



HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA MICRORREGIÃO DO BAIXO JAGUARIBE, CEARÁ, BRASIL

UNDERGROUND WATER HYDROGEOCHEMISTRY OF THE LOW JAGUARIBE MICROREGION, CEARÁ, BRAZIL

Francisco Jonathan de Sousa Cunha Nascimento¹; Andreia de Araujo Freitas Barroso¹; Hosineide de Oliveira Rolim dos Santos¹; Paulo de Freitas Lima¹ ✉

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – Campus Limoeiro do Norte, Limoeiro do Norte, Ceará.

✉ francisco.jonathan@ifce.edu.br, andreiabarroso@ifce.edu.br, hosineide@ifce.edu.br, paulo.lima@ifce.edu.br

Resumo

A Microrregião do Baixo Jaguaribe, Ceará, tem entre principais domínios hidrogeológicos Embasamento Fraturado Indiferenciado, os Depósitos Aluvionares, as Formações Jandaíra e Açú. Que no geral a atribui características hidrogeoquímicas cloretadas sódicas e mista, e como elevada salinidade, também na maior parte nas amostras apresentaram presença do coliformes. A região é favorável com a disponibilidade de águas subterrâneas, porém alguns usos da água devem se ter algumas cautelas, para não comprometer a saúde humana, e demais atividades antrópicas.

Abstract

The Lower Jaguaribe Microregion, Ceará, has among its main hydrogeological domains Undifferentiated Fractured Basement, the Alluvial Deposits, the Jandaíra and Açú Formations. Which in general attributes it to sodium and mixed chloride hydrogeochemical characteristics, and as high salinity, also in the majority of the samples presented the presence of coliforms. The region is favorable with the availability of groundwater, however, some water uses should be taken with caution, so as not to compromise human health, and other human activities.

Palavras-chave:

Hidrogeoquímica.
Hidrogeologia.
Baixo Jaguaribe.
qualidade de água.

Keywords

Hydrogeochemistry.
Hydrogeology.
Baixo Jaguaribe.
Water quality.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v35i1.30035>

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da qualidade das águas de um manancial é tão importante quanto a estimativa da quantidade. Pois uso que se dá com a água depende de sua qualidade. A qualidade das águas subterrâneas tem relação direta com as formações rochosas na qual está inserido o aquífero, pois as características hidrogeoquímicas, refletem a composição mineralógica das formações geológicas no qual o aquífero que está inserido.

As águas subterrâneas tendem a elevar a concentração das substâncias dissolvidas, conforme percola diferentes formações geológicas, no entanto muitos outros fatores podem contribuir com a qualidade das águas subterrâneas, como o clima, composição da água de recarga, tempo de contato com meio físico, entre outros, além das contribuições das ações antrópicas (GASTMAN et al., 2005).

A água subterrânea, ao lixiviar os solos e as rochas, enriquece-se em sais minerais. Essas reações são favorecidas pelas baixas velocidades de percolação, maiores pressões e temperaturas a que são submetidas e a facilidades de dissolver o CO₂ ao percolar o solo não saturado, o que justifica o por que geralmente, as concentrações de sais nas águas subterrâneas são mais elevadas que nas águas superficiais.

As águas subterrâneas raramente são portadoras de características organolépticas, com maior exceção no sabor decorrente de sais dissolvidos em elevadas concentrações. A grande maioria das substâncias dissolvidas encontra-se no estado iônico. Alguns íons como os de sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, cloreto, sulfato, bicarbonato, carbonato e nitrato, estão presentes em quase todas as águas subterrâneas (FEITOSA et al, 2008).

Os padrões de qualidade da água são diferentes para cada tipo de uso, por exemplo, a água para consumo humano deve respeitar os padrões de potabilidade, que no Brasil segue a portaria Consolidação n.º 5, anexo XX do Ministério da Saúde, e para águas subterrâneas há algumas legislações específicas como, Código das Águas, Códigos das Águas Minerais, e resolução 396/2008 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, esta que classifica o uso da qualidade das águas subterrâneas pelas características físico-químico e microbiológico. Também por meio de alguns modelos, por exemplo, Diagrama de Piper, Razão de Adsorção de Sódio (RAS) entre outros, que traça perfis da qualidade da água onde de acordo com a concentração de alguns íons.

Na Microrregião do Baixo Jaguaribe os principais mananciais superficiais são os rios Jaguaribe e Banabuiú, há também reservas hídricas subterrâneas significativas, como os aquíferos sedimentares do Jandaíra e Açú, na Chapada do Apodi e os depósitos aluvionares ao longo das margens dos rios e riachos. Várias atividades econômicas são instaladas na região, nos quais tem como principal insumo a água, destacando as atividades agrícolas, pecuárias e o beneficiamento dos seus respectivos produtos.

A partir da importância das águas subterrâneas como fonte estratégica para melhor desenvolvimento das atividades humanas como abastecimento, agricultura, industrial, comercial, serviços e outras ações, viu-se a necessidade de traçar um perfil da qualidade das águas subterrâneas na Microrregião do Baixo Jaguaribe, compreendendo os municípios de Tabuleiro do Norte, São João do Jaguaribe, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Quixeré e Russas. O conhecimento prévio da qualidade dessas águas, pode indicar quais tipos de atividades estão mais propensas a serem desenvolvidas na região, bem como que tratamento que as águas necessitam para atingir a qualidade desejada. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero, sit amet commodo magna eros quis urna.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho consistiu em uma caracterização hidrogeológica da Microrregião do Baixo Jaguaribe, através de um levantamento bibliográfico, cartográfico das águas subterrâneas dessa região e análises de qualidade água. A área em estudo compreende os municípios de Tabuleiro do Norte, São João do Jaguaribe, Morada Nova, Limoeiro do Norte, Quixeré e Russas (Figura 1). Estes municípios, estão posicionados na porção oeste do estado do Ceará, na mesorregião do Jaguaribe e microrregião do Baixo Jaguaribe, compreendendo uma área de aproximadamente 6.875 km² e uma população de 260.114 habitantes.

