



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOLOGIA**

AMÂNCIO COSTA AGUIAR NETO

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO GRUPO
BARREIRAS NO EXTREMO NORTE DO LITORAL DO
ESTADO DA BAHIA**

Salvador

2020

AMÂNCIO COSTA AGUIAR NETO

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO GRUPO
BARREIRAS NO EXTREMO NORTE DO LITORAL DO
ESTADO DA BAHIA**

Monografia apresentada ao Curso
de Geologia, Instituto de Geociências,
Universidade Federal da Bahia como
requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia

Orientador(a): Prof. Dr. Luiz
Rogério Bastos Leal

Co-orientador (a): MSc. Carlos
Gleudson Campos da Purificação

Salvador
2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

AMÂNCIO COSTA AGUIAR NETO

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO GRUPO
BARREIRAS NO EXTREMO NORTE DO LITORAL DO
ESTADO DA BAHIA**

Trabalho final de graduação aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em geologia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinada:

1º Examinador – Prof (a). Dr (a). Luiz Rogério Bastos Leal

Universidade Federal da Bahia (UFBA)

2º Examinador – MSc. Luiz Henrique Guimarães Batista

Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA)

3º Examinador – MSc. Caroline Assunção Ramos.

Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Salvador, 03 de novembro de 2020

*Dedico este trabalho as pessoas que me
ajudaram a me orgulhar de quem eu sou hoje.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Vida por ter me dado a oportunidade de vivenciar, aprender e sentir os momentos que me ajudaram a alcançar os meus objetivos.

Sou grato ao meus pais, Maria das Graças Sousa e Aécio Serafim Costa, por sempre me apoiarem e me auxiliarem na minha trajetória de vida e educacional, desde o meu nascimento sempre me ensinaram da importância educação e transformação que ela pode trazer na vida das pessoas, principalmente, naquelas que o nosso sistema de sociedade desigual tira a oportunidade de experimentar.

Aos meus irmãos, Hyago e João Victor, obrigado por me ajudarem a ser uma pessoa melhor, e a meus familiares tios, tias, primos e primas, sou muito grato por me incentivarem e apoiarem durante a minha jornada.

Agradeço a Universidade Federal da Bahia e as suas políticas que cotas e assistência estudantil, que permitiram o meu ingresso e permanência durante a realização da graduação. Obrigado R.U!

A Salvador, sou grato por ter me dado a oportunidade de conhecer pessoas maravilhosas durante esses anos de permanência, meus caros amores, Brenda, João, Iago, Andreza, Lucas, Lucas Dentista, Juan, Maria, Gabi, Vítinho, Ramon, Lucas Ribas, Josi, Bel, Raquel e tantas outras pessoas especiais. Sou grato também a meus amigos de Itaobim-MG, Dani, Mozão e Jadson, meus misteriosos Jesus, Guido, Dani, Alane, Gabriel, Airton, e meus queridos da geologia Luci, Magno, Beni, Gloria, Ayana, Alessandra, Ariana, Ramon, Clara, Alana, Isadora, Suelen, Diane, Leo, Rivaldo, Liz e tantas outras pessoas especiais.

Devo gratidão a meu orientador Luiz Rogério Bastos Leal e meu coorientado Carlos Gleidson (Calabresa) que me auxiliaram e durante a elaboração deste trabalho final de graduação. A meus educadores da universidade, Henrique Assumpção, Cesar Gomos, Ana Santana, Ângela Leal, Lucas Salles, Vanderlúcia Anjos, Jailma Sousa, Maria Eloisa, Ricardo Fraga, Pablo Santos e muitos outros, sou grato por o exemplo de profissionalismo, responsabilidade e respeito que vocês me passaram.

O meu sincero obrigado a todos nesta caminhada para me tornar um Geólogo.

RESUMO

A água subterrânea no Nordeste brasileiro é uma importante fonte de abastecimento público para pequenas cidades e grande parte da população rural. Sendo assim, compreender os fatores que controlam a potencialidade dos aquíferos e a evolução hidrogeoquímica das águas se torna uma ferramenta fundamental na preservação e gestão dos desses mananciais. Esse estudo tem como objetivos avaliar a hidrogeologia das águas subterrâneas do Aquífero do Grupo Barreiras nos municípios de Aporá, Acajutiba, Cardeal da Silva, Conde, Esplanada, Entre Rios, e Jandaíra, no litoral norte do Estado da Bahia, analisando os parâmetros hidrodinâmicos dos poços tubulares e compreendendo as características hidroquímicas das águas subterrâneas da região. Para obtenção dos resultados, o trabalho utilizou dados de 117 poços tubulares do banco de dados da CERB e SIAGAS/CPRM, imagens ASTER GDEM, de resolução 30 m e a coleta e análises físico-químicas de 21 amostras de águas subterrâneas. Durante a coleta das amostras foram realizadas medições de temperatura, turbidez, condutividade elétrica, pH, e sólidos totais dissolvidos, enquanto em laboratório foram determinadas as concentrações de cátions (Ca, Mg, Na, K) e os ânions (Fe, Cl, NO₃, e SO₄), através de cromatografia iônica, enquanto a alcalinidade (HCO₃ e CO₃) foi obtida por titulação em campo. A unidade de estudo se apresenta na área como um sistema aquífero sedimentar composto por uma porção livre e outra, localmente, semi-confinado. A maioria de suas águas são tidas como doces, no entanto é vista a ocorrência de águas salobras em alguns poços, indicando influência da zona marinha próxima a região. Além de 13 amostras de água analisadas se apresentam com concentrações de nitrato acima dos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde, o que corrobora com a realização de estudos da qualidade das águas da área de trabalho. A análise, integração e interpretação dos dados obtidos para o este estudo possibilitaram a caracterização em relação a hidroquímica e a hidrodinâmica do Aquífero do Grupo Barreiras, e poderá servir de subsídio para futuros trabalhos na região do Litoral Norte da Bahia.

Palavras Chave: Grupo Barreiras; Água Subterrânea; Litoral Norte do Estado da Bahia.

ABSTRACT

Groundwater in Northeast Brazil is an important source of public supply for small towns and a large part of the rural population. Therefore, understanding the factors that control the potentiality of aquifers and the hydrogeochemical evolution of waters becomes a fundamental tool in the preservation and management of these springs. This study aims to evaluate the hydrogeology of the underground waters of the Barreiras Group Aquifer in the municipalities of Aporá, Acajutiba, Cardeal da Silva, Conde, Esplanada, Entre Rios, and Jandaíra, on the northern coast of the State of Bahia, analyzing the hydrodynamic parameters of the tubular wells and understanding the hydrochemical characteristics of the underground waters of the region. To obtain the results, the work used data from 117 tubular wells from CERB and SIAGAS/CPRM database, ASTER GDEM images, of 30 m resolution, and the collection and physical-chemical analysis of 21 underground water samples. During the sample collection, temperature, turbidity, electrical conductivity, pH, and total dissolved solids were measured, while in the laboratory the concentrations of cations (Ca, Mg, Na, K) and anions (Fe, Cl, NO₃, and SO₄) were determined by ion chromatography, while alkalinity (HCO₃ and CO₃) was obtained by field titration. The study unit is presented in the area as a sedimentary aquifer system composed of a free portion and another, locally, semi-confined portion. Most of its waters are considered sweet, however, brackish waters are seen in some wells, indicating the influence of the marine zone near the region. In addition to the 13 water samples analyzed, they present nitrate concentrations above the standards established by the Ministry of Health, which corroborates the studies of water quality in the work area. The analysis, integration and interpretation of the data obtained for this study made possible the characterization in relation to the hydrochemistry and hydrodynamics of the Aquifer of the Barreiras Group, and may serve as a subsidy for future works in the region of the Northern Coast of Bahia.

Keywords: Barreiras Group; Groundwater; Northern Coast of Bahia State.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Localização da área de estudo. | 3 |
| Figura 2 - Gráfico de temperatura (linha vermelha) e pluviosidade (barras azuis) do Município de Conde-BA..... | 4 |
| Figura 3 - Mapa de Distribuição das Classes de Solos no Litoral Norte da Bahia..... | 6 |
| Figura 4 - Tipos de vegetações e uso dos solos no Litoral Norte da Bahia..... | 8 |
| Figura 5 - Mapa de Domínios Geomorfológicos do Litoral da Bahia..... | 9 |
| Figura 6 - Divisão de RPGAs do estado da Bahia, com o polígono vermelho marcando a área de estudo..... | 11 |
| Figura 7 - Mapa das unidades geológicas regionais da área de trabalho..... | 14 |
| Figura 8 - Esquema de evolução da unidade geológica do Grupo Barreiras..... | 16 |
| Figura 9 - Mapa de Domínio Aquífero do Litoral Norte da Bahia..... | 33 |
| Figura 10 - Mapa de situação e Localização das seções hidrogeológicas 1 e 2 desenvolvidas na área de trabalho..... | 35 |
| Figura 11 - : Seção Hidrogeológica 1..... | 36 |
| Figura 12 - Seção Hidrogeológica 2..... | 36 |
| Figura 13 - Mapa de situação e Localização da seção hidrogeológica 3 desenvolvidas na área de trabalho..... | 37 |
| Figura 14 - Seção Hidrogeológica 3..... | 37 |
| Figura 15 - Bloco Diagrama de Carga Hidráulica..... | 38 |
| Figura 16 - Mapa de Fluxo Subterrâneo do Litoral Norte da Bahia..... | 39 |
| Figura 17 - Mapa de distribuição espacial das Capacidades Específicas dos Poços Tubulares..... | 41 |
| Figura 18 - Mapa de Distribuição Espacial do poços coletados para análise química..... | 45 |
| Figura 19 - Erro analítico prático do cálculo do Balanço Iônico..... | 47 |
| Figura 20 - Diagrama de Piper para a distribuição das classes de águas..... | 48 |
| Figura 21 - Mapa de distribuição das classes químicas das águas..... | 49 |
| Figura 22 - Equação para o cálculo do SAR..... | 51 |
| Figura 23 - Classificação das águas subterrâneas para a irrigação..... | 51 |
| Figura 24 - Distribuição Espacial de Ferro Total..... | 56 |
| Figura 25 - Distribuição Espacial de Nitrato..... | 57 |

LISTA DE FOTOGRAFIAS

| | |
|--|----|
| Fotografia 1 - Pacote sedimentar de argilas de cores variegadas do Grupo Barreiras em um corte de estrada baixo de um arenito coberto por uma cobertura ferruginosa..... | 18 |
| fotografia 2- (a) e (b) Mostram a unidade Geológica do Grupo Barreiras no litoral norte da Bahia, com um pacote sedimentar de argilito maciço vermelho na base do afloramento, abaixo de um pacote de argilas de cores variegadas, com capa ferruginosa, e no topo uma capa ferruginosa, e no topo uma camada de solo amarelo..... | 19 |
| Fotografia 3 - Conglomerado de matriz argilosa vermelha do Grupo Barreiras em corte de estrada no litoral norte da Bahia. | 20 |
| Fotografia 4 - Outra parte do corte do mesmo corte de estrada mostrado na Fotografia 4 com um contato entre dois arenitos separados uma fina lente conglomerática..... | 21 |
| Fotografia 5 - Corte de estrada com presença de uma capa ferruginosa marcada pelo polígono vermelho. | 22 |
| Fotografia 6 - Corte de estrada com um afloramento do Grupo Barreiras na BA-101. | 22 |
| Fotografia 7 – Captação de água do poço amazonas, BN13, pra uso na domestico. Coord. X: 612616 e Y: 8674926. | 24 |
| Fotografia 8 - Abastecimento de reservatório de água, pelo poço tubular BN01, para uso na irrigação. Coord. X:597676 e Y:8739090. | 25 |
| Fotografia 9 - Método de análise de alcalinidade sem aplicado em uma amostra de água do Aquífero Barreiras. | 28 |
| Fotografia 10 - Coleta de amostra de água no poço BN10, na localidade Comunidade Quilombola Gamboa, no município de Entre Rios. Coordenadas X: 8689468 e Y: 599464. | 42 |
| Fotografia 11 - Poços Tubular, BN07, no município de Esplanada, na localidade de Nego do Mato. Coordenadas X:8692997 e Y: 615429. | 42 |
| Fotografia 12 - Utilização da água do poço amazonas BN13, pela população do Povoado de Nova Pastora, Cardeal da Silva. Coordenadas X: 8674926 e Y: 612616. | 43 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Dados estatísticos dos parâmetros hidrogeológicos dos poços tubulares. Prof. = Profundidade; N.E.= Nível Estático; N.D. = Nível Dinâmico; Reb. = Rebaixamento; Q = Vazão de Estabilização; Sc = Capacidade Específica..... | 40 |
| Tabela 2 - Valores dos parâmetros químicos e físico-químicos das amostras coletadas em campo. | 44 |
| Tabela 3 - Balanço Iônico das amostras coletadas em etapa de campo. As amostras destacadas em negrito são as que atenderam os cálculos do balanço iônico. | 46 |
| Tabela 4 - Classificação das águas de acordo com a salinidade. As classes em negrito representam águas salobras. | 50 |
| Tabela 5 - Valores médios, maiores, menores, desvio padrão e mediana dos parâmetros químicos e físico-químicos das amostras de campo..... | 53 |
| Tabela 6 - A tabela apresenta os valores permitidos pela Portaria 2914/2011, CETESB e OMS. | 53 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 1 CONSIDERAÇÕES GERAIS | 1 |
| 1.1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS | 2 |
| 1.2.1 Objetivos Gerais..... | 2 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos..... | 2 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA | 2 |
| 1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 3 |
| 1.5 ASPÉCTOS FISIAGRÁFICOS..... | 4 |
| 1.5.1 Clima..... | 4 |
| 1.5.2 Solos..... | 5 |
| 1.5.3 Vegetação e Uso do Solo | 6 |
| 1.5.4 Geomorfologia | 8 |
| 1.5.5 Hidrografia..... | 10 |
| 1.5.6 Geologia Regional..... | 11 |
| CAPÍTULO 2 GRUPO BARREIRAS: ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS | |
| 14 | |
| 2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS | 14 |
| 2.2 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS | 22 |
| CAPÍTULO 3 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 26 |
| 2.1 MÉTODO DE ALCALINIDADE..... | 27 |
| 2.2 MÉTODO DE CROMATOGRAFIA IÔNICA | 29 |
| 2.3 MÉTODO PARA A OBTENÇÃO DOMÍNIOS AQUÍFEROS..... | 29 |
| 2.4 MÉTODO PARA O MAPEAMENTO DO FLUXO SUBTERRÂNEO DO AQUÍFERO | 30 |
| 2.5 MÉTODO PARA A CONFECÇÃO DO MAPA DE CAPACIDADES ESPECÍFICAS | 30 |
| CAPÍTULO 4 RESULTADOS E DISCURSÕES..... | 31 |
| 4.1 MAPA DE DOMÍNIO AQUÍFERO..... | 31 |
| 4.2 SEÇÕES HIDROGEOLÓGICAS | 33 |
| 4.3 MODELO DE FLUXO SUBTERRÂNEO..... | 38 |
| 4.4 CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POÇOS TUBULARES..... | 39 |
| 4.5 HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS | 41 |
| 4.6 BALANÇO IÔNICOS DAS ÁGUAS | 45 |

| | |
|---|----|
| 4.7 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA..... | 47 |
| 4.8 QUALIDADES DAS ÁGUAS PARA A IRRIGAÇÃO E SALINIDADE | 49 |
| 4.9 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E QUÍMICAS..... | 52 |
| CAPÍTULO 5 CONSIDERAÇÃO FINAIS | 58 |
| REFERÊNCIAS..... | 61 |

1.1 INTRODUÇÃO

A água desempenha um papel fundamental na sociedade, pois, além de a vida no planeta depender dela para sua existência, o seu uso é essencial para o abastecimento humano e animal, o lazer, a agropecuária, o uso industrial e entre outras atividades (ANA, 2009). Entretanto a crescente demanda global por esse recurso hídrico na agricultura, nas indústrias e no consumo humano vêm apresentando dificuldades com disponibilidade para o abastecimento, ligado ao aumento de urgências por políticas de saneamento básico (ONU, 2020). Apesar de grandes reservas hídricas superficiais e subterrâneas existentes no Brasil essas apresentam uma certa vulnerabilidade, por carências de saneamento básico e de disponibilidade de água tratada a população, com índices médios de atendimento total de água potável e esgoto em 83,6% e 53,2% (SNIS, 2018).

As águas subterrâneas desempenham um papel importante para a sociedade, uma vez que apresentam diversos fatores para o seu desempenho, a sua utilidade tem um custo mais barato, a ocorrência de maiores volumes de água em comparação com mananciais superficiais, a sua captação para consumo doméstico pode ser feita em terreno urbano e/ou rural, e a proteção a qualidade da água é maior devido ao material aquífero não saturado (Feitosa, *et al.* 2008). Desta maneira, estudos com a finalidade de averiguar a qualidade e quantidade das águas de aquíferos se tornam necessários para uma otimização do aproveitamento dos recursos hídricos.

Este trabalho desenvolvido nos municípios de Aporá, Acajutiba, Cardeal da Silva, Conde, Esplanada, Entre Rios, e Jandaíra e Rio Real no extremo norte do litoral norte do Estado da Bahia, busca o entendimento do Sistema Aquífero Barreiras, compreendendo os fatores que controlam a produtividade dos poços tubulares e caracterização hidroquímica das suas águas subterrâneas, presente na unidade geológica do Grupo Barreiras, que correspondem a um pacote de rochas sedimentares, de idade Miocênica, que se distribui do Estado do Rio de Janeiro ao Estado do Amapá (BIGARELLA, 1975). Visto a utilização das águas deste aquífero para o consumo humano, animal e irrigação por parte da população, estudos quantitativos e qualitativos se tornam necessários para melhor conhecimento desse recurso hídrico subterrâneo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Gerais

O trabalho tem como objetivo de a caracterização hidrogeológica das águas subterrâneas do Aquífero do Grupo Barreiras na parte extremo norte da região do Litoral Norte do Estado da Bahia.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantar informações de espacialização temporal dos poços tubulares que explotam água do Aquífero do Grupo Barreiras e suas características;
- Coletar amostras de águas dos poços que explotam água do Aquífero do Grupo Barreiras na região e realizar análises físico-químicas e químicas;
- Modelagem hidrogeológica a partir do modelo de fluxo subterrâneo, sessões estratigráficas, e produtividade dos poços tubulares a partir da capacidade específica;
- Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas a partir de análises químicas das águas 21 poços tubulares, feitas em laboratório;
- Determinar a qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero do Grupo Barreiras, para consumo humano, utilizando os padrões potabilidade estabelecidos pela Portaria 2914/2011, CETESB (2009) e OMS.

1.3 JUSTIFICATIVA

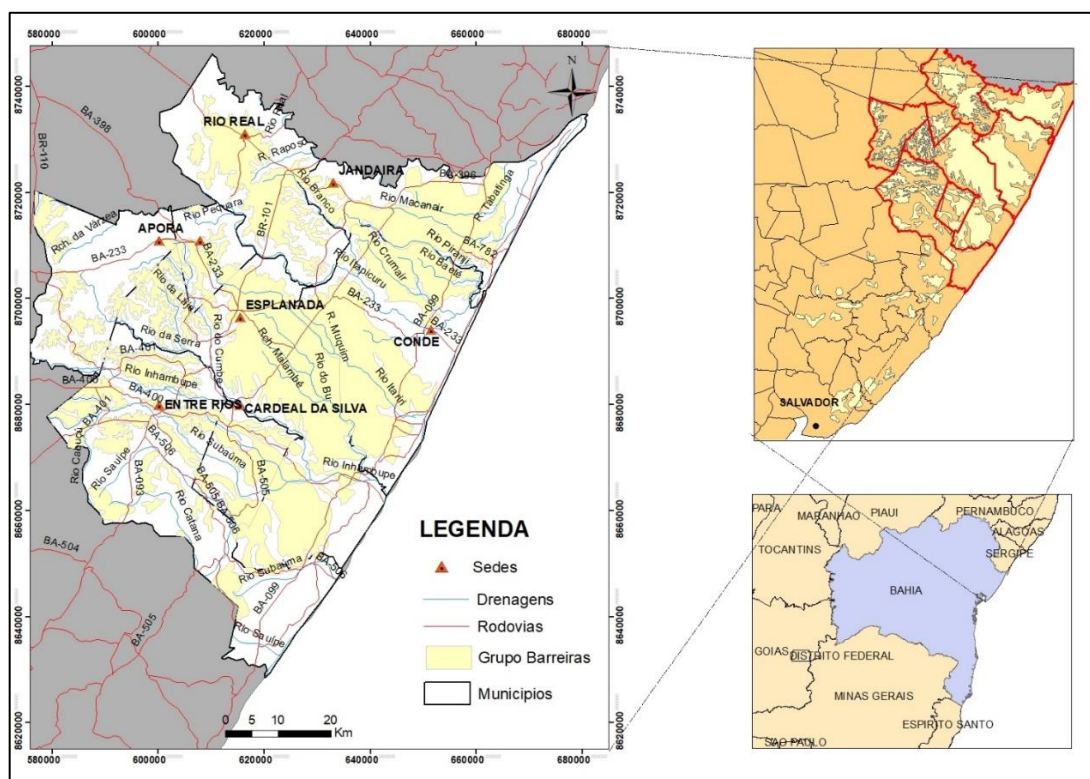
Embora as águas subterrâneas estejam menos propensa a contaminações superficiais provenientes de ações antrópicas em comparação com as águas superficiais, a vulnerabilidade a essa não pode ser negligenciada, uma vez que grande parte dos municípios brasileiros utilizam esse mananciais a partir de poços tubulares para diversas atividades, inclusive abastecimento humano. (INFOSANBAS, 2017). Na região estudada, todos os municípios utilizam esse bem mineral, sendo essa a principal fonte hídrica para as comunidades no meio rural (EMBASA, 2013). Entretanto, nenhum desses municípios não possuem Políticas de Saneamento Básico e/ou possui Planos Municipais de Saneamento Básico, cujo são sistemas importantes para as populações, na qual se

beneficia com a proteção dos recursos hídricos, a prevenção de doenças, a preservação ambiental e o desenvolvimento econômico do município (INFOSANBAS,2017). Desta maneira, este estudo pretende fornecer informações sobre as características das águas do Aquífero Barreiras, a fim de adensar o conhecimento sobre a qualidade e quantidade de água deste manancial subterrâneo, servindo de subsídios para a gestão dos recursos hídricos na área da pesquisa e para futuros trabalhos a serem realizados.

1.4 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é localizada na região do Litoral Norte do Estado da Bahia, sendo compreendida pelos municípios de Acajutiba, Aporá, Cardeal da Silva, Conde, Entre Rios, Esplanada, Jandaira e Rio Real, em uma área com cerca de 5.839,39 Km² e com 197.374 habitantes, (IBGE 2018). Na Figura 1 é vista a área de trabalho, sendo limitada por o Estado de Sergipe a norte, a leste pelo Oceano Atlântico, a sul pelos municípios de Araçás, Itanagra e Mata de São João, e a leste pelos municípios de Alagoinhas, Inhambupe, Crisópolis e Itapicuru.

