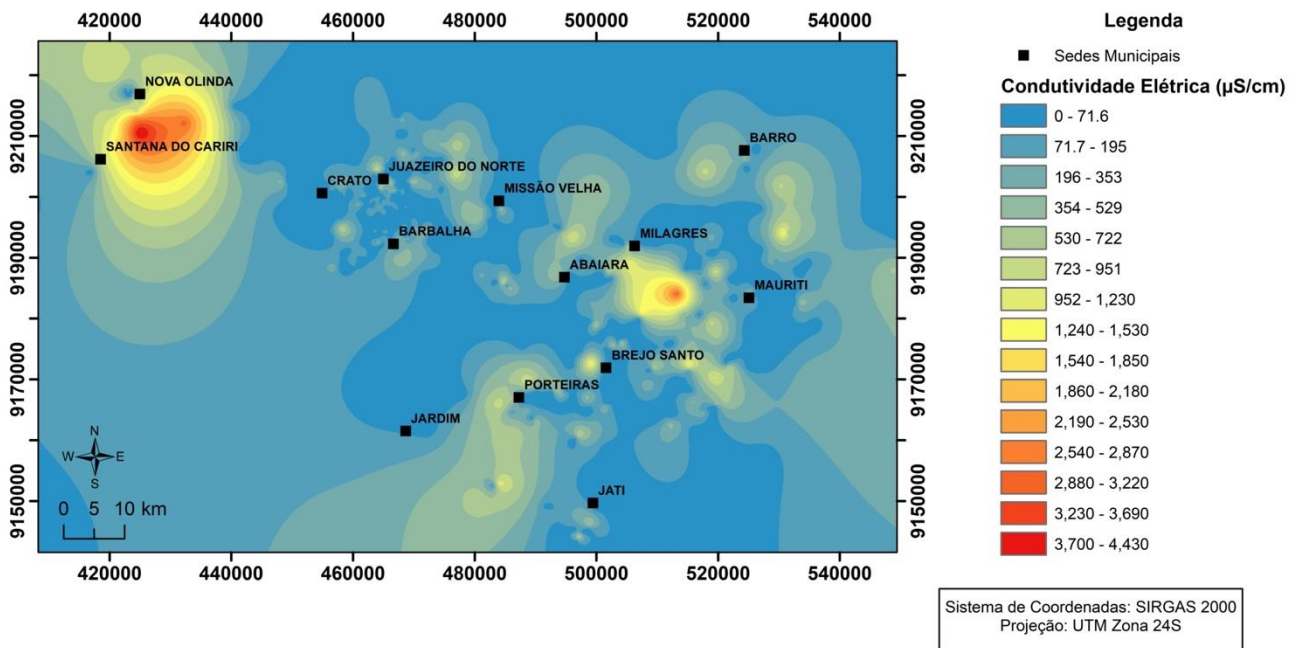
Fonte: Autor (2023).

6.2 Parâmetros hidrodinâmicos

Condutividade elétrica (CEI)

A CEI das águas subterrâneas apresenta variações (Figura 18). Na região entre Nova Olinda e Santana do Cariri observa-se pico de por volta de $3.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 18). O mesmo ocorre na região localizada entre Abaiara, Milagres, Mauriti e Brejo Santo, com pico por volta de $2.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 18). Já as regiões de Crato, Juazeiro do Norte, Missão Velha e Barbalha apresentam pouca variação na CEI, que varia em torno de $200\text{-}400 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 18). Porteiras, Jardim, Barro e Jati também apresentam pouca variação, com poucos picos maiores que $900 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 18).

Figura 18 – Interpolação de dados de condutividade elétrica (CEI) de poços da área de estudo

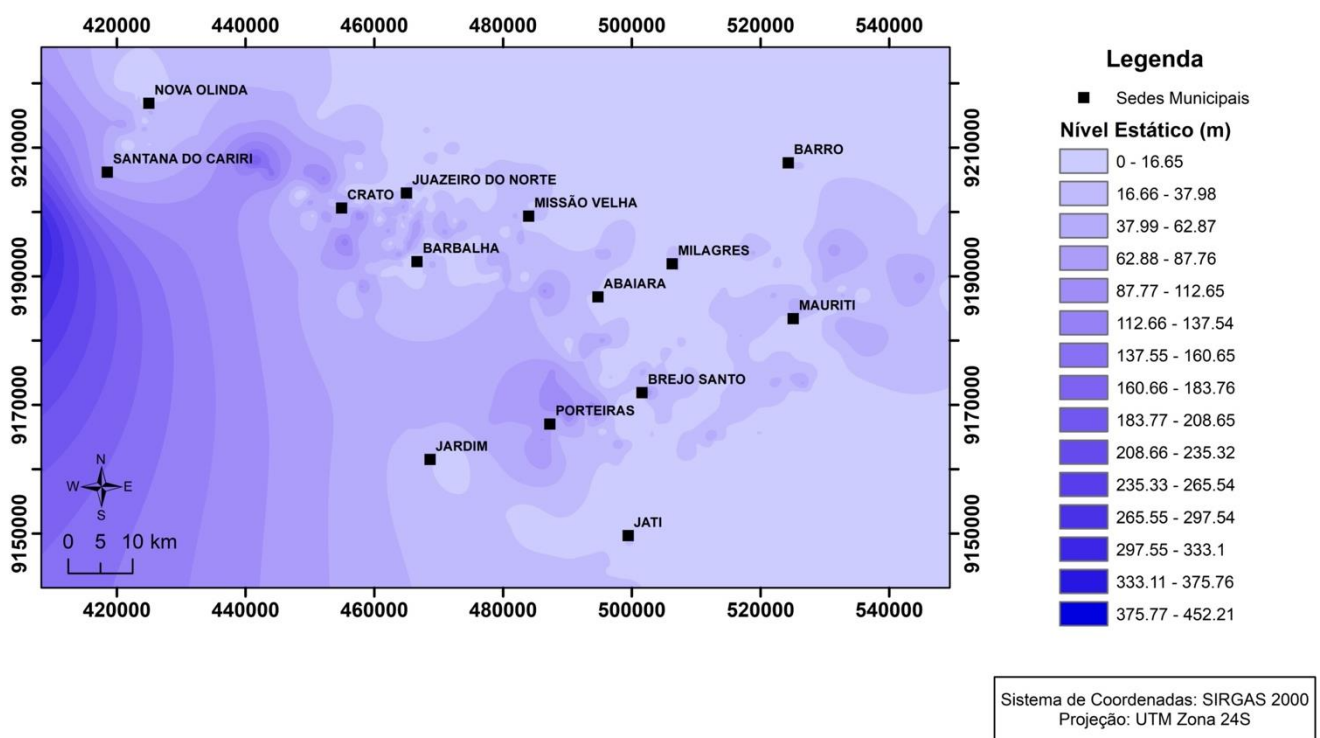


Fonte: Autor (2023).

Nível estático (NEs)

O NEs apresenta maior variação na região da Chapada comparado ao Vale (Figura 19). Na Chapada, o NEs varia de níveis mais rasos de até 32 m até níveis maiores que 300 m (Figura 19). No Vale, esta variação é menor na região de Jati, Jardim, Barro, Milagres, Abaiara e Missão Velha (30-125 m) (Figura 19). Já em Crato, Juazeiro do Norte, Barbalha e Porteiras ocorre variação de 30 a 160 m (Figura 19).

Figura 19 – Interpolação de dados de nível estático (NEs) de poços da área de estudo

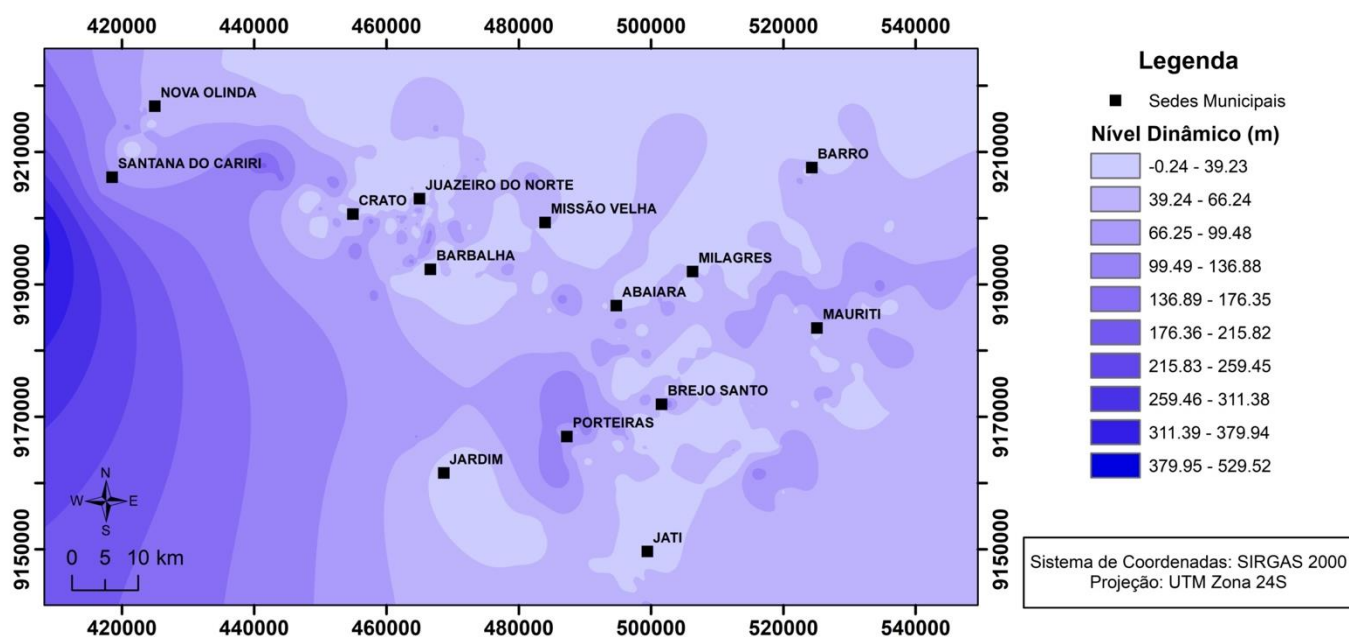


Fonte: Autor (2023).

Nível dinâmico (NDi)

O NDi segue padrão similar ao NEs (Figura 20). A Chapada apresenta maior variação, entre 39 a 300 m, ao passo que no Vale está variação não ultrapassa os 170 m (Figura 20). Em regiões com maior concentração de poços, como Juazeiro do Norte, Barbalha e Brejo Santo a variação é um pouco maior, de até 200 m (Figura 20).

Figura 20 – Interpolação de dados de nível dinâmico (NDi) de poços da área de estudo

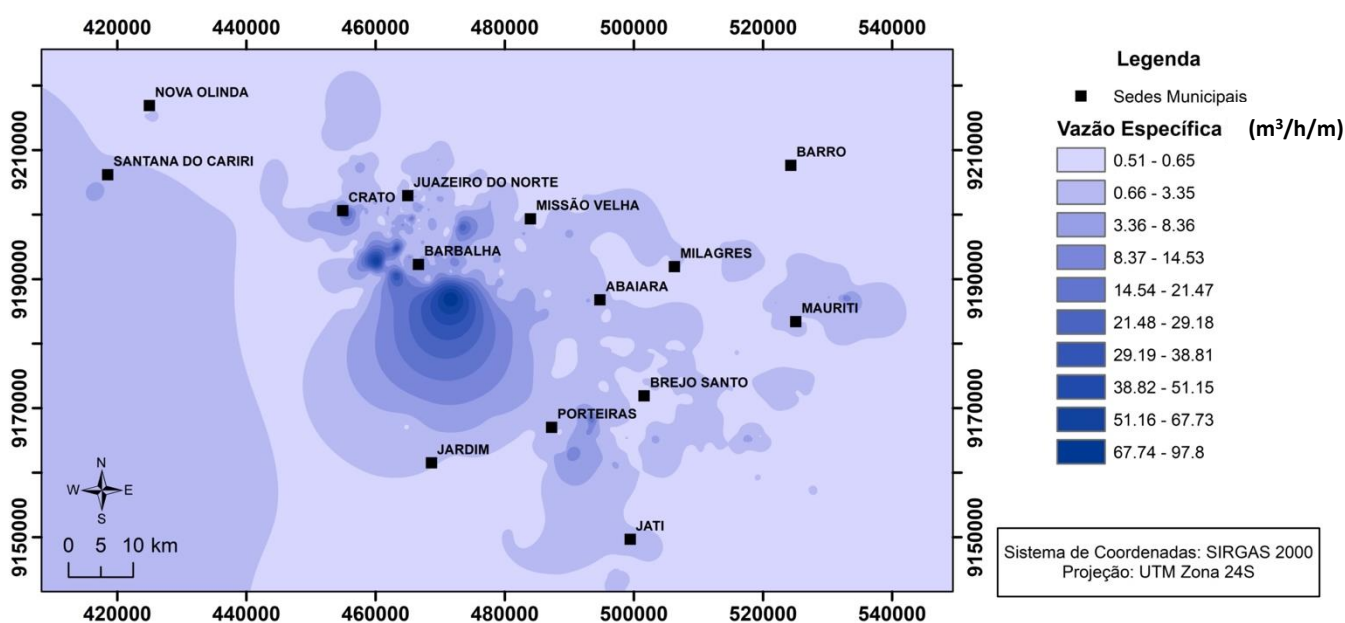


Fonte: Autor (2023).