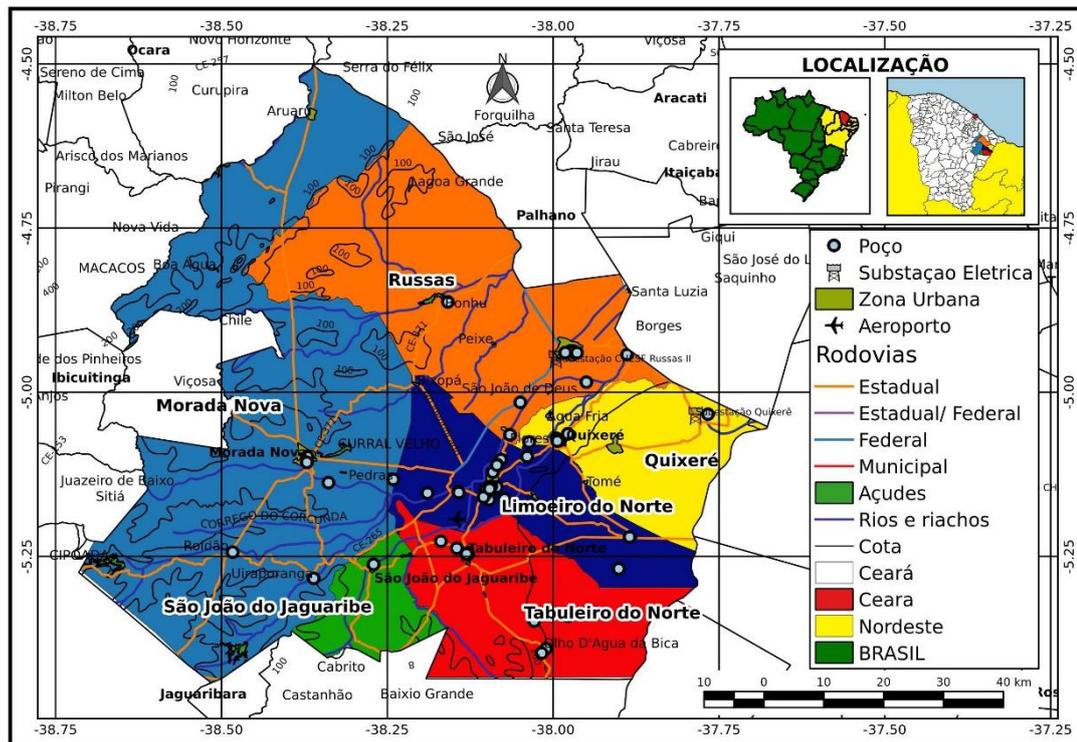
O clima da região em estudo é, tropical quente semiárido, com pluviosidade média de 870 mm.ano⁻¹ e temperatura em torno de 26 a 28°C. Os municípios da Microrregião do Baixo Jaguaribe, estão inseridos na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, mais precisamente nas sub-bacias hidrográficas do Médio Jaguaribe, Baixo Jaguaribe, Banabuiú e Metropolitano. O bioma característico é a Caatinga, com as vegetações dos tipos Floresta Mista Dicotilo-Palmaceae; Caatinga Arbustiva Densa; Caatinga Arbustiva Aberta; Complexo Vegetacional da Zona Litorânea; e Floresta Caducifólia Espinhosa.

As amostras das quais foram feitas a pesquisa, correspondem ao período de 2011 a 2019, que estão localizadas em alguns municípios situados na região citada nos parágrafos acima. As amostras são aleatórias, tanto no tempo, quanto no espaço, visto que amostras não houveram repetições programadas nem em sazonalidade e nem em localização. Pois as amostras entraram no laboratório durante 8 anos de localizações e períodos variados.

Os parâmetros determinados para caracterização das águas foram, coliformes termotolerantes (CTT), potencial hidrogeniônico (pH), nitrogênio nos íons amônio (NH₃), nitrito (NO₂) e nitrato (NO₃), cloretos (Cl⁻), dureza total (DT) e sólidos totais dissolvidos (STD), seguindo os métodos padronizados pelos Standard methods for the examination of water and wastewater.

Para o estudo de análises hidrogeoquímicas, usufrui de modelos matemáticos como o Diagrama de Piper para classificar o tipo de hidroquímico de acordo com o íon ou grupo de íons predominantes (FUNCEME, 2017). E Também A razão de adsorção de sódio (RAS), para avaliação dos riscos de salinidade e sodicidade das águas de irrigação de culturas agrícolas. Aos dados analisados foi aplicada estatística descritiva (média, desvio padrão, valor mínimo, valor máximo, coeficiente de variação), cuja finalidade é compreender padrões de distribuição dos dados (ALMEIDA, 2010).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Adaptado de (IBGE, 2020); (CPRM, 2020); (IPECE, 2020); e (COGERH, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Hidrogeologia

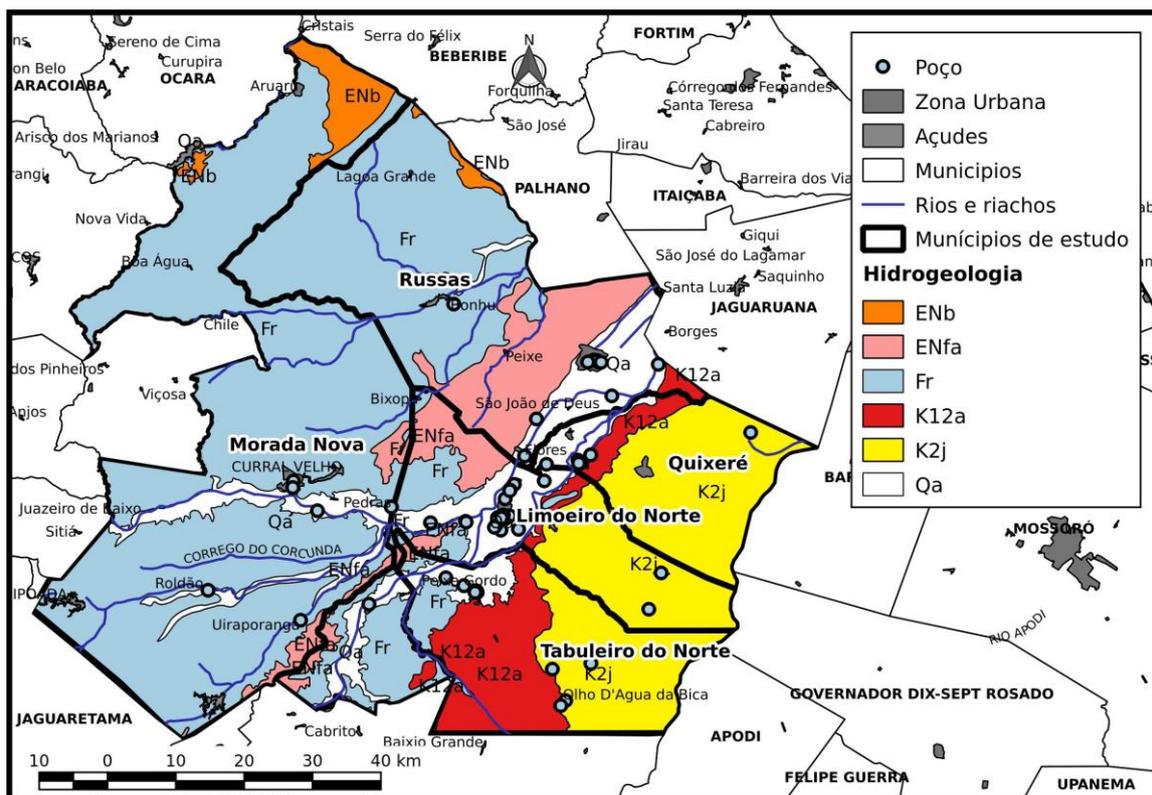
Os municípios de Tabuleiro do Norte, São João do Jaguaribe, Morada Nova, Limoeiro do Norte, Quixeré e Russas, situados na microrregião do Baixo Jaguaribe, no Ceará, possui formações geológicas, que proporcionam uma heterogeneidade dos aquíferos, em que cerca de 69% do território corresponde a rochas fissurais do tipo ígneas e metamórficas, 31% sedimentar e 64% metamórfica. Em torno de 82% dos poços em análises estão localizados em rochas sedimentares, predominando os depósitos aluvionares, as águas armazenadas nestas formações geológicas são suscetíveis a poluição e/ou contaminação tanto no âmbito naturais, quanto principalmente das atividades antrópicas. Por serem aquíferos livres, relativamente de pouca profundidade e elevada porosidade, as fontes de poluições diretas ou difusas pode atingir as águas subterrâneas sem muitas interferências (figura 2).

Morais et al., (2005), constataram na região do Médio e Baixo Jaguaribe a predominância de poços perfurados nos domínios hidrogeológicos sedimentares, porém, o aquífero com maior número de poços cadastrados é o Fissural (embasamento cristalino) 42,41%, seguido dos aquíferos Jandaíra 19,13%, Açú com 10,53%, Aluvião 8,00%, Misto 5,06% e Farceira 0,19%. Havendo uma potencialidade de recalque de 1.748,60 m³.h⁻¹, podendo abastecer uma população de cerca de 140.000 indivíduos.

No perfil estratigráfico da figura 3, percebe-se talvegue do rio Jaguaribe no aluvião, com profundidade de até 30 metros até o cristalino, na margem esquerda a formação faceira sendo a espessura cerca de 20 metros, na margem direita a formação Açú chegando na rocha matriz com até 60 metros, continuando a formação Açú para direita esta camada pode variar de 80 a 180 metros, sobreposta em até 80 metros pela formação Jandaíra.

Os Depósitos Aluvionares (Qa), são sedimentos não consolidados, por tanto aquíferos livres de porosidade primária, com a infiltração potencial, a porosidade efetiva e a permeabilidade em níveis maiores do que os sedimentos consolidados. No Baixo Jaguaribe os aluviões, possui a litologia composta por areias fina a grossa, seixos, calhaus, silte, argila e matéria orgânica. A largura média de 10 km e extensão de 60 km, e profundidade em torno de 25 metros, predominando ao longo do rio Jaguaribe e do rio Banabuiú e os afluentes dos respectivos rios, os poços instalados tem uma produção na ordem 50 m³.h⁻¹.poço⁻¹. A recarga pode se dá pelas precipitações pluviométricas e infiltração das águas dos próprios rios nos períodos de enchente e, também, através da perenização dos rios Jaguaribe e Banabuiú (GATTO, 1999). Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas porttitor congue massa. Fusce posuere, magna sed pulvinar ultricies, purus lectus malesuada libero, sit amet commodo magna eros quis urna.

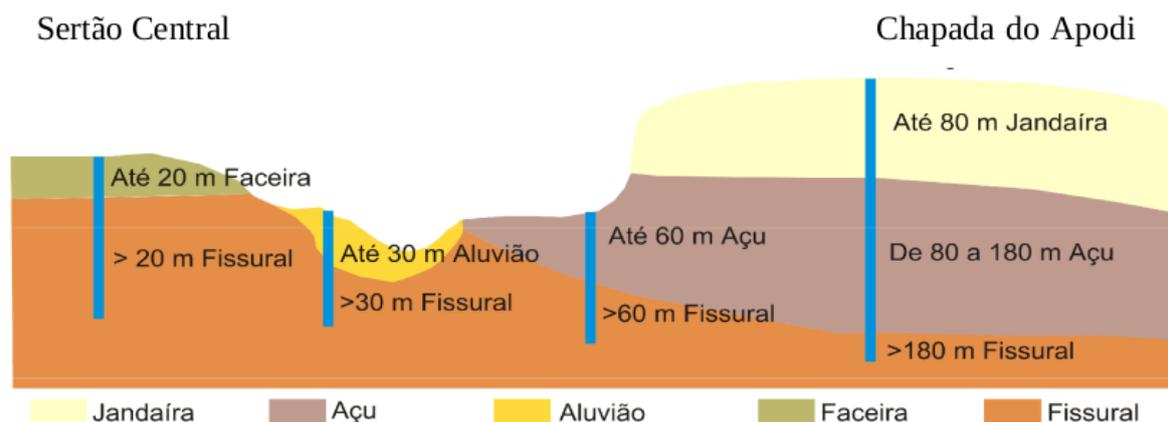
Figura 2: Hidrogeologia dos poços em estudo.



Domínios hidrogeológicos: Depósito Aluvionar (Qa); Formação Barreiras (ENb); Formação Faceira (ENfa); Formação Açú (K12a); Formação Jandaíra (K2j); e Embasamento Fraturado Indiferenciado (Fr).

Fonte: Adaptado de (IBGE, 2020); (CPRM, 2020); (IPECE, 2020); e (COGERH, 2020).

Figura 3: Perfil estratigráfico das formações geológicas do rio Jaguaribe na microrregião do Baixo Jaguaribe.



Fonte: (MORAIS et al; (2005).

As Formações Barreiras, Faceira e Açú são rochas sedimentares consolidadas. As rochas areníticas normalmente apresentam porosidades menores que os sedimentos não consolidados, devido à compactação e cimentação poros. A Formação Barreiras (ENb), com potencial hídrico médio, tem grande expressão no Vale Jaguaribe, principalmente quanto mais próximo ao litoral. A litologia é muito variada, com arenitos finos a médios, siltitos, argilitos. Apresenta estratificação cruzada e cores avermelhadas e amareladas. A Formação Faceira (ENfa), tem característica hidrogeológicas semelhantes da Formação Barreiras. As unidades ENb e ENfa ocorrem no baixo curso da bacia compondo o geossistema dos Tabuleiros Costeiros. (GATTO, 1999). Normalmente a porosidade dos arenitos é inversamente proporcional com a profundidade. (FEITOSA, 2008).

A Formação Açú (K12a) é a unidade basal, sendo composta por arenitos brancos, cinza e avermelhados, conglomeráticos e caulínicos, com intercalações de folhelhos, siltitos e calcarenitos. Tem um bom potencial hídrico, a recarga se dá através dos seus afloramentos, da infiltração de águas nos aluviões dos rios e da drenança vertical descendente de águas da Formação Jandaíra. A área de descarga principal está situada no sentido do mar, vindo em segundo plano os vales dos rios e lagoas, estes atingidos por drenança vertical ascendente, inclusive através do Jandaíra (TEIXEIRA, 2002). Os poços no domínio hidrogeológicos do Açú, na porção potiguar, tem em média a vazão de 80 m³/h/poço, para profundidade de 900 m, já tendendo para o Ceará, a vazão média dos poços existentes é da ordem de 3 m³/h/poço. Isto é explicado devido à pouca espessura destes sedimentos na porção cearense.

A Formação Fraturada (Fr), no domínio das rochas cristalinas ígneas e metamórficas, em geral sempre se observa, ocorrência de fraturas produzidas por variações nas condições de tensão, verificadas durante os vários episódios que marcaram a história geológica dessas rochas. As fraturas criam uma porosidade secundária, responsável pelo armazenamento e permeabilidade (GATTO, 1999). Sobreposta por (alúvios, elúvios e/ou colúvios) com espessura média de 4 - 5 m. As águas apresentam salinidade elevadas, com média de sólidos totais dissolvidos (STD) de 2.000 mg.L⁻¹, de uso na desedentação agrícola, algumas atividades domésticas, como higienização, preparação de alimentos. Quando esta é a única fonte para consumo humano, recorre-se a sistemas de dessalinização, para tornar as concentrações de sais a níveis potáveis (TEXEIRA, 2008). Nas regiões semiáridas, como por exemplo, o Nordeste do Brasil, com embasamento das rochas cristalinas predominante no território, o aproveitamento de água subterrânea dessas rochas sempre foi uma alternativa que se levou em consideração, notadamente em virtude da carência de outros recursos hídricos. A profundidade média dos poços perfurados nestas litologias é de 65m, onde as vazões situam-se entre mínima de 0,2 m³.h⁻¹ e máxima em torno de 5 m³.h⁻¹ (GATTO, 1999) e (FEITOSA, 2008).

3.2. Qualidade

Na tabela 1 e figura 4 estão as principais características qualitativas das águas subterrâneas, por parâmetros bacteriológicos e físico-químicos dos municípios de Tabuleiro do Norte, São João do Jaguaribe, Morada Nova, Limoeiro do Norte, Quixeré e Russas, inseridos na microrregião do Baixo Jaguaribe, no Ceará.

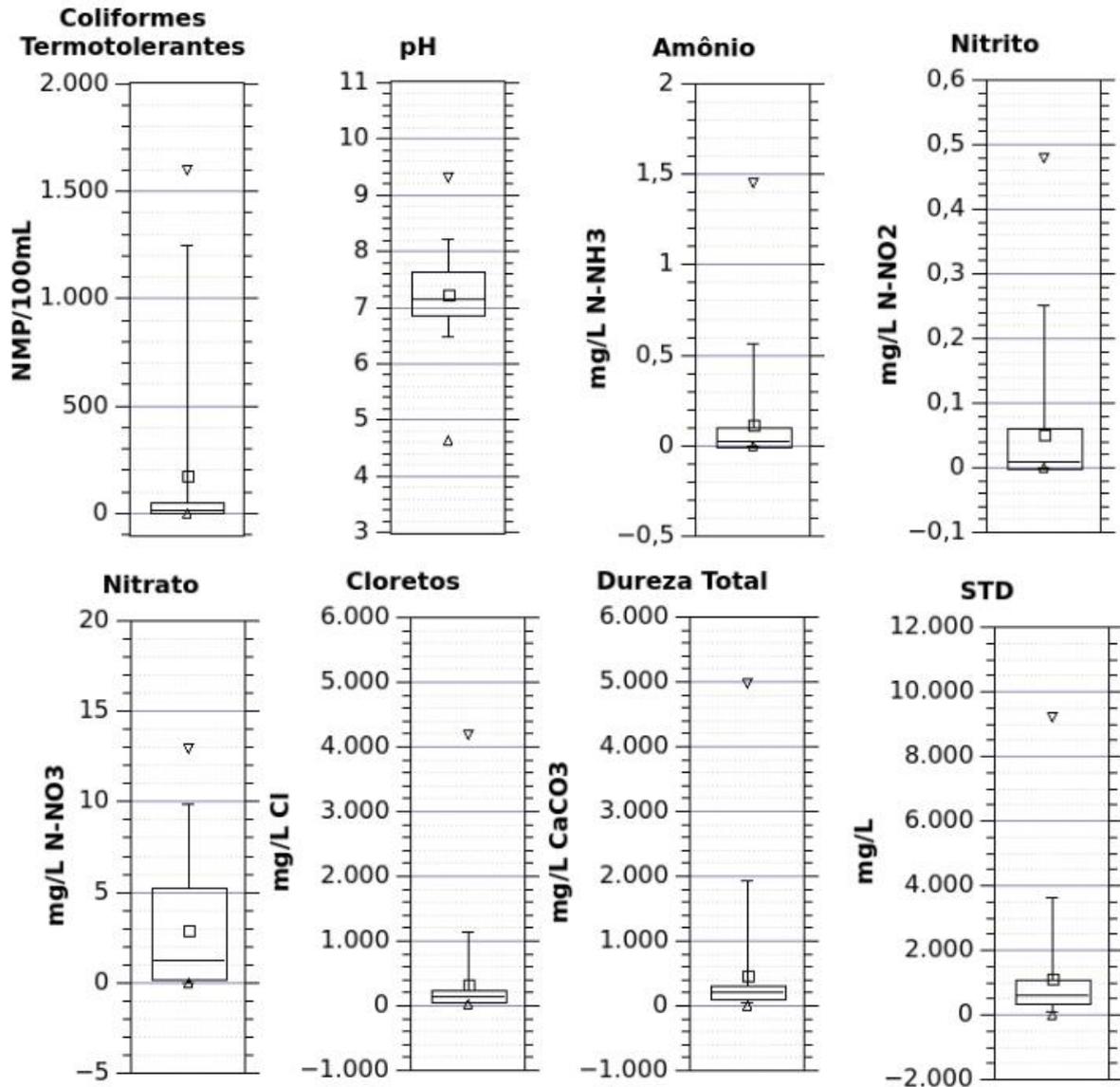
Tabela 1: Perfil de qualidade das águas subterrâneas por domínio hidrogeológico.

Domínio Hidrogeológico	Padrões	CTT	pH	NH3	NO2	NO3	Cl-	DT	STD
Depósito aluvionar	Número de amostras	57	57	57	57	57	57	57	57
	Média	145,39	7,13	0,14	0,06	2,95	378,27	507,92	1222,16
	Desvio Padrão	366,68	0,72	0,25	0,10	3,66	771,41	961,54	1757,04
	Coefficiente de Variação	2,52	0,10	1,85	1,79	1,24	2,04	1,89	1,44
Formação Açú	Numero de amostra	3	3	3	3	3	3	3	3
	Média	369,33	7,77	0,00	0,07	0,88	180,96	94,89	539,07
	Desvio Padrão	632,79	0,51	0,00	0,02	0,52	64,95	37,06	134,85
	Coefficiente de Variação	1,71	0,07	0,00	0,25	0,59	0,36	0,39	0,25
Formação Jandaíra	Numero de amostra	7	7	7	7	7	7	7	7
	Média	361,86	7,83	0,00	0,03	2,68	222,15	809,13	1028,30
	Desvio Padrão	640,00	0,27	0,00	0,05	3,05	124,45	748,79	646,65
	Coefficiente de Variação	1,77	0,03	2,65	1,88	1,14	0,56	0,93	0,63
Embasamento Fraturado Indiferenciado	Numero de amostra	4	4	4	4	4	4	4	4
	Média	6,65	7,53	0,04	0,04	3,78	285,29	228,14	1089,14
	Desvio Padrão	5,90	0,48	0,04	0,06	4,22	325,52	109,26	747,98
	Coefficiente de Variação	0,89	0,06	1,03	1,32	1,12	1,14	0,48	0,69
Formação Faceira		1100,00	6,49	0,24	0,06	7,13	180,78	301,10	971,54
Todo os poços em estudo	Numero de amostra	72	72	72	72	72	72	72	72
	Média	181,32	7,24	0,11	0,05	2,94	346,96	501,58	1163,98
	Desvio Padrão	413,88	0,71	0,23	0,09	3,54	692,35	893,46	1586,30
	Coefficiente de Variação	2,28	0,10	2,03	1,72	1,21	2,00	1,78	1,36
CONAMA 396\2008	Consumo humano	0	* 6,0 - 9,5	* 1,5	1	10	250	* 500	1000
	Dessedentação de animais	200			10	90			
	Irrigação				1		100 - 700		
	Recreação	1000			1	10	400		

CTT [Coliformes Termotolerantes (NMP.100mL⁻¹)], NH₃ [Amônio (mg N-NH₃.mL⁻¹)], NO₂ [Nitrito (mg N-NO₂.mL⁻¹)], NO₃ [Nitrato (mg N-NH₃.mL⁻¹)], Cl⁻ [Cloretos(mg Cl⁻.L⁻¹)], DT [Dureza Total (mg CaCO₃.L⁻¹)], STD [Sólidos Totais Dissolvidos (mg.L⁻¹)], CE [Condutividade Elétrica (uS.cm⁻¹)], Sal [Salinidade (‰ ou ppm)].

*Padrões de potabilidade da água estabelecidos no Anexo XX na Portaria de Consolidação N° 5, de 2017.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Figura 4. Características das águas de poço da área em estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Observando a tabela 1 e a figuras 4 a concentração média de coliformes termotolerantes está entorno de 180 NMP.100mL⁻¹, mas em torno de 50% dos poços possuem valores de 0 a 50 NMP.mL⁻¹, por tanto a maioria do poços as águas são impróprias para consumo humano, mas em média própria para dessedentação de animais, a maior parte recomendado para balneabilidade.

O potencial hidrogeniônico (pH) em cerca de 90% de poço tem os valores entre 6 e 8, com a média e mediana ligeiramente alcalino, o que a torna estas águas subterrâneas de acordo para potabilidade. Na cidade Fortaleza, Ceará, constatou que nos sistemas hidrogeológicos cristalinos, tendem a possuir águas mais alcalinas por conta da presença de minerais primários e a concentração dos sais (PEIXOTO et al; 2019).

As substâncias nitrogenadas não presença grande risco na área estudada, visto que, os ions amônio e nitrito nas águas subterrâneas de área de estudo, parecer não ser problema, se esta água for usada por humanos. Das amostras trabalhadas nenhuma obtiveram os valores de amônio deu maior de 1,5 mg N-NH₃.L⁻¹, e nem nitrito maior que 1 mg N-NO₂.L⁻¹ do valor máximo permitido. O nitrato em mais de 90% das amostras ficaram com valores inferiores a 10 mg N-NO₃.L⁻¹. Tanto para uso humano, como para atividade agrícolas e recreação a concentração de nitrogênio não é um interferente.

O nitrato é um dos principais analitos, indicadores da influência antrópica na qualidade nas águas subterrâneas. Tendo principais fontes difusas e pontuais as atividades agrícolas, águas residuárias, disposição inadequada de resíduos no solo e poluição atmosférica. Por tanto a presença elevada de NO_3 nas águas pode indicar ineficiência no saneamento. Naturalmente os teores de nitrato nas águas são em torno de 0,1 a 5,0 $\text{mg N-NO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, valores acima são forte indícios de influências de atividade antrópicas. As substâncias nitrogenadas sofrem oxidação química e bioquímicas até o NO_3 , sendo lixiviado durante a recarga do aquífero, o nitrato tem alta mobilidade nas camadas rochosas, o torna uma variável geoquímica aplicada mundialmente como indicador de poluição da água subterrânea (GONÇALVES et al., 2018).

As concentrações de sais nos poços são muito variáveis, tendo como principal influencia a formação rochosa, os cloretos possui médias maiores e até acima do recomendado para águas potáveis, tanto nos depósitos aluvionares, como no embasamento fraturado. A dureza total como esperado apresentaram valores elevados na formação Jadaíra (cárstico), mas também possui valores médios acima de 500 $\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ nos depósitos aluvionares. Os valores elevados do sais é revelado nas altas concentração de STD, onde cerca de 50% do poço tem valores de 300 a 1100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, o aquífero Açu as águas apresenta as menores concentrações de STD.

Os cloretos sofrem influência da relação água-rocha, da percolação e do clima semiárido, estiagem a evapotranspiração. Porém alta concentração está relacionado a poluição de efluentes líquidos. A dureza e salinidade em meio cárstico está relacionado com a dissolução das rochas carbonáticas, depende da composição química e mineralógica dos calcários, como também dos fatores geoquímicos, tempo de residência, da pluviometria e condutividade hidráulica no aquífero (GONCALVES et al. 2018).

Segundo Bertolo et al. (2007) a quantidade de sais nas águas tem mais relação com a interação entre as rochas, do que com as condições climáticas. O autor ainda diz que águas menos mineralizadas são mais ácidas e sódicas, do que as água de maior mineralização com pH mais elevado e maior concentração e variação dos íons e maior quantidade de cálcio.

Costa et al. (2020) constataram que quando o teor de nitrato e cloretos que ultrapassam os valores máximo permitido para consumo humano. E a situação se agrava ainda mais no período chuvoso, quando estes íons são lixiviados de locais pontuais e difusos, até as águas subterrâneas elevando a concentração nitrogênio, cloretos, potássio e magnésio nos aquíferos.

3.3. Hidrogeoquímica

Do total de amostra analisadas, em 32 amostra foi possível fazer classificação e comparação hidrogeoquímica, com o intuito de ter um perfil preliminar das águas subterrâneas região estudada do Baixo Jaguaribe. Sendo que 32% das amostras são águas sódicas cloretadas, 24% mistas cloretadas, 12% Sódicas mistas, 8% mistas bicarbonatadas, as demais classes identificadas com 4% cada uma, como pode ser observado figuras 5 e 6.

Em relação a salinidade, em torno de 80% das amostras são caracterizadas como água doce, ou seja, com concentração de sais abaixo de 500 ppm (0,5‰), conforme a resolução n°. 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), as demais amostras se apresentaram salobras, com teor de sais entre 500 a 30.000 ppm (0,5 a 30‰).

O Escudo Nordeste sofre forte influência marítima, visto as elevadas concentrações de cloretos, sendo classificada no geral como cloretadas sódicas. É comum também em águas poucas mineralizadas tenderem a bicarbonatadas (BERTOLO, 2007). Na média a composição hidroquímica das águas subterrâneas de Fortaleza são cloretadas sódicas (PEIXOTO et al; 2019).