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autor, (2020)

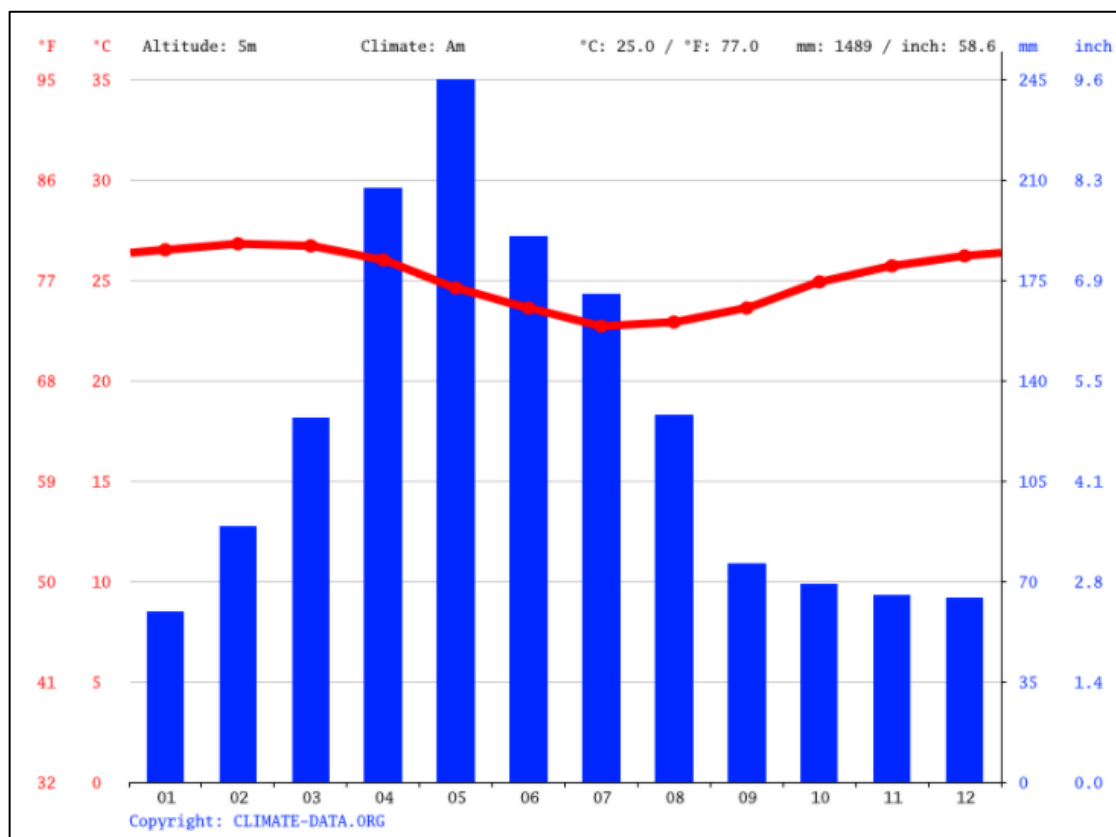
1.5 ASPÉCTOS FISIAGRÁFICOS

1.5.1 Clima

A região de estudo possui índices de pluviométricos e de umidade elevados, sendo maiores valores no litoral (2000 mm) e vão diminuindo à medida que se adentra para a área continental (1200 mm) (NUNES; MATOS, 2017). De acordo com Lima (2008) o clima predominante é o tropical chuvoso, variando de 2000 e 1200 mm anuais, sendo o período mais chuvoso ocorrendo entre outono-inverno e o mais seco entre primavera-verão.

Para uma média na pluviosidade e temperatura da região de trabalho foram utilizados os dados da estação meteorológica de Conde A431. No gráfico da Figura 2, mostra que o mês de maio sendo o mais chuvoso com o 245 mm e janeiro como o mês mais seco com 59 mm, e as temperaturas médias variando entre 26,8 °c e 22,7 °c.

Figura 2 - Gráfico de temperatura (linha vermelha) e pluviosidade (barras azuis) do Município de Conde-BA.



Fonte: Climate (2020).

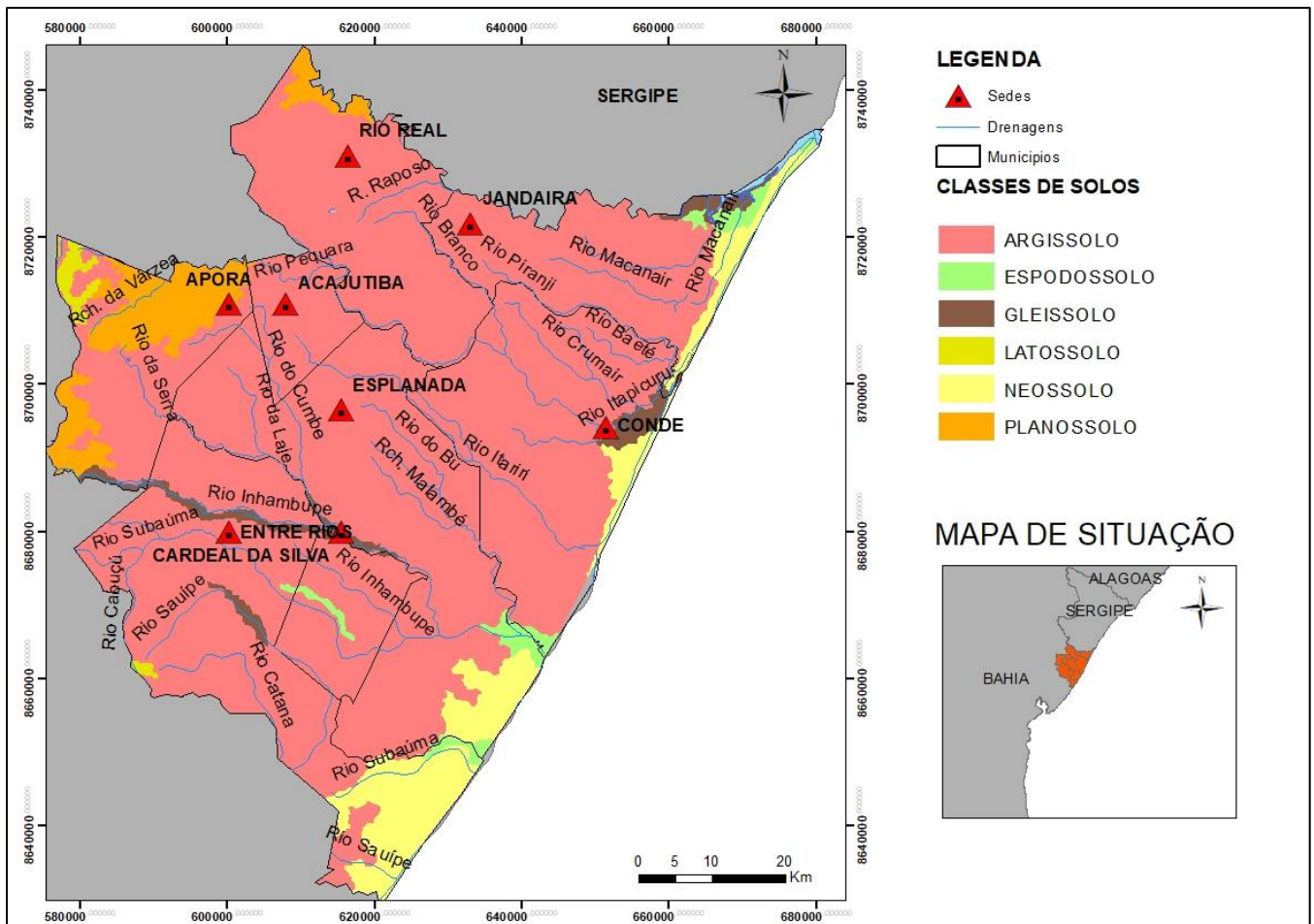
1.5.2 Solos

De acordo com o IBGE (2020), no litoral norte ocorre com predominância de seis tipos de solos, os Argissolos, os Neossolos, os Espodossolo, os Latossolos, os Gleissolos e os Planossolos. Para a descrição dessas classes de solos se utilizou de informações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS, 2018). Dessas classes de solos presentes na área de estudo (Figura 3), é observada uma maior ocorrência de Argissolos e Latossolos, podem estar associadas aos sedimentos do Grupo Barreiras (SANTOS, 2016), os Neossolos, os Gleissolos e o Espodossolo, são solos associados a sedimentos litorâneos, já o planossolos ocorrem em menor incidência e situados na região do extremo noroeste da região.

- (i) Argissolo: Esta classe de solo é o que se apresenta em maior proporção na área de trabalho, sendo solos compostos por material mineral, com o horizonte B apresentando acumulação de argila, com cores vermelho-amareladas, são profundos, bem estruturados e drenados.
- (ii) Neossolo: São solos compostos por material mineral ou orgânico com espessura, são solos imaturos, não apresentando horizonte B, sendo solos quartzosos e com textura de areia em todos os horizontes.
- (iii) Espodossolo: Composto por um horizonte B espódico com uma profundidade maior que 2 m, abaixo do um horizonte E e um horizonte A entorno de 2 m de espessura.
- (iv) Planossolo: São solos constituídos um horizonte B plano abaixo de um horizonte A ou E, composto por material mineral sem caráter sódico.
- (v) Gleissolo : São caracterizados pelo processo de gleização, que ocorre em um ambiente redutor. no qual deixa as argilas com cores acinzentadas a azuladas por redução ou solubilização do ferro presente no solo. Além disso são solos poucos drenados e apresentam textura areno-argilosa.

- (vi) Latossolo: Corresponde a solos com alto grau de intemperização, sendo bem evoluídos, bem drenados, muitos profundos e com o horizonte B latossólico abaixo de qualquer outro horizonte acima.

Figura 3 - Mapa de Distribuição das Classes de Solos no Litoral Norte da Bahia.



Fonte: Autor, (IBGE, 2020).

1.5.3 Vegetação e Uso do Solo

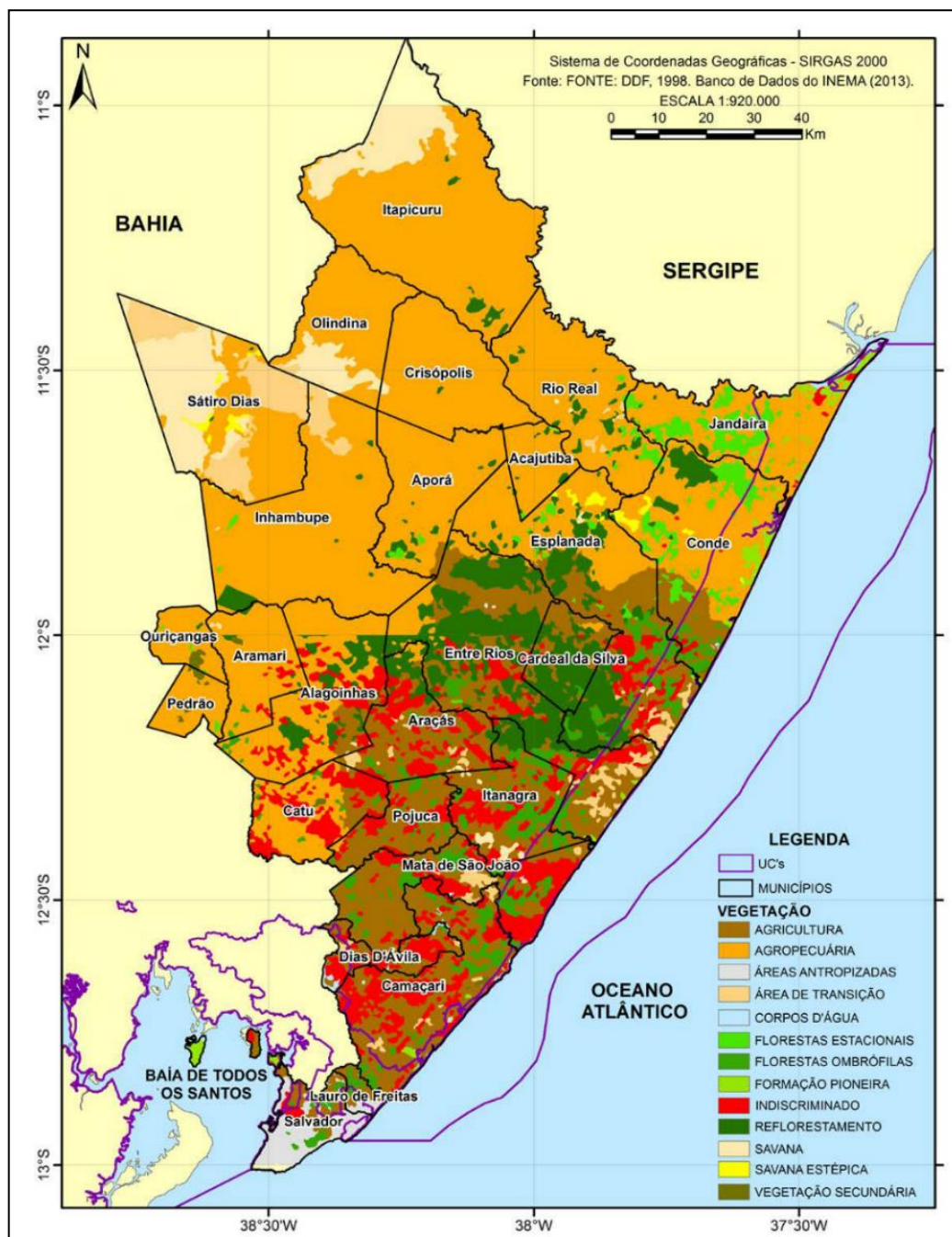
A região do Litoral Norte do Estado da Bahia apresenta uma grande diversidade fitofisionomias, desde vegetações de clima úmido, nas proximidades do litoral, como a Floresta Ombrófila Densa, Mangues e Restinga, a vegetações de clima mais secos, como a Floresta Estacional, o Cerrado, a Caatinga nas regiões mais a oeste da área (NUNES; MATOS, 2017).

A Floresta Ombrófila Densa ocorre nas regiões úmidas, com elevadas temperaturas e níveis pluviométricos, com o predomínio de vegetação arbóreas de grande porte e espécies perenifólias. O Mangue e a Restinga são as vegetações de maior proximidade com a zona litorânea, sendo os mangues se desenvolvendo em áreas de influência fluviomarinha e a restinga ocorrendo ao longo da costa litorânea em terrenos predominantemente arenosos e com solos poucos desenvolvidos.

As fitofisionomias de clima mais seco ocorrem mais a oeste da região com menor influência do oceano. A Floresta Estacional se caracteriza por duas estações bem definidas, uma mais chuvosa e outra mais seca, sendo na estação seca ocorre a perda de folhas das espécies arbóreas, se situando em uma zona transitória entre a Floresta Ombrófila e a Caatinga e/ou o Cerrado. A vegetação de Cerrado ocorre em climas estacionais, sobre solos aluminados, e com árvores de pequeno porte e gramíneas. Já a Caatinga situa-se nas regiões de clima mais seco, com árvores de pequeno porte, poucos indivíduos herbáceos e vegetação de característica espinhosa.

Esses ecossistemas sofreram com muita influência da ocupação humana desde o período das capitâncias hereditárias, a vegetação foi suprimida com a intensificação das atividades agropecuárias, a construção de empreendimentos hoteleiros e a instalação de indústrias. Devido a isso as vegetações nativas se encontram muito fragmentadas e em contato com áreas antropizadas, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Tipos de vegetações e uso dos solos no Litoral Norte da Bahia.



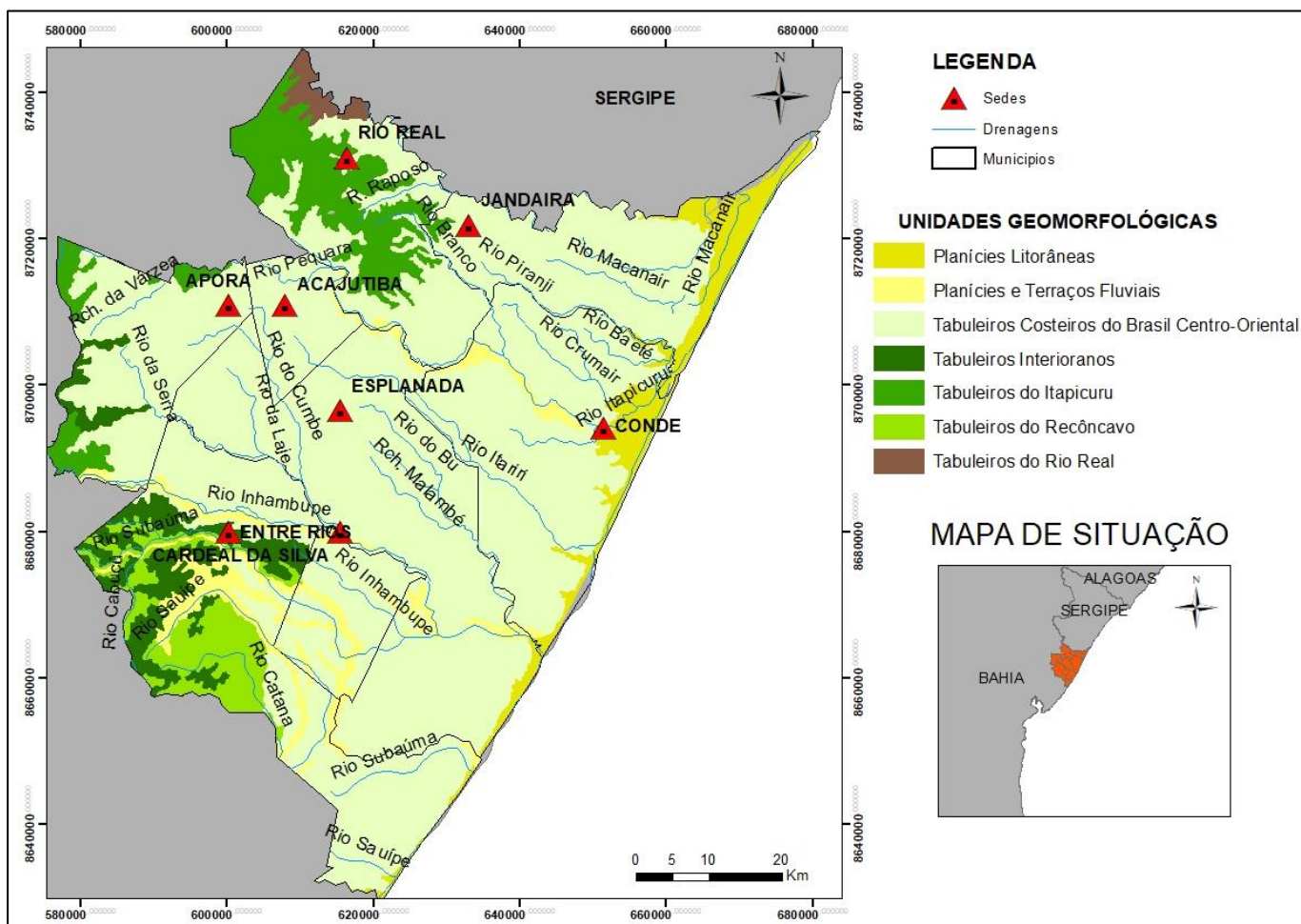
. Fonte: (NUNES; MATOS, 2017).

1.5.4 Geomorfologia

De acordo com as informações dos arquivos *shapefile* do IBGE (2020), a região do Litoral Norte da Bahia apresenta três domínios geomorfológicos, Domínios das Bacias e Coberturas

Sedimentares Fanerozóicas, os Domínios dos Sedimentares Quaternários e os Domínios dos Cinturões Moveis Neoproterozóicos. Nesses domínios estão inseridas sete unidades geomorfológicas representadas pelas Planícies Litorâneas, as Planícies e Terraços Fluviais, os Tabuleiros Costeiros do Brasil Central-Oriental, o Tabuleiros Interioranos, os Tabuleiros do Itapicuru, os Tabuleiros do Recôncavo e os Tabuleiros do Rio Real (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de Domínios Geomorfológicos do Litoral da Bahia.



Fonte: Autor, (IBGE, 2020).

As rochas do Grupo Barreiras de acordo com Esquivel (2006), estão inseridas sobre o Domínio das Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas, que por sua vez esta situada na unidade geomorfológica dos Tabuleiros Costeiros, os quais se caracterizam por relevos de topos planos e com elevações mais baixas (IBGE, 2009), na área ocorrem com altitudes variando de 30

a 250 metros. Além disso, possuem encostas retas, com declividades moderadas, cortado por vales em formatos de “U” e “V”, visto que a ocorrência de vales em formato de “V” se deve a afloramentos de rochas do embasamento cristalino na sua base, e com forte processo de dissecação formando uma fisionomia com topos abaulados.

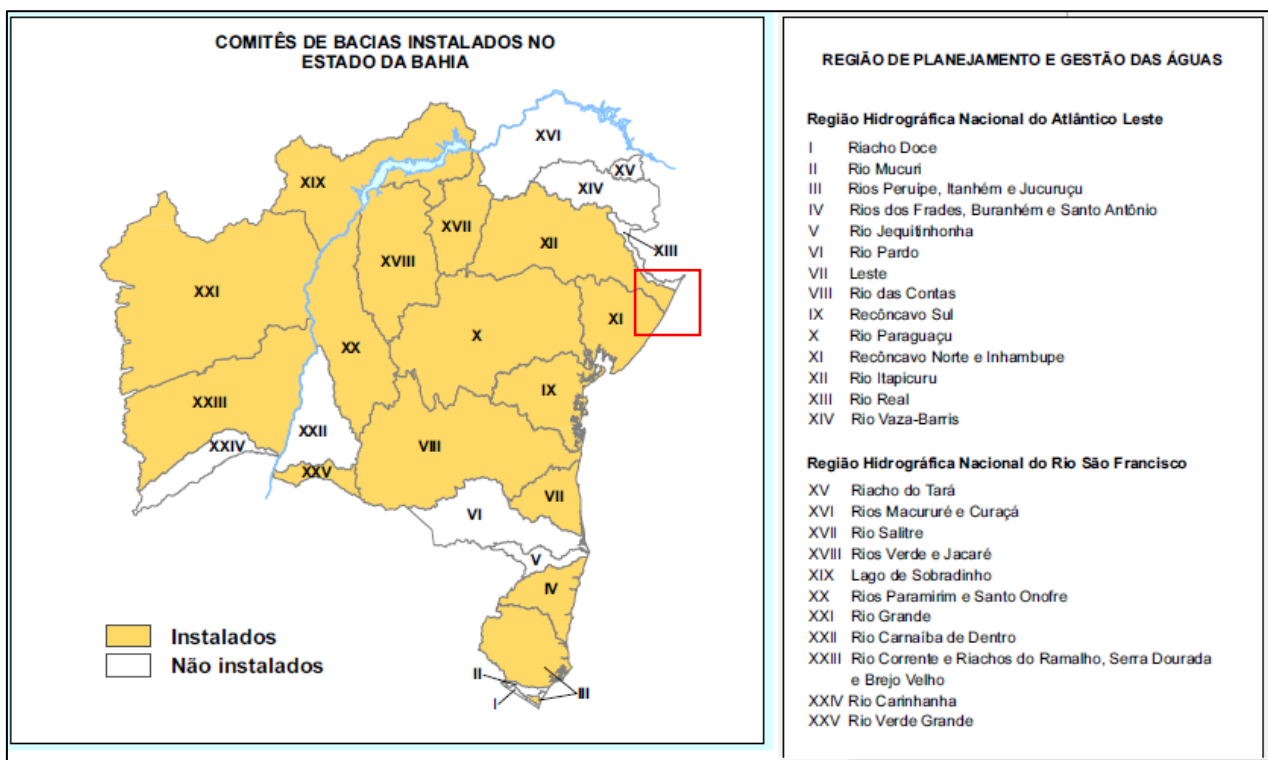
Os tabuleiros costeiros possuem entorno de 3.100 km² na Bahia (MELLO, 1999), se localizando paralelos as regiões costeiras, mas com algumas poções adentrando para o interior do continente, desenvolvido sobre climas que variam do semiárido a subúmido e com formação geralmente de argissolos e latossolos.

1.5.5 Hidrografia

De acordo com a divisão usada pelo INEMA (2014), a área de estudo está inserida entre três Regiões de Planejamento e Gestão de Águas (RPGA), as quais correspondem as Bacias Hidrográficas do Recôncavo Norte e Inhambupe, do Rio Itapicuru, e do Rio Real. Sendo que a última RPGA, é tida como gestão compartilhada, devido a parte das suas drenagens estarem dentro do estado de Sergipe (Figura 6) e não apresenta comitê de bacias instalado.

Essas bacias hidrográficas são subacias inseridas dentro da Bacia do Atlântico Leste e apresentam a maioria dos rios perenes nas regiões mais próximas ao litoral, sendo quanto mais a oeste da área o número de rios perenes diminui devido ao clima semiárido. O abastecimento da população nos municípios estudados é observado tanto a captação de águas superficiais como as águas subterrâneas, sendo que nas zonas rurais desses municípios, o abastecimento por poços é maior do que nas zonas urbanas (INFOSANBAS, 2020).

Figura 6 - Divisão de RPGAs do estado da Bahia, com o polígono vermelho marcando a área de estudo.



Fonte: Modificado de INEMA (2014).

1.5.6 Geologia Regional

O embasamento da região é composto por rochas do Craton do São Francisco, de idades entre 3,4 a 2,1 Ga. O craton foi formado pela colisão de três blocos continentais, de idades arqueanas, os Blocos Serrinha, Gavião e Jequié com rochas formadas no início do Paleoproterozóico, durante o ciclo orogênico do paleoproterozóico. As colisões desses blocos geraram as rochas que compõem o Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá e o Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim, orientados respectivamente em N-S e NE-SW (BARBOSA *et al.* 2003).

Em seguida, durante o ciclo Brasileiro ocorre o evento orogênico da Faixa de Dobramentos Sergipana, entre 600-500 Ma, que possui influência nas partes mais a norte e noroeste da região de estudo, representada pela Formação Lagarto, inserida no Grupo Estância, com rochas sedimentares deformadas depositadas em bacias de antepaís (BARBOSA, 2012).

Durante o jurássico-cretáceo, de 150 a 140 Ma, (PRATES; FERNADEZ, 2015), com a fragmentação do continente Gondwana, se inicia o processo de abertura de rift, no qual

sua evolução formará a Bacia Sedimentar do Recôncavo-Tucano, com a deposição de sedimentos associados a unidades geológicas das fases pré-rift (Grupo Brotas), fase sin-rift (Grupo Santo Amaro, Grupo Ilhas e Formação São Sebastião) e fase pós-rift (Formação Marizal). Depois, no mioceno, cerca de 21 Ma, devido a um evento regressivo do nível do mar associado a condições climáticas mais áridas (MATOS,2013), ocorre a deposição de sedimentos de origem terrígena, pouco ou não consolidados, em ambientes de leques aluviais coalescentes que geraram o Grupo Barreiras.

Por fim, eventos de oscilação do nível do mar associados a alterações climáticas durante o Pleistoceno, possibilitaram a deposição dos sedimentos não consolidados que compõem os Depósitos Sedimentares Néogenos (ESQUIVEL, 2006).

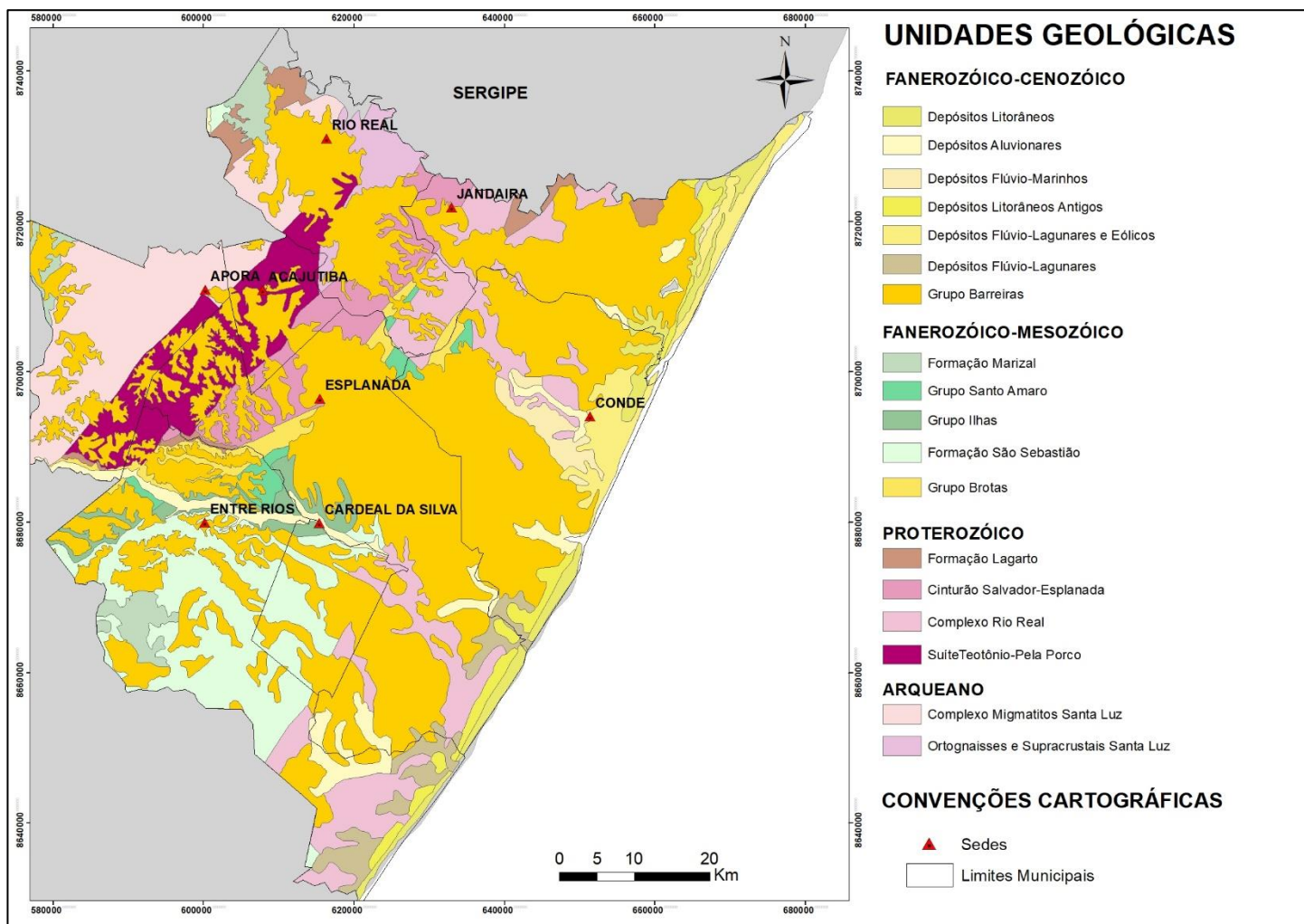
Os litotipos que ocorrem na região serão apresentados a seguir de acordo com Barbosa *et al.* (2012); Prates e Fernandez (2015); e Esquivel (2006), sendo vistos no Mapa geológico Regional da Figura 7:

- (i) Complexo Santa Luz – na região é representado por migmatitos e ortognáisses e supracrustais, com idade arqueana, entre 3,0-2,7 Ga, com metamorfismo de facie anfibolítico, associadas ao Bloco Serrinha do Craton do São Francisco, e suas rochas são tidas como o embasamento.
- (ii) Cinturão Salvador-Esplanaada – são rochas também associadas ao Cráton do São Francisco, na área é representado pelas rochas do Complexo Rio Real e da Suíte Granitóide Teotônio-Pela Porco, além de gnaisses granulíticos, metagabronoritos e rochas calciossilicáticas, de idade paleoproterozóica, entre 2,5-2,0 Ga, com metamorfismo de facie granulito.
- (iii) Formação Lagarto – localiza-se ao extremo norte e noroeste da área de estudo, inserida no contexto tectônico da Faixa Sergipana, com idade neoproterozóica, cerca de 0,74 Ga, composta por arenitos, siltitos e argilitos.
- (iv) Grupo Brotas – é composto pelas formações Aliança, formada por argilitos e folhelhos calcíferos, e Sergi, formada por arenitos finos a grosso com estratificações, com litotipos da fase pré-rift, em ciclos de ambiente de

disposição fluvio-eólicos, e com idades jurássico-cretáceo.

- (v) Grupo Santo Amaro – é formado pelas formações, da base para o topo, Aliança e Água Grande, compostas por arenitos finos a médios, e Formação Candeias, que apresenta folhelhos e siltitos, faz parte da fase sin-rift, em ambiente lacustre e de idade cretácea.
- (vi) Grupo Ilhas – composto pelas formações Marfim, Taquipe e Pojuca, em ambiente fluvio-deltáico, de idade cretácea, e com rochas sedimentares da fase sin-rift.
- (vii) Formação São Sebastião – correspondem a litotipos sedimentares de ambiente de deposição fluvial inseridos no final da fase rift da bacia, composta por arenitos grossos a médios, com estratificações e de idade cretácea.
- (viii) Formação Marizal – é composta por arenitos conglomerados e folhelhos, situados na fase pós-rift da bacia, com sedimentos depositados em ambientes de leques aluviais, e de idades aptianas.
- (ix) Depósitos Sedimentares Neógenos – são depósitos de sedimentos de idade neógena, os quais possuem diversos ambientes de deposição, como aluviais, fluviais, lagunares, marinhos e eólicos, dispostos perto da costa litorânea, e com influência dos últimos eventos de transgressões e regressões do nível do mar.

Figura 7 - Mapa das unidades geológicas regionais da área de trabalho.



Fonte: Autor, (CPRM, 2003).

CAPÍTULO 2 GRUPO BARREIRAS: ASPECTOS GEOLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS

2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

O Grupo Barreiras se distribui desde a região costeira do estado do Rio de Janeiro ao estado do Amapá, é composto por dois pacotes sedimentares o Barreiras Inferior e o Barreiras superior, com de idade de deposição entre o Miocênica ao Pleistocênica (BIGARELLA, 1975), sendo

caracterizados por depósitos de sedimentos com predomínio continental, apesar de se encontrar influência de sedimentos marinhos nas porções da unidade no estado do Pará (LIMA, 2006).

Os primeiros estudos científicos citando o termo “Barreiras” apareceram com Branner (1902, p.3, apud MOURA-FÉ, 2008), para designar a unidade geológica presente na costa brasileira. A princípio o termo “Série” foi usado para denominar o Barreiras (OLIVEIRA & LEONARDOS 1943). De acordo com Suguio (1998), o termo “Série” é usado quando se trata de uma unidade litológica cronoestratigráfica que corresponde a um conjunto de camadas sedimentares depositadas em uma determinada época.

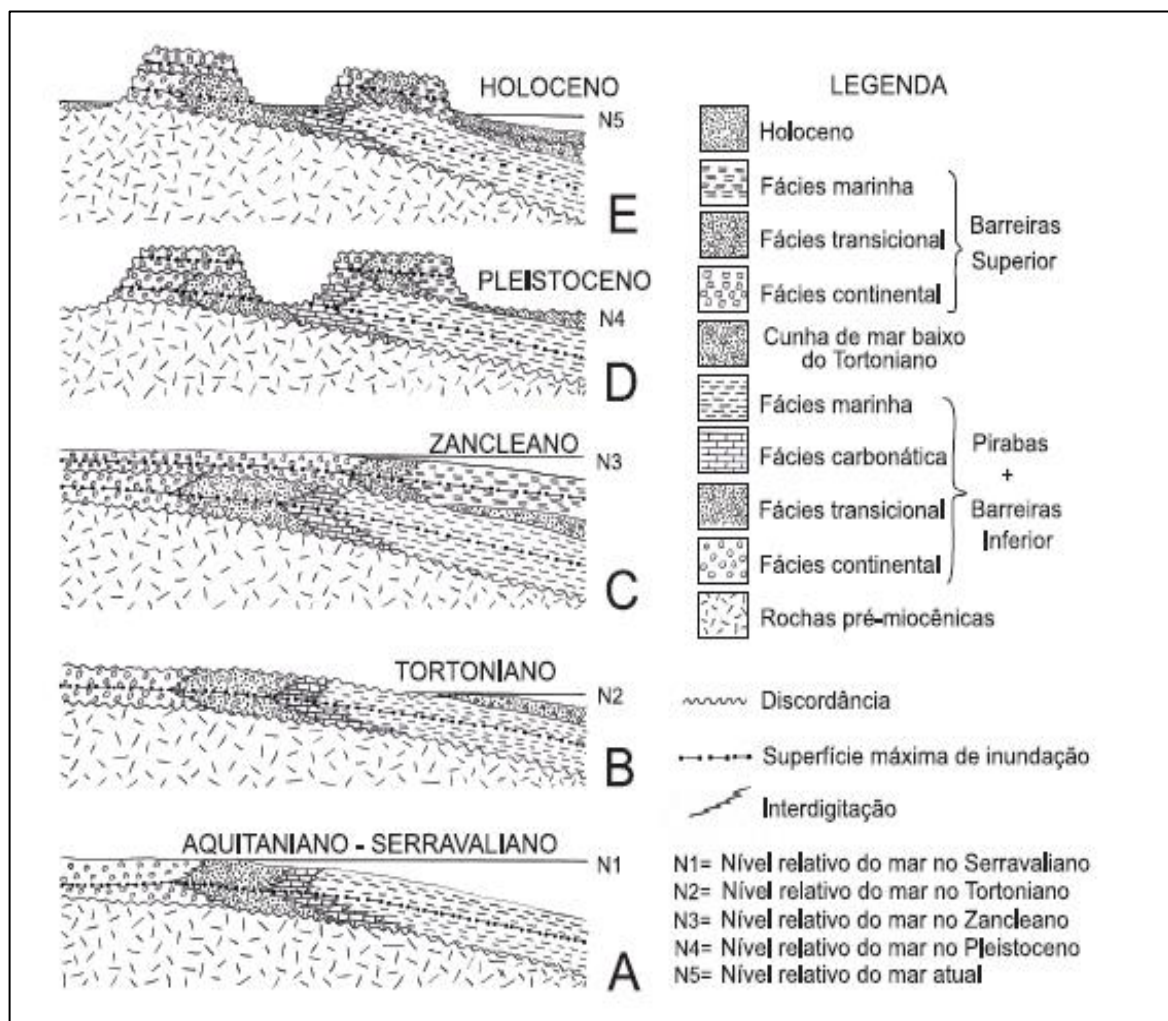
Em seguida, Oliveira & Ramos (1956) começaram a denominar a unidade geológica como “Formação”. Segundo Suguio (1998), uma formação corresponde a unidade fundamental de classificação litoestratigráfica formal, caracterizada por uma camada ou pacote de camadas com presença de homogeneidade litológica, com continuidade lateral e mapeável em superfície terrestre. Bigarella e Andrade (1964), afirmam que o termo “Série” não seria certo para o Barreiras, pois a geocronologia da sua sedimentação seria incerta, e levantam a questão da que o termo “Formação” também seria inadequado para denominar o Barreiras, por apresentar uma grande heterogeneidade litológica e faciológica, sugerindo o uso do termo “Grupo”, por identificar duas formações, uma inferior, a Formação Guararapes e outra superior, a Formação Riacho Morno, divididas por uma superfície de erosão.

O termo “Grupo”, de acordo com Suguio (1998), correspondem a uma unidade litoestratigráfica, na qual compreende a um conjunto de duas ou mais formações, destacando que o não é necessário que um grupo seja subdividido em diferentes formações, pois não existe um tamanho determinado para que uma unidade receba esta designação. Assim, a denominação “Grupo Barreira” permite englobar a diversidade de fácies e grande heterogeneidade do Barreiras, no qual a designação Formação Barreiras não compreende.

Durante o intervalo de tempo do Eomioceno e Mesomioceno, de 20 a 5 Ma, na margem continental brasileira ocorreu um evento de grande transgressão marinhas, no qual permitiu o início da deposição do pacote sedimentar do Grupo Barreiras em clima semiárido (MATOS 2013). Segundo Arai (2006), a unidade do Barreiras Inferior foi depositada neste intervalo citado, após essa transgressão marinha no Tortoniano ocorre uma regressão do nível do mar, no qual proporciona a formação de uma discordância erosiva que separa as unidades geológicas do Barreiras Inferior para o Superior. Em seguida no zancleano (plioceno), ocorre a uma nova

transgressão marinha com a deposição do pacote sedimentar superior do grupo (Figura 8). Depois da deposição desses pacotes sedimentares, processos erosivos passam a ser dominantes sobre a unidade geológica, devido a regressão marinha pós-zancleano e um soerguimento epirogênico associado a um arqueamento da crosta no nordeste do Brasil (ARAI, 2006).

Figura 8 - Esquema de evolução da unidade geológica do Grupo Barreiras.



Fonte: adaptado de Arai (2006).

Mello *et al.* (1999), descreve a composição litológica do Grupo Barreiras como formada por sedimentos pouco ou não consolidados, pobremente selecionados, de baixa maturidade textural e mineralógica, com litologias de cores variegadas, compreendidas por arenitos

de granulometria grossa a fina com presença de estratificações plano-paralelas, alguns se exibindo com níveis de conglomerados, com clastos de cristais quartzo e feldspatos, siltitos, argilitos maciços e argilas interestratificadas de origem caulínica. Além disso, ocorre a presença de concreções ferruginosas, dispostas em arenitos ferruginosos ou lateríticos, podendo estar associados com à percolação de água por o seu pacote sedimentar (MOURA-FÉ, 2008)

Além disso, no Grupo Barreiras, são observados indícios de eventos tectônicos, primariamente analisados por King (1959), no qual sugere que a unidade geológica teria sofrido esforços tectônicos que a inclinou na direção ESE, em sentido a zona marinha. Pontes (1969), analisou os sedimentos do Grupo Barreiras no litoral da Bacia Sergipe/Alagoas, apresentavam variações de espessuras, que indicam espessamento nos baixos estruturais e estreitamento nos altos estruturais, sugerindo que as estruturais que delinearão estes desníveis, estavam ativas durante a deposição dos sedimentos, indicando um tectonismo ativo durante o Neógeno.

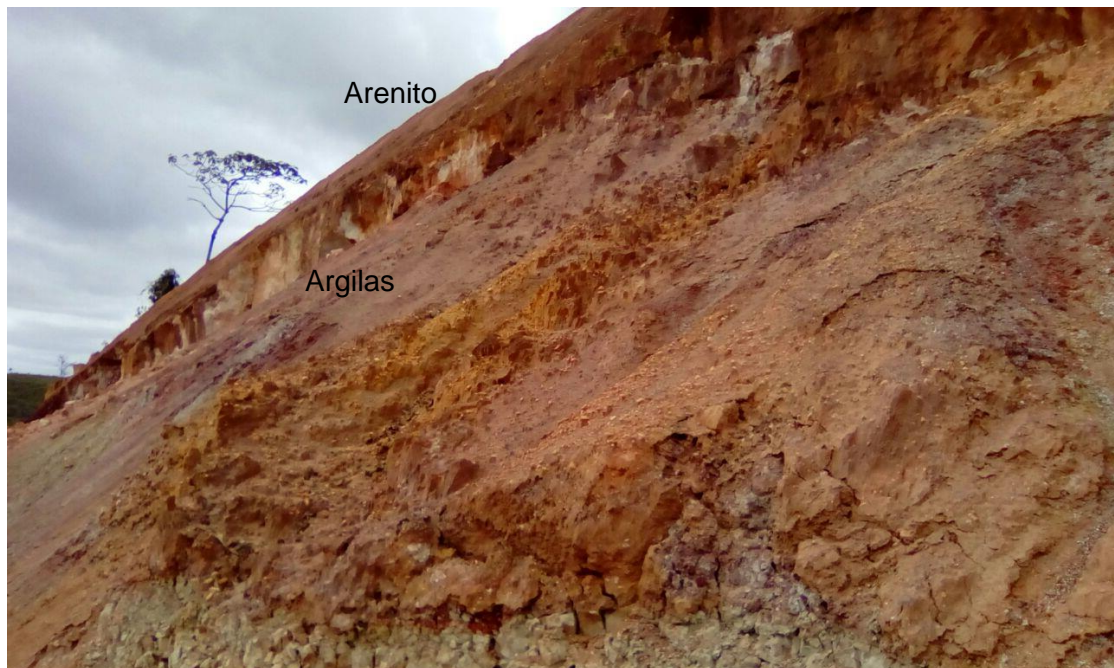
Hasui (1990), sugere que a estruturas de abertura do Oceano Atlântico Sul a reativação de falhas pré-cambrianas durante o cenozóico, considerando a deposição do Grupo Barreiras como um dos eventos que iniciaram o neotectonismo. Já Bezerra (2000) verifica que durante o Plioceno, no nordeste brasileiro, esforços compressivos intraplaca formaram falhamentos transcorrentes de trends regionais NE-SW e NW-SE, associadas a reativações de zonas de fraquezas do embasamento cristalino pré-cambriano, controlam, sendo que esses eventos controlariam as feições morfológicas do Grupo Barreiras. Lima (2010), encontra inúmeras estruturas rúpteis e dúcteis observadas no Grupo Barreiras, no litoral do estado de Sergipe e região norte do litoral da Bahia. Essas estruturas são representadas por liquefações presentes em camadas de conglomerados, os quais são considerados indicativos de atuação tectônica durante o período de deposição dos sedimentos, e juntas neotectônicas presentes na unidade geológica indicam atuação de tectonismo após a deposição do Grupo Barreiras.

A seguir serão apresentadas algumas das litofácies encontradas na área de estudo correspondentes à unidade geológica do Grupo Barreiras:

Na Fotografia 2, mostra um afloramento de corte de estrada, com um pacote sedimentar, na base, de argilas de cores amarelas, vermelhas, e esverdeadas, não consolidadas, no topo, de um

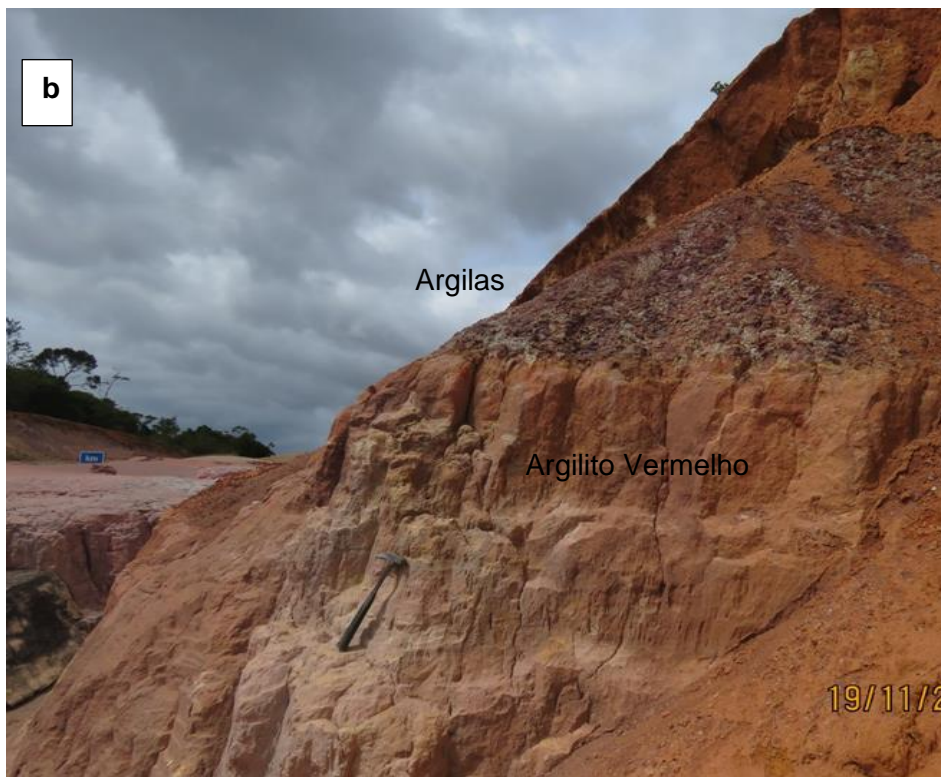
arenito esbranquiçado, coberto por uma cobertura vermelha ferruginosa, com grãos finos a médios. Já a Fotografia 3, mostra outro corte de estrada com a unidade geológica se apresentando abaixo de uma cobertura de solo amarelada no topo, seguida por uma cobertura de argilas de cores variadas, cobertas por uma capa ferruginosa, vista no lado direito da Fotografia 3 (b), não consolidadas, e na base um siltito argiloso maciço de coloração avermelhada.

Fotografia 1 - Pacote sedimentar de argilas de cores variadas do Grupo Barreiras em um corte de estrada baixo de um arenito coberto por uma cobertura ferruginosa.



Fonte: autor, 2016.

fotografia 2- (a) e (b) Mostram a unidade Geológica do Grupo Barreiras no litoral norte da Bahia, com um pacote sedimentar de argilito maciço vermelho na base do afloramento, abaixo de um pacote de argilas de cores variegadas, com capa ferruginosa, e no topo uma capa ferruginosa, e no topo uma camada de solo amarelo.



Fonte: autor, 2016.

A Fotografia 4, apresenta um conglomerado vermelho de matriz areno-argilosa, com seixos de quartzo e feldspato, anguloso, em contato com uma camada de arenito vermelho em um corte de estrada. No mesmo local (Fotografia 5), se observa em outra parte do corte de estrada a presença de um arenito vermelho, na base, com grãos de textura areno-argilosa, com presença de seixos de quartzo, em contato erosivo com um arenito vermelho de granulometria grossa, com presença de seixos anguloso de quartzo, com estratificações plano paralelas. Os arenitos se encontram separados por um contato erosivo, onde se localiza uma fina lente conglomerática, de grãos que variam de seixo a cascalho.

Fotografia 3 - Conglomerado de matriz argilosa vermelha do Grupo Barreiras em corte de estrada no litoral norte da Bahia.



Fonte: Autor, 2016.

Fotografia 4 - Outra parte do corte do mostro corte de estrada mostrado na Fotografia 4 com um contato entre dois arenitos separados uma fina lente conglomerática.



Fonte: Autor, 2016.

Na Fotografia 6 é visto um corte de estrada, com uma camada de solo amarelado sobre uma camada de argilas de cores variegadas, e um arenito esbranquiçado, na base, do afloramento com presença de uma capa ferruginosa. Já na Fotografia 7, se observa um afloramento de corte de estrada na BA-099, apresentando as litofácies do Grupo Barreiras, com arenito esbranquiçado na base, coberto por uma camada ferruginosa, e uma camada de argila maciça no topo, sobre uma camada de solo amarelado.

Fotografia 5 - Corte de estrada com presença de uma capa ferruginosa marcada pelo polígono vermelho.



Fonte: Autor, 2016.

Fotografia 6 - Corte de estrada com um afloramento do Grupo Barreiras na BA-101.



Fonte: Autor, (2016).

2.2 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

O Aquífero Barreiras por possuir uma grande extensão territorial e uma diversa variedade de litotípos (ARAI, 2006), os seus aspectos hidrodinâmicos e hidroquímicos acabam apresentando valores diferentes dependendo da região estudada. Devido as suas características geológicas o Barreiras se apresenta, no geral, como um sistema aquífero sedimentar e livre, com porções

localmente semiconfinado, com as profundidades dos poços no litoral norte da Bahia variam de 16 m a no máximo 178 m, sendo marcada por uma não continuidade da unidade sedimentar em comparação com as porções do barreiras encontradas no litoral sul do Estado, com presentes em outras regiões do Brasil (CABRAL, 2012); (MELLO, 1999); (BONFIM; LOPES, 2001).

De acordo com Mello (1999), o Aquífero Barreiras apresenta no litoral norte do Estado da Bahia poços tubulares que variam de surgente a 16,3 m de e valores médios 10,8 m, as vazões de estabilização nos poços tubulares variam 1 a 27,3 m³/h com média de 9,5 m³/h, em relação a profundidade dos poços com média de 65 m. Já em relação a hidroquímica das águas do aquífero a maioria dos poços apresentaram valores menores que 500 mg/L para os Sólidos Totais Dissolvidos (STD), a dureza valores menores 70 mg/L, os teores da concentração de cloreto são de inferiores que 110 mg/L, sendo que a maioria das águas tidas como doce. No entanto, é ressaltado que muitos dos poços tubulares no Aquífero Barreiras também captam água do embasamento cristalino da região, e devido a isso, pode ocorrer a presença de análises anômalas, como poços de elevada salinidade nas águas.

Já Stefano *et al* (2019), observou que a maioria das águas dos poços tubulares do aquífero são classificadas como sódicas cloretadas, com presença de concentrações de ferro elevadas em alguns poços tubulares associada a litofácies ferruginosa que ocorre no Grupo Barreiras, e suas águas, em geral, se apresentam sem risco para os cultivos.

Na etapa de campo deste estudo, foram coletadas águas de 21 poços na área de trabalho, destes 21 poços 7 são tidos como poços amazonas, e segundo os relatos dos responsáveis pelos poços amazonas, se tratam de poços raso, com profundidades que variam 4 a 16 m. Durante essa etapa foi observado que os poços que captam água do Aquífero Barreiras têm o seu uso para o abastecimento domésticos, o consumo humano e animal e o uso para a irrigação na agricultura familiar e cultivos de grande porte.

O uso das águas dos poços pela população pode ser observado na Fotografias 8, onde é visto o abastecimento da população do Povoado de Nova Pastora, no município de Cardeal da Silva, para a consumação doméstica da água, devido à falta do recurso hídrico na rede de abastecimento do povoado, no dia 18/11/2016. Já na Fotografia 9, é visto a captação da água de um poço tubular, na Fazenda São Paulo, no município de Rio Real, para o uso na irrigação.

Fotografia 7 – Captação de água do poço amazonas, BN13, pra uso na domestico. Coord. X: 612616 e Y: 8674926.



Fonte: Autor, (2016).

Fotografia 8 - Abastecimento de reservatório de água, pelo poço tubular BN01, para uso na irrigação. Coord. X:597676 e Y:8739090.



Fonte: Autor, (2016)

A seguir será apresentada as características hidrogeológicas do Aquífero Barreiras em outras regiões do Brasil:

- (i) Melo *et al.* (2013), estudando o Aquífero Barreiras na cidade de Natal, Rio Grande do Norte, apresenta os seguintes valores de transmissividade foram de $3,0 \times 10^{-3}$ m²/s, com condutividade hidráulica de $1,0 \times 10^{-4}$ m/s, a espessura saturada do aquífero foi de 33 m, com a recarga média de 213 mm/ano, com vazões exploráveis variando de 80 a 120 m³/h. A hidroquímica das águas mostra que em sua maioria do tipo sódica cloretas, de baixa salinidade e boa qualidade para consumo humano e no uso agrícola.
- (ii) Gonçalves e Vieira (2018), caracterizaram a hidrogeologia do Aquífero Barreiras no norte do Estado do Espírito do Santo através de 102 poços tubulares e encontraram valores de transmissividade média de 175,54 m²/dia, vazões com médias de 43,52 m³/h, espessura saturada em torno de 85 m e vazões específicas médias de 2,3681 m³/h/m.

- (iii) Monteiro *et al.* (2002), apresenta dados hidrogeológicos de poços tubulares que captam água de porções do aquífero na cidade de Recife, Pernambuco, os quais mostram uma transmissividade variando de $3,3 \times 10^{-3}$ a $4,6 \times 10^{-3}$ m²/s e com espessura saturada de 73 m.
- (iv) Bonfim e Lopes (2001), caracterizam a hidrogeologia do aquífero barreiras no litoral sul da Bahia, onde observaram que os poços analisados, em geral, não ultrapassam os 80 m de profundidade, os níveis estáticos nos poços variam de 40 m a até os níveis surgentes, com vazões em torno de 19,0 a 7,0 m³/h/m, e valores de vazões específicas variando de 1,70 a 0,60 m³/h/m.

CAPÍTULO 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo consiste na análise e interpretação de dados de poços que captam água subterrânea do Aquífero do Grupo Barreiras na região estudada, informações que foram disponibilizados por dados de poços 117 do SIAGAS/CPRM e CERB, e 21 amostras coletadas em estágio de campo. A metodologia escolhida para o desenvolvimento deste trabalho foi separada em três fases apresentadas a seguir:

Primeira Fase:

Nesta etapa ocorreu o levantamento bibliográfica sobre os aspectos da gestão dos recursos hídricos, assim como o saneamento básico e uso das águas subterrâneas na área de trabalho, além das características geológicas da região, e os aspectos hidrogeológicos do Grupo Barreiras. Posterior, foram feitos levantamentos nos bancos de dados da Companhia de Engenharia Hídrica e Saneamento da Bahia (CERB) e do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a fim de obter informações dos poços que captam água do Aquífero Barreiras no Litoral Norte da Bahia. Em seguida, com a ajuda de imagens ASTER GDEM, com resolução espacial de 30 m, foram coletadas

mais informações cartográficas, sobre a área de estudo para a confecção de mapas com a localização dos poços na área de trabalho, em escala 1: 100.000.

Segunda Fase:

Com as informações da etapa anterior, foi realizada a coleta de 21 amostras de água subterrânea dos poços tubulares e amazonas que captam água do Aquífero do Grupo Barreiras na região do litoral norte da Bahia. Essa coleta ocorreu entre os dias 16 e 19, de novembro, de 2016, e durante a amostragem com auxílio de uma sonda de múltiplos parâmetros se determinou os valores da temperatura, da condutividade elétrica, do pH, do Eh e dos sólidos totais dissolvidos nas águas, além de valores de alcalinidade (HCO_4 e CO_3) obtidas pelo método de titulação. A partir dos dados coletados, foram feitas análises em laboratório com o uso cromatografia iônica que determinou as concentrações de Ca, Mg, Na, K, F, Cl, NO_3 , NO_2 e SO_4 presentes nas águas.

Terceira Fase:

A integração e interpretação das informações obtidas nas etapas anteriores permitiram caracterização da Hidroquímica e da Produtividade dos Poços Tubulares que captam água no Aquífero Barreiras. Os dados físico-químicos e as análises químicas das águas coletadas em campo, permitiram a confecção no programa QualiGraf do Diagrama de Classificação de Piper, Diagrama de Classificação das Águas para Irrigação e Diagramas de Balanço Iônico das águas dos poços, além de indicativos de contaminação das águas com base nos elementos e parâmetros analisados que se apresentem a cima dos limites permitidos pela Portaria 2914/2011, e Mapas de Concentrações Espaciais dos elementos encontrados nas amostras. Já os valores de capacidade específica e vazão obtidos dos poços tubulares, junto com a confecção do Modelo de Fluxo Subterrâneo e as Seções Hidrogeológicas na área de trabalho, serviram de subsídios para avaliação da produtividade do Aquífero Barreiras e as suas características hidrogeológicas.

2.1 MÉTODO DE ALCALINIDADE

A alcalinidade pode ser obtida com o somatório das concentrações de hidróxidos,

carbonatos e bicarbonatos, presentes na água, sendo expressa em termos de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) (MINISTÁRIO DA SAÚDE, 2004). Na etapa de campo foi usado um método de titulação para determinar a alcalinidade das águas do Aquífero Barreiras como visto na Fotografia 1.

Fotografia 9 - Método de análise de alcalinidade sem aplicado em uma amostra de água do Aquífero Barreiras.



Fonte: Autoria própria (2016).

Os resultados foram determinados através de dois estágios. O primeiro, colocou 50 ml das amostras em um erlenmeyer, onde se adicionava 5 gotas de fenolftaleína, e caso a aparecesse uma coloração rosa era feita a titulação da amostra com ácido sulfúrico 0,02 N, até se observa a mudança para a coloração incolor da solução e se anotar o volume de ácido sulfúrico usado no processo, se amostra não apresentar mudança de cor com a interação com a fenoltaleína, o valor de ácido sulfúrico usado era tido como 0. Já no segundo estágio, era utilizado no caso da não reação da alcalinidade à fenolftaleína, se adicionava 5 gotas de verde bromocresol/vermelho de metila à solução titulada no estágio anterior, depois se aplicava a titulação com ácido sulfúrico até ocorre a mudança para a coloração rosa, a titulação.

Com os valores obtidos com a titulação se realizava o cálculo da alcalinidade total visto na

formula a seguir:

$$\text{Alcalinidade Total (CaCO}_3 \text{ mg/L)} = V \times N \times 50 \times 10^3$$

Sendo que V corresponde a quantidade de ml de ácido sulfúrico para a titulação entrar em ponto de equilíbrio, N é a concentração em normalidade de ácido sulfúrico, 50 mg corresponde a quantidade de CaCO₃, e 10³ corresponde à conversão de L em mL.

2.2 MÉTODO DE CROMATOGRAFIA IÔNICA

De acordo com Simões (2008), a cromatografia é um conjunto de técnicas separativas, feito por uma fase estacionária e outra móvel, as quais permitem a distribuição dos vários componentes da solução. A cromatografia iônica é um tipo de cromatografia, na qual permite a separação e determinação dos íons que compõem a substância analisada, quando a amostra passa por uma coluna preenchida por um material resinoso, com esse processo os íons podem ser identificados e quantificados.

Durante a realização do método são gerados gráficos da cromatografia de cada íon analisado na amostra, sendo identificados pelos picos nestes gráficos, e suas medidas de altura e área são proporcionais a concentração de cátions ou ânions presentes nas amostras, podendo assim quantificar cada íon.

O método de cromatografia iônica permite o quantificar e identificar de cátions e ânions com alta precisão, nas 21 amostras coletadas em estágio de campo foram reconhecidas as concentrações em mg/L de Ca, Mg, Na, K, F, Cl, NO₃, NO₂ e SO₄, com a execução da cromatografia feita pelo Laboratório de Estudos do Petróleo (LEPETRO), no dia 30, novembro, de 2016.

2.3 MÉTODO PARA A OBTENÇÃO DOMÍNIOS AQUÍFEROS

Para melhor caracterização dos aquíferos presentes na área de trabalho, foi confeccionado com um Mapa de Domínios Aquíferos no programa ArcMap 10.5, com base nas unidades geológicas regionais presentes nos arquivos *shapefile* do banco de dados da CPRM (2003) e nas informações dos poços tubulares no banco de dados dos SIAGAS/CPRM, para observação dos

perfis estratigráficos dos domínios aquíferos.

Foram adotados como critérios para a classificação dos domínios aquíferos do litoral norte do Estado da Bahia, as composições mineralógicas, os quais caracterizam pelos tipos de rochas, observando o tipo de armazenamento que cada litologia comportava, as idades geocronológicas de formação de cada unidade litológica, e os contextos geotectônicos em que as rochas se encontravam inseridas. Através dos conhecimentos obtidos com essas classificações foi possível a identificação de 4 tipos de domínios aquíferos.

2.4 MÉTODO PARA O MAPEAMENTO DO FLUXO SUBTERRÂNEO DO AQUÍFERO

Com as informações do SIAGAS/CPRM e da CERB foram usados os valores de níveis estáticos e cotas altimétricas de 117 poços tubulares, a fim de serem encontrados as cargas hidráulicas dos mesmos na área de estudo. Importante ressaltar que foram selecionados poços que captam água do e poços que não captam apenas do Aquífero Barreiras, para o modelo de fluxo, no entanto, se encontram inserido sobre a unidade geológica, devido à pouca informação de poços que captam água exclusivamente do Aquífero Barreiras não contemplariam toda a área escolhida para a realização do estudo.

Os resultados das cargas hidráulicas foram obtidos por a confecção de uma tabela no *software Excel*, no qual foi feita a subtração dos valores do nível estático dos poços pelas cotas onde os mesmos se localizam. Sendo que como alguns poços não apresentavam valores de nível estático, por isso foram excluídos do cálculo da carga hidráulica, já os valores de cotas foram obtidos com a plotagem dos pontos no *Google Earth* para obter as elevações que nas fichas de poços não constavam.

Os poços foram plotados programa *Surfer 10.6* para a espacialização dos pontos e confecção do Mapa de Fluxo Subterrâneo e do Diagrama de Fluxo Subterrâneo.

2.5 MÉTODO PARA A CONFECÇÃO DO MAPA DE CAPACIDADES ESPECÍFICAS

Para encontrar os valores de capacidades específicas foram selecionados 57 poços do banco

de dados dos SIAGAS/CPRM e CERB que apresentavam informações completas para se realizar o cálculo das capacidades específicas. Sendo que foram selecionados poços que captam água do barreiras e poços que não captam apenas água do barreiras para esse cálculo, mas encontram inserido sobre a unidade geológica, devido à pouca informação de poços que captam água exclusivamente do Aquífero Barreiras não contemplariam toda a área escolhida para a realização do estudo.

O cálculo das capacidades específicas foi realizado com a divisão dos valores das Vazões de Estabilização (m³/h), medidos durante o processo de produção dos poços, pelos valores de Rebaixamentos (m) dos mesmos, encontrados pela subtração entre os Níveis Estáticos (m) pelos Níveis Dinâmicos (m), esses dados foram plotados no Software Excel para serem organizados em tabelas e realizadas as equações.

A seguinte equação mostra como é feito o Cálculo, sendo Sc = Capacidade Específica; Q = Vazão de Estabilização; e Reb = Rebaixamento:

$$Sc \text{ (m}^3\text{/h/m)} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} / \text{Reb. (m)}$$

No programa *ArcMap 10.5*, os resultados de capacidades específicas foram plotados, com uso da ferramenta *Geospatial Analyst Kriging*, os dados foram analisados geoestatisticamente e distribuídos espacialmente na área de trabalho. Em seguida foi confeccionado o Mapa de Distribuição Espacial das Capacidades Específicas.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS E DISCURSÕES

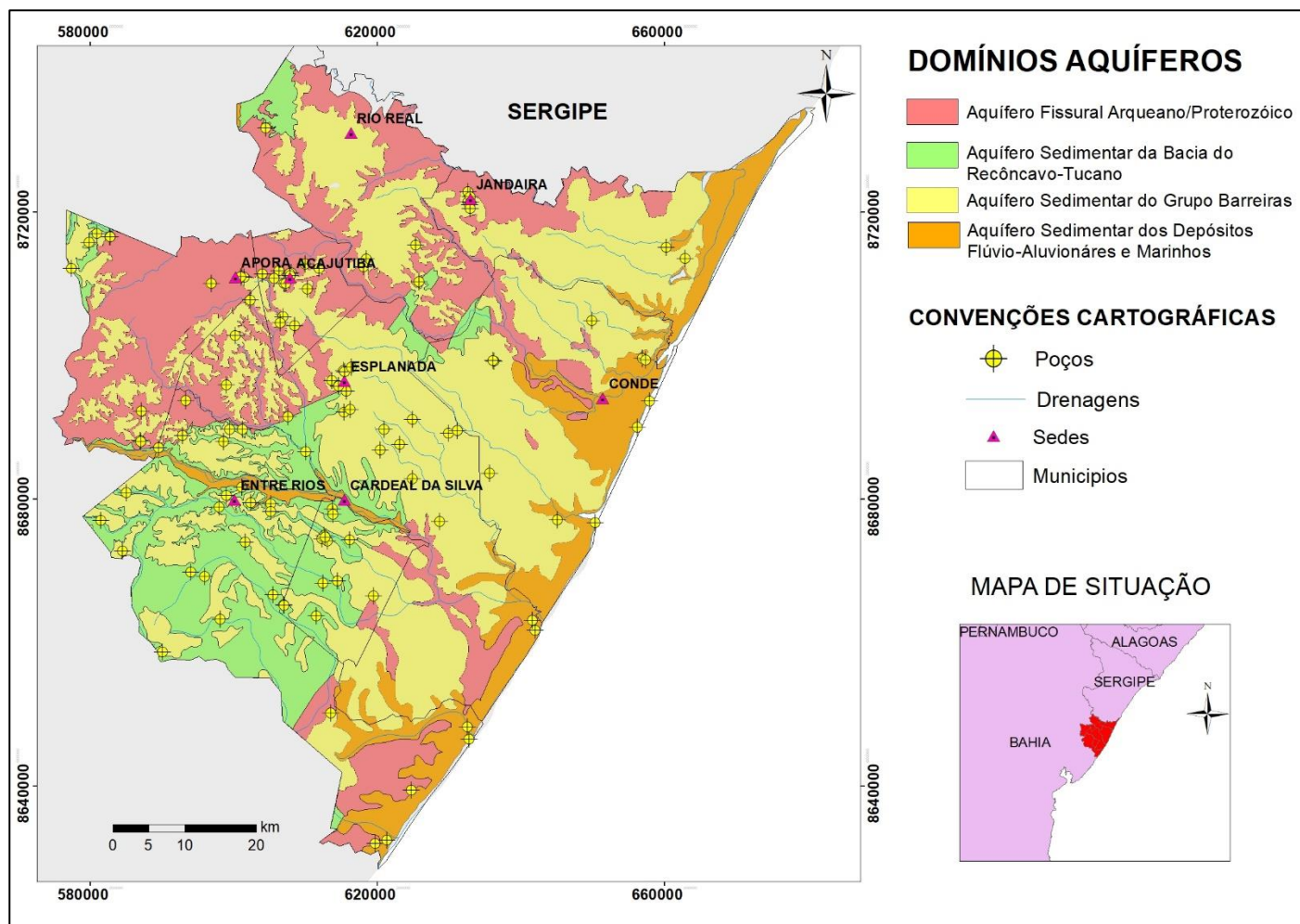
4.1 MAPA DE DOMÍNIO AQUÍFERO

Com a confecção do Mapa de Domínios Aquíferos, mostrado na Figura 9, foi possível

identificar 4 domínios aquíferos.

- (i) Aquífero Fissural Arqueano/Proterozóico; corresponde aos aquíferos fissurais da região, presente em rochas cristalinas e metamórficas, de idades arqueanas e proterozóicas, inseridas no contexto geotectônico do Cráton do São Francisco e Faixa Sergipana.
- (ii) Aquífero Sedimentar da Bacia do Recôncavo-Tucano; neste domínio estão inseridas as litologias presentes na Bacia do Recôncavo-Tucano, correspondendo a rochas sedimentares, de idade jurássica e cretáceo, o aquífero é tido como poroso/sedimentar.
- (iii) Aquífero Sedimentar do Grupo Barreiras; corresponde a unidade geológica estudada na área, é tido como um aquífero poroso/sedimentar, de idade miocênica, inserida no contexto de geotectônico da margem continental passiva.
- (iv) Aquífero Sedimentar dos Depósitos Flúvio-Aluvionares e Marinheiros; corresponde aos depósitos recentes de sedimentos, é tido como aquífero poroso/sedimentar, tem idade quaternária, e com forte influência marinha nas porções do domínio aquífero próximos a zonas litorâneas, com contato da cunha salina.

Figura 9 - Mapa de Domínio Aquífero do Litoral Norte da Bahia.



Fonte: Autor, CPRM (2003).

O Aquífero Sedimentar do Grupo Barreiras, se apresenta como a maior das unidades regionais em extensão com 2750 km². É tido como um aquífero livre, com porções semi-confinadas e heterogêneo devido a diversidades de litofácies presentes na unidade geológica.

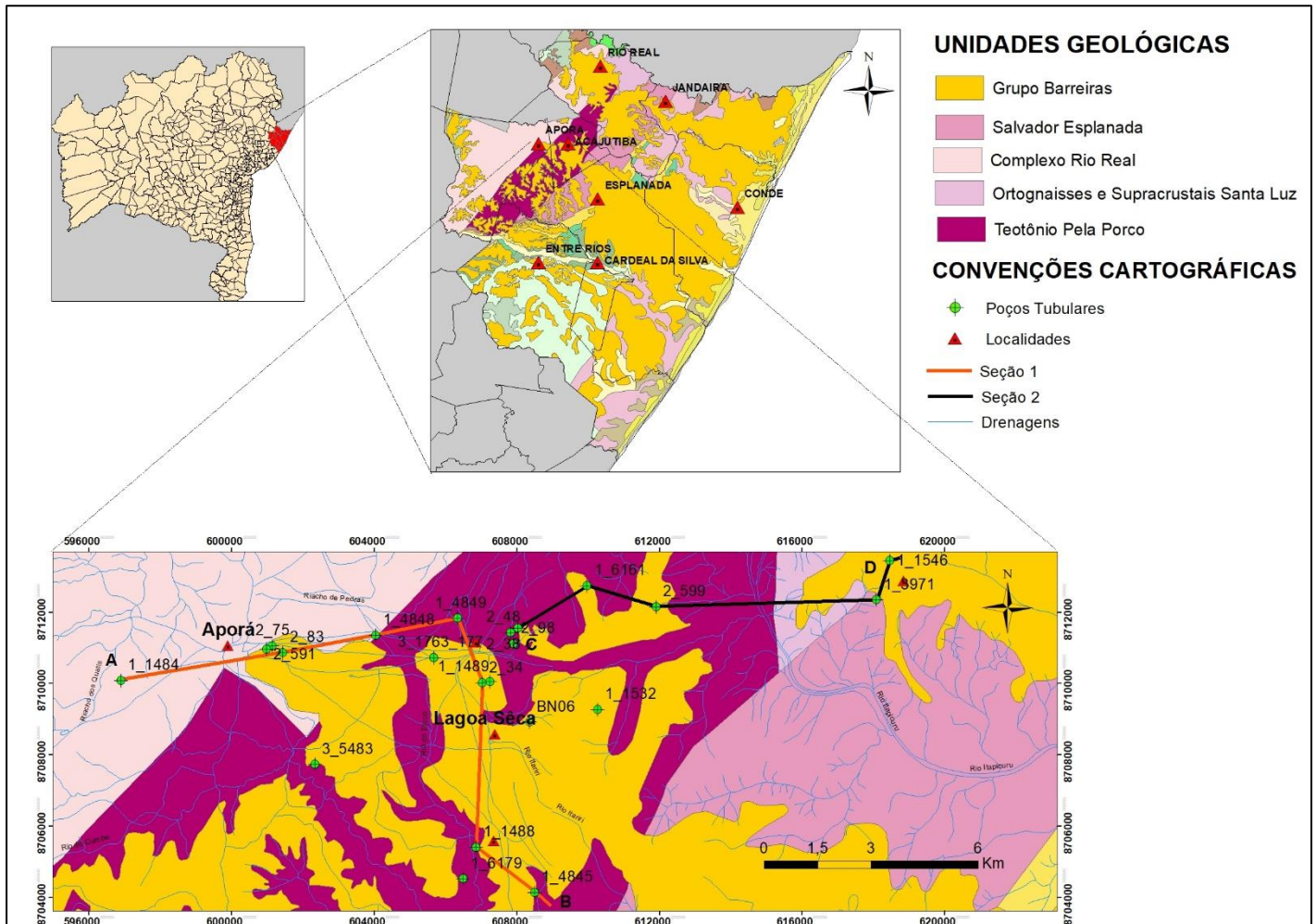
4.2 SEÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

A caracterização da hidrogeológicas do aquífero foi desenvolvida a partir da confecção três seções na área. Pôr a unidade do barreiras nesta região mostrar forte influência de processos erosivos, as porções que compõem a litologia acabam se apresentando muito espessadas, a

localização da maioria dos poços que exploram água do aquífero não serem tão próximos e informações conflitantes em relação a real geologia que se encontra da ficha de descrição do poço, as seções 1 e 2, respectivamente representados pelas Figuras 11 e 12, serão mostras em menor detalhe e com maior extensão, do que a Seção 3 (Figura 14), que ocorre com maior detalhe sobre a sua estratigrafia.

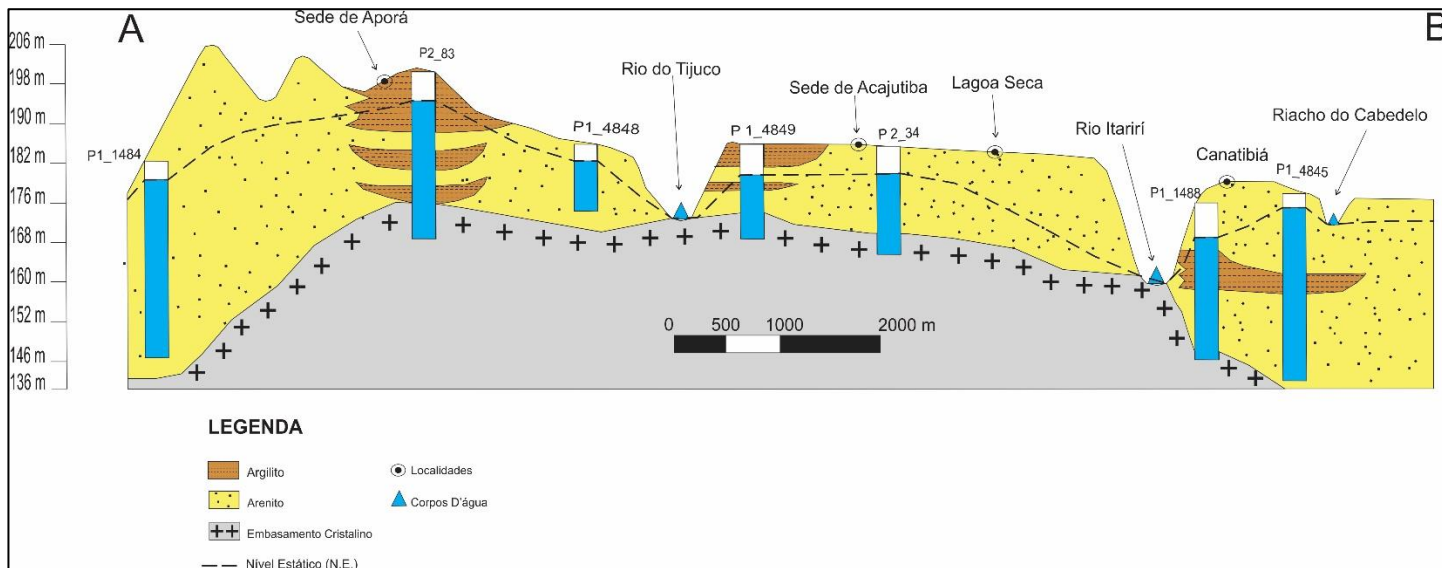
Com a informações dessas seções e dos poços tubulares (Figura 10 e Figura 13) se observar que a deposição do Grupo Barreiras ocorre de forma heterogênea, pacote sedimentares de espessuras em média de 52 m, espessura da zona saturada do aquífero com média de 40,1 m, com o embasamento cristalino aflorando nos leitos dos rios que cortam a unidade geológica

Figura 10 - Mapa de situação e Localização das seções hidrogeológicas 1 e 2 desenvolvidas na área de trabalho.



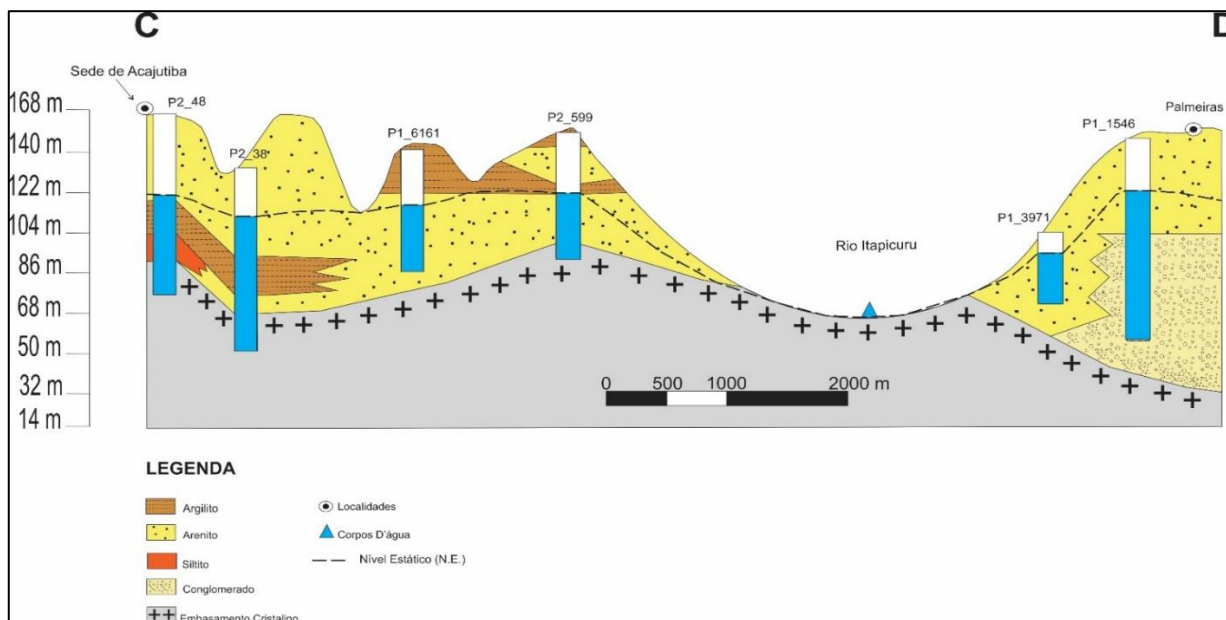
Fonte: autor, (2020).

Figura 11 - : Seção Hidrogeológica 1.



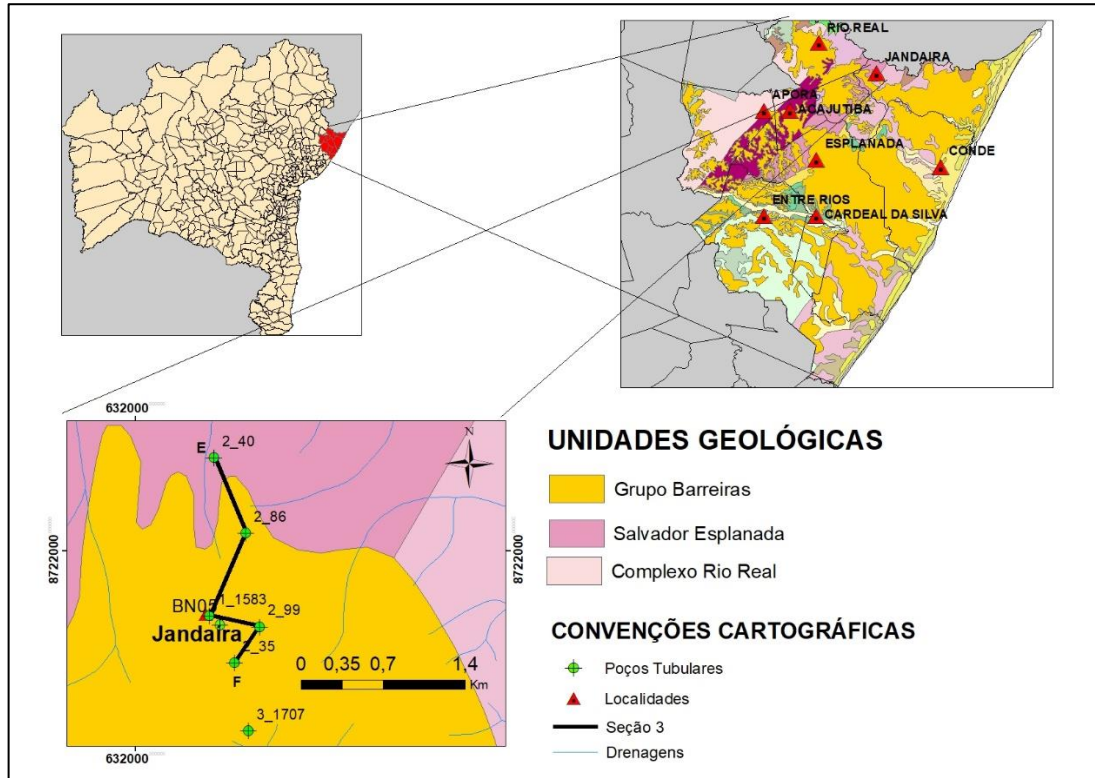
Fonte: autor, (2020).

Figura 12 - Seção Hidrogeológica 2.



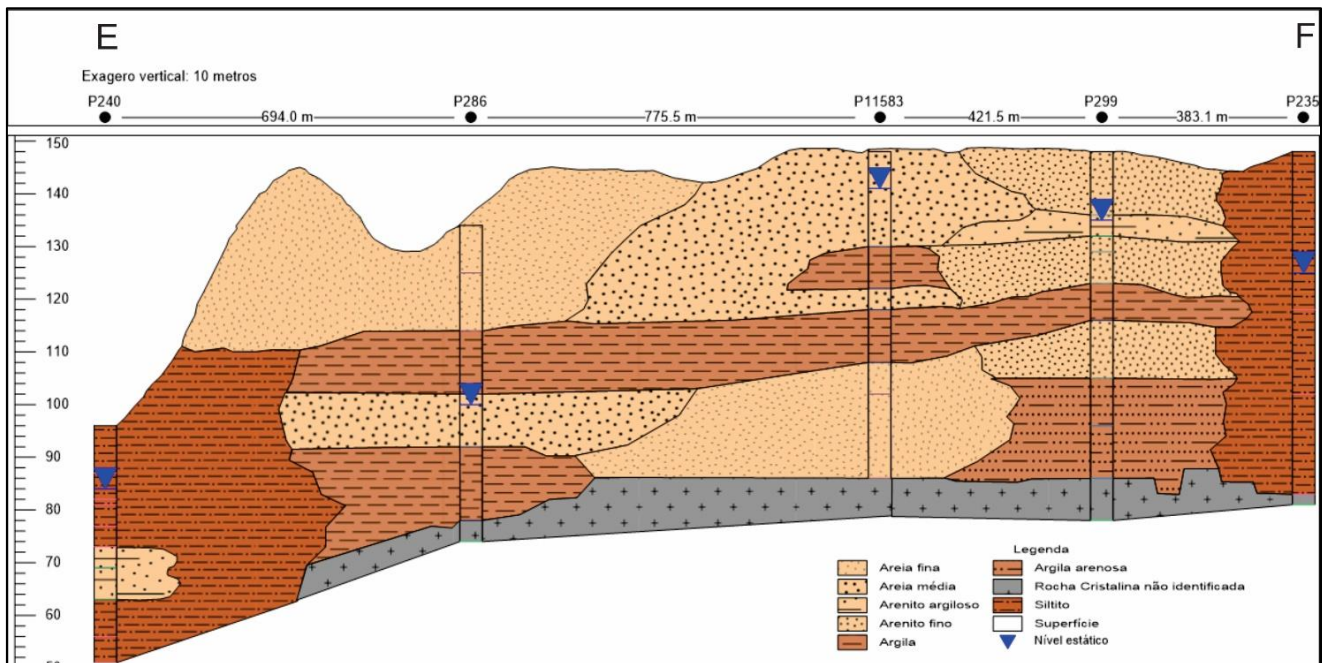
Fonte autor, (2020).

Figura 13 - Mapa de situação e Localização da seção hidrogeológica 3 desenvolvidas na área de trabalho.



Fonte: autor, (2020).

Figura 14 - Seção Hidrogeológica 3.



Fonte autor, (2020).

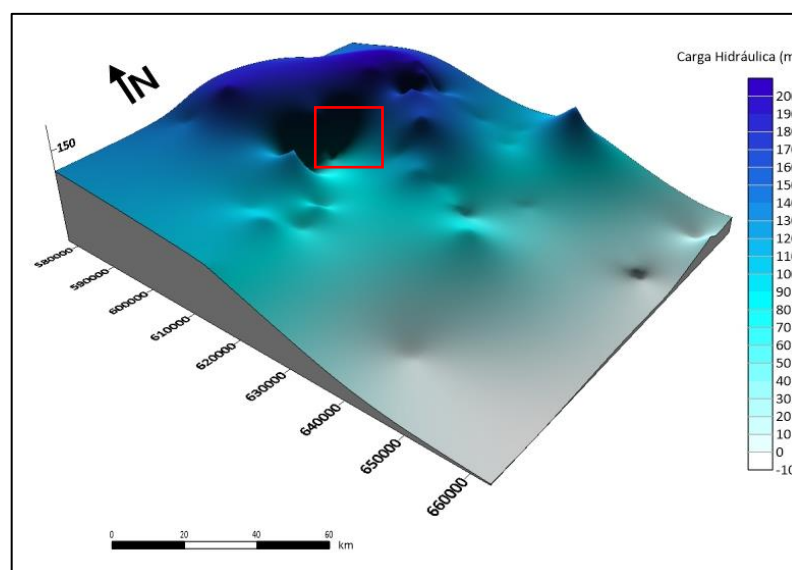
4.3 MODELO DE FLUXO SUBTERRÂNEO

Com as informações dos poços usados para encontrar os resultados das cargas hidráulicas, foi possível elaborar o Bloco Diagramado de Fluxo Subterrâneo e o Modelo de Fluxo Subterrâneo, mostrados nas respectivas Figuras 15 e 16, onde se observa que a direção do fluxo principal é NW-SE, saindo do continente para a zona marinha.

Os sentidos do fluxo indicado pelas setas, mostram que ele escorre na direção dos principais cursos das drenagens superficiais da região, percebe-se também que as águas superficiais tem o mesmo sentido das águas subterrâneas. Além disso, se observa que a saída das águas pelas regiões de maiores valores de carga hidráulica para as de menor valores, sugere as prováveis zonas de recarga e descarga da região.

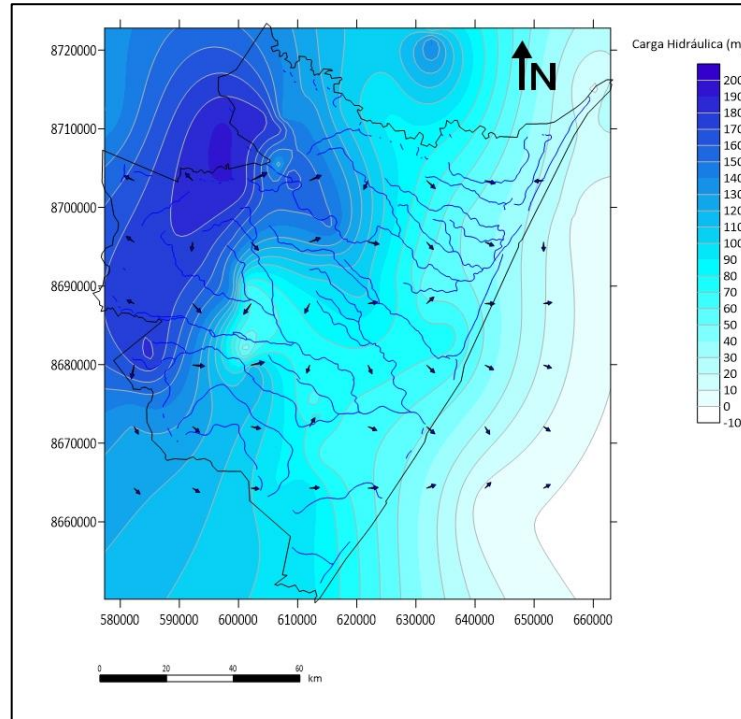
No Diagrama, é observado que as parte mais elevadas correspondem aos locais onde se encontra os maiores valores de carga hidráulica, associados onde o nível estático está mais distante da superfície. Já a depressão, indicado pelo quadrado vermelho na figura 15, pode estar associada a lentes de argilas que favorecem a instalação de aquíferos suspensos, deixando o nível estático mais acima e diminuindo os valores de carga hidráulica nesta região.

Figura 15 - Bloco Diagrama de Carga Hidráulica.



Fonte: Autor, (2020).

Figura 16 - Mapa de Fluxo Subterrâneo do Litoral Norte da Bahia.



Fonte: autor, (2020).

4.4 CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POÇOS TUBULARES

A capacidade específica é referente aos potenciais hidrogeológicos de produção dos poços tubulares implantados nos aquíferos. Como pode ser observado na Tabela 1, os poços que exploram água do Aquífero Barreiras mostram que as capacidades específicas apresentam valores médios de $0,74 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, variando de $10,99$ a $0,02 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Na Figura 17, mostra os locais onde se apresentam maiores e menores valores de capacidade específica distribuídos espacialmente na área de trabalho.

É visto que os maiores valores de capacidades específicas dos poços são encontrados na região mais a oeste, representados pela coloração vermelha, mas a grande maioria dos poços tubulares possui resultados baixos que variam entre $0,014$ a $1,58 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. Os resultados indicam uma produtividade baixas dos poços que coletam água do Aquífero do Grupo Barreiras, provavelmente associada ao pacote sedimentar ser pouco espesso e heterogêneo. No entanto, de acordo com Feitosa (2008), poços tubulares que apresentam capacidades específicas inferiores do que $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, operando a 16 horas por dia, podem abastecer uma população de 1500 pessoas com

uma taxa de per capita de 100 L/dia. Desta maneira, a produção dos poços tubulares mesmo que baixa, seria o suficiente para o abastecimento humano e o uso em agriculturas familiares na região de estudo, visto que a maioria das comunidades que utilizam da água subterrânea estão localizadas nas zonas rurais, nas quais, em geral, apresentam baixos índices demográficos.

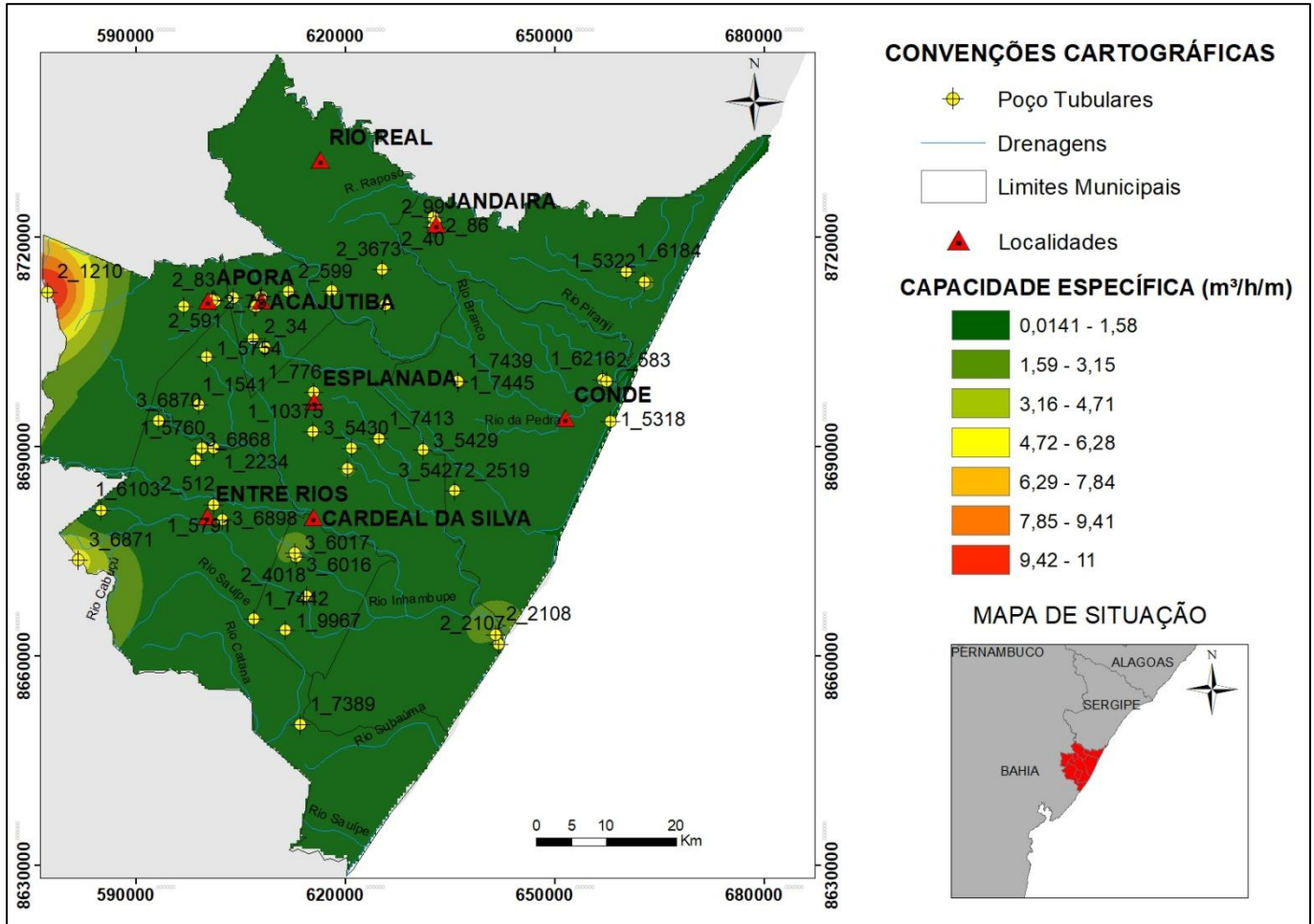
Os poços tubulares também se mostram com profundidade média de 68,47 m, níveis estáticos médios 20,12 m variando de 112,68 a 1,00 m, níveis dinâmicos variando de 100,75 a 1,80 m com média de 21,70, vazões de estabilização variando de 99,00 a 0,39 m³/h, com média de 7,32 m³/h.