Vazão específica (VEp)

A VEp apresenta pouca variação na Chapada, com níveis de 0,65 a 3,86 m³/h/m. Já no Vale (Figura 21), a variação deste parâmetro é maior, com níveis de até 97 m³/h/m (Figura 21). Este pico no valor da VEp ocorre entre as cidades de Barbalha e Jardim (Figura 21).

Figura 21 – Interpolação de dados de vazão específica (VEp) de poços da área de estudo

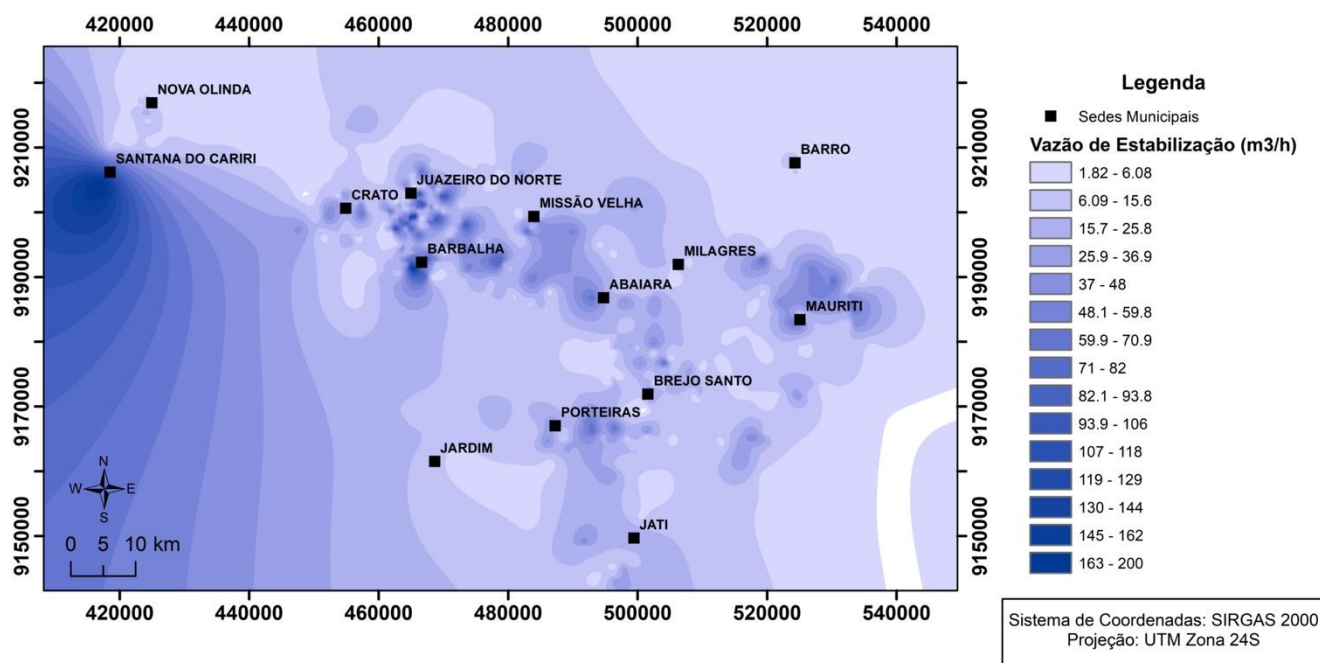


Fonte: Autor (2023).

Vazão de estabilização (VEs)

A VEs apresenta variação na Chapada entre 40 a 160 m³/h (Figura 22). No Vale, na região de Jati, Jardim e Barro verifica-se pouca variação da VEs, com níveis entre 10 a 20 m³/h (Figura 22). Porteiras, Brejo Santo, Mauriti, Milagres e Abaiara apresentam VEs em torno de 80 a 90 m³/h (Figura 22). Já em Barbalha, Juazeiro do Norte, Missão Velha e Crato é onde ocorrem as maiores vazões, chegando a 170 m³/h (Figura 22).

Figura 22 – Interpolação de dados de vazão de estabilização (VEs) de poços da área de estudo



Fonte: Autor (2023).

7. DISCUSSÃO

7.1 O contexto geológico-estrutural e sua influência na captação de águas subterrâneas

Na BSA, o controle geológico-estrutural é evidente sobre o sistema aquífero da região. A distribuição e a natureza de aquíferos e aquícludes são controladas por sistema geológico, em que a estratigrafia, deposição sedimentar, litologia e estruturas geológicas (e.g., falhas e fraturas), condicionam a hidrogeologia local (FREEZE & CHERRY, 1979). O conhecimento destes condicionantes geológico-estruturais é fundamental para a compreensão do sistema de aquíferos e seu uso.

O poço 2300020086, localizado no município de Santana do Cariri, foi perfurado sobre a Chapada. Com profundidade de 902 m, este poço atravessa as Formações Exu/Araripina, o Grupo Santana e as Formações Barbalha, Abaiara, Missão Velha e Brejo Santo. Sua captação de água ocorre em arenitos cauliníticos da Formação Missão Velha e argilitos da Formação Brejo Santo. Apesar da grande profundidade, o poço não alcança o Sistema Aquífero Inferior e o embasamento cristalino, que provavelmente estão abaixo de 1.000 m, evidenciando o grande espessamento do pacote sedimentar da BSA nesta região (ASSINE, 2007). O poço retira água do Sistema Aquífero Médio, que apresenta boa produção de água devido a sua litologia constituída de arenitos, que são capazes de armazená-la e transmiti-la (FREEZE & CHERRY, 1979). Por outro lado, a captação de água também ocorre do Aquíclude Brejo Santo, que apresenta majoritariamente litotipos com baixa transmissibilidade de água (e.g., pelitos) (FREEZE & CHERRY, 1979). A litologia do poço 2300020086 de Santana do Cariri evidencia que, em lentes mais arenosas do Aquíclude Brejo Santo, a captação de água via poços tubulares profundos é viável, principalmente em locais que apresentam lentes areníticas mais rasas.

Na região estudada, é clara a influência do sistema de falhas no sistema aquífero. O sistema de falhas gera grande diferença na ocorrência de águas subterrâneas: se são mais abertas, facilitam a circulação de água; se são mais

fechadas, dificultam (CEDERSTROM, 1964). Além disso, o deslocamento de rochas pode provocar mudanças significativas na hidrogeologia local. As falhas podem, em camadas horizontais de bacias sedimentares, provocar o deslocamento do sistema aquífero, baixando ou elevando as camadas aquíferas e, dependendo do movimento, até perdê-las pela erosão (CEDERSTROM, 1964).

Nos poços 2300020087 e 2300019193, da seção *A-A'*, ambos localizados em Santana do Cariri, na porção do Vale, fica evidente o basculamento de blocos e a influência da tectônica da região. No poço 2300020087, o embasamento cristalino está a 420 m de profundidade em contato com a Formação Brejo Santo, onde rochas da Formação Cariri não são encontradas. Esta compartimentação indica a presença de alto estrutural na área (horst), que eleva o embasamento. Já o poço 2300019193 está perfurado totalmente sobre rochas do Sistema Aquífero Médio. Neste poço, a perfuração termina em uma pequena camada da Formação Missão Velha, o que indica que sotoposta a ela encontram-se as Formações Brejo Santo e Cariri até chegar ao embasamento. Esta compartimentação evidencia que o embasamento provavelmente está abaixo dos 420 m em que se encontra no poço anterior (2300020087), indicando a presença de graben. A seção *A-A'* exemplifica como o sistema de falhas influenciam na rede de poços de captação de água (CAMACHO, 2016)

Os dois poços finais da seção *A-A'*, 2300019191 e 2300020027, ambos em Nova Olinda, apresentam perfuração nas rochas das Formações Brejo Santo e Cariri. De acordo com dados do SIAGAS (SGB/CPRM, 2023), o poço 2300019191 é seco, o que provavelmente se deve às características do Aquicludo Brejo Santo. Além disso, o poço pode ter sido perfurado em áreas mais pelíticas da Formação Brejo Santo, impossibilitando a transmissão de água. Já o poço 2300020027 retira água do Sistema Aquífero Inferior, que devido a sua natureza arenítica, apresenta ótimas condições de captação e produtividade (SIAGAS, SGB/CPRM, 2023), os poços 2300019191 e 2300020027 chegam ao embasamento na sua perfuração, em 78 m e 155 m, respectivamente, evidenciando que na área há a presença de horst e erosão das camadas soerguidas.

Na BSA, é notório que as rochas sedimentares sofreram com as deformações tectônicas que ocorreram na região (veja PONTE & PONTE FILHO, 1996). As camadas do pacote sedimentar são geralmente depositadas em alguma inclinação, enquanto outras sofrem deformação após sua deposição (CEDERSTROM, 1964). A área de estudo evidencia que a reativação de falhas tectônicas do embasamento da BSA gerou estruturas que hoje condicionam e moldam, de maneira desigual, as rochas e, conseqüentemente, o sistema aquífero.

A seção *B-B'* foi traçada no Vale, em região que compreende o Graben de Crato-Juazeiro e o Horst de Barbalha (PONTE & PONTE FILHO, 1996; ROSA *et al.*, 2023). Os dois primeiros poços da seção (2300023098 e 2300034503) localizam-se no Horst de Barbalha, que eleva as Formações Brejo Santo e Cariri em níveis mais rasos comparados aos poços seguintes, que se encontram no Graben de Crato-Juazeiro, onde as formações do Sistema Aquífero Médio são mais espessas. Já no último poço desta seção, em Barbalha, o embasamento encontra-se a 220 m de profundidade, caracterizando Horst de Barbalha. Esta seção reforça como a compartimentação geológica influencia no sistema aquífero (e.g., DNPM, 1996; CAMACHO, 2016).

A seção *C-C'* abrange o Vale, entre os municípios de Abaiara, Milagres e Mauriti. No poço 2300010243 a captação de água ocorre em níveis areníticos do Aquicludo Brejo Santo, sem alcançar o Sistema Aquífero Inferior. Nos demais poços, o Sistema Aquífero Inferior é explorado em diferentes profundidades, como no poço 2300036012 em 30 m e no poço 2300020243 em 155 m, evidenciando a presença de blocos altos e baixos. Nesta seção, o sistema de falhas da bacia, que gerou horsts e grabens (PONTE & PONTE FILHO, 1996; ROSA *et al.*, 2023), é evidente pela erosão de rochas das Formações Barbalha, Abaiara e Missão Velha, além do posicionamento do embasamento em diferentes profundidades.

Na seção *D-D'*, os poços sob o Sistema Aquífero Superior (2300026736 e 2300022232) apresentam perfuração nas rochas da Formação Exu/Araripina, caracterizadas por arenitos conglomeráticos, fácies pelíticas e porções de ritmitos com lentes de arenitos grossos (ASSINE, 2007; FAMBRINI *et al.*, 2020), onde a captação de água se dá preferencialmente nos arenitos (SIAGAS, SGB/CPRM,

2023). No poço 2300022232, de Jardim, a captação de água ocorre em uma camada de arenito médio em profundidade de 80 a 100 m (SIAGAS, SGB/CPRM, 2023), o que garante boa produtividade (20 m³/h) (SIAGAS, SGB/CPRM, 2023). Este tipo de rocha pode armazenar e transmitir água em grandes volumes, desde que seus poros estejam vazios e suas partículas sejam de tamanho razoável (CEDERSTROM, 1964).

O poço 2300035367, na seção *D-D'*, em Porteiras, está alocado no Vale (cota de 516 m) e capta água do Sistema Aquífero Médio. Sua descrição litológica apresenta arenitos da Formação Barbalha, enquanto sua perfuração finaliza em argilitos com areia da Formação Abaiara. Na seção, pouco antes deste poço, verifica-se a existência de falha (ROSA *et al.*, 2023) que provavelmente cria basculamento de blocos. Contudo, não foi possível inferir este basculamento devido à profundidade do poço, que não evidencia camadas sotopostas.

A análise do perfil litológico dos poços mostra grande influência tectônica na região, confirmada pela perfuração de poços que chegam ao embasamento. Estes poços evidenciam as camadas que compõem o sistema aquífero em diferentes níveis de profundidade, heterogeneidade geológica que condiciona a hidrodinâmica local.

7.2 Qualidade da água subterrânea e capacidade de produção de poços

Observa-se elevada CEI entre Nova Olinda e Santana do Cariri e próximo a Milagres. A CEI da água subterrânea é um bom indicador de salinização ou perdas de sais do solo/rocha para o fluido, expressando a qualidade da água e seu grau de salinidade (LOBER *et al.*, 2015). A quantidade elevada de sais nas águas subterrâneas de Nova Olinda, Santana do Cariri e Milagres, conseqüentemente, não as tornam próprias para o consumo humano, podendo ser utilizadas para irrigação e lazer. Uma vez que a análise de qualidade da água requer equipamentos e análises laboratoriais geralmente caras, a interpolação de dados de CEI se mostra útil na tomada de decisão referente aos locais de perfuração de poços dependendo da finalidade do uso da água.

Valores de VE e VEs são mais precisos no Vale do que na Chapada. A precisão destes valores no Vale é resultado do maior número de poços interpolados, uma vez que, na Chapada, de acordo com o SIAGAS (SGB/CPRM, 2023), há menor quantidade de poços perfurados. No Vale, os valores relativamente altos de VEs mostram boa produtividade dos poços, indicando que o controle geológico-estrutural da área favorece a infiltração de água e a recarga do sistema aquífero, principalmente entre o Graben de Crato-Juazeiro e o Horst de Abaiara, e próximo a Mauriti, Brejo Santo e Porteiras.

O NEs e o ND apresentam variação. Na Chapada, pelo baixo número de poços, os valores podem não refletir a realidade. Já no Vale, a variação do NEs e do ND é menor e se encontra em níveis mais rasos, o que propicia a perfuração de poços para a captação de água subterrânea.

Sabe-se que os lineamentos e falhas geológicas influenciam na direção do fluxo de água, que tenderá a seguir o caimento, causando assimetrias e barreiras hidráulicas (GALVÃO & CAMPOS, 2023). Na BSA, os blocos gerados pelos sistemas de falhas funcionam como barreiras hidráulicas naturais, que condicionam o fluxo da água subterrânea (CAMACHO, 2016) e, portanto, as condições favoráveis para o uso e a captação destas águas.

8. CONCLUSÃO

A utilização de dados disponíveis no SIAGAS é de fundamental importância para a elaboração de seções hidrogeológicas e interpolação de dados hidrodinâmicos, pois permitem a visualização do sistema aquífero em subsuperfície e dos locais adequados para a exploração de água subterrânea. As estruturas ressaltadas pelas seções mostram a relação do sistema aquífero com a influência tectônica da região, ressaltando a relação entre as águas subterrâneas e a estrutura interna da BSA.

Em regiões com maiores populações, como Juazeiro do Norte, Barbalha, Brejo Santo e Crato verifica-se grande quantidade de poços produtivos captando águas subterrâneas. Nestes municípios, a presença dos Sistemas Aquíferos Superior, Médio e/ou Inferior contribuem positivamente para a captação de água devido às características litológicas favoráveis ao armazenamento e transmissibilidade de águas subterrâneas. O grande uso dessa água subterrânea ocorre também em Missão Velha, devido grandes áreas irrigadas.

Nos Aquicludes Santana e Brejo Santo, a água captada encontra-se, majoritariamente, em lentes de arenitos. Geralmente, estas lentes são corpos de arenitos limitados por rochas impermeáveis (argilitos e siltitos). A captação de água em nestes aquícludes da BSA deve-se levar em conta a presença de lentes de arenito ou se a camada possui continuidade lateral.

As medidas de NEs e NDi são bons parâmetros para dimensionar a perfuração do poço, a sua metragem final e a posição da bomba para a captação de água, que deve estar abaixo do NDi. As mudanças de NEs também indicam se há extração de água de forma desordenada. A queda significativa do NEs reflete a grande extração de água, exigindo a instalação de poços mais profundos. Os valores de VE_p e VE_s podem ser úteis na decisão de alojamento do poço, visando maior produtividade. A VE_p indica o quanto o poço será rebaixado em determinada vazão em tempo, enquanto a VE_s indica a produtividade do poço. Na BSA, o monitoramento destes parâmetros em poços perfurados seria fundamental para a seleção de novos locais de perfuração, ao passo que testes de CEI são essenciais para determinar a qualidade da água.

Estudos sobre a compartimentação interna da BSA e sua influência na hidrogeologia devem ser aprimorados com trabalhos complementares, que

descrevam seções e perfis geológicos utilizando diferentes metodologias. Para tanto, a ampliação do monitoramento de poços na BSA e o aprimoramento da base de dados SIAGAS são fundamentais para o embasamento de conclusões sólidas.

A implementação de políticas públicas para o uso consciente da água, a redução do desmatamento e a fiscalização de poços quanto a sua construção e exploração são imprescindíveis para garantir a continuidade do abastecimento populacional, industrial e agrícola na região da BSA. Os resultados deste trabalho mostram que a integração de dados hidrogeológicos é indispensável para a elaboração de planejamentos estratégicos que visem o cumprimento destas metas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. B.; VERISSIMO, L. S.; COLARES, J. Q. S.; FEITOSA, F. A. C. (2006). Evolução do conhecimento geológico e hidrogeológico na Bacia Sedimentar do Araripe. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Curitiba, Paraná. 19p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L.M.; SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6): 711–728.

ALMEIDA, F. F. M. (1967). Origem e evolução da plataforma brasileira. Boletim 236 Divisão de Geologia e Mineralogia, Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM). Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 36p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (2010). Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional/Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape - ANA: Engecorps/Cobrape. Brasília, Distrito Federal.

ANGELIM, L. A. A.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES J. R. C.; WANDERLEY, A. A.; FORGIARINI, L. L.; MEDEIROS, M. F. (2004). Folha SB.24 Jaguaribe. In: SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; SANTOS, J. O. S.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G. M. M.; VIDOTTI, R. M.; RAMOS, M. A. B.; JESUS, J. D. A. (eds). Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Programa de Geologia do Brasil. CPRM. Brasília, Distrito Federal.

ARRAES, T. M.; CAMPOS, J. E. G. (2007). Proposição de critérios para avaliação e delimitação de bacias hidrogeológicas. *Revista Brasileira de Geociências* 37 (1): 81–89.

ARAI, M.; COIMBRA, J. C. (1990). Análise paleoecológica do registro das primeiras ingressões marinhas na Formação Santana (Cretáceo Inferior, Chapada do Araripe). I Simpósio Sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste. DNPM/SBP/SBG: 225–239. Crato, Ceará.

ASSINE, M. L. (1990). Sedimentação e Tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo. 124p.

ASSINE, M. L. (1992). Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* 22(3): 289–300.

ASSINE, M. L. (2007). Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobras* 15(2): 371–389.

ASSINE, M. L.; PERINOTTO, J. A. J.; CUSTÓDIO, M. A.; NEUMANN, V. H. M. L.; VAREJÃO, F. G.; MESCOLOTTI, P. C. (2014). Sequências deposicionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobras* 22(1): 3–28.

BEURLEN, K. (1962). A geologia da Chapada do Araripe. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 34(3): 365–370.

BEURLEN, K. (1963). Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe. XVII Congresso Brasileiro Geologia. SBG/SUDENE. Recife, Pernambuco.

BEURLEN, K. (1971). As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 43(supl.): 411–415.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; FILHO, E. F. R. (2004). Aquífero Guarani: A verdadeira integração dos países do MERCOSUL. Curitiba, Paraná. 214p.

BRAGA, B.; TOLEDO, M. C.; BRAGA, F. B. S. (2011). *Águas Subterrâneas: Recursos, Avaliação, Proteção e Planejamento*. 3 ed. ABRH. Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

BRITO-NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. (2000). Tectonic history of the Borborema Province. In: U. G. Cordani, E. J. Milani, A. Thomaz Filho, D. A.

Campos. Tectonic evolution of the South America. 31st International Geological Congress: 151-182. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CAMACHO, C. R. (2016). Influência da Estruturação Geológica Sobre o Fluxo das Águas Subterrâneas no Vale do Cariri - Bacia Sedimentar do Araripe - Ceará - Brasil. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará. 133p.

CEDERSTROM, D. J. (1964). *Água Subterrânea: uma introdução*. Centro de publicações Técnicas da Aliança Missão Norte-americana de Cooperação Econômica e Técnicas no Brasil (USAID). Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 280p.

CHANG, H. K.; KOWSMANN, R. O.; FIGUEIREDO, A. M. D. (1988). New Concepts on the Development of East Brazilian Marginal Basins. Episodes 11:194–202.

COGERH– Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (2019). Estudo Qualitativo do Sistema Aquífero Dunas-Barreiras no entorno da vila de Jericoaquara, em Jijoca de Jericoaquara/CE. Fortaleza, Ceará. 26p.

CORSINI, M.; VAUCHEZ, A.; CABY, R. (1996). Ductile duplexing at a bend of a continental scale strike-slip shear zone: example from NE Brazil. Journal of Structural Geology 18 (4): 385–394.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. (1998). Noções Básicas Sobre Poços Tubulares: Cartilha Informativa. FILHO, W. D. C.; GALVÃO, M. J. T. G.; LIMA, J. B.; LEAL, O. (elab.). Recife, Pernambuco. 22p.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. (2005). Hidrogeologia da Porção Oriental da Bacia Sedimentar do Araripe. VERÍSSIMO, L S.; AGUIAR, R. B. (exec.). Fortaleza, Ceará. 105p.

CRUZ, W. B.; FRANÇA, H. P. M. (1970). Inventário hidrogeológico básico do Nordeste, Folha 14 – Jaguaribe (1970). SUDENE/DRN (Série Hidrogeologia no .31). Recife, Pernambuco. 22p.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. (2007). Manual de Operação e Manutenção de Poços. JORBA, A. F.; ROCHA, G. A. (colab.). São Paulo, São Paulo. 87p.

DILL, D. M.; FETTER, C. W. (2012). Processos e Fenômenos Hidrogeológicos. In: ROCHA, M. A.; AMARAL, L. S.; SANTOS, R. A. Águas Subterrâneas: Conceitos e Aplicações. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. p. 29-58.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA E PRODUÇÃO MINERAL (1996). Projeto avaliação hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe. Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros. Recife, Departamento Nacional da Produção Mineral, Distritos Regionais de Pernambuco e Ceará. 101p.

FAMBRINI, G. L.; MENEZES-FILHO, J. A. B.; JESUÍNO, P. C. L.; SILVESTRE, D. C.; LEMOS, D. R.; NEUMANN, V. H. M. L. (2016). Caracterização deposicional da Formação Barbalha (Aptiano), Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Comunicações Geológicas* 103(1): 51–66.

FAMBRINI, G. L.; SILVESTRE, D. C.; BARRETO JUNIOR, A. M.; SILVA-FILHO, W. F. (2020). Estratigrafia da Bacia do Araripe: estado da arte, revisão crítica e resultados novos. *Geologia USP. Série Científica* 20(4): 169–212.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall, USA. 624p.

GALVÃO, M. F.; CAMPOS, J. E. G. (2023). *Bacias Hidrogeológicas: Conceitos e Aplicações*. Derbyana 44. São Paulo, São Paulo.

GASPARY, J.; ANJOS, N. F. (1964). Estudo Hidrológico de Juazeiro do Norte, Ceará. SUDENE/DRN (Série Hidrogeologia 3). Recife, Pernambuco. 25p.

GASPARY, J.; ANJOS, F. R. A.; REBOUÇAS, A. C.; MANUEL FILHO, J.; LEAL, O.; GARAU, J. P.; GUILLOT, P. (1967). Estudo geral das águas subterrâneas do Baixo Jaguaribe. In: Estudo Geral de Base do vale do Jaguaribe. *Hidrogeologia*.

SUDENE/ASMIC:170–202. Recife, Pernambuco.

GASPARY, J.; REBOUÇAS, A. C.; ANJOS, N. F. R.; LEAL, O. (1965). Estudo Hidrogeológico de Missão Velha - Ceará. SUDENE. Recife, Pernambuco. 18 p.

GOLDBERG, K.; PREMAOR, E.; BARDOLA, T.; SOUZA, P. A. (2019). Aptian marine ingression in the Araripe Basin, Implications for paleogeographic reconstruction and evaporite accumulation. *Marine and Petroleum Geology* 107: 214–221.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. (2019). A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. Instituto Trata Brasil. São Paulo, São Paulo.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. (2005). Plano de Manejo Diagnóstico: Floresta Nacional do Araripe. LIMA, V. M. F.; BEZERRA, F. W. B. (coord.). Brasília, Distrito Federal. 72p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). Malha Municipal. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/todos-os-produtos-geociencias/15774-malhas.html>>. Acessado em: 10 outubro 2023.

INGERSOLL, R. V.; BUSBY, C. J. (1995). Tectonics of Sedimentary Basins. In: BUSBY, C. J; INGERSOLL, R. V. (ed.). *Tectonics of Sedimentary Basins*. Blackwell Science Inc. 579p.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2009). TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <<https://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acessado: em 15 setembro 2023.

KIMURA, G. (2003). Caracterização hidrogeológica do sistema sedimentar do Gráben Crato-Juazeiro, no Vale do Cariri (CE). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais. 180p.

KÖPPEN, W. (1936). Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie, KÖPPEN, W., R. GEIGER (eds.) – Gebrüder Borntrager, Berlin. 44p.

LOBER, C. A.; BORBA, W. F.; SILVA, J. L. S. (2015). Relação entre a pluviometria e a condutividade elétrica em Zona de Afloramento do sistema Aquífero Guarani. *Ciência e Natureza* 37 (4): 115–121. Santa Maria, Rio Grande do Sul.

MATOS, R. M. D. (1992). The Northeastern Brazilian rift system. *Tectonics* 11: 776–791.

MENDONÇA, L. A. R. (2001). Recursos Hídricos da Chapada do Araripe. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará. 217p.

MENDONÇA, L. A. R. (2006). Comportamento dos Aquíferos do Cariri. Juazeiro do Norte, Ceará. Universidade Federal do Ceará. Centro de Tecnologia. 33p.

NEUMANN, V. H. M. L.; CABRERA, L. (1999). Una nueva propuesta estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la cuenca de Araripe, Nordeste de Brasil. V Simpósio Cretáceo Brasileiro: 279–285. Serra Negra, São Paulo.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (2015). Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acessado em: 5 novembro 2023.

PERRONI, J. C. A.; BERTACHINI A. C.; BERTACHINI, M. N. A.; CORDEIRO, V. F.; VOLTARELLI, A. L.; REIS, F. A. G. V. (2022). *Manual de Operação e Manutenção de Poços Tubulares Profundos*. 1 ed. FEBRAGEO. Belo Horizonte, Minas Gerais. 151p.

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. L. R.; FREIRE, D. P. C. (2020). Mapa Geológico do Estado do Ceará. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Ceará. Escala 1:500.000. CPRM, 1 mapa. Fortaleza, Ceará.

PONS, D.; BERTHOU, P. Y.; CAMPOS, D. A. (1990). Quelques observations sur la palynologie de l'Aptien Supérieur et de l'Albien du bassin d'Araripe (N.E. du Brésil). I Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste. DNPM/SBP/SBG: 241–252. Crato, Ceará.

PONTE, F. C. (1996). Arcabouço estrutural da Bacia do Araripe. IV Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil. UNESP/IGC:169–177. Águas de São Pedro, São Paulo.

PONTE, F. C.; APPI, C. J. (1990). Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia 1: 211–226. Natal, Rio Grande do Norte.

PONTE, F. C.; PONTE FILHO, F. C. (1996). Estrutura geológica e evolução tectônica da Bacia do Araripe. Departamento Nacional da Produção Mineral, 4º e 10º Distritos Regionais, Delegacias do Ministério das Minas e Energia em Pernambuco e Ceará. Recife. 68p.

RAND, H. M.; MANSO, V. A. V. (1984). Levantamento gravimétrico e magnetométrico da Bacia do Araripe. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia. SBG 4: 2011–2016. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ROSA, M. C.; MORALES, N.; ASSINE, M. L. (2023). Transtensional tectonics during the Gondwana breakup in northeastern Brazil: Early Cretaceous paleostress inversion in the Araripe Basin. *Tectonophysics* 846: 229666.

SANTOS, F. G.; PINÉO, T. R. G.; MEDEIROS, V. C.; SANTANA, J. S.; MORAIS, D. M. F.; VALE, J. A. R.; WANDERLEY, A. A. (2021). Mapa Geológico da Província Borborema. Projeto Geologia e Potencial Mineral da Província Borborema. Escala 1:1.000.000. SGB/CPRM, 1 mapa. Recife, Pernambuco.

SGB/CPRM – Serviço Geológico do Brasil (2020). GeoSGB – sistema de geociências do Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <<https://geosgb.sgb.gov.br/geosgb/index.html>> Acessado em 15 setembro 2023.

SBG/CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. (2023). SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em: <<https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>>. Acessado em: 15 julho 2023.

SCHERER, C. M. S.; JARDIM DE SÁ, E. F.; CÓRDOBA, V. C.; SOUSA, D. C.; AQUINO, M. M.; CARDOSO, F. M. C. (2014). Tectono-stratigraphic evolution of the Upper Jurassic Neocomian rift succession, Araripe Basin, Northeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 49: 106–122.

SILVA, M. A. M. (1983). The Araripe Basin, Northeastern Brazil: regional geology and facies analyses of a Lower Cretaceous Evaporitic depositional complex. Tese de Doutorado. Columbia University, New York, New York. 290p.

SMALL, H. L. (1913). Geologia e suprimento de d'água subterrânea no Ceará e Parte do Piauí. Rio de Janeiro. Inspetoria de Obras Contra as Secas 7D (25). 80p.

SPIX, J. B.; MARTIUS, C. F. P. (1823). *Reise in Brasilien in den Jahren, 1817–1820*. Munique. 412p.

SRTM – NASA Shuttle Radar Topography Mission. (2003). Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global. Distributed by OpenTopography.

UNESCO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA (2022). Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: águas subterrâneas: tornar visível o invisível. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380726_por>. Acessado em: 5 novembro 2023.

VALENÇA, L. M. M. (1987). Estudos dos sedimentos que capeiam a Chapada do Araripe. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco. 82p.

VASCONCELOS, M. B.; CAJAZEIRAS, C. C. A.; SOUZA, R. R. (2019). Aplicação da

condutividade elétrica da água nos estudos hidrogeológicos da Região Nordeste do Brasil.
In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. Foz do Iguaçu, Paraná.

VERÍSSIMO, L. S.; CAVALCANTE, I. N.; AGUIAR, R. B.; THIAGO, J. (2007).
Recursos Hídricos subterrâneos da bacia sedimentar do Araripe - Zona Leste, Estado do
Ceará. XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços/I Simpósio de Hidrogeologia do
Sul-Sudeste. Gramado, Rio Grande do Sul.

WATERWATCH AUSTRALIA. (2005). Waterwatch Australia National Technical
Manual: module 6 groundwater monitoring, Department of the Environment and
Heritage, Canberra, ACT.

APÊNDICES

Apêndice A - Poços selecionados para a análise do perfil hidrogeológico e dos parâmetros hidrodinâmicos

Poço	Cidade	NDi (m)	NEs (m)	VEs (m/h/m ³)	VEs (m ³ /h)	CEI (µS/cm)
2300001674	Abaiara	30,00	3,40	0,66	17,6	
2300001676	Abaiara				12,6	
2300010234	Abaiara	64,00	46,00	0,167	3	959,00
2300010243	Abaiara	17,26	7,73	1,259	12	
2300019952	Abaiara	48,87	14,32	0,868	30	491,00
2300020914	Abaiara	35,00	16,00	3,684	70	440,00
2300021011	Abaiara	35,80	10,50	1,976	50	
2300021012	Abaiara	48,14	0,05	0,838	40,4	
2300021029	Abaiara	49,60	5,57	0,257	11,3	
2300022168	Abaiara		2,83			228,00
2300022227	Abaiara	84,00	10,20	0,272	20,07	
2300022229	Abaiara	83,00	8,00	0,136	10,2	
2300022600	Abaiara	52,48	11,65	0,147	6	792,40
2300022895	Abaiara	25,68	20,72	1,613	8	193,50
2300030156	Abaiara	36,44	17,83	1,215	22,61	
2300030172	Abaiara	36,44	17,83	1,214	22,6	
2300002078	Barbalha	108,00	93,00	2,667	40	160,00
2300002080	Barbalha	44,00	4,00	0,08	3	
2300002087	Barbalha	30,00	20,00	2,26	22,6	
2300002088	Barbalha	12,00	3,20	2,5	22	
2300002092	Barbalha	43,00	38,00	2,4	12	
2300002102	Barbalha	20,00	15,00	3,52	17,6	
2300004943	Barbalha	33,00	29,00	2,02	8,08	
2300014187	Barbalha	10,00	6,60	5,971	20,3	120,00
2300014190	Barbalha	7,00	5,10	11,895	22,6	450,00
2300014193	Barbalha	7,00	5,10	11,895	22,6	280,00
2300014197	Barbalha	30,00	4,00	2,769	72	82,00
2300014198	Barbalha	28,00	3,50	3,061	75	406,00
2300014199	Barbalha	21,00	8,00	5,538	72	
2300014201	Barbalha	27,80	19,00	1,058	9,31	
2300014203	Barbalha	7,00	6,00	12	12	180,00
2300014211	Barbalha	20,00	15,00	3,52	17,6	190,00
2300014215	Barbalha	26,68	3,61	1,734	40	
2300014216	Barbalha	9,00	7,50	15,067	22,6	
2300014219	Barbalha	21,10	21,00	100	10	
2300014225	Barbalha	15,00	2,50	4,4	55	40,00
2300014227	Barbalha	80,00	30,00	1	50	120,00
2300014231	Barbalha	37,00	28,00	1,467	13,2	230,00
2300014232	Barbalha	43,00	38,00	1,864	9,32	
2300014233	Barbalha	54,80	45,00	0,673	6,6	
2300014234	Barbalha	38,00	27,00	0,364	4	490,00
2300014238	Barbalha	12,00	3,20	2,568	22,6	200,00
2300014242	Barbalha	49,00	25,00	0,5	12	
2300014243	Barbalha	33,00	27,00	4,167	25	
2300014244	Barbalha	43,10	43,00	50	5	
2300014246	Barbalha	20,00	5,00	1	15	
2300014250	Barbalha					306,00
2300014252	Barbalha	44,00	0,70	0,305	13,2	370,00
2300014257	Barbalha	60,00	40,00	2,15	43	393,80
2300014269	Barbalha	49,10	49,00	80	8	180,00
2300014270	Barbalha	30,20	4,00	6,87	180	120,00
2300014275	Barbalha	53,00	42,50	1,076	11,3	
2300014281	Barbalha	22,00	14,00	0,75	6	
2300014283	Barbalha	49,00	13,30	2,241	80	310,00
2300014284	Barbalha	14,50	9,30	3,385	17,6	
2300014482	Barbalha	23,70	3,60	7,164	144	157,60
2300014483	Barbalha	17,61	5,01	8,016	101	442,30
2300014486	Barbalha	14,10	14,00	60	6	
2300014487	Barbalha	18,00	4,00	1,5	21	
2300014488	Barbalha	19,00	9,00	0,59	5,9	540,00
2300018998	Barbalha	73,81	11,37	0,01	0,64	261,00
2300018999	Barbalha	17,90	12,50	1,905	10,285	327,00
2300019138	Barbalha	40,00	12,00	3,571	100	153,00
2300019956	Barbalha	20,18	10,87	6,337	59	361,50
2300020221	Barbalha	30,31	20,01	4,26	43,88	411,00
2300020222	Barbalha	20,57	6,90	7,242	99	394,00
2300020223	Barbalha	26,12	5,10	4,096	86,09	464,60

2300020241	Barbalha	61,00	44,00	0,676	11,5	
2300020310	Barbalha	31,00	28,00	21.711	65.132	142,00
2300020499	Barbalha	40,00	18,00	2.273	50	
2300020827	Barbalha	19,00	14,12	1.168	5,7	193,20
2300020859	Barbalha	60,00	44,00	1.125	18	168,60
2300021272	Barbalha	28,00	15,00	1.538	20	332,20
2300021333	Barbalha	54,12	51,30	3.649	10,29	328,00
2300021354	Barbalha	76,00	42,00	1.176	40	240,10
2300021356	Barbalha	37,00	4,80	1.801	58	198,14
2300021971	Barbalha	40,00	25,00	1.333	20	147,00
2300022100	Barbalha	56,68	36,65	3.245	65	200,00
2300022163	Barbalha	98,00	76,00	0,318	7	
2300022164	Barbalha	60,00	32,00	2.321	65	
2300022165	Barbalha	57,00	48,00	1.711	15,4	
2300022460	Barbalha	94,00	76,00	1.222	22	
2300022612	Barbalha	39,80	21,56	1.096	20	
2300022623	Barbalha	90,00	26,51	0,032	2	96,00
2300022708	Barbalha	42,00	4,00	3.684	140	235,52
2300022795	Barbalha	46,00	3,60	1.291	54,73	
2300022908	Barbalha	15,53	12,55	4.195	12,5	170,90
2300023484	Barbalha	112,00	80,00	2.188	70	
2300030600	Barbalha	70,00	30,00	0,5	20	
2300030605	Barbalha	26,41	4,93	4.609	99	
2300030606	Barbalha	20,28	10,80	6.426	60,92	
2300030607	Barbalha	47,50	10,00	2.667	100	
2300030609	Barbalha	124,00	93,00	0,71	22	
2300030621	Barbalha	60,00	30,00	0,5	15	
2300030626	Barbalha	50,00	30,00	0,95	19	
2300030638	Barbalha	41,30	22,98	2.566	47	
2300030639	Barbalha	58,00	22,00	1.167	42	
2300030640	Barbalha	41,00	23,00	2.611	47	
2300030646	Barbalha	18,87	16,55	1.142	2,65	
2300030647	Barbalha	30,00	4,00	0,846	22	
2300030648	Barbalha	45,25	32,60	5.692	72	88,58
2300030649	Barbalha	101,00	60,00	1.561	64	
2300036420	Barbalha	47,60	37,20	1.154	12	
2300036595	Barbalha	66,00	63,00	33.333	100	
2300039349	Barbalha	117,70	100,00	0,376	6.655	
2300039763	Barbalha	60,00	20,00	0,043	1,7	
2300039764	Barbalha	100,00	75,00	0,04	1	
2300002110	Barro	28,20	4,50	0,01	0,3	
2300002114	Barro	28,00	19,00	0,31	2,8	
2300002117	Barro	50,00	4,50	0,09	4	
2300002118	Barro	55,00	13,00	0,01	0,5	
2300002119	Barro	60,00	12,20	0,04	2	
2300002120	Barro	53,00	14,40	0,1	3,7	
2300002121	Barro				9,9	
2300002125	Barro				9,3	
2300013018	Barro	58,00	21,00	0,324	12	369,00
2300013019	Barro	55,00	18,00	0,405	15	366,00
2300013329	Barro	40,00	7,00	0,152	5	397,00
2300013330	Barro	55,00	16,00	0,2	7,8	368,00
2300019516	Barro	53,00	19,00	0,071	2,4	770,00
2300019957	Barro	75,30	10,82	0,465	30	392,00
2300019958	Barro	46,15	17,00	0,137	4	356,00
2300019959	Barro	60,15	14,23	0,436	20	332,00
2300019960	Barro	59,00	8,60	0,03	1,5	172,00
2300019961	Barro	78,00	24,00	0,037	2	223,00
2300021158	Barro	25,00	12,00	0,046	0,6	809,90
2300021339	Barro	12,05	6,52	0,6	3,32	152,30
2300021972	Barro	50,00	15,00	0,214	7,5	351,00
2300021973	Barro	75,00	36,50	0,39	15	335,00
2300021975	Barro	44,00	10,00	0,215	7,3	470,00
2300021976	Barro	52,00	8,30	0,206	9	356,00
2300021977	Barro	74,00	15,00	0,085	5	351,00
2300021978	Barro	48,50	13,00	0,141	5	277,00
2300021979	Barro	45,00	18,00	0,741	20	402,00
2300022091	Barro	62,00	6,00	0,021	1,2	
2300022477	Barro		4,50			
2300022627	Barro				3	
2300022628	Barro				4	
2300022629	Barro				5	
2300001238	Brejo Santo	26,00	9,80	0,031	14,7	
2300001240	Brejo Santo	17,00	14,00	0,199	0,092	
2300001241	Brejo Santo	39,70	3,60	1,33	7,2	
2300001632	Brejo Santo	18,00	7,00	0,38	14,6	

2300001633	Brejo Santo	36,00	20,00	0,83	6	
2300002265	Brejo Santo	24,00	12,00	2,38	10	
2300002266	Brejo Santo	19,50	7,20	0,93	29,3	
2300002267	Brejo Santo	47,00	34,90	0,05	11,3	
2300002268	Brejo Santo	25,00	7,30	1,01	0,8	
2300002269	Brejo Santo	22,00	6,40		15,8	
2300002271	Brejo Santo			1,04		
2300002272	Brejo Santo	45,00	33,00		12,5	
2300002273	Brejo Santo	23,00	23,00	0,02	8	
2300002278	Brejo Santo	59,00	23,50		0,7	
2300002283	Brejo Santo				19,81	
2300002284	Brejo Santo	26,00	8,50		14,4	
2300002287	Brejo Santo				1,3	
2300002288	Brejo Santo	71,00	3,50		4,4	
2300002290	Brejo Santo	26,00	19,06		3,2	
2300002292	Brejo Santo	22,50	20,00		6	
2300002294	Brejo Santo	19,00	0,70		13,9	
2300002295	Brejo Santo				18	
2300002296	Brejo Santo	13,00	9,00			
2300002297	Brejo Santo	38,00	9,00		13,2	
2300002300	Brejo Santo	52,00	2,00	2,417	3,6	
2300002301	Brejo Santo	37,25	6,05		75,4	
2300004820	Brejo Santo			0,667		
2300004822	Brejo Santo	28,80	2,40	5,077	17,6	
2300015796	Brejo Santo	17,40	13,50	0,264	19,8	420,00
2300015812	Brejo Santo	43,00	13,00	0,899	7,92	
2300015840	Brejo Santo	32,00	6,10	0,585	23,29	
2300015848	Brejo Santo	49,50	20,10	0,049	17,21	
2300015850	Brejo Santo	68,00	19,00	0,607	2,4	1360,00
2300015853	Brejo Santo	34,00	11,50		13,65	
2300015854	Brejo Santo			1,809	12	300,00
2300015866	Brejo Santo	15,00	3,50	0,286	20,8	380,00
2300018503	Brejo Santo	60,00	21,45	12,5	11,04	740,00
2300019153	Brejo Santo	104,00	102,00	3,043	25	250,00
2300019154	Brejo Santo	89,00	77,50	5,833	35	228,00
2300019155	Brejo Santo	24,00	12,00	0,135	70	127,00
2300019156	Brejo Santo	86,00	12,00	0,992	10	457,00
2300019254	Brejo Santo	48,33	12,05	1,63	36	299,00
2300019696	Brejo Santo	21,00	11,00	1,376	16,3	
2300019697	Brejo Santo	26,06	11,23	1,935	20,4	
2300019698	Brejo Santo	28,00	9,60	2,727	35,6	
2300019700	Brejo Santo	28,00	17,00	2,556	30	
2300019701	Brejo Santo	11,00	2,00	11,08	23	
2300019703	Brejo Santo	7,00	5,00	0,69	22,16	
2300019704	Brejo Santo	36,00	7,00	1	20	
2300019705	Brejo Santo	33,00	3,00	0,048	30	
2300019707	Brejo Santo	106,00	0,00	1,31	5,1	
2300019708	Brejo Santo	52,20	48,00	0,446	5,5	
2300019710	Brejo Santo	48,00	35,00		5,8	
2300019712	Brejo Santo			0,04		
2300019750	Brejo Santo	25,00	15,00	0,436	0,4	
2300019772	Brejo Santo	50,00	7,00	0,75	18,75	
2300019773	Brejo Santo	23,00	21,00	1,553	1,5	
2300019774	Brejo Santo	34,00	8,25	1,125	40	
2300019775	Brejo Santo	45,00	21,00	0,759	27	
2300019776	Brejo Santo	41,00	12,00	2,154	22	
2300019777	Brejo Santo	10,50	4,00	1,196	14	
2300019778	Brejo Santo	31,00	18,00	4,333	15,549	
2300019779	Brejo Santo	17,00	14,00	3	13	
2300019780	Brejo Santo	28,00	25,00	1,318	9	
2300019788	Brejo Santo	71,00	20,00	0,505	67,2	
2300020828	Brejo Santo	28,30	22,16		3,1	
2300021177	Brejo Santo					217,80
2300021870	Brejo Santo			3,143		
2300021964	Brejo Santo	40,00	33,00	1,222	22	601,00
2300021974	Brejo Santo	53,00	35,00	0,36	22	547,00
2300022124	Brejo Santo	74,00	24,00	2,732	18	652,00
2300022129	Brejo Santo	12,85	8,15	2,364	12,84	320,30
2300022226	Brejo Santo	26,00	15,00	0,37	26	
2300022231	Brejo Santo	53,00	22,70	0,333	11,2	670,00
2300022234	Brejo Santo	58,00	22,00	2,135	12	
2300022235	Brejo Santo	62,00	25,00		79	
2300022236	Brejo Santo		8,65	0,385		104,50
2300022237	Brejo Santo	44,00	5,00		15	318,00
2300022240	Brejo Santo		5,68			335,00
2300022245	Brejo Santo			1,266		

2300022246	Brejo Santo	12,50	4,60	0,186	10	428,00
2300022291	Brejo Santo	71,00	12,00	0,523	11	577,00
2300022506	Brejo Santo	26,22	18,57	0,137	4	713,50
2300022714	Brejo Santo	90,00	24,50	0,341	9	1317,00
2300022896	Brejo Santo	35,34	18,67		5,68	347,60
2300027487	Brejo Santo			2.326		
2300028026	Brejo Santo	66,80	60,00		15,82	
2300028032	Brejo Santo			0,671		
2300029821	Brejo Santo	75,00	68,00	0,957	4,7	
2300029822	Brejo Santo	38,50	27,00	0,04	11	
2300029823	Brejo Santo	61,80	2,50	0,702	2,4	
2300030741	Brejo Santo	67,00	10,00	0,248	40	
2300030742	Brejo Santo	168,00	23,00	0,202	36	
2300030750	Brejo Santo	100,00	10,00	0,496	18,2	
2300030763	Brejo Santo	66,00	5,50	3.587	30	
2300030775	Brejo Santo	48,17	25,43	0,227	81,56	
2300030801	Brejo Santo	270,00	185,00	0,654	19,3	
2300030814	Brejo Santo	69,00	30,80	0,749	25	
2300030842	Brejo Santo	28,63	15,27	0,645	10	
2300030844	Brejo Santo	55,00	24,00	0,749	20	
2300030845	Brejo Santo	28,63	15,27	0,437	10	
2300030846	Brejo Santo	78,00	15,70		27,2	
2300039418	Brejo Santo			0,006		
2300039419	Brejo Santo	110,00	5,80		0,67	
2300039420	Brejo Santo			0,009		
2300039421	Brejo Santo	96,00	11,00	0,89	0,8	
2300039423	Brejo Santo	41,67	28,19	0,097	12	
2300039424	Brejo Santo	93,10	56,50	1.761	3,55	
2300039425	Brejo Santo	41,87	36,05		10,25	
2300039768	Brejo Santo			2,4		
2300040547	Brejo Santo	22,50	20,00		6	
2300014380	Crato	43,50	43,50	0,306	3,52	
2300014822	Crato	47,00	47,00	2.828	11,31	
2300014824	Crato					387,00
2300014880	Crato	26,10	26,10	50	5	
2300014885	Crato	68,00	68,00			
2300014889	Crato	44,00	44,00	8	8	
2300014893	Crato	75,00	75,00		4	
2300014895	Crato	10,00	10,00	6	6	
2300014899	Crato	20,00	20,00		22,6	
2300014923	Crato	32,50	32,50	1.257	17,6	
2300019294	Crato	53,60	53,60	5.714	12	175,00
2300020083	Crato	78,50	78,50	0,084	2.475	
2300020084	Crato	20,00	20,00	2,64	15,84	
2300020190	Crato	36,60	36,60	0,07	2,2	460,00
2300020204	Crato	81,00	81,00	8.333	50	
2300020215	Crato	18,46	18,46	2,99	26.219	
2300020220	Crato	44,13	44,13	3.281	14,14	1433,00
2300020291	Crato	28,00	28,00	0,72	14,4	
2300020292	Crato	23,37	23,37	2.633	17,22	
2300020293	Crato	90,00	90,00	0,018	0,3	
2300020295	Crato	132,00	132,00	1	26,55	
2300020296	Crato	44,12	44,12	3.288	14,14	
2300020873	Crato	146,00	146,00	2.067	6,2	26,30
2300021039	Crato	120,00	120,00	0,5	5	
2300021434	Crato	52,54	52,54	4.346	5,78	
2300021907	Crato	52,00	52,00			
2300021908	Crato	58,32	58,32	1.198	38,8	
2300022273	Crato	12,00	12,00	4.333	13	146,00
2300022274	Crato	9,00	9,00	3,5	14	323,00
2300022275	Crato	16,00	16,00	2.167	13	165,00
2300022298	Crato	10,00	10,00	5	5	
2300022307	Crato	104,00	104,00	0,244	10	
2300022463	Crato	53,00	53,00	1.429	25	
2300022496	Crato	15,00	15,00	2	12	246,00
2300022603	Crato	57,15	57,15	2,09	10,7	
2300022710	Crato	50,33	50,33	0,521	8	
2300022846	Crato	40,00	40,00	0,047	1,5	
2300022906	Crato	59,36	59,36	1.415	6	69,10
2300022907	Crato	7,41	7,41	3.478	13,6	178,90
2300023098	Crato	114,81	114,81	3	64,5	
2300027271	Crato	11,90	11,90	0,341	2,9	
2300027728	Crato	9,20	9,20	0,365	1,9	
2300027730	Crato	95,60	95,60	0,002	0,2	
2300028273	Crato	190,00	190,00	0,027	3	
2300028274	Crato	80,00	80,00	0,019	0,5	