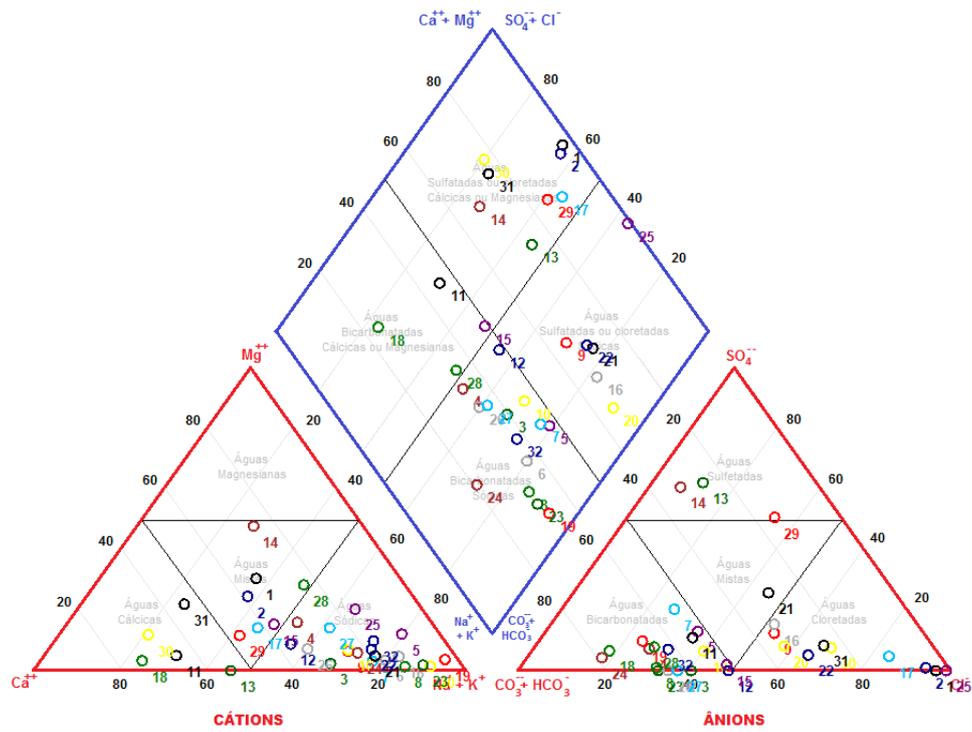
Analisando a figura 5, a maior parte as amostras ocupam a parte central do losango do diagrama de Piper, o que revela que as amostras possuem salinidade média, pois como consta em GOMES et al., 2018, quanto mais para o lado direito do losango o ponto se encontra, mais salgada é água.

Como se observa na figura 6, no depósito aluvionar e formação Açu há um predomínio de amostra com água sódicas bicarbonatadas, cloretadas e mista e na formação Jandaíra como era de se esperar amostras ricas em cálcio.

Os íons cálcio, magnésio, sódio, potássio, carbonato, bicarbonato, cloreto e sulfato, são principais constituintes hidrogeoquímicos águas naturais. O Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ possuem mobilidade de disponibilidade maior nas águas naturais, já o K^+ é mais tardio, o que explica porque geralmente a concentração potássio são inferiores ao do sódio (GONÇALVES et al., 2018). Diz Gomes et al. (2018), que o água ricas em sódio, pode apresentar gosto salgado, e também acarretar elevação da pressão arterial.

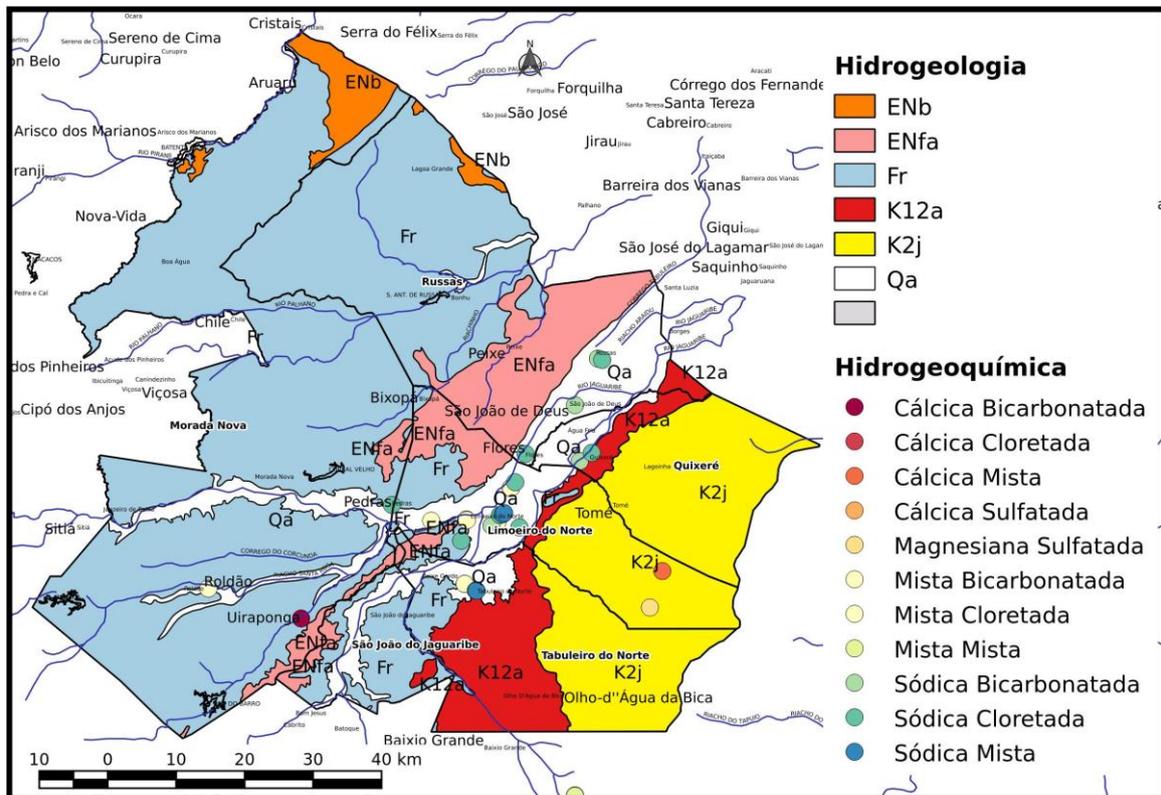
As águas da Formação Açu pertencem ao tipo genético Bicarbonato-sódico, de origem continental meteórica. Os íons alcalinos dominam sobre os alcalinos-terrosos, sendo no geral adequadas para potabilidade.

Figura 5: Classificação hidrogeoquímica pelo diagrama de Piper.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Figura 6: Mapa de distribuição da classificação hidrogeológica pelo diagrama de Piper.