Tabela 1 - Dados estatísticos dos parâmetros hidrogeológicos dos poços tubulares. Prof. = Profundidade; N.E.= Nível Estático; N.D. = Nível Dinâmico; Reba. = Rebaixamento; Q = Vazão de Estabilização; Sc = Capacidade Específica.

| | Prof. (m) | NE(m) | ND(m) | Reba. (m) | Q(m ³ /h) | Sc(m ³ /h/m) |
|----------------|-----------|--------|--------|-----------|----------------------|-------------------------|
| Média | 68,47 | 20,12 | 41,82 | 21,70 | 7,32 | 0,74 |
| Máximo | 361,00 | 112,68 | 121,69 | 100,75 | 99,00 | 10,99 |
| Mínimo | 13,50 | 1,00 | 11,10 | 1,80 | 0,39 | 0,02 |
| Mediana | 58,00 | 11,78 | 39,02 | 3,78 | 0,22 | 16,73 |

Fonte: CERB e SIAGAS/CPRM.

Figura 17 - Mapa de distribuição espacial das Capacidades Específicas dos Poços Tubulares.



Fonte: Autor, (2020).

4.5 HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A caracterização hidroquímica do Aquífero do Grupo Barreiras foi feita através da análises de parâmetros físico-químicos e químicos de 21 amostras de água subterrânea coletadas na etapa de campo do trabalho nos municípios de Rio Real, Jandaíra, Acajutiba, Esplanada, Entre Rios, Cardeal da Silva e Conde, sendo que o um poço foi coletado no município de Crisópolis, que mesmo fora da zona de trabalho se apresentou próximo e sobre a unidade do barreiras, assim pode ser utilizado para as medições químicas. Nas Fotografias 8, 9 e 10 abaixo mostram a coleta de água dos poços feita na etapa de campo.

Fotografia 10 - Coleta de amostra de água no poço BN10, na localidade Comunidade Quilombola Gamboa, no município de Entre Rios. Coordenadas X: 8689468 e Y: 599464.



Fonte: Autor, (2016).

Fotografia 11 - Poços Tubular, BN07, no município de Esplanada, na localidade de Negro do Mato. Coordenadas X:8692997 e Y: 615429.



Fonte: Autor, (2016).

Fotografia 12 - Utilização da água do poço amazonas BN13, pela população do Povoado de Nova Pastora, Cardeal da Silva. Coordenadas X: 8674926 e Y: 612616.



Fonte: Autor, (2020).

Com os resultados das análises, as águas subterrâneas podem ser classificadas quanto a sua composição química, que depende da sua interação com as rochas que as armazenam, bem como do índice pluviométrico na região. Para a classificação químicas das águas dos poços coletados em campo foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos: Temperatura das Águas ($^{\circ}\text{C}$), Condutividade Elétrica (ms/cm), Turbidez, Sólidos Totais Dissolvidos, pH, e os parâmetros químicos: Cálcio (Ca), Cloreto (Cl), Nitrato (NO_3), Sulfato (SO_4), Ferro Total (Fe), Potássio (K), Magnésio (Mg), Sódio (Na) e Bicarbonato (HCO_3).

Para verificar a qualidade das águas para o consumo humano e animal, os valores obtidos foram comparados com os Valores Máximos Permitidos (VMP) da Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, CETESB (2009) e OMS (Tabela 2) e da Resolução CONAMA 357/2005 para o uso de águas para a irrigação.

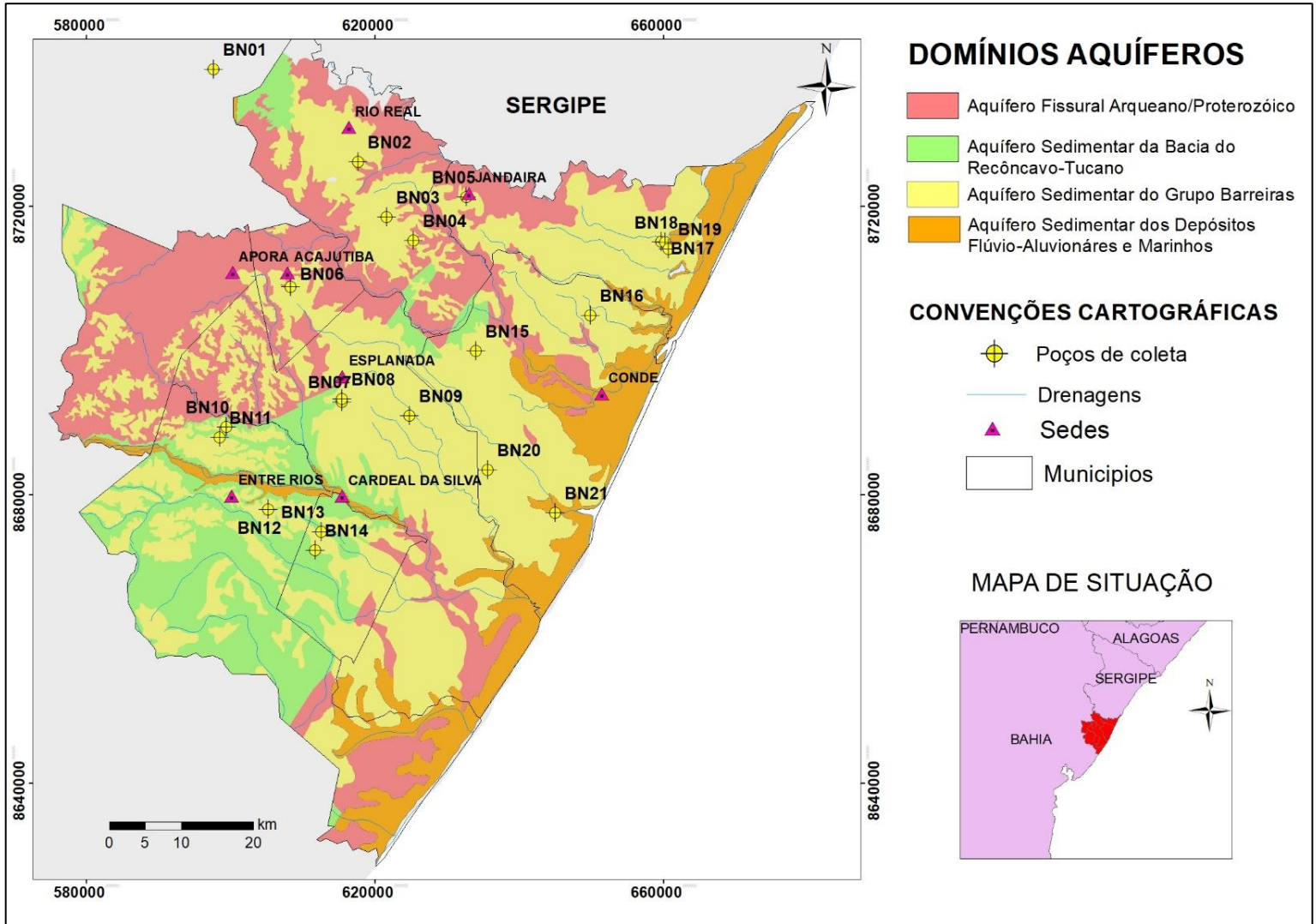
A Tabela 3, a seguir, os resultados dos parâmetros físico-químicos e químicos encontrado nas 21 amostras coletadas e a Figura 18 amostra a distribuição espacial dos poços coletados em campo.

Tabela 2 - Valores dos parâmetros químicos e físico-químicos das amostras coletadas em campo.

| AMOSTRAS | Cl (mg/L) | NO3 (mg/L) | SO4 (mg/L) | Fe (mg/L) | Ca (mg/L) | Mg (mg/L) | Na (mg/L) | K (mg/L) | HCO3 (mg/L) | pH | CE (µS/cm) | T (c°) | Turbidez | Resíduo Total (mg/L) |
|----------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------------|------|---------------|--------|----------|----------------------------|
| BN01 | 71,20 | 0,70 | 1,80 | 0,00 | 2,60 | 8,40 | 50,40 | 9,20 | 7,82 | 5,14 | 536,00 | 28,90 | 0,00 | 343,00 |
| BN02 | 71,20 | 19,50 | 4,50 | 0,00 | 2,00 | 2,10 | 16,90 | 0,90 | 9,78 | 5,30 | 10,00 | 26,10 | 10,30 | 110,00 |
| BN03 | 55,00 | 31,00 | 1,60 | 0,00 | 1,70 | 2,10 | 17,10 | 2,50 | 20,87 | 5,66 | 173,00 | 29,45 | 8,90 | 113,00 |
| BN04 | 71,30 | 20,60 | 1,50 | 0,00 | 1,00 | 2,30 | 13,80 | 2,70 | 0,00 | 4,51 | 164,00 | 27,60 | 0,00 | 107,00 |
| BN05 | 75,90 | 65,60 | 7,80 | 0,00 | 2,40 | 4,50 | 19,40 | 4,20 | 0,00 | 4,00 | 266,00 | 29,34 | 0,00 | 173,00 |
| BN06 | 94,00 | 44,60 | 1,50 | 0,00 | 1,30 | 3,40 | 19,90 | 3,20 | 0,00 | 5,14 | 246,00 | 31,59 | 0,00 | 160,00 |
| BN07 | 40,40 | 5,90 | 4,10 | 0,49 | 0,50 | 2,50 | 9,70 | 0,80 | 5,22 | 4,79 | 105,00 | 28,31 | 0,60 | 67,00 |
| BN08 | 46,00 | 17,60 | 2,90 | 0,00 | 0,80 | 1,50 | 10,60 | 0,50 | 0,00 | 4,17 | 112,00 | 27,69 | 0,00 | 73,00 |
| BN09 | 30,00 | 5,90 | 3,00 | 0,00 | 0,30 | 0,80 | 7,20 | 0,60 | 0,00 | 4,10 | 80,00 | 27,27 | 0,00 | 52,00 |
| BN10 | 76,50 | 21,70 | 2,10 | 0,10 | 0,80 | 1,60 | 18,30 | 0,50 | 5,22 | 5,11 | 170,00 | 26,60 | 0,50 | 113,00 |
| BN11 | 62,80 | 13,50 | 3,30 | 0,00 | 2,90 | 3,00 | 19,80 | 1,10 | 51,51 | 6,47 | 214,00 | 28,06 | 0,00 | 139,00 |
| BN12 | 24,60 | 0,00 | 18,90 | 0,24 | 1,90 | 1,40 | 15,80 | 1,90 | 50,86 | 6,43 | 146,00 | 29,57 | 8,30 | 95,00 |
| BN13 | 36,40 | 42,90 | 1,90 | 0,00 | 0,90 | 1,60 | 12,60 | 0,40 | 0,00 | 4,13 | 131,00 | 27,16 | 0,00 | 85,00 |
| BN14 | 67,80 | 0,45 | 5,70 | 1,00 | 1,60 | 2,00 | 15,00 | 1,70 | 16,30 | 5,04 | 162,00 | 26,57 | 8,90 | 106,00 |
| BN15 | 11,70 | 35,40 | 0,00 | 0,00 | 1,30 | 2,00 | 3,90 | 0,00 | 0,00 | 4,15 | 78,00 | 28,49 | 0,00 | 50,00 |
| BN16 | 31,70 | 59,00 | 1,90 | 0,00 | 4,80 | 3,90 | 10,00 | 0,90 | 0,00 | 4,15 | 163,00 | 27,70 | 1,60 | 106,00 |
| BN17 | 152,00 | 0,60 | 21,60 | 0,00 | 44,00 | 0,00 | 32,00 | 47,00 | 231,62 | 6,77 | 701,00 | 28,06 | 0,00 | 449,00 |
| BN18 | 150,00 | 0,25 | 30,00 | 0,32 | 43,00 | 0,00 | 46,00 | 49,00 | 368,55 | 7,06 | 791,00 | 27,20 | 0,00 | 506,00 |
| BN19 | 60,80 | 13,70 | 9,80 | 0,12 | 1,10 | 2,80 | 13,40 | 0,40 | 0,00 | 4,68 | 146,00 | 29,86 | 49,20 | 95,00 |
| BN20 | 18,90 | 24,90 | 3,90 | 0,00 | 0,60 | 1,30 | 6,90 | 0,30 | 0,00 | 4,32 | 74,00 | 27,19 | 0,00 | 48,00 |
| BN21 | 146,00 | 0,40 | 113,00 | 0,00 | 5,40 | 5,20 | 115,60 | 1,20 | 304,52 | 7,02 | 805,00 | 28,07 | 0,00 | 516,00 |

Fonte: Autor, 2020.

Figura 18 - Mapa de Distribuição Espacial do poços coletados para análise química.



Fonte: Autor, (2020).

4.6 BALANÇO IÔNICOS DAS ÁGUAS

Os valores obtidos com as análises foram submetidos a um balanço iônico, no programa *Qualigraf*, afim de verificar a consistências dos resultados. Foram feitas as conversões de unidade de medida de mg/L para meq/L, como visto na Tabela 3. Em seguida foram avaliadas as porcentagens de cada cátions e ânions das amostras. De acordo com a Funceme (2014), em uma análise hidroquímica a concentração de cátions deve ser aproximadamente igual a concentração de ânions e o desvio percentual desse resultado é avaliado pelo coeficiente do erro analítico. O Erro

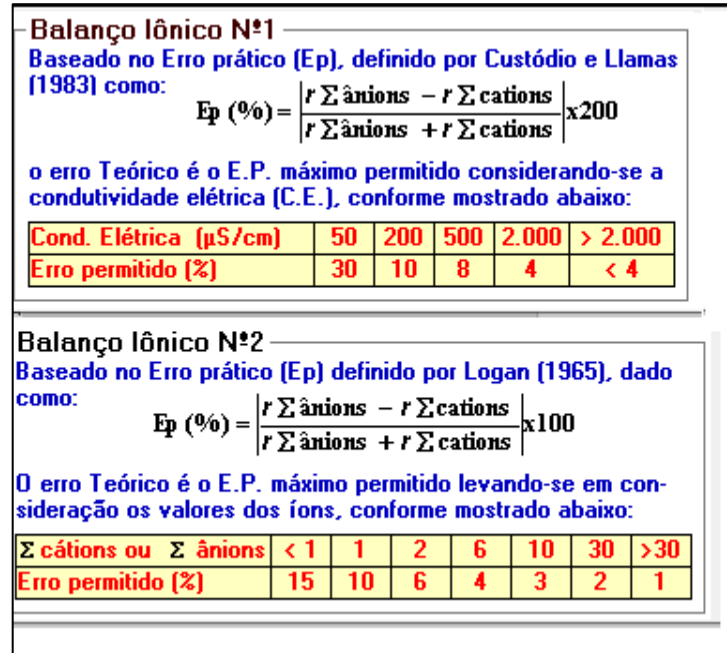
analítico é feito por duas técnicas, a primeira leva em consideração a condutividade elétrica (CE) e outra o somatório dos cátions e ânions, essas equações são vistas na Figura 18.

Tabela 3 - Balanço Iônico das amostras coletadas em etapa de campo. As amostras destacadas em negrito são as que atenderam os cálculos do balanço iônico.

| mostra | Na + K (meq/L) | Ca (meq/L) | Mg (meq/L) | Cl (meq/L) | CO ₃ + HCO ₃ (meq/L) | SO ₄ (meq/L) | CE (μS/cm) | Σ Cátions (meq/L) | Σ Ânions (meq/L) | B.I. I (%) | B.I. II (%) | Observações |
|--------|-------------------|---------------|---------------|---------------|--|----------------------------|---------------|-------------------------|------------------------|---------------|----------------|------------------------------|
| BN01 | 2,43 | 0,13 | 0,69 | 2,01 | 0,13 | 1,80 | 536,00 | 3,25 | 2,17 | 39,62 | 19,81 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN02 | 0,76 | 0,10 | 0,17 | 2,01 | 0,16 | 4,50 | 10,00 | 1,03 | 2,26 | 74,80 | 37,40 | Não atende B.I. 2 |
| BN03 | 0,81 | 0,09 | 0,17 | 1,55 | 0,34 | 1,60 | 173,00 | 1,07 | 1,93 | 57,57 | 28,79 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN04 | 0,67 | 0,05 | 0,19 | 2,01 | 0,00 | 1,50 | 164,00 | 0,91 | 2,04 | 76,86 | 38,43 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN05 | 0,95 | 0,12 | 0,37 | 2,14 | 0,00 | 7,80 | 266,00 | 1,44 | 2,30 | 46,04 | 23,02 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN06 | 0,95 | 0,07 | 0,28 | 2,65 | 0,00 | 1,50 | 246,00 | 1,29 | 2,68 | 69,98 | 34,99 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN07 | 0,44 | 0,03 | 0,21 | 1,14 | 0,09 | 4,10 | 105,00 | 0,67 | 1,31 | 64,29 | 32,14 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN08 | 0,47 | 0,04 | 0,12 | 1,30 | 0,00 | 2,90 | 112,00 | 0,64 | 1,36 | 72,25 | 36,13 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN09 | 0,33 | 0,02 | 0,07 | 0,85 | 0,00 | 3,00 | 80,00 | 0,41 | 0,91 | 75,78 | 37,89 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN10 | 0,81 | 0,04 | 0,13 | 2,16 | 0,09 | 2,10 | 170,00 | 0,98 | 2,29 | 79,99 | 39,99 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN11 | 0,89 | 0,15 | 0,25 | 1,77 | 0,84 | 3,30 | 214,00 | 1,28 | 2,68 | 70,78 | 35,39 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN12 | 0,74 | 0,10 | 0,12 | 0,69 | 0,83 | 18,90 | 146,00 | 0,95 | 1,92 | 68,02 | 34,01 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN13 | 0,56 | 0,05 | 0,13 | 1,03 | 0,00 | 1,90 | 131,00 | 0,73 | 1,07 | 36,81 | 18,40 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN14 | 0,46 | 0,08 | 0,16 | 1,91 | 0,27 | 5,70 | 162,00 | 0,70 | 2,30 | 106,40 | 53,20 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN15 | 0,17 | 0,07 | 0,16 | 0,33 | 0,00 | 0,00 | 78,00 | 0,40 | 0,33 | 18,94 | 9,47 | OK |
| BN16 | 0,46 | 0,24 | 1,14 | 0,89 | 0,00 | 1,90 | 163,00 | 1,84 | 0,93 | 65,39 | 32,70 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN17 | 2,59 | 2,20 | 0,00 | 4,29 | 3,80 | 21,60 | 701,00 | 4,79 | 8,53 | 56,12 | 28,06 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN18 | 3,25 | 2,15 | 0,00 | 4,23 | 6,04 | 30,00 | 791,00 | 5,40 | 10,90 | 67,39 | 33,70 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN19 | 0,59 | 0,06 | 0,23 | 1,72 | 0,00 | 9,80 | 146,00 | 0,88 | 1,92 | 74,41 | 37,20 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN20 | 0,31 | 0,03 | 0,11 | 0,53 | 0,00 | 3,90 | 74,00 | 0,44 | 0,61 | 32,03 | 16,02 | Não atende B.I. 1 e 2 |
| BN21 | 5,06 | 0,27 | 0,43 | 4,12 | 4,99 | 113,00 | 805,00 | 5,76 | 11,46 | 66,27 | 33,13 | Não atende B.I. 1 e 2 |

Fonte: Autor, (2020).

Figura 19 -Erro analítico prático do cálculo do Balanço Iônico.



Fonte: adaptado do *Qualigraf*, (2020).

Com os resultados mostrado na Tabela 3, observa se que a maioria das águas não atendem aos critérios dos balanços iônicos, com exceção dos poços BN02 que atende ao B.I.1 e B.I.2, e BN15 que atende aos padrões da B.I.1 e não aos do B.I.2.

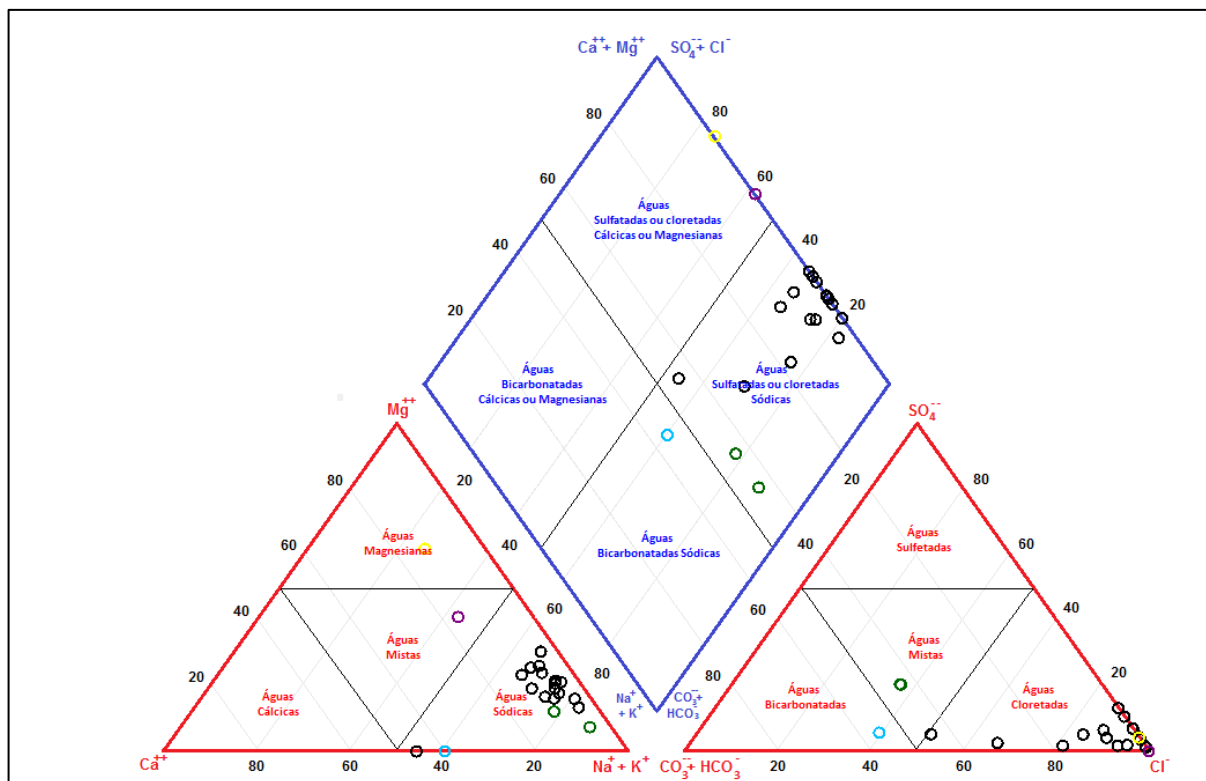
Mesmo com a maioria das amostras não atendendo aos coeficientes dos limites propostos pelos balanceamentos iônicos, os resultados das análises ainda podem ser utilizados para a avaliação hidroquímica (FUNCEME, 2014). As causas para o desbalanceamento da maioria das amostras analisadas por este trabalho podem ser variadas, desde falhas no procedimento, erros no manuseamento e coleta das amostras em etapa de campo, longo período de armazenamento das amostras e outros íons não computados nas estimativas dos elementos que podem estar presentes nas águas em proporções consideráveis.