2300034483	Crato	41,60	41,60	1.195	41,7	
2300034503	Crato	98,25	98,25	1.143	30	
2300034534	Crato	21,00	21,00	5.556	50	
2300034536	Crato	45,35	45,35	1.057	6,5	
2300034559	Crato	59,95	59,95	0,495	22	
2300034570	Crato	52,12	52,12	0,897	40	
2300036818	Crato	25,35	25,35	1.305	25	
2300037829	Crato	48,00	48,00	1.538	40	
2300039589	Crato	58,21	58,21	0,066	3	
2300039762	Crato	55,00	55,00	0,645	20	
2300039766	Crato	50,67	50,67	0,079	2,12	
2300010372	Jardim	31,60	19,50	0,727	8,8	700,00
2300018833	Jardim	54,00	4,25	0,062	3,09	1127,00
2300022232	Jardim	78,00	67,00	1.818	20	
2300026735	Jardim	47,50	31,80	1.274	20	
2300032594	Jardim	104,00	57,00	0,532	25	
2300032595	Jardim	90,00	60,00	0,333	10	
2300010069	Jati	13,00	2,80	1.892	19,3	675,00
2300019699	Jati	56,20	10,30	0,98	45	
2300019742	Jati	33,00	3,70	0,819	24	
2300019743	Jati	52,00	22,00	0,02	0,6	
2300019744	Jati	32,00	7,30	0,927	22,9	
2300019745	Jati	42,00	13,00	0,724	21	
2300019746	Jati	34,50	20,00	1.607	23,3	
2300019747	Jati	30,00	19,00	0,273	3	
2300019748	Jati	52,00	3,60	0,661	32	
2300019749	Jati	35,00	4,00	0,139	4,3	
2300020056	Jati	43,00	14,00	0,345	10	713,00
2300020058	Jati	43,18	11,85	0,223	7	475,00
2300020059	Jati	42,10	10,80	0,256	8	460,00
2300020738	Jati	22,27	13,94	2.401	20	127,00
2300021316	Jati	35,50	7,50	0,456	12,77	
2300022111	Jati	24,00	3,00	0,476	10	517,00
2300022955	Jati	70,00	23,00	0,532	25	
2300032604	Jati	50,00	26,00	1.458	35	
2300001373	Juazeiro do Norte	17,00	8,00	2.044	18,4	
2300001521	Juazeiro do Norte	46,60	44,60	2,78	5,55	
2300001628	Juazeiro do Norte	38,00	28,00	0,8	8	
2300001629	Juazeiro do Norte	15,00	7,00	3	24	
2300001630	Juazeiro do Norte	62,00	50,00	0,4	4,8	
2300001664	Juazeiro do Norte	36,00	1,70		4,5	
2300014460	Juazeiro do Norte	53,00	22,00	1.452	45	362,00
2300014461	Juazeiro do Norte				7	266,00
2300014474	Juazeiro do Norte		31,00		0,4	
2300014479	Juazeiro do Norte	66,14	48,74	1	17.398	52,30
2300014653	Juazeiro do Norte	38,18	14,90	4.296	100	385,20
2300014654	Juazeiro do Norte	32,98	19,88	5.647	73,98	433,60
2300014656	Juazeiro do Norte	33,01	20,04	10.245	132,88	363,60
2300014658	Juazeiro do Norte	36,49	17,98	5.757	106,56	353,00
2300014660	Juazeiro do Norte	28,99	0,00	4.139	120	353,00
2300014661	Juazeiro do Norte	44,12	15,88	1.476	41,68	
2300014662	Juazeiro do Norte	52,18	30,63	4.468	96,28	521,10
2300014663	Juazeiro do Norte	40,38	34,60	8.304	48	165,40
2300014664	Juazeiro do Norte	23,23	17,32	9.572	56,57	131,75
2300014665	Juazeiro do Norte	20,44	10,53	6,66	66	169,00
2300014666	Juazeiro do Norte	25,26	15,41	11,09	109,24	217,30
2300014667	Juazeiro do Norte	23,36	12,34	5.265	58,02	173,50
2300014668	Juazeiro do Norte	45,25	20,45	9.523	236,16	250,30
2300014669	Juazeiro do Norte	28,78	14,56	6.188	88	141,92
2300014954	Juazeiro do Norte	14,28	4,71	20,69	198	165,40
2300014959	Juazeiro do Norte	38,58	32,34	3.561	22,22	96,53
2300014960	Juazeiro do Norte	32,00	15,00	2.941	50	382,30
2300014984	Juazeiro do Norte	25,00	10,00	1	15	277,00
2300014986	Juazeiro do Norte	54,00	36,60	1.898	33,02	
2300015005	Juazeiro do Norte	94,00	24,00	0,229	16	250,00
2300015006	Juazeiro do Norte	89,42	51,83	1,33	50	200,00
2300020010	Juazeiro do Norte	43,93	8,00	1.002	36	425,50
2300020011	Juazeiro do Norte	45,39	4,53	0,923	37,71	875,80
2300020012	Juazeiro do Norte	11,46	0,00	4,32	49,51	151,49
2300020013	Juazeiro do Norte	35,32	24,26	3.978	44	248,10
2300020042	Juazeiro do Norte	24,00	7,00	0,182	3,1	720,00
2300020043	Juazeiro do Norte	27,00	8,00	0,395	7,5	210,00
2300020044	Juazeiro do Norte	40,00	13,00	0,193	5,2	160,00
2300020046	Juazeiro do Norte	37,50	6,00	0,162	5,1	370,00
2300020311	Juazeiro do Norte	90,00	64,00	0,338	8,8	
2300020612	Juazeiro do Norte	61,95	61,27	3.353	2,28	107,00

2300020613	Juazeiro do Norte	72,89	63,00	3.943	39	121,80
2300020614	Juazeiro do Norte	73,72	69,00	3.648	17,22	148,50
2300020615	Juazeiro do Norte	25,51	17,30	3,71	30,46	
2300020632	Juazeiro do Norte	20,27	9,00	0,266	3	181,81
2300020891	Juazeiro do Norte	30,00	19,00	1.364	15	185,50
2300020893	Juazeiro do Norte	68,80	3,50	0,035	2,3	356,60
2300020894	Juazeiro do Norte	56,00	13,30	0,126	5,4	189,00
2300020895	Juazeiro do Norte	78,00	57,00	0,595	12,5	205,60
2300020896	Juazeiro do Norte	78,93	76,65	3.772	8,6	
2300021027	Juazeiro do Norte		65,00		5	
2300021118	Juazeiro do Norte	46,36	20,00	0,036	0,96	256,60
2300021119	Juazeiro do Norte	42,00	28,00	1.071	15	190,10
2300021120	Juazeiro do Norte	60,00	25,00	0,086	3	324,20
2300021121	Juazeiro do Norte	94,00	44,00	0,12	6	85,60
2300021122	Juazeiro do Norte	65,00	22,00	0,233	10	20,50
2300021123	Juazeiro do Norte	14,75	5,45	0,86	8	452,20
2300021124	Juazeiro do Norte	37,00	25,00	1.667	20	162,60
2300021125	Juazeiro do Norte	42,00	16,00	0,231	6	233,50
2300021126	Juazeiro do Norte	16,79	7,00	0,306	3	
2300021153	Juazeiro do Norte	20,51	12,00	0,141	1,2	
2300021154	Juazeiro do Norte	54,20	45,00	1.685	15,5	
2300021155	Juazeiro do Norte	33,57	4,10	0,117	3,44	191,50
2300021156	Juazeiro do Norte	15,10	7,30	1.538	12	286,40
2300021157	Juazeiro do Norte	19,75	17,70	3.546	7,27	114,40
2300021314	Juazeiro do Norte	69,29	58,49	2,82	30,46	100,00
2300021315	Juazeiro do Norte	44,40	27,75	2.798	46,59	116,20
2300021317	Juazeiro do Norte	94,23	73,00	0,848	18	85,20
2300021318	Juazeiro do Norte	54,82	43,27	1.558	18	119,50
2300021360	Juazeiro do Norte	49,95	39,98	4.125	41,13	70,12
2300021361	Juazeiro do Norte	57,38	42,05	3.162	48,47	90,31
2300021362	Juazeiro do Norte	77,45	60,00	3.438	60	276,50
2300021363	Juazeiro do Norte	31,42	22,90	4.425	37,7	145,00
2300021391	Juazeiro do Norte	58,19	33,12	3.949	99	435,20
2300021413	Juazeiro do Norte	44,57	41,69	1.215	3,5	
2300021414	Juazeiro do Norte	17,65	12,90	2.166	10,29	
2300021415	Juazeiro do Norte	18,08	4,83	0,755	10	
2300021416	Juazeiro do Norte	17,12	12,64	2.232	10	
2300021750	Juazeiro do Norte	36,87	30,00	3.843	26,4	58,00
2300021905	Juazeiro do Norte	64,00	39,40	0,325	8	
2300021906	Juazeiro do Norte	21,80	20,90	11.778	10,6	
2300022122	Juazeiro do Norte	36,00	14,21	1.262	27,5	
2300022178	Juazeiro do Norte	78,00	60,00	0,833	15	1915,00
2300022179	Juazeiro do Norte	35,00	31,00	1.275	5,1	242,00
2300022180	Juazeiro do Norte	20,00	16,00	2,5	10	190,00
2300022181	Juazeiro do Norte	36,00	28,00	0,513	4,1	241,00
2300022233	Juazeiro do Norte	72,00	56,00	1.875	30	
2300022267	Juazeiro do Norte	112,00	84,59	0,406	11,12	
2300022454	Juazeiro do Norte	68,00	32,60	4.237	150	
2300022455	Juazeiro do Norte	52,00	38,00	3.571	50	
2300022456	Juazeiro do Norte	40,41	27,00	5.369	72	86,62
2300022457	Juazeiro do Norte	32,00	8,50	1.489	35	
2300022467	Juazeiro do Norte	60,00	12,00	0,104	5	
2300022619	Juazeiro do Norte	69,98	69,20	2.308	1,8	80,29
2300022737	Juazeiro do Norte	74,18	44,60	1.247	36,9	
2300022793	Juazeiro do Norte	44,00	26,51	1.579	27,61	
2300022796	Juazeiro do Norte	117,98	84,75	0,723	24,03	
2300022884	Juazeiro do Norte	38,00	18,00	2	40	
2300022885	Juazeiro do Norte	58,00	40,60	4.023	70	
2300022886	Juazeiro do Norte	72,00	60,00	3.333	40	
2300022887	Juazeiro do Norte	50,00	24,10	3.089	80	
2300022903	Juazeiro do Norte	20,00	3,50	0,909	15	402,00
2300022904	Juazeiro do Norte	72,00	46,00	0,027	0,7	103,00
2300023099	Juazeiro do Norte	84,28	62,15	6,01	133	407,30
2300023507	Juazeiro do Norte	85,00	62,00	5.652	130	
2300023508	Juazeiro do Norte	21,00	7,00	4.286	60	
2300023509	Juazeiro do Norte	40,00	10,70	2.389	70	
2300023510	Juazeiro do Norte	65,00	48,00	4.706	80	
2300026741	Juazeiro do Norte	74,90	7,30	0,148	10	
2300026743	Juazeiro do Norte	74,10	14,00	0,012	0,7	
2300033444	Juazeiro do Norte	61,36	54,40	0,718	5	
2300033459	Juazeiro do Norte	35,12	28,47	0,832	5,53	
2300033467	Juazeiro do Norte	82,00	57,00	0,4	10	
2300033476	Juazeiro do Norte	54,22	38,54	1.435	22,5	
2300033478	Juazeiro do Norte	60,00	40,00	1,05	21	
2300033490	Juazeiro do Norte	22,50	9,00	4.444	60	
2300033491	Juazeiro do Norte	32,40	26,90	0,516	2,84	