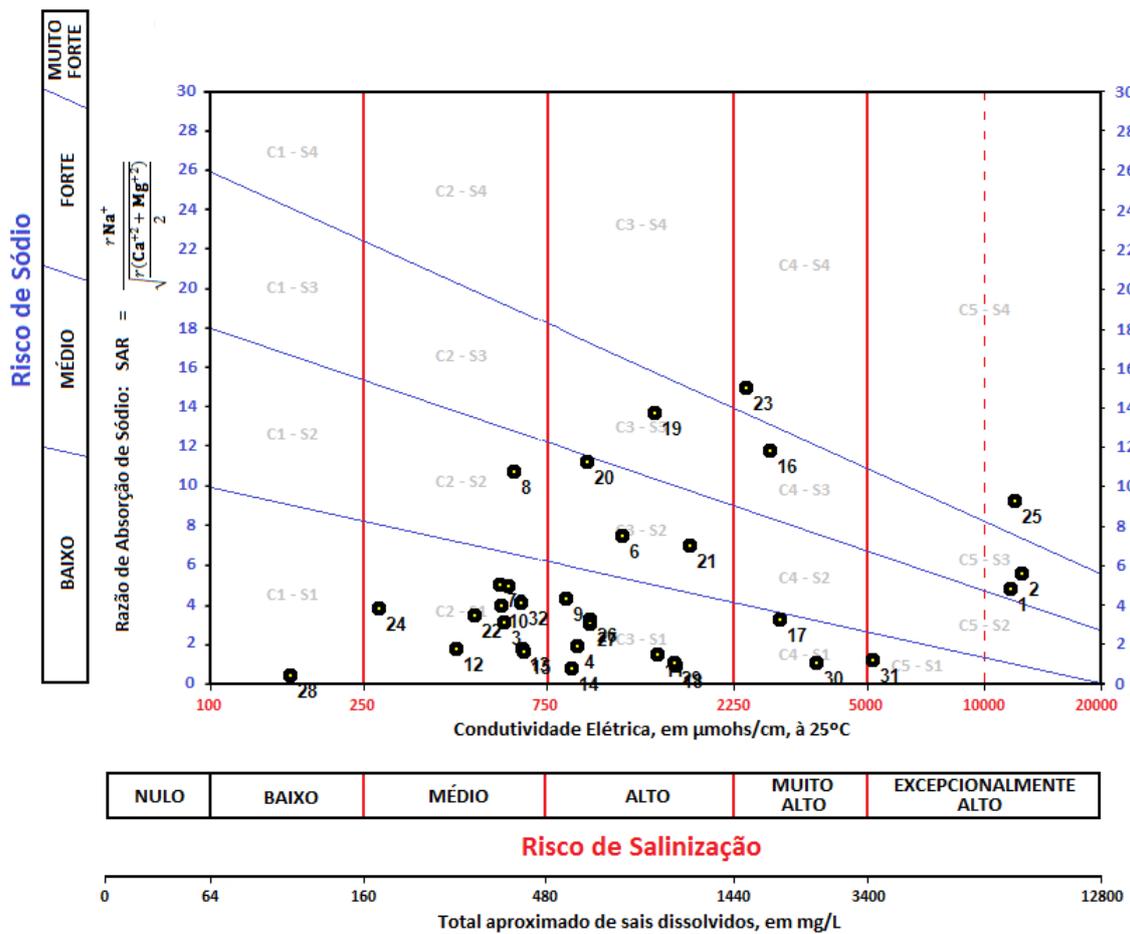
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Gonçalves et al. (2018) em estudo do Aquífero Bambuí de característica cárstica, localizado no município de Serra do Ramalho, Bahia, encontrou três principais grupos hidrogeoquímicos, águas bicarbonatadas cálcicas (49%), águas cloretadas cálcicas (21%) e águas mistas cálcicas (15%). E na maioria dos pontos monitorados as águas se encontraram adequados para irrigação.

Em relação da classifica de salinidade e sodicidade, parâmetros importantes para avaliar as águas para fins de irrigação, salinidade é o resultado da acumulação de sais na dissolução do solo, aumentando o potencial osmótico, o que impede ou dificulta, a captação de água por parte da planta e ainda origina alterações na absorção não seletiva de nutrientes. A sodicidade vem dada pelo conteúdo de sódio (Na+) na água. Seu uso como parâmetro de qualidade é devido a seu efeito sobre a permeabilidade do solo, e sobre a nutrição e toxicidade das plantas.

Na figura 7 pode ser notado que há uma maior densidade de amostras com águas, com risco de salinização de solo entre médio e alto, e o risco de permeabilização do solo na maioria das amostras são baixas.

Figura 7: Relação salinidade e sodicidade.



Fonte: Elaborado pelo auto, 2020.

Dos poços em pesquisa aproximadamente 31% das amostras é classificada C2-S1 e 25% C3-S1, por tanto as plantas cultivadas tem que ter certo nível de tolerância a sais, sendo que em alguns casos é necessário um manejo adequado do solo, todavia pode ser usada para a irrigação na maioria dos solos com pouca probabilidade de alcançar níveis perigosos de sodicidade.

Gomes et al., 2018, em estudo realizado na zona urbana do município de Sousa na Paraíba, constatou todos os poços possuem águas com elevada salinidade e também a maioria das amostras possuem alto risco sodificação, por se tratar de zona urbana, associa-se este fator a provável contaminação das águas subterrâneas por efluentes.

A condutividade elétrica (CE) possui correlação forte com o magnésio, sulfatos, cálcio, cloretos e STD, indicando possível influência desses íons no aumento da salinidade das águas na área (COSTA et al; 2020).

A região apresenta águas ricas em cloreto e sódio. Estes íons são comuns em regiões semiáridas, no entanto, elevadas concentrações de ambos podem ser prejudiciais em águas para consumo humano e para irrigação (EMBRAPA, 2001).

As águas bicarbonatadas-mistas com C 2 - S 1, com salinidade média, só devendo ser utilizadas para irrigação em áreas com boa lixiviação e drenagem. Porém água do tipo C3 - S 1, com alta salinidade, não podendo ser usadas em solos com drenagem deficiente, e apenas para culturas com alta tolerância ao sal. Já as águas C 1 - S 1, podem ser usadas sem restrições à irrigação, com pouco risco de salinidade (GATTO, 1999).

O tipo químico mais frequente nestes aquíferos cristalinos é o cloretada-mista, sendo subordinado o tipo cloretada-sódica. Quanto à potabilidade predominam águas de regular a boa. Em relação ao aproveitamento das águas para irrigação, verifica-se que nas rochas que constituem o aquífero cristalino predominam, muito fortemente, águas que vão desde C 2 - S 2 até C 4 -S 4. Estas águas variam desde aquelas de salinidade média e elevado índice de sódio, até as águas de salinidade e índice de sódio muito elevados, com muitas e variadas restrições quanto aos solos (textura, drenagem, etc.) e quanto às culturas (tolerância ao sal, etc.) (GATTO, 1999).

4. CONCLUSÕES

Os mananciais de águas subterrâneas na Microrregião do Baixo Jaguaribe no estado do Ceará, Brasil, são fontes estratégicos para o desenvolvimento socioeconômico dos municípios da região e da região como toda. Todavia tem se preocupar a exploração de forma insustentáveis, pois tanto pela superexploração, onde pode comprometer as características dos aquíferos, como também eliminar ou atenuar as fontes de poluição difusas e pontuais de poluição/contaminação hidrogeológicas.