4.7 CLASSIFICAÇÃO HIDROQUÍMICA

Com essas informações foi confeccionado, através do programa *Qualigraf* o Diagrama de Piper, no qual é composto por dois triângulos, referentes aos ânions SO_4^{2-} , $CO_3^{2-}+HCO_3^-$, e Cl^- , e aos cátions Mg^{2+} , Ca^{2+} e $Na^{++}K^+$, sendo que para fazer a correlação dos ânions com os cátions existe um losango ao centro. A Figura X2 apresenta os resultados e classifica 16 das amostras são

tidas como sódicas cloretadas (76%), 2 como sódicas mistas (10%), 1 como sódica bicarbonatada (5%), 1 como magnesiânica cloretada (5%) e 1 como cloretada mista (5%).

Figura 20 - Diagrama de Piper para a distribuição das classes de águas.



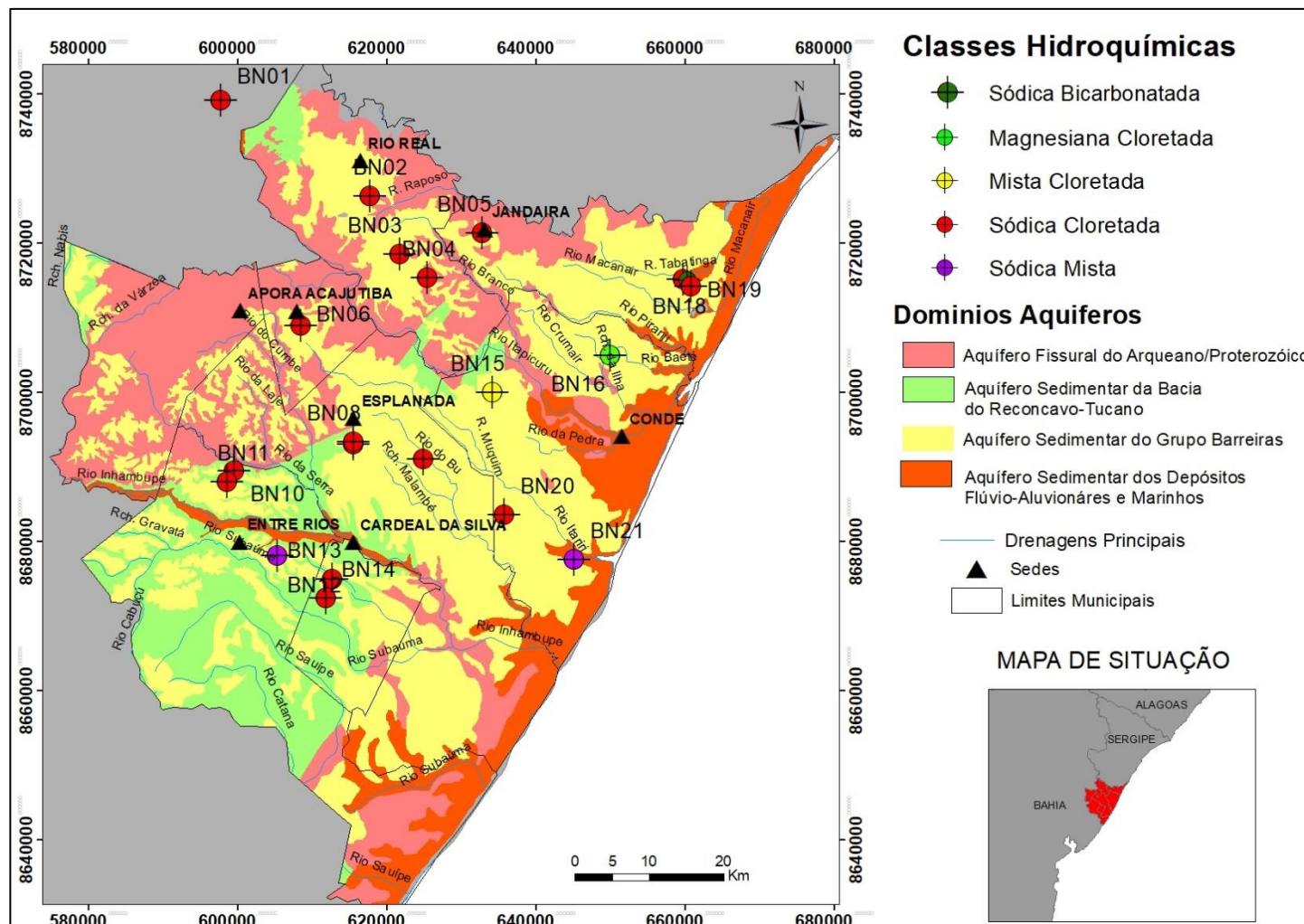
Fonte: Autor, (2020).

Com os resultados das classificações hidroquímicas foi feito um mapa de distribuição das classes de águas, visto na Figura 21. No mapa, as águas sódicas cloretadas apresentam como a maioria das classes de águas e distribuídas de forma homogênea na área de trabalho. A tendência no enriquecimento de íons Na e Cl nas águas da região, pode estar associada com a proximidades com a zona marinha, tendo influência de spray salinos, provenientes precipitações pluviométricas, junto com característica do Aquífero Barreiras possuir um aspecto, no geral, livre, o que favorece a infiltração desses elementos, sendo que, provavelmente esta classe de água está associada a zonas de recarga do aquífero.

As outras classes se encontram em pontos específicos no mapa, sem se apresentarem como predominantes em uma região. As águas sódicas mista podem esta relacionadas com a mistura de águas. A representante da classe de água sódico bicarbonatada pode indicar um local maior aporte

de CO₂. Já a ocorrência do ponto classificado como água magnésiana cloretada pode indicar a troca dos íons de sódio pelos de magnésio.

Figura 21 - Mapa de distribuição das classes químicas das águas.



Fonte: Autor, (2020).

4.8 QUALIDADES DAS ÁGUAS PARA A IRRIGAÇÃO E SALINIDADE

As águas podem ser classificadas de acordo com os Sólidos Totais Dissolvidos (STD), os quais constituem a concentração de material dissolvido nas águas. Os resultados das análises foram plotados no Qualigraf para gerar os valores estimados de STD, no qual seguiu-se a Resolução CONAMA 357/2005 para a classificação das águas em (i) Água Doce, (ii) Água Salobra

e (iii) Água Salgada.

As classificações de STD para as amostras foram em sua maioria como Água Doce, exceto apenas duas amostras classificadas como salobras, representadas pelos poços BN18 e BN21, como visto na Tabela 4, 10% das amostras foram classificadas como salobras e 90% como doce.

Tabela 4 - Classificação das águas de acordo com a salinidade. As classes em negrito representam águas salobras.

| AMOSTRAS | CLASSIFICAÇÃO | STD (mg/L) |
|----------|---------------------|------------|
| BN01 | Água Doce | 348,4 |
| BN02 | Água Doce | 6,5 |
| BN03 | Água Doce | 112,5 |
| BN04 | Água Doce | 106,6 |
| BN05 | Água Doce | 172,9 |
| BN06 | Água Doce | 159,9 |
| BN07 | Água Doce | 68,3 |
| BN08 | Água Doce | 72,8 |
| BN09 | Água Doce | 52 |
| BN10 | Água Doce | 110,5 |
| BN11 | Água Doce | 139,1 |
| BN12 | Água Doce | 94,9 |
| BN13 | Água Doce | 85,2 |
| BN14 | Água Doce | 105,3 |
| BN15 | Água Doce | 50,7 |
| BN16 | Água Doce | 106 |
| BN17 | Água Doce | 455,7 |
| BN18 | Água Salobra | 514,2 |
| BN19 | Água Doce | 94,9 |
| BN20 | Água Doce | 48,1 |
| BN21 | Água Salobra | 523,3 |

Fonte: Autor, (2020).

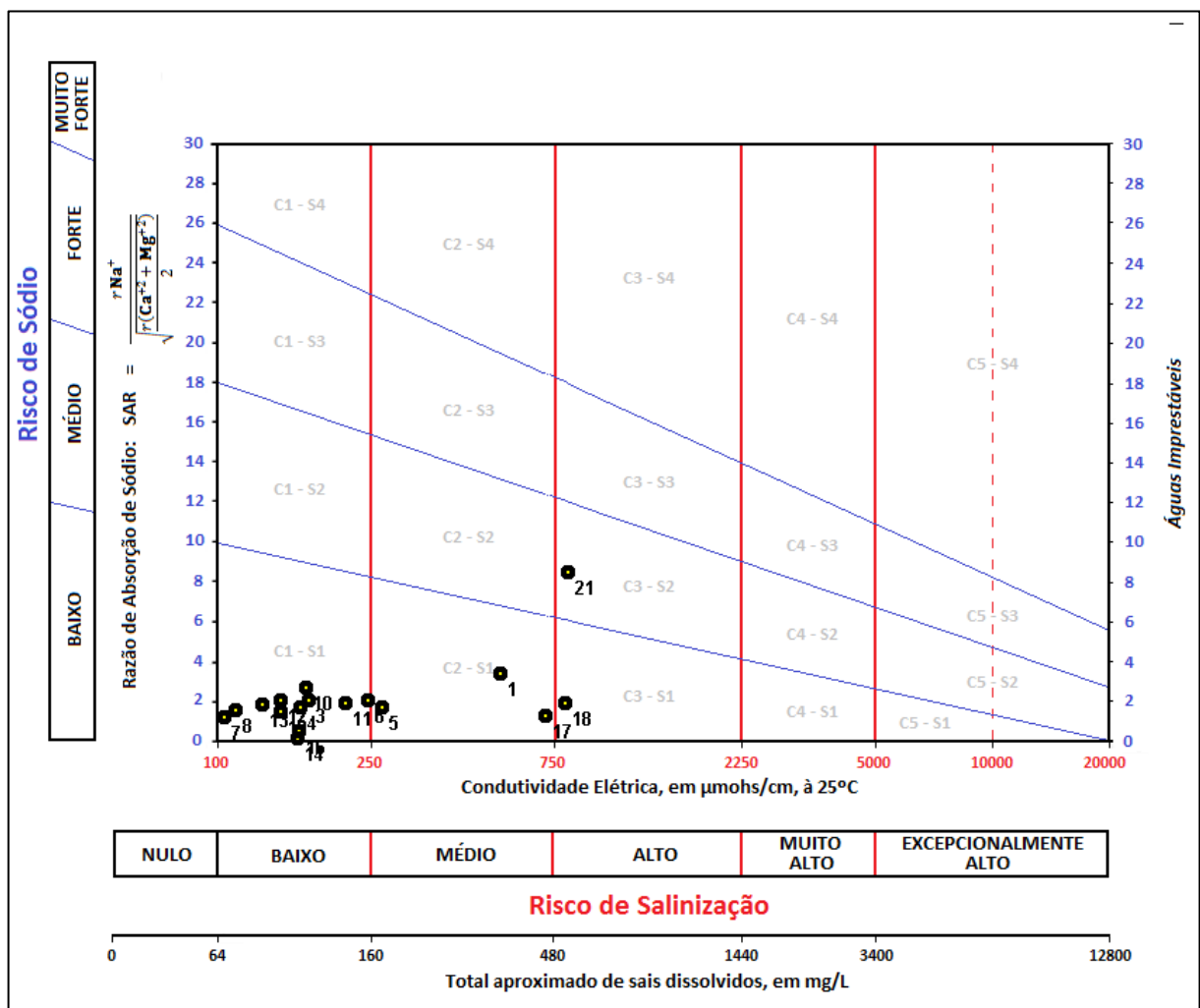
Para averiguar o uso das águas para a irrigação foi utilizada a classificação proposta pelo *United States Salinity Laboratory* (USSL), que corresponde a uma razão do SAR (*Sodium Adsorption Ration*) (Figura 22) e da condutividade elétrica (CE). Para o cálculo do SAR serão usados os íons de Magnésio, Cálcio e Sódio.

Figura 22 - Equação para o cálculo do SAR.

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{r(Ca^{+2} + Mg^{+2})}{2}}}$$

Fonte: Funcene, (2014).

Figura 23 - Classificação das águas subterrâneas para a irrigação.



Fonte: autor, (2020).

A qualidade das águas para a irrigação foi avaliada sobre os aspectos da salinidade e da sodicidade, como visto na Figura 23. Das amostras de água dos poços, 12 foram inseridas como

C1-S1, as quais se caracterizam como águas de baixa salinidade e fracamente sódicas, podem ser utilizadas para irrigar a maioria plantações e solos, com baixo risco de salinização dos solos e formação de teores nocivos de sódio. Além disso, 4 poços foram classificados como C0-S1, o que se caracterizam uma salinidade fraquíssima sem restrições para o uso na irrigação de qualquer cultura.

As amostras classificadas como C2-S1 foram 3, correspondem a águas fracamente sódicas e de salinidade mediana, podem ser usados em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando o processo de lixiviação nesses poços for fraco a moderado, sem muitas restrições a cultivos de fraca tolerância a salinidade.

Apenas 2 amostras apresentam com uma alta salinidade, a BN18 e a BN21 que são classificadas respectivamente como C3-S1 e C3-S2, com restrições para o uso na irrigação sendo recomendadas para solos bem drenados e em cultivos de plantas com de alta resistência a salinidade. O BN21 recebeu uma classificação de água mediantemente sódica, no qual se apresentam risco para formação de teores nocivos de sódio em solos de textura fina e de alta capacidade de troca de cátions, indicados para solos ricos em matéria orgânica, de textura grossa e boa permeabilidade.

As amostras BN18 e BN21 se apresentam como salobras e de alto teor de salinidade, esses resultados está podem ser associados à sua proximidade com a zona litorânea, indicando provavelmente uma zona de mistura de águas.

4.9 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E QUÍMICAS.

Com os resultados obtidos das análises químicos e físico-químicos das águas coletadas na etapa de campo foi confeccionado a Tabela 5 apresenta os valores máximos, mínimos, médios, desvios padrões e medianas dos parâmetros.

Tabela 5 - Valores médios, maiores, menores, desvio padrão e mediana dos parâmetros químicos e físico-químicos das amostras de campo.

| Parâmetros | Média | Máximo | Mínimo | Desvio Padrão | Mediana |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|---------------|---------|
| Cl (mg/L) | 66,39 | 152,00 | 11,70 | 39,86 | 62,8 |
| NO3 (mg/L) | 20,20 | 65,60 | 0,00 | 19,40 | 17,6 |
| SO4 (mg/L) | 11,47 | 113,00 | 0,00 | 23,92 | 3,3 |
| Fe (mg/L) | 0,11 | 1,00 | 0,00 | 0,23 | 0,0 |
| Ca (mg/L) | 5,76 | 44,00 | 0,30 | 12,31 | 1,6 |
| Mg (mg/L) | 2,50 | 8,40 | 0,00 | 1,83 | 2,1 |
| Na (mg/L) | 22,59 | 115,60 | 3,90 | 23,73 | 15,8 |
| K (mg/L) | 6,14 | 49,00 | 0,00 | 13,72 | 1,1 |
| HCO3 (mg/L) | 51,06 | 368,55 | 0,00 | 105,47 | 5,22 |
| pH | 5,15 | 7,06 | 4,00 | 1,01 | 5,04 |
| CE (µS/cm) | 251,10 | 805,00 | 10,00 | 233,54 | 163 |
| Turbidez | 4,20 | 49,20 | 0,00 | 10,66 | 0,0 |
| T (c°) | 28,13 | 31,59 | 26,10 | 1,272 | 28,06 |
| Sólido Total Dissolvido (mg/L) | 166,95 | 516,00 | 48,00 | 145,60 | 107 |

Fonte: Autor, (2020).

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e químicos das amostras de águas foram comparados com os valores de VMPs das portarias de potabilidades, presentes na Tabela 6, com a finalidade de verificar se as informações obtidas em laboratório se adequam para o consumo humano das águas.

Tabela 6 - A tabela apresenta os valores permitidos pela Portaria 2914/2011, CETESB e OMS.

| Parâmetros | VMP (Portaria 2914/2011) | Média dos Valores | Poços Inseridos no VMP | VMP (CETESB (2009)) | VMP (OMS) |
|-------------------|--------------------------|-------------------|------------------------|---------------------|-----------|
| pH | 6-9,5 | 5,15 | 5 | - | - |
| STD (mg/L) | 1000 | 166,95 | 21 | - | - |
| Turbidez | 5 | 4,20 | 19 | - | - |
| Cl (mg/L) | 250 | 66,39 | 21 | - | - |
| Fe (mg/L) | 0,3 | 0,11 | 19 | - | - |
| NO3 (mg/L) | 10 | 20,20 | 8 | - | - |
| SO4 (mg/L) | 250 | 11,47 | 21 | - | - |
| Na (mg/L) | 200 | 22,59 | 21 | - | - |
| Ca (mg/L) | - | 5,76 | 21 | - | 70 |

| | | | | | |
|-------------------------|---|-------|----|----|-----|
| K (mg/L) | - | 2,50 | 21 | 10 | |
| Mg (mg/L) | - | 6,14 | 21 | - | 50 |
| HCO ₃ (mg/L) | - | 51,06 | 21 | - | 500 |

Fonte: Ministério da Saúde, (2011); CETESB (2009) e OMS.

Com a integração dos resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6, observa-se que as águas podem ser classificadas com um caráter mais ácido, por apresentar um pH médio de 5,15, variando entre 4,00 a 7,06, e pelos valores da Portaria 2914/2011 (Tabela 6), 5 amostras apresentam pH sugerido para o consumo humano. Os valores condutividade elétrica variaram de 805,00 a 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com média de 251,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e os valores de resíduos totais variaram de 516,00 a 48,00 mg/L, com média de 166,95, fatores que reforça uma salinidade baixa na maioria das águas, sendo as amostras correspondentes aos poços BN01, BN05, BN06 e BN17 caracterizados com uma salinidade mediana, e os BN18 e BN21 correspondem a uma salinidade alta. As temperaturas das águas variaram de 31,59 a 26,10 °C, com média de 28,13 °C. Já a Turbidez da maioria dos poços foi de 0,0 uT, sendo apenas 5 poços com valores acima do permitido pelo VMP.

Com relação ao cloreto foi visto que os com maiores valores mais próximos a região litorânea da área de trabalho, com variações entre 152,00 a 11,70 mg/L e média de 66,39 mg/L, sendo que todas amostras analisadas se enquadram nos padrões de VMP da Portaria 2914/2011. Por ser um composto muito solúvel, com tendência a ter um enriquecimento ligado ao Sódio (STEIN, 2012), pode se associar a interação destes parâmetros com águas de recarga vindas da precipitação pluviométricas, com influência marinha, reforçado pelos maiores valores de cloreto serem encontrados nos poços BN17, BN18 e BN21 próximos a zona litorânea.

O sódio apresenta uma distribuição espacial com maiores valores mais próximos as regiões litorâneas, com valores variando de 115,60 a 3,9 mg/L, e média de 22,59 mg/L, sendo que todas as amostras analisadas se enquadram nos padrões do VMP. Os valores baixos de sódio reforçam a baixa salinidade vista nas maiorias das amostras de águas analisadas.

O magnésio apresenta uma distribuição espacial heterogenia, com valores variando de 8,40 a 0,0 mg/L, com média de 2,50 mg/L. Já o cálcio ocorre em maiores concentrações próximo a região litorânea, com valores variando de 44,00 a 0,30 mg/L e média de 5,76 mg/L. De acordo com Stein *et al.* (2012), o cálcio e o magnésio são elementos que possuem um comportamento geoquímico parecido, no entanto as suas concentrações se mostram desiguais na área de estudo, pois os minerais que fornecem o magnésio para as águas são mais resistentes ao intemperismo. O

calcio tem sua solubilidade na água associada com a quantidade de CO₂ dissolvido, o que pode indicar que o poço BN18, classificado com água sódico bicarbonatada, possui um maior aporte de CO₂ na região, visto também no poço BN17, ao lado, também apresenta altos teores Ca. No entanto, o poço BN19 não apresenta essas características, o que aponta que sua água é mais protegida de interação com outras águas em comparação com os demais poços próximos. Os VMPs de cálcio e magnésio não são apresentados pela Portaria 2914/2011, no entanto a OMS, estabelece que para o consumo humano a água tenha valores Ca sejam menores que 70 mg/L e Mg menores que 50 mg/L, respectivamente todas as amostras apresentam dentro dos padrões da OMS.

O sulfato é visto em maiores concentrações nos poços mais próximos a zona litorânea, variando de 113,00 a 0,0 mg/L, com média de 11,47 mg/L, sendo que todos os poços apresentam dentro dos padrões de VMP da Portaria 2914/2011.