2300033492	Juazeiro do Norte	28,78	21,15	0,655	5	
2300033495	Juazeiro do Norte	88,00	61,70	0,989	26	98,21
2300033496	Juazeiro do Norte	60,00	30,00	1,533	46	
2300033497	Juazeiro do Norte	58,42	49,65	1,204	10,56	
2300033500	Juazeiro do Norte	41,48	22,00	3,08	60	
2300033505	Juazeiro do Norte	52,00	12,00	0,95	38	
2300033509	Juazeiro do Norte	22,45	12,82	0,592	5,7	
2300033521	Juazeiro do Norte	30,00	4,00	0,846	22	
2300033523	Juazeiro do Norte	37,27	18,65	0,269	5	
2300033528	Juazeiro do Norte	37,42	7,15	0,396	12	
2300033530	Juazeiro do Norte	20,00	10,00	0,4	4	
2300033917	Juazeiro do Norte	76,72	68,12	0,372	3,2	
2300033919	Juazeiro do Norte	88,00	60,00	0,857	24	
2300033921	Juazeiro do Norte	36,75	22,50	0,842	12	
2300033923	Juazeiro do Norte	81,32	68,53	1,564	20	
2300033924	Juazeiro do Norte	58,20	47,00	0,643	7,2	
2300033925	Juazeiro do Norte	111,00	73,60	0,615	23	247,00
2300033929	Juazeiro do Norte	37,34	33,97	1,484	5	
2300033933	Juazeiro do Norte	36,00	27,00	2,222	20	159,50
2300033934	Juazeiro do Norte	31,20	23,60	0,632	4,8	
2300033936	Juazeiro do Norte	98,45	70,61	0,539	15	
2300033939	Juazeiro do Norte	76,00	35,09	1,646	67,32	
2300033941	Juazeiro do Norte	88,14	56,72	0,637	20	
2300033944	Juazeiro do Norte	30,00	22,00	2,75	22	
2300033947	Juazeiro do Norte	60,00	35,00	1,24	31	
2300033951	Juazeiro do Norte	93,63	63,48	0,498	15	
2300033953	Juazeiro do Norte	28,87	26,55	2,802	6,5	
2300033956	Juazeiro do Norte	47,95	40,27	2,083	16	
2300033959	Juazeiro do Norte	43,38	28,37	1,199	18	
2300033960	Juazeiro do Norte	53,00	40,00	1,077	14	
2300033964	Juazeiro do Norte	48,60	35,80	0,945	12,1	
2300033968	Juazeiro do Norte	40,00	20,00	1	20	
2300033973	Juazeiro do Norte	2,20	0,40	0,833	1,5	
2300033978	Juazeiro do Norte	111,75	71,23	0,444	18	
2300033979	Juazeiro do Norte	62,00	40,00	0,864	19	
2300033982	Juazeiro do Norte	39,00	30,00	3,667	33	103,00
2300033983	Juazeiro do Norte	59,00	45,30	1,241	17	
2300033984	Juazeiro do Norte	38,00	25,00	1,692	22	
2300033985	Juazeiro do Norte	54,22	38,54	1,435	22,5	
2300033987	Juazeiro do Norte	82,00	52,43	1,024	30,28	
2300033988	Juazeiro do Norte	24,75	9,20	0,161	2,5	
2300033989	Juazeiro do Norte	42,12	35,60	1,472	9,6	
2300033990	Juazeiro do Norte	88,00	61,70	1,125	29,58	
2300033991	Juazeiro do Norte	2,20	0,70	2,333	3,5	
2300033993	Juazeiro do Norte	46,65	26,50	0,179	3,6	
2300033994	Juazeiro do Norte	79,00	51,39	1,226	33,86	
2300033995	Juazeiro do Norte	62,20	55,50	0,645	4,32	
2300033999	Juazeiro do Norte	47,69	43,35	4,47	19,4	
2300034000	Juazeiro do Norte	60,00	50,00	4,5	45	
2300034003	Juazeiro do Norte	40,00	30,00	2	20	
2300034004	Juazeiro do Norte	40,00	32,00	2,5	20	
2300034007	Juazeiro do Norte	42,00	33,50	0,588	5	
2300034013	Juazeiro do Norte	50,22	40,86	1,923	18	
2300034014	Juazeiro do Norte	35,00	24,00	0,227	2,5	
2300034015	Juazeiro do Norte	35,00	24,00	0,618	6,8	
2300034016	Juazeiro do Norte	40,00	18,00	0,455	10	
2300034020	Juazeiro do Norte	34,50	28,00	1,246	8,1	
2300034021	Juazeiro do Norte	39,63	28,78	2,47	26,8	
2300034022	Juazeiro do Norte	33,00	23,00	0,28	2,8	
2300034023	Juazeiro do Norte	8,60	8,00	19,417	11,65	
2300034024	Juazeiro do Norte	22,00	9,00	1,154	15	
2300034027	Juazeiro do Norte	21,70	18,00	1,081	4	
2300034028	Juazeiro do Norte	9,67	3,95	0,734	4,2	
2300034030	Juazeiro do Norte	39,00	11,25	1,02	28,3	
2300034032	Juazeiro do Norte	60,00	5,50	0,706	38,5	
2300034035	Juazeiro do Norte	46,75	35,50	0,516	5,8	
2300034036	Juazeiro do Norte	36,40	28,50	0,443	3,5	
2300037106	Juazeiro do Norte	42,00	33,50	0,588	5	
2300038167	Juazeiro do Norte	40,00	15,00	0,002	0,06	
2300001423	Mauriti	28,00	6,00	0,27	6	
2300002850	Mauriti				56,7	
2300002854	Mauriti	36,00	11,00		15,8	
2300002855	Mauriti	47,00	31,10		14,4	
2300002856	Mauriti	16,00	1,20		4,1	
2300002859	Mauriti	42,00	5,00		2,2	
2300002863	Mauriti	32,00	2,30		15	

2300002864	Mauriti	42,00	25,80		9,9	
2300002865	Mauriti	48,00	14,00		0,6	
2300015611	Mauriti	17,00	8,00	0,444	4	1380,00
2300015614	Mauriti	62,00	8,00	0,926	50	184,00
2300018631	Mauriti	86,30	72,70	0,066	0,9	1807,00
2300019185	Mauriti	84,00	53,00	1,452	45	468,00
2300019318	Mauriti	35,42	20,00	1,946	30	171,00
2300019319	Mauriti	18,94	5,80	2,283	30	177,00
2300019639	Mauriti	20,00	6,00	3,571	50	
2300019688	Mauriti	71,66	34,00	0,876	33	127,00
2300019689	Mauriti	69,00	28,00	1,22	50	288,00
2300019690	Mauriti	72,00	42,00	2,4	72	186,00
2300020048	Mauriti	53,00	18,30	0,035	1,2	990,00
2300020049	Mauriti	24,50	16,50	2	16	220,00
2300020050	Mauriti	53,00	20,00	0,109	3,6	850,00
2300020227	Mauriti	48,00	1,00	1,134	53,28	
2300020231	Mauriti	46,00	0,00	0,235	10,8	
2300020233	Mauriti	78,00	30,40	0,016	0,75	
2300020235	Mauriti	90,00	0,00	0,194	17,44	
2300020236	Mauriti	90,00	52,60	0,126	4,7	
2300020237	Mauriti	66,00	28,60	0,072	2,7	
2300020238	Mauriti	60,00	11,60	0,135	6,51	
2300020239	Mauriti	54,00	8,10	0,624	28,63	
2300020242	Mauriti	60,00	18,00	0,155	6,5	
2300020243	Mauriti	84,00	0,00	0,254	21,31	160,00
2300020244	Mauriti	58,00	3,00	0,138	7,6	
2300020245	Mauriti	42,00	0,50	0,359	14,9	
2300020246	Mauriti	118,00	28,00	0,034	3,1	
2300020247	Mauriti	90,00	0,00	0,304	27,4	
2300021159	Mauriti	52,00	40,00	0,5	6	
2300021160	Mauriti	16,00	6,00	0,3	3	30,80
2300021161	Mauriti	36,00	27,00	0,333	3	309,00
2300021311	Mauriti	70,19	55,52	1,384	20,31	210,00
2300021312	Mauriti	30,89	9,37	2,629	56,57	302,00
2300021313	Mauriti	37,20	33,57	2,204	8	253,00
2300021444	Mauriti	46,00	25,00	0,714	15	354,60
2300021450	Mauriti	91,50	74,00	0,034	0,6	239,00
2300021452	Mauriti	38,88	2,00	0,054	2	564,00
2300021454	Mauriti	38,60	3,00	0,011	0,4	341,00
2300021487	Mauriti	50,00	17,40	0,552	18	295,00
2300021488	Mauriti	55,00	3,00	0,019	1	
2300021489	Mauriti	35,00	11,00	0,625	15	
2300021490	Mauriti	41,00	36,00	1,6	8	
2300021491	Mauriti	26,30	0,00	1,141	30	
2300022140	Mauriti	84,00	59,00	1,6	40	
2300022191	Mauriti	34,36	12,30	2,992	66	
2300022192	Mauriti	81,32	68,53	1,564	20	
2300022451	Mauriti	72,00	20,00	0,385	20	
2300022452	Mauriti	52,00	12,30	1,008	40	
2300022464	Mauriti	54,00	10,00	0,014	0,6	784,00
2300022465	Mauriti	50,00	12,00	0,053	2	639,00
2300022466	Mauriti	48,00	22,00	0,577	15	225,00
2300022709	Mauriti	63,00	2,60	0,993	60	
2300022869	Mauriti	47,00	10,00	0,405	15	
2300022889	Mauriti	94,72	73,50	0,097	2,05	251,20
2300022890	Mauriti	77,89	58,25	0,018	0,35	
2300022892	Mauriti	94,45	76,86	0,114	2	126,90
2300022893	Mauriti	32,86	29,50	1,646	5,53	675,90
2300022905	Mauriti	90,00	9,50	0,124	10	566,00
2300033399	Mauriti	79,76	8,30	0,784	56	
2300036137	Mauriti	54,15	43,50	1,775	18,9	
2300036194	Mauriti	61,05	59,00	2,439	5	
2300036202	Mauriti	50,00	20,00	1,067	32	
2300036210	Mauriti	38,89	21,70	1,304	22,42	
2300036221	Mauriti	43,20	18,50	3,599	88,9	
2300036227	Mauriti	63,55	61,00	21,569	55	
2300036989	Mauriti	50,00	20,00	1,067	32	
2300038126	Mauriti	85,23	59,00	1,372	36	
2300001449	Milagres	54,00	3,40	0,16	7,92	
2300001451	Milagres	55,00	22,50	0,14	4,4	
2300001453	Milagres				12,18	
2300001627	Milagres	28,00	7,00	0,57	12	
2300001659	Milagres	16,00	6,00	0,3	3	
2300002289	Milagres	19,00	2,30		22	
2300002884	Milagres	28,00	7,00		0,57	
2300002885	Milagres				0,1	

2300002888	Milagres				2,4	
2300017692	Milagres	97,50	20,00	0,181	14	3100,00
2300017702	Milagres	52,00	5,00	0,34	16	
2300017713	Milagres	53,00	19,00	0,441	15	
2300017714	Milagres	50,21	23,00	0,426	11,6	750,00
2300019316	Milagres	60,00	12,00	1,458	70	190,00
2300019317	Milagres	59,00	44,60	1,25	18	240,00
2300020025	Milagres	40,21	13,26	0,148	4	815,00
2300020442	Milagres	73,00	27,00	0,283	13	
2300020500	Milagres	90,00	4,00	0,417	35,9	
2300020616	Milagres	11,31	2,80	4,912	41,8	447,00
2300020658	Milagres	22,28	8,00	0,406	5,8	
2300020659	Milagres	15,71	11,00	2,718	12,8	
2300021100	Milagres	38,03	32,00	1,824	11	
2300021443	Milagres	72,00	10,00	0,032	2	389,00
2300022075	Milagres	55,00	0,00	0,273	15	
2300022135	Milagres	16,54	10,80	2,091	12	1573,30
2300022230	Milagres	82,00	37,00	0,512	23,05	
2300022598	Milagres	55,22	48,50	0,536	3,6	1040,60
2300022891	Milagres	44,45	26,78	0,313	5,53	100,50
2300022894	Milagres	26,02	18,62	0,768	5,68	133,60
2300022970	Milagres	46,00	15,00	0,016	0,5	
2300023516	Milagres	30,00	7,00	1,087	25	
2300023518	Milagres	34,00	18,00	0,563	9	
2300023519	Milagres	35,00	1,90	0,091	3	
2300032232	Milagres	22,72	12,00	0,224	2,4	1223,00
2300032233	Milagres	44,33	15,00	1	29,33	570,00
2300036007	Milagres	88,00	2,00	0,222	20	
2300036012	Milagres	29,00	0,00	2,069	60	96,00
2300036013	Milagres	64,00	17,00	0,234	11	80,00
2300001665	Missão Velha	126,00	95,00	0,1	3,25	
2300002891	Missão Velha				52,8	
2300002892	Missão Velha	58,00	46,40	0,284	3,3	
2300002896	Missão Velha	50,00	36,50		6	
2300002898	Missão Velha	48,00	11,40	0,227	8,3	
2300002901	Missão Velha	46,50	42,00		5,1	
2300008548	Missão Velha	49,30	40,00	1,129	10,5	
2300010395	Missão Velha	8,00	3,30	4,553	21,4	
2300010396	Missão Velha	46,50	42,00	1,133	5,1	
2300010403	Missão Velha	27,00	21,00	3,3	19,8	780,00
2300010413	Missão Velha	16,85	1,38	1,089	16,85	
2300020216	Missão Velha	20,93	2,50	8,595	158,4	124,00
2300020248	Missão Velha	62,30	12,80	0,392	19,4	
2300020294	Missão Velha	48,00	15,00	0,035	1,16	
2300020307	Missão Velha	17,76	9,70	0,993	8	
2300020308	Missão Velha	22,00	10,00	0,833	10	
2300020309	Missão Velha	19,00	12,90	2,131	13	
2300020316	Missão Velha	13,80	1,00	4,063	52	
2300020617	Missão Velha	56,00	19,00	1,351	50	
2300020630	Missão Velha	22,20	7,30	0,685	10,2	122,00
2300020631	Missão Velha	42,90	30,50	0,435	5,4	180,00
2300020897	Missão Velha	93,00	23,00	0,429	30	225,40
2300021334	Missão Velha	27,37	10,70	1,827	30,46	
2300021335	Missão Velha	25,00	8,00	1,212	40	700,00
2300021336	Missão Velha	15,81	11,40	1,633	7,2	458,00
2300021929	Missão Velha	50,00	3,00	0,028	1,3	921,00
2300022136	Missão Velha				25	
2300022137	Missão Velha	65,00	37,00	0,714	20	
2300022138	Missão Velha				8	
2300022154	Missão Velha	17,61	11,08	1,81	11,82	1027,60
2300022238	Missão Velha	31,00	18,00	1,385	18	352,00
2300022296	Missão Velha	84,00	45,69	2,094	80,22	
2300022593	Missão Velha	37,04	36,10	5,745	5,4	468,90
2300022599	Missão Velha	42,69	41,22	3,197	4,7	449,70
2300022909	Missão Velha	9,90	6,20	3,465	12,82	463,10
2300023517	Missão Velha	31,00	5,80	0,238	6	
2300028540	Missão Velha	59,00	6,00	0,013	0,7	
2300028541	Missão Velha	66,80	58,50	1,988	16,5	
2300028542	Missão Velha	47,00	39,00	2,413	19,3	
2300032231	Missão Velha	44,00	9,00	0,206	7,2	170,30
2300036050	Missão Velha	56,20	55,60	8,333	5	
2300036292	Missão Velha	30,00	6,00	4,167	100	
2300036294	Missão Velha	14,00	4,00	1	10	
2300036295	Missão Velha	56,00	42,00	1,143	16	
2300036296	Missão Velha	79,00	47,80	2,564	80	
2300036297	Missão Velha	60,00	40,00	0,75	15	