Apesar de haver um elevado nível de disponibilidade de águas subterrâneas na área em estudo, alguns usos destas águas devem ter restrições, como o consumo humano, onde é recorrente a presença de bacteriais do grupo coliformes termotolerantes. Também deve se ter cuidados uso destas águas para irrigação, pois as mesmas possuEM uma concentração de sais, onde se solo não passar para manejo adequado, podem comprometer o bom desenvolvimento das culturas.

As águas subterrâneas do Baixo Jaguaribe, ao entrar nas plantas industriais, dependo onde for usada, precisa de tratamentos específicos, por exemplo, como no geral estas águas são ricas de bicarbonatos e outros cátions e ânions, em uso destas águas em caldeira é preciso remoção ou diminuição da concentração dos sais.

Por tanto de forma geral os domínios hidrogeológicos na Microrregião do Baixo Jaguaribe, estado do Ceará, são favoráveis, tanto de cunho quantitativo, como de cunho qualitativo, mas ficar atento algumas limitações, como as supracitadas e entre outras.

Com os resultados obtidos até aqui, acredita-se que os atuais e futuros usuários possa ter um norte, referentes a qual tipo de águas se vai encontrar nas camadas hidrológicas na Microrregião do Baixo Jaguaribe. Porém este trabalho ainda é muito superficial para derteminar de forma definitiva os perfis hidrogeoquímicos e qualitativos das águas subterrâneas das águas em estudo, sendo necessário pesquisas de maior tempo, melhor distribuídos ao dos aquíferos, como também fazer determinação de maior quantidade de parâmetros para melhor caracterizar os aquíferos. A monitoria tem ser continua pois a qualidade da água está propicias a mudanças, tanto naturalmente, quanto pela as atividades antrópicas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, O. Á. *Qualidade da água de irrigação*. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Ed. 1ª. - Cruz das Almas, 2010.

APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION). 2012. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22 ed. Washington: Estados Unidos, 1496p.

BERTOLO, R; HIRATA, R; FERNANDES, A. *Hidrogeoquímica das águas minerais envasadas do Brasil*. Revista Brasileira de Geociências. V. 37, n. 3, 2007. Disponível em www.sbgeo.org.br. Acessado em: 12 fev. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria de Consolidação n° 5, de 28 de setembro de 2017*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília (DF), 2017 out 3; Suplemento. p. 360-568.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução no. 396, de 03 de abril de 2008*. Dispõe sobre a Classificação e Diretrizes Ambientais para o Enquadramento das Águas Subterrâneas e dá Outras Providências. Brasília. 2008.

COSTA, C. T. F.; BEZERRA, J. E. C. D.; FILHO, F. J. P.; FIRMINO, P. R. A.; SOUZA, R. B. *Análise multivariada aplicada ao estudo hidroquímico das águas subterrâneas na bacia sedimentar do Araripe* - CE. *Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v34i2.29874>.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Ceará - *Atlas digital dos recursos hídricos subterrâneos*. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Ceara--Atlas-Digital-dos-Recursos-Hidricos-Subterraneos-588.html>. Acessado em: 03 mar. 2017.

FEITOSA, Fernando A.C. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações / organização e coordenação científica*. 3. ed. rev. e ampl. - Rio de Janeiro: CPRM : LABHID, 2008. 812 p.

FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos). *Tutorial do programa QualiGraf*. Disponível em: <http://www3.funceme.br/qualigraf/uploads/documentos/Tutorial%20do%20programa%20QualiGraf.pdf>. Acessado em: 17 fev. 2017.

GASTMAN, S. D.; ALBERTO, M. C.; BUFON, A. G. M.; MORAES, F. T.; SANTOS, M. M.; SILVA, J. R. M.; CHANG, H. K. *Implicações hidroquímicas da interação rocha-água: interpretações através da representação gráfica de análises químicas de águas subterrâneas*. XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste. 2005. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1190/showToc>. Acessado em: 06 mar. 2017.

GATTO, L. C. S. *Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jaguaribe: Diretrizes gerais para a ordenação territorial*. Ministério de planejamento e orçamento, fundação instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE). Salvador, 1999.

GOMES, M. A.; RAMOS, E. V. S.; SANTOS, L. C.; BITU, S. G.; GADELHA, A. J. F. *Avaliação hidroquímica e de parâmetros físico-químicos de qualidade de água das águas subterrâneas da zona urbana do município de Sousa* - PB. *Águas Subterrâneas - ABAS (Associação Brasileira de Águas Subterrâneas)*, v. 32, n. 2, p. 162-172, 2018.

GONÇALVES, M. V. P.; CRUZ, M. J. M.; ALENCAR, C. M. M.; SANTOS, R. A.; RAMOS JUNIOR, A. B. S. *Geoquímica e qualidade da água subterrânea no município de Serra do Ramalho, Bahia (BR)*. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 23, n. 1, p. 159-172, 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018167893. IBGE. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Geociências. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acessado em: 20 mar. 2020.

IPECE (Instituto de pesquisa e estratégia econômica do Ceará). *Ceará em Mapas*. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/>. Disponível em 06 mar 2017.

MORAIS, L. F. S.; FILHO, F. C. R.; CORDEIRO, W.; FIGUEIREDO, M. C. B.; ROSA, M. F. *Análise das águas subterrâneas nos municípios do Médio e Baixo Jaguaribe: mapeamento e estimativa da disponibilidade atual*. *Revista Ciência Agronômica*, Vol. 36, N°. 1, jan. - abr., p. 34 - 43, 2005.

OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F. I.; ROCHA T. S. *Determinação do índice de qualidade da água subterrânea - IQAS, com base nos dados de poços tubulares do estado da Bahia: áreas piloto: Recôncavo e platô de Irecê*. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá, 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23432>. Acessado em 06 mar. 2017.

PEIXOTO, F. S.; SILVA, A. M. S.; MELO, F. E. L.; PEREIRA, T. C. *Estatística multivariada aplicada a qualidade da água subterrânea em sub-bacias urbanas em Fortaleza* - CE. *Revista Pensar Geografia*, v.03, n.01, p. 20-29 (2019). DOI: 10.26704/rpgeo. ISSN:2527-0040. Homepage: <http://natal.uern.br/periodicos/index.php/PGEO>.

SILVA, A. B. *Hidrogeologia de Meios Cársticos*. In: FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; DEMETRIO, J. G. A, (Coord.). *Hidrogeologia Conceitos e Aplicações*. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008. Cap. 3,3 p. 153:174.

TEIXEIRA, I. E. M. *Águas da Formação Açú*. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Florianópolis - SC. 2002. Pag. 25.

TEXEIRA, Wilson. *Decifrando a Terra*. Companhia Editora Nacional. São Paulo, 2008.

CPRM, (Serviços Geológicos do Brasil). *Mapa Hidrogeológico do Brasil*, 2014.