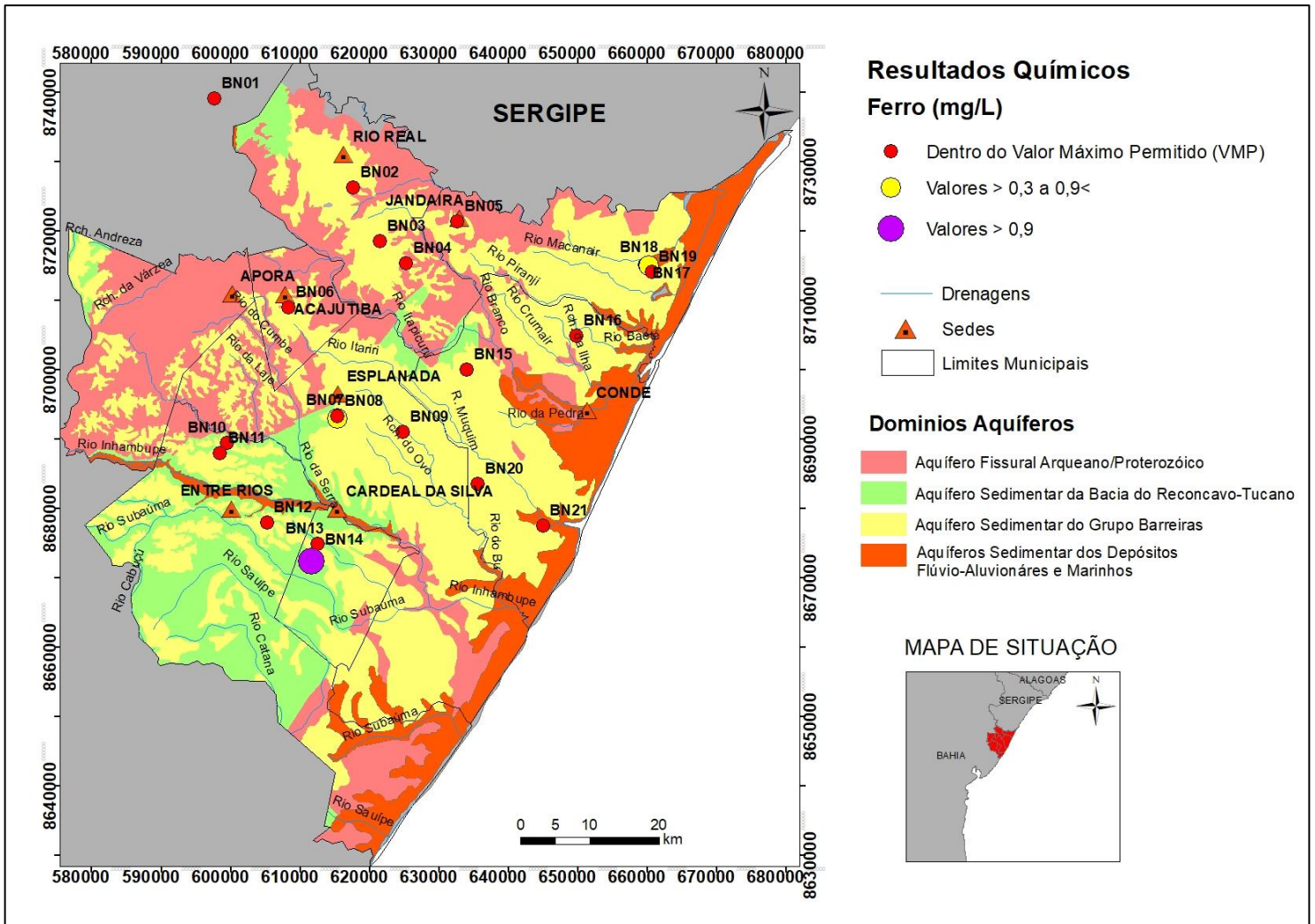
O potássio mostrou uma distribuição espacial mais heterogênea, com valores variando de 49,00 a 0,0 mg/L e média de 6,15 mg/L. A mediana do potássio foi de 1,1 mg/L, se apresentando em baixas concentrações nos poços, pode ser adsorvido pelas argilas em contato com as águas. No entanto, nos poços BN17 e BN18, as concentrações de potássio foram maiores que o restante, respectivamente 47,00 e 49,00 mg/L, sugerindo que nesses poços as suas águas tenham contato com pouquíssimas ou nenhuma camada de argilas. De acordo com a CETESB (2009), o potássio possui um VMP de 10 mg/L, sendo que todas as amostras da área se apresentaram dentro dos padrões.

Para os resultados dos de Ferro Total e Nitrato presentes nas águas coletadas foram observados que algumas das amostras não se enquadram nas comparações de VMPs apresentados nas portarias de potabilidade. Por isso, foram elaborados mapas de distribuição espacial para esses parâmetros, vistos nas Figuras 24 e 25, mostrados a seguir:

O ferro não foi detectado em todos os poços analisados, apenas se mostrou presente no BN07, BN10, BN12, BN14, BN18 e BN19, com valores respectivos de 0,49, 0,10, 0,24, 1,00, 0,32 e 0,12 mg/L. De acordo com Carmo (2016), as concentrações de ferro na água subterrânea estão ligadas com o pH baixo das águas, com alto teor de CO₂, sem oxigênio dissolvido. Os poços BN07 e BN14 apresentam teores acima dos padrões recomendados pela Portaria 2914/2011, sendo as mesmas se apresentando com respectivos pH de 4,79 e 5,04, o que pode estar relacionado com os altos teores de ferro encontrados nas suas águas. Já a amostra do BN18 se apresenta com valor um

pouco acima do VMP e apresenta um pH de 7,06, o teor um pouco elevado de Ferro pode estar associado com o tipo de água presente no poço ser Sódica Bicarbonatada.

Figura 24 - Distribuição Espacial de Ferro Total.

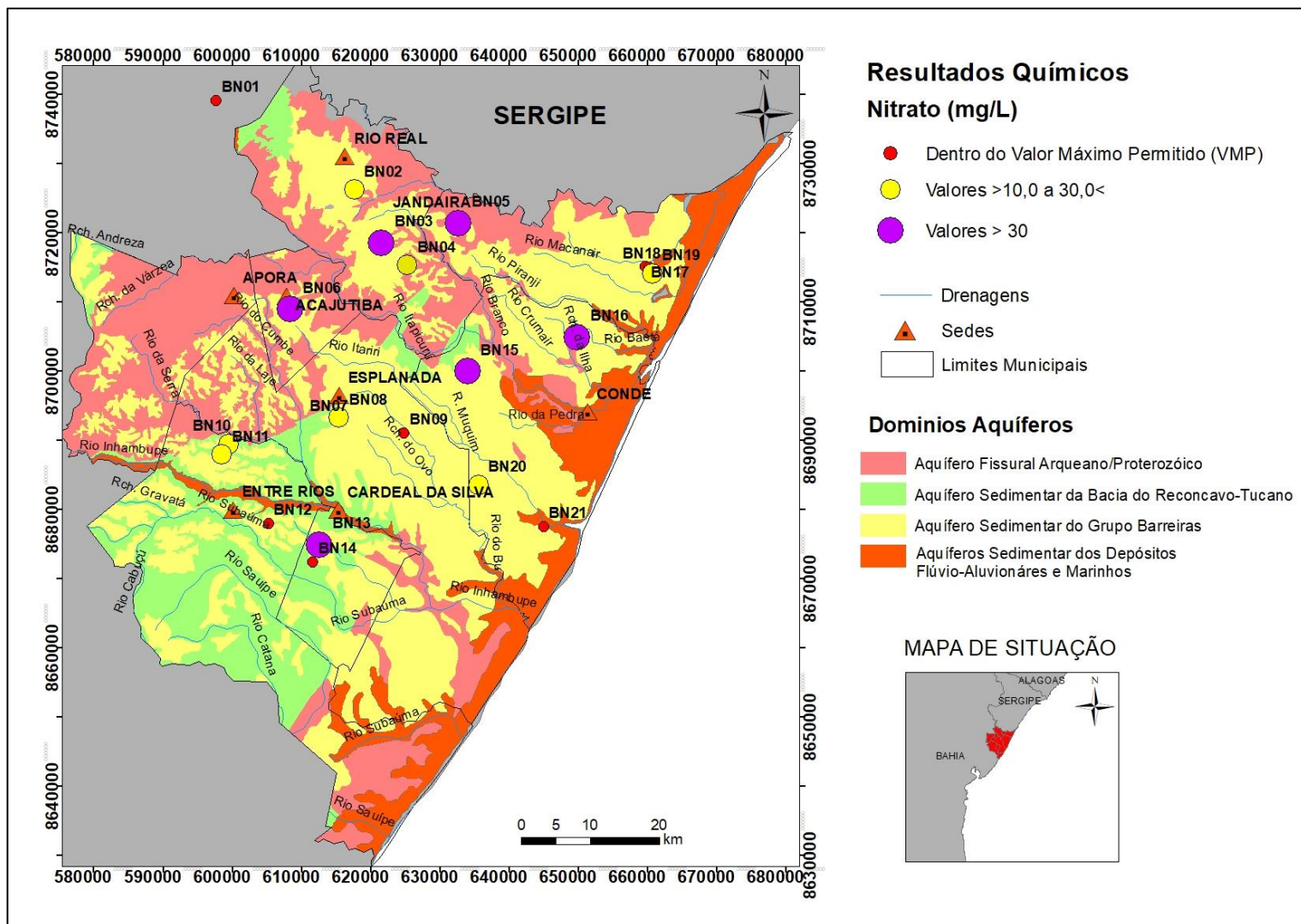


Fonte: Autor, (2020).

O nitrato se mostra mais presente a nordeste da área de trabalho, com valores variando de 65,00 a 0,00 mg/L e média de 20,20 mg/L, sendo que das amostras, 13 poços se apresentam com teores acima da permitido pela Portaria 2914/2011. De acordo com Nascimento e Barbosa (2016), as concentrações elevadas de nitrato são indicativos para baixa qualidade das águas do aquífero, com possível interferência de contaminação por dejetos sanitários dispostos de maneira irregular,

lixões irregulares e adubos nitrogenados, podendo entrar no meio subterrâneo e transmitido por grandes distâncias seguindo o fluxo subterrâneo.

Figura 25 - Distribuição Espacial de Nitrato.



Fonte: Autor, (2020).

CAPÍTULO 5 CONSIDERAÇÃO FINAIS

As águas subterrâneas mostram um papel importante no abastecimento de cidades e comunidades no Litoral Norte do Estado da Bahia, tendo o seu consumo para o uso doméstico, industrial e agrícola. No decorrer dos anos, o crescimento da população e de empreendimentos de cunho turísticos e agropecuários, provoca uma crescente procura por recursos hídricos, o que pode afetar a redução da disponibilidade de água na região, tornando os aquíferos presentes suscetíveis a superexploração e/ou contaminação de suas águas. A conservação e o uso sustentável dos mananciais subterrâneos, aliados a políticas de gestão dos recursos hídricos, se mostra essencial para a preservação e o consumo contínuo das águas subterrâneas.

O Aquífero do Grupo Barreiras presente em uma unidade litológica homônima, ocorre na unidade geomorfológica dos tabuleiros costeiros, com presença de uma capa ferruginosa relacionada a percolação da água subterrânea na unidade geológica, formada por sedimentos pouco consolidados a inconsolidados, apresentando uma grande variedade de fácies litológicas compostas por cores diversificadas e granulometrias variáveis.

O Aquífero Barreiras é tido como um aquífero sedimentar, no geral, com comportamento livre, no qual corresponde a 2750 km² na área de estudo, com espessura média de 52 m, espessura média da zona saturada de 40,1 m. Mesmo com a grande extensão territorial, o aquífero se apresenta bastante fragmento em porções, provavelmente, devido ao intenso processo de erosão que sofreu ao longo do tempo. Como visto nas seções hidrogeológicas, observa-se que por possuir uma grande variedade de fácies litológicas, a unidade apresenta um comportamento heterogêneo, o que permite classificá-lo, localmente, também como um aquífero semi-confinado.

A direção principal das águas subterrâneas, mostrado pelo Modelo de Fluxo Subterrâneo, tem trend NW-SE, saindo do continente para a zona marinha, em paralelo com o fluxo das águas superficiais. A capacidade específica da maioria dos poços tubulares foi tida como pequena, apresentando valor médio de 0,74 m³/h/m, o que indica uma produtividade baixa para os poços que exploram água do Aquífero do Grupo Barreiras, podendo estar associadas com a heterogeneidade do aquífero e sua baixa espessura. No entanto, mesmo que os poços apresentem uma produtividade baixa podem ser utilizados pelas populações em comunidades rurais para o abastecimento doméstico e uso em agricultura familiar.

Em decorrência da área de trabalho ser muito grande e o aquífero se apresentar muito

heterogêneo, os parâmetros hidrodinâmicos se apresentaram com uma alta variação. Assim, os poços tubulares mostram valores que variam de 361 a 13,5 m profundidade, nível estáticos com média de 20,12 m e vazões de estabilização que variam de 99,0 a 0,39 m³/h.

Das 21 amostras de águas coletadas de poços do Aquífero Barreiras na região de estudo, a maioria foram classificadas como sódicas cloretadas (76%), os quais podem estar relacionados com as precipitações pluviométricas com influência da zona marinha. Além disso, foram encontradas classes de águas como sódica mistas (10%), sódica bicarbonatada (5%), magnésiana cloretada (5%) e cloretada mista (5%).

Seguindo a Resolução CONAMA 357/2005, as águas dos poços tubulares foram classificadas em sua maioria como água doce (90%), e apenas duas amostras como salobras (10%), podendo estar associadas influência da zona marinha por conta da proximidade. De maneira geral, as águas são apropriadas para o uso na irrigação, com ressalvas para as duas amostras que se mostram salobras, as quais deve ser fazer estudos mais detalhados quanto ao seu uso e o tipo de cultivo que pretende ser plantado.

Os resultados das análises dos parâmetros físico-químicas das amostras de águas coletadas, foram comparados valores com dos VMPs da Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, que mostrou que apenas 5 amostras se enquadram nos padrões de pH, sendo que a maioria das águas apresentam um caráter ácido, com pH médio de 5,15. A condutividade elétrica teve média de 251,10 µS/cm e STD apresentou média de 166,95 mg/L, os quais representam valores baixos, que ajudam a reforçar a baixa salinidades vista na maioria das amostras. Já em relação a turbidez, apenas 5 amostras não se enquadram nos VMPs estabelecido.

Por não apresentar padrões de VMPs nas águas subterrâneas para as concentrações de cálcio, magnésio e potássio pela Portaria 2914/2011, os resultados desses parâmetros químicos foram também comparados com os padrões VMPs estabelecidos pela OMS e CETESB (2009). Sendo que todas amostras de água se apresentaram dentro dos valores estabelecidos de potabilidade para cálcio, magnésio, potássio, sódio, cloreto e sulfato. No entanto, 3 poços se apresentaram com valores na concentração de ferro total acima dos padrões permitido para potabilidade. Já em relação as concentrações de nitrato nas águas subterrâneas, 13 amostras apresentaram teores acima do permitido pelos padrões de potabilidade. Esses resultados de nitrato apontam um forte indicativo de contaminação por interferências antrópica na qualidade das águas do Aquífero Barreiras na área de trabalho. Além disso, a contaminação pode ser auxiliada com a característica da litológica do

Grupo Barreiras ser constituída por sedimentos pouco consolidados e inconsolidados, o que aumenta a vulnerabilidade do aquífero a agentes externos contaminantes.

Os resultados das análises dos parâmetros hidrodinâmicos e hidroquímicos das águas subterrâneas do Aquífero Barreiras extremo norte da região do Litoral Norte no Estado da Bahia, mostram que, no geral, as suas águas são tidas como boas para o uso em atividades domésticas, industriais e agrícolas. No entanto, com relação a qualidade das águas do aquífero, se sugere o tratamento das águas antes do consumo humano, por muitas das amostras analisadas se apresentarem com parâmetros químicos e físico-químicos acima dos limites permitidos pelas portarias de potabilidade de água que foram comparadas.

Recomenda-se estudos mais abrangente que investiguem outras variáveis importantes para os padrões de potabilidade das águas subterrâneas do Aquífero Barreiras na região. Assim como, o monitoramento contínuo das águas por parte do poder público, afim de diagnosticar a qualidade do recurso hídrico, e atuar, caso precise, com tratamento das águas antes de serem consumidas pela população.

REFERÊNCIAS

- ANA (Brasil). Ministério do Desenvolvimento Regional. A importância das águas no desenvolvimento. [S. l.], 3 set. 2009. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/artigos.aspx>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- ARAI, Mitsuru. A Grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do grupo barreiras. *Revista do Instituto de Geociências - USP*, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6, out. 2006.
- BARBOSA, Johildo Salomão Figuerêdo *et al.* *Geologia da Bahia: Pesquisa e atualização*. Salvador: Sooffset Gráfica e Editora Ltda, 2012. (Publicações Especiais, 13)
- BARBOSA, J. S. F. et al. O Cráton do São Francisco na Bahia: uma síntese. In: *Revista Brasileira de Geociências*, Curitiba, v. 33, n. 1, p. 3-6, mar. 2003.
- BIGARELLA, J. J. The Barreiras Group in Northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 47(Suplemento), p. 365-393, 1975.
- BIGARELLA, J. J.; ANDRADE, G. O. de. *Considerações sobre a estratégia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras)*. Arquivos do Instituto de Ciências da Terra, Recife, n.2, p.2-14, 1964.
- BONFIM, Luiz Fernando Costa; LOPES, Hermínio Brasil Vilaverde. Hidrogeologia da região dos municípios de Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália, Bahia. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE, 4., 2001, Recife. Anais Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste e XII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, Recife, [200-]. p. 405-416.
- BRANNER, J.C. Geology along the Pernambuco coast south of Recife. *Boletim de Geologia da Sociedade Americana*, Washington, v. 13, p. 58-92, 1902.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 dez. 2011, Seção 1, página 39-46. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 20 out. 2020;
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005. Brasília, DF, 2005

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Diário Oficial da União, 83 Brasília, DF, 7 abr. 2008, Seção 1, páginas 64-68. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2020.
- CARMO, José Carlos Cruz do. *Ferro na água subterrânea do estado da Bahia: uma avaliação preliminar dos fatores influentes na concentração*. 2016. 146 f. Dissertação (MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). (2009) *Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB. 44 p.
- CARVALHO, Luiz Moacyr de; RAMOS, Maria Angélica Barreto. *Geodiversidade do estado da Bahia*. Salvador: CPRM, 2010.
- CLIMA-DATA.ORG: CONDE CLIMA (BRASIL). Temperatura, tempo, e dados climatológicos do município de Conde no estado da Bahia, Brasil. [S. l.], 2020. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/bahia/conde-42958/>>. Acesso em: 4 nov. 2020.
- EMBASA (Bahia). EMBASA. Relatório Anual Para Informação ao Consumidor. [S. l.], 2013. Disponível em: <https://www.embasa.ba.gov.br/index.php/institucional/transparencia/relatorio-anual-para-informacao-ao-consumidor>. Acesso em: 18 nov. 2020.
- ESQUIVEL, Marcus Santos. *O Quaternário Costeiro do município de Conde: Implicações para a Gestão Ambiental*. 2006. 113 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. FEITOSA, Fernando. A. C.(Org.), *et.al*. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM. 812 p. 2008.
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. Guia do Usuário para Qualigraf. FUNCEME/PROURB-RH. Fortaleza-Ceará, 2014.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE - FUNASA (Brasil). Manual Prático de Análise de Água. Brasília: Fundação Nacional da Saúde, 2004. 146 p
- GONÇALVES, José Augusto Costa; VIEIRA, Eliane Maria. *Aquífero Barreiras: alto potencial hídrico subterrâneo na porção do baixo Rio Doce no estado Espírito Santo*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 20., 2018, Campinas, SP.

Anais do XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas: a grande feira das águas. [S.l.: s.n.].

- HASUI, Yociteru. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. *In: WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO*, 1., 1990, Belo Horizonte. Anais do 1º Workshop sobre neotectônica e sedimentação cenozóica continental no sudeste brasileiro. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia/ MG, [199-]. p. 1-32.
- INFOSANBAS. Desenvolvido por Cooperativa EITA, 2017. Apresenta ferramenta colaborativa para estudo e criação de representações visuais para dados – gráficos e mapas – relacionados ao saneamento básico no Brasil. Disponível em: <<https://infosanbas.org.br/>>. Acesso em: 12 out. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Banco de Dados de Informações Ambientais. *Geomorfologia: Brasil*. [s.l], 2020. Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia>>. Acesso em: 12 out. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Banco de Dados de Informações Ambientais. *Pedologia: Brasil*. [s.l], 2020. Disponível em: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>>. Acesso em: 15 out. 2020
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Geociências. *Manual Técnico de Geomorfologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182 p. (Manuais técnicos em Geociências, 5).
- INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - INEMA (Bahia). *Regiões de planejamento e gestão das águas - RPGA e solos*. Bahia: INEMA, 2014. Mapa físico. Escala 1:1.250.000.
- KING, Lester C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 147-265, abr - jun, 1956. Disponível em:<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1956_v18_n1.pdf>. Acesso em: 18 out. 2020.
- LIMA, Cristiane Maciel de. *Ocorrência de barita no Grupo Barreiras - Litoral norte do estado da Bahia*. 2008. 64 f. Monografia (Bacharel em Geologia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.
- LIMA, Carlos C. U.; VILAS BOAS, Geraldo S.; BEZERRA, Francisco H. R. Faciologia e análise tectônica preliminar da Formação Barreiras no litoral sul do Estado da Bahia, Brasil. *Geologia - USP Série Científica*, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 71-80, Out 2006.

- LIMA, Carlos C. U. Evidências da Ação Tectônica nos Sedimentos da Formação Barreiras Presentes do Litoral de Sergipe ao Norte da Bahia. *Revista de Geografia* (Recife - PE), v.27, n. 1, p. 148-160, 2010.
- LUCENA, Leandson Roberto Fernandes de; FILHO, Ernani Francisco da Rosa; HINDI, Eduardo Chemas. O controle estrutural no Aquífero Barreiras - área da Bacia do Rio Pirangi - RN. *Águas Subterrâneas*, São Paulo, v. 20, n. 1, nov 2006.
- MATOS, Vitor Bandeira Martins. *Neotectônica do Grupo Barreiras no Litoral dos estados de Sergipe e Alagoas*. 2013. 145 f. Monografia (Bacharel em Geologia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.
- MELLO, José de Castro. *Estudos hidrogeológicos do Aquífero Barreiras uma contribuição para o desenvolvimento sustentado dos tabuleiros costeiros do estado da Bahia*. 1999. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1999.
- MELO, José Geraldo de *et al.* Avaliação dos recursos hídricos do Aquífero Barreiras na Bacia do Rio Maxaranguape - RN. *Águas Subterrâneas*, São Paulo, v. 27, n. 1, jan. 2013.
- MONTEIRO, Adson Brito *et al.* Hidrogeologia e gestão do Aquífero Barreiras nos bairros de Ibura e Jordão – Recife – Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. *Anais do XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. São Paulo: ABAS, [200-]. 1 - 11 p. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22625>>. Acesso em: 12 out 2020.
- MOURA-FÉ.M.M. Caracterização Geral da Formação Barreiras na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Ceará - Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 7., 2008, Belo Horizonte, MG. Anais de Trabalhos Completos do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia / 2º Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008.
- NASCIMENTO, S. A. M.; BARBOSA, J. S. F. Qualidade da água do aquífero freático no alto cristalino de salvador, Bacia do Rio Lucaia, Salvador, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 35, n. 4, p. 543-550, 2016.
- NUNES, José Marcos de Castro; MATOS, Mara Rojane Barros de. *Litoral Norte da Bahia: caracterização ambiental, biodiversidade e conservação*. Salvador: EDUFBA, 2017. 455 p.
- OLIVEIRA, P. E.; RAMOS, J. R. A. Geologia das quadrículas de Recife e Pontas de Pedra.

Boletim da Divisão de Geologia Mineira do DNPM. Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 151 - 162, 1956.

- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. A ONU e a água. [S. l.], 17 ago. 2020. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/agua/>>. Acesso em: 17 ago. 2020.
- PONTE, F.C. Estudo Morfo-estrutural da Bacia Sergipe-Alagoas. *Boletim Tec. Petrobrás*, v.12, p. 439-474. 1969.
- PRATES, Ildeson; FERNANDEZ, Rodrigo. *Bacia do Recôncavo: sumário geológico e setores em oferta*. [S. l.: s. n.], 2015.
- SANTOS, Geiza Pereira Dos Santos. Relação entre aspectos da morfologia de espodossolos em unidades da paisagem do litoral Norte - BA. 2016. 75 f. Monografia (Bacharel em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.
- SANTOS, Humberto Gonçalves dos *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.
- SIMÕES, M.; Métodos cromatográficos, volumétricos e potenciométricos para análise química quantitativa de água subterrânea e sua aplicação no aquífero cenozóico da bacia do Baixo Tejo, Portugal. *Geociências - UNESP*. São Paulo, v.27, n.2, p.161-169, 2008.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS (Brasil). 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180 p.
- STEIN, Paula *et al.* Qualidade das águas do aquífero Barreiras no setor sul de Natal e norte de Parnamirim, Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, [s. l.], v. 42, n. 1, 2012. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/8012/7436>>. Acesso em: 18 out. 2020
- STEFANO, Van Paulo Henrique Prado *et al.* Avaliação hidrogeoquímica das águas superficiais e subterrâneas na região sudoeste da bacia do rio Subaúma, Bahia. *Geochimica Brasiliensis*, [s. l.], p. 188 - 196, 2019.