2300036298	Missão Velha	76,00	49,00	2.963	80	
2300036299	Missão Velha	79,00	53,00	3.077	80	
2300036300	Missão Velha	77,00	51,70	3.162	80	
2300036301	Missão Velha	72,00	53,00	4.211	80	
2300036325	Missão Velha	28,87	22,48	1.324	8,46	
2300036327	Missão Velha	55,30	42,50	0,273	3,5	
2300036328	Missão Velha	53,50	41,50	0,25	3	
2300039422	Missão Velha	138,50	91,50	0,162	7.615	
2300039767	Missão Velha	120,00	96,00	0,063	1,5	
2300018880	Nova Olinda	75,00	36,50	0,006	0,22	3016,00
2300019189	Nova Olinda	84,20	45,00	0,352	13,8	3950,00
2300019190	Nova Olinda	84,00	56,00	0,589	16,5	1130,00
2300019192	Nova Olinda	105,00	73,45	0,013	0,4	875,00
2300019633	Nova Olinda	58,00	10,50	0,014	0,66	1001,00
2300019634	Nova Olinda	69,00	2,40	0,002	0,1	948,00
2300019635	Nova Olinda	65,00	15,00	0,008	0,4	4482,00
2300020026	Nova Olinda	66,30	18,90	0,485	23	858,60
2300020027	Nova Olinda	47,93	15,15	0,702	23	872,60
2300021344	Nova Olinda	57,94	5,89	0,206	10,7	270,30
2300021345	Nova Olinda	58,28	14,12	0,299	13,2	108,90
2300021346	Nova Olinda	58,04	11,23	0,22	10,29	247,50
2300022153	Nova Olinda	35,00	5,00	0,667	20	875,50
2300022474	Nova Olinda	65,00	26,00	0,044	1,7	696,00
2300022475	Nova Olinda	59,00	49,00	1,4	14	631,00
2300022476	Nova Olinda	40,00	14,00	0,1	2,6	659,00
2300022684	Nova Olinda	57,00	22,00	0,114	4	
2300022685	Nova Olinda	55,00	13,00	0,476	20	
2300022958	Nova Olinda	60,00	30,00	0,2	6	
2300029481	Nova Olinda	79,50	24,00	0,04	2,2	
2300034284	Nova Olinda	71,03	36,00	0,09	3,16	
2300001658	Porteiras	95,00	52,00	0,14	6,2	
2300010287	Porteiras	92,00	70,00	2.273	50	430,00
2300019149	Porteiras	60,00	56,00	10	40	622,00
2300019150	Porteiras	47,10	45,00	23,81	50	579,00
2300019151	Porteiras	81,00	77,00	7,5	30	412,00
2300019152	Porteiras	74,00	67,00	4.286	30	363,00
2300019575	Porteiras	114,00	110,00	2,5	10	980,00
2300019786	Porteiras	132,00	118,00	1.286	18	
2300019787	Porteiras	60,00	38,00	1.136	25	
2300019789	Porteiras	46,00	38,00	3,25	26	
2300019790	Porteiras	38,00	10,00	1.329	37,2	
2300019791	Porteiras	18,00	7,00	2,4	26,4	
2300020474	Porteiras	37,00	34,00	1.667	5	278,20
2300020475	Porteiras	31,50	30,00	13.333	20	431,20
2300020988	Porteiras	110,00	90,00	2,1	42	150,00
2300021865	Porteiras	104,00	55,00	0,122	6	858,00
2300021866	Porteiras	135,00	80,00	0,022	1,2	655,00
2300022042	Porteiras	102,00	83,00	1.579	30	631,00
2300022453	Porteiras	97,00	87,00	6	60	
2300022478	Porteiras	110,00	70,00	0,85	34	
2300035360	Porteiras	42,00	35,00	10	70	
2300035365	Porteiras	73,51	69,58	5.303	20,84	
2300035367	Porteiras	89,12	82,82	2.517	15,86	
2300035368	Porteiras	60,00	40,00	1,3	26	
2300035369	Porteiras	50,15	36,48	5.157	70,5	
2300035371	Porteiras	42,00	35,00	7.143	50	
2300035373	Porteiras	46,32	36,55	6.141	60	
2300036707	Porteiras	58,53	28,50	1.665	50	
2300007062	Santana do Cariri				0,2	1439,00
2300019193	Santana do Cariri	86,00	58,00	0,207	5,8	826,00
2300020086	Santana do Cariri	530,00	453,00	1.494	115	
2300020087	Santana do Cariri	128,70	79,35	4.053	200	

Apêndice B – Tabela síntese das unidades geológicas da Bacia Sedimentar do Araripe (BSA)

Idade/Sequência	Unidade	Descrição
Cenozoico	Depósitos Aluvionares	Depósitos de sedimentos inconsolidados constituídos por seixos, areias finas a grossas, com níveis de cascalhos e argilas (PINÉO <i>et al.</i> , 2020).
Cenozoico	Depósito de Tálus recentes	Fragmentos líticos, com matriz de areia, silte e argila (PINÉO <i>et al.</i> , 2020).
Cenozoico	Depósito Colúvio-eluviais	Depósitos de areia, areia argilosa e argilas (PINÉO <i>et al.</i> , 2020).
		Assine (2007) Fambrini <i>et al.</i> (2020)
		<i>Exu</i> : Arenitos contínuos que recobrem toda a extensão da Chapada do Araripe, com altitude sub-horizontal. Arenitos vermelho alaranjados friáveis, argilosos, com porções caulínicas. Leitões intercalados de arenitos grossos e conglomerados. Arenitos conglomeráticos na base que evoluem para arenitos grossos; topo com fácies pelíticas. Sistema fluvial interlaçado. Afossilífera.
Cretáceo Superior	Formação Exu	237 a 337 m de espessura.
Sequência Pós-rifte II	Formação Araripina	<i>Exu</i> : Arenitos fluviais com ciclos de granodecrescência ascendente e níveis de conglomerados/arenitos conglomeráticos na base. Fácies pelíticas preenchem canais abandonados. No Leste da BSA os arenitos são mais grossos e com mais níveis conglomeráticos. <i>Araripina</i> : Ritmitos constituídos por grãos finos e lamitos avermelhados, arroxeados e amarelados. Presença de lentes de arenitos médio/grossos, com espessuras de mais de 3 m. Sedimentação em leques aluviais.
		<i>Araripina</i> : Ritmitos constituídos por arenitos finos/argilosos e argilitos roxos e amarelos, contém corpos lenticulares de arenitos médio e grossos. Planícies de leques aluviais medianos a distais em ambiente lagunar e planície de inundação oxidantes.

Cretáceo Inferior Sequência Pós-rifte I	Formação Romualdo Formação Ipubi Formação Crato	<i>Formação Santana:</i> Mb. Crato e Romualdo.	<i>Romualdo:</i> Maior jazigo paleontológico. Arenitos intercalados com folhelhos cinza-escuros a pretos, ricos em matéria orgânica, com até 5 m; folhelhos esverdeados e margas com concreções fossilíferas (de calcário micrítico). Sedimentação em águas calmas. O topo da Fm ocorre horizonte de coquinas de 1 m e depósitos de tempestitos. O topo desse intervalo é recoberto por sedimentos siltosos/arenosos.
	<i>Ipubi:</i> Camada superior do Mb. Crato, com evaporitos.	<i>Mb. Crato:</i> Calcários micríticos laminados com mais de 20 m, com intercalação de folhelhos verdes; ambiente lacustre. Camadas de gipsita laminada com ca. 30 m.	<i>Ipubi:</i> Pacote evaporítico com gipsita, folhelhos margosos. Concentra-se na borda Oeste da Bacia, no Leste intercalam-se com folhelhos verdes/pretos e camadas arenosas finas com calcário laminado. Sistema de ação contemporânea, com fenômenos hidrotermais em deposição tipo <i>playa-lake</i> .
Cretáceo Inferior Sequência Pós-rifte I	Formação Barbalha	Arenitos finos com presença de argila ocorrem na parte superior da Fm. Santana.	<i>Crato:</i> Pacote de rochas carbonáticas com ca. 20 m. Folhelhos calcíferos interestratificados com calcários micríticos laminados e argilosos. Ocorrem folhelhos pirobetuminosos.
	Obs. Assine <i>et al.</i> (2014) interpretam como Fm. Romualdo, Ipubi e Crato.	Arenitos com intercalação de folhelhos avermelhados e níveis delgados de	Aflora nos sopés das escarpas no entorno da Chapada do Araripe. Litologias

		conglomerados. Arenitos finos/médios, friáveis, argilosos e com seixos diversos.	psamíticas e pelíticas. Folhelhos betuminosos.
		Dois ciclos fluviais com granodecrescência ascendente. O primeiro encerra com folhelhos betuminosos pretos com calcários, enquanto o segundo com arenitos e conglomerados.	A camada Batateiras é considerada um marco estratigráfico.
		<i>Camada Batateiras:</i> Ca. 10 m, com folhelhos, calcário decimétricos mineralizados com sulfetos.	
Cretáceo Inferior	Formação Abaiara	280 m. Folhelhos e siltitos vermelhos com intercalação descontínua de camadas decimétricas de arenitos finos na base da seção; em direção ao topo caracteriza por arenitos finos. Lentes de arenitos quartzosos mais grossos também ocorrem.	Alternância de arenitos finos/médios (localmente conglomeráticos) com siltitos argilosos e folhelhos verdes e vermelhos. Arenitos quartzosos com cor amarela a branco; estratigrafia cruzada.
Sequência Rifte			
Jurássico	Formação Missão Velha	200 m. Arenitos quartzosos (podendo ser feldspáticos e caulíníticos), localmente conglomeráticos e portadores de troncos e fragmentos de madeiras silicificados. Estratigrafia cruzada; ocorrem níveis decimétricos de siltitos arroxeados.	Arenosa quartzosa, feldspática e caulínítica. Localmente conglomeráticas com estratigrafia cruzada; troncos silicificados.
Sequência Pré-rifte			

			Base com arenitos finos que se gradam para arenitos grossos na parte superior; espessura de 200 m. Finas camadas de folhelhos que podem conter arenitos calcíferos.
		450 m.	450 m. Depósitos predominantemente pelíticos.
Jurássico Sequência Pré-rifte	Formação Brejo Santo	450 m. Folhelhos e lamitos vermelhos com fósseis não marinhos sugerindo deposição em ambientes lacustre.	Argilitos e folhelhos argilosos calcíferos, avermelhados, amarronzados, castanho-avermelhados, extratos bem laminados, localmente maciços, baixo grau diagenético; siltitos cinza-esbranquiçados a esverdeados; raros corpos de arenitos finos a muito finos argilosos laminados, esbranquiçados, com cimento argiloso, por vezes de granulação média com estratificações cruzadas tabulares.
Paleozoico	Formação Cariri	~100 m. Arenitos médios/muito grossos depositados em ambiente fluvial entrelaçado. Níveis de ortoconglomerados ocorrem na base, com fragmentos líticos do embasamento cristalino e clastos de feldspato róseos bem preservados.	20 a 60 cm. Arenitos de cor branca, amarela e cinza, imaturos, com grãos angulosos e subangulosos, médios a grossos, bem litificados e níveis conglomeráticos (podendo conter fragmentos líticos do embasamento).

Na porção inferior predominam arenitos arcóseos brancos a róseos, com granulação média a muito grossa, muitas vezes com níveis conglomeráticos.

Na porção basal a ocorrência de níveis de conglomerados com fragmentos líticos do embasamento e feldspatos é mais comum. Em direção ao topo, os arenitos arcoseanos gradam para arenitos quartzosos branco-acinzentados, que apresentam granulação média a grossa, por vezes com seixos de quartzo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSINE, M. L. (2007). Bacia do Araripe. Boletim de Geociências da Petrobras 15(2): 371–389.

ASSINE, M. L.; PERINOTTO, J. A. J.; CUSTÓDIO, M. A.; NEUMANN, V. H. M. L.; VAREJÃO, F. G.; MESCOLOTTI, P. C. (2014). Sequências deposicionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Boletim de Geociências da Petrobras 22(1): 3–28.

FAMBRINI G. L.; SILVESTRE, D. C.; BARRETO JUNIOR, A. M.; SILVA-FILHO, W. F. (2020). Estratigrafia da Bacia do Araripe: estado da arte, revisão crítica e resultados novos. Geologia USP. Série Científica 20(4): 169–212.

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. L. R.; FREIRE, D. P. C. (2020). Mapa Geológico do Estado do Ceará. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Ceará. Escala 1:500.000. CPRM, 1 mapa. Fortaleza, Ceará.