



Qualidade das Águas Subterrâneas nos Municípios de Mauriti e Brejo Santo - Vale do Cariri, Bacia do Araripe - Ceará/Brasil

Wellington de Goes GUERRA Jr.¹, José Antonio Beltrão SABADIA²,
Itabaraci Nazareno CAVALCANTE², Michael Vandesteen Silva SOUTO²

Resumo: O presente trabalho avalia a qualidade das águas subterrâneas de parte da região do Vale do Cariri, Bacia do Araripe, correlacionando características fisioclimáticas e litológicas à tipologia hidroquímica destas águas através do diagrama de Piper e, apresentando suas fácies físico-químicas (classificação iônica), uso para consumo humano (Portaria GM/MS N0 518 de 25 de março de 2004), a razão de absorção de sódio (RAS) e o risco de salinidade, avaliando o uso destas águas para irrigação (diagrama do U.S Salinity Laboratory), consumo animal e finalmente a adequabilidade ao uso industrial. Foram tomados todos os procedimentos e cuidados no sentido de se proceder a uma perfeita coleta, tais como identificação (rotulação), acondicionamento e resfriamento, sendo respeitado o tempo para o envio ao laboratório (holding time) para os distintos procedimentos analíticos a serem realizados e foram devidamente quantificados os erros analíticos através dos balanços químicos das análises (cálculo do erro). A principal base cartográfica utilizada para a confecção dos mapas piloto foram as cartas básicas na escala 1:100.000 da SUDENE, folhas Crato (SB.24-Y-D-III), Milagres (SB.24-Z-C-I) e São José do Belmonte (SB.24-Z-C-IV). Ainda dentro dessa etapa foi realizado o levantamento das fichas dos poços tubulares existentes nos municípios de Mauriti e Brejo Santo, utilizando o cadastro do SIAGAS da CPRM/REFO. As análises físico-químicas das águas foram realizadas pelo Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física (UFC), dentro do que concebeu o projeto patrocinado pela FINEP e no qual esta proposta está inserida, sendo aqui realizadas e tratadas 92 análises físico-químicas em 19 poços em relação a pH, temperatura, alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio, condutividade elétrica, cloreto, sulfato, sódio, potássio, nitrato, bicarbonato e sólidos totais dissolvidos.

Palavras-chave: Recursos hídricos, Qualidade das águas, Água subterrânea

Abstract: *This study evaluates the quality of the groundwater of the Valley of Cariri, Araripe Basin, correlating physioclimates features and lithologic the hydrochemical type of groundwater through the Piper diagram and presenting its physical and chemical facies (ionic classification), use for human consumption (Ordinance GM/MS N0 518 of 25 March 2004), the ratio of sodium absorption (RAS) and the risk of salinity, evaluating the use of*

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

² Universidade Federal do Ceará - Departamento de Geologia

Autor para correspondência: Wellington de Goes Guerra Jr.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Brumado. Rua Antônio Carlos Magalhães, s/n°, prédio da UAB, Brumado - BA - CEP 46100-000. E-mail: wellington_guerra1@hotmail.com

Recebido em 14 de Agosto de 2015 / Aceito em 27 de Novembro de 2015.

groundwater for irrigation (US Salinity Laboratory diagram), animal consumption and finally the suitability for industrial use. They were taken all procedures and care in order to make a perfect collection, such as identification (labeling), packaging and cooling, and respecting the time for sending the laboratory (holding time) for the various analytical procedures to be performed and analytical errors were quantified through chemical analysis of the balance sheets (calculation error). The main cartographic base used for the preparation of pilot maps were the basic cards in 1: 100.000 scale of SUDENE, Crato sheets (SB.24-YD-III), Miracles (SB.24-ITCZ) and São José do Belmonte (SB .24-ZC-IV). Still within this stage it was carried out a survey of the records of existing wells in the municipalities of Mauriti and Brejo Santo, using the master SIAGAS CPRM / BOOST CURR. The physico-chemical analyzes of water were performed by Hydrochemistry Laboratory, Department of Physics (UFC), within which conceived the project sponsored by FINEP and where this proposal is inserted, being held here and treated 92 physical-chemical analysis in 19 wells in relation to pH, temperature, alkalinity, hardness, calcium, magnesium, electric conductivity, chloride, sulfate, sodium, potassium, nitrate, bicarbonate, and total dissolved solids.

Key words: XXXXXXXXXXXXXXXX

1. INTRODUÇÃO

Em diversas cidades brasileiras localizadas em regiões onde a geologia é representada por bacias sedimentares, a captação das águas subterrâneas constitui a alternativa mais viável, dada a viabilidade econômica do poço, custos mínimos com adução e distribuição, além de facilitar o tratamento da água, eliminando-se diversas etapas.

A Região do Cariri, representada por uma importante bacia sedimentar, destaca-se pela qualidade das suas águas subterrâneas e, pelos trabalhos referentes a hidrogeologia, embora bem mais concentrados nas cidades de Crato, Juazeiro e Barbalha, região mais populosa e, estudos estes que praticamente não existiam vinculados as áreas dos municípios de Brejo Santo e Mauriti.

1.1 Objetivos

O trabalho ora apresentado tem como objetivo avaliar a qualidade das águas subterrâneas, correlacionando características fisioclimáticas e litológicas à tipologia hidroquímica destas águas (diagramas de Piper), apresentando suas

fácies físico-químicas (classificação iônica), uso para consumo humano (Portaria GM/MS N0 518 de 25 de março de 2004), a razão de absorção de sódio (RAS) e o risco de salinidade, avaliando assim o uso destas águas para irrigação (diagrama do U.S Salinity Laboratory), consumo animal e finalmente a adequabilidade ao uso industrial.

Foram realizadas e tratadas 92 análises físico-químicas em 19 poços em relação a: pH, temperatura, alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio, condutividade elétrica, cloreto, sulfato, sódio, potássio, nitrato, bicarbonato e sólidos totais dissolvidos.

1.2 Localização e acesso

A área de estudo está inserida nos municípios de Mauriti e Brejo Santo, situados na Região do Cariri, porção sul do estado do Ceará, Nordeste do Brasil, e possuem área de 1.270km², ocupando partes das folhas Crato (SB.24-Y-D-III), Milagres (SB.24-Z-C-I) e São José do Belmonte (SB.24-Z-C-IV) em escala de 1:100.000 (Figura 1).

O acesso aos municípios, a partir de Fortaleza, é feito pela BR-116, num

aos Órgãos Públicos Federais, estaduais, municipais, empresas privadas e universidades, e serviu para um conhecimento das características da região, propiciando a execução das etapas posteriores do presente trabalho. Juntamente a isso, foi realizada a aquisição de mapas geológicos e hidrogeológicos, de escalas diversas, pela CPRM. A principal base cartográfica usada na elaboração dos mapas piloto, foram as cartas básicas 1:100.000 da SUDENE, folhas Crato (SB.24-Y-D-III), Milagres (SB.24-Z-C-I) e São José do Belmonte (SB.24-Z-C-IV) . Ainda dentro dessa etapa foi realizado o levantamento de fichas dos poços tubulares existentes nos municípios de Mauriti e Brejo Santo, utilizando o cadastro SIAGAS da CPRM/REFO.

• Etapa de Campo

O trabalho de campo teve como principais objetivos as coletas de água para análises físico-químicas, o mapeamento para o reconhecimento das unidades hidrogeológicas e litoestratigráficas.

A principal característica para uma boa análise físico-química de uma determinada água é a qualidade da coleta, devendo ser realizada dentro dos padrões exigíveis no que diz respeito à sua perfeita identificação (rotulação), refrigeração, acomodação e o respeito em relação ao tempo para o envio ao laboratório/holding time (CETESB, 1988). A coleta foi realizada junta com a equipe da CPRM (Serviço Geológico do Brasil) e mestrandos do Curso de Geologia da UFC (Universidade Federal do Ceará).

Foram selecionados 11 pontos de amostragem de águas subterrâneas distribuídos na região de CRAJUBAR obtidos do projeto “Hidrogeologia do Aquífero Missão Velha, Chapada do

Araripe, Ceará” da CT- HIDRO/FINEP.

Durante as coletas foram tomados cuidados com identificação (rotulação), preservação (refrigeração), armazenamento e transporte das amostras de água, a fim de não se provocar alterações na qualidade físico-químicas das mesmas. Com o intuito de preservar as amostras de ação biológica, hidrólise, volatilização e adsorção, as amostras foram preservadas com refrigeração e proteção contra luz, de acordo com as recomendações para coleta e preservação de amostras estabelecidos pela American Public Health Association (APHA, 1995), para amostras de água para consumo humano.

Para o reconhecimento hidrogeológico, foram realizados perfis perpendiculares às principais feições estruturais e estratigráficas da área, utilizando o GPS (Garmim Etrex) onde foram georeferenciados os afloramentos, a fim de melhor estabelecer suas relações de contato e posicionamento em relação ao contexto regional.

Após a seleção dos poços a serem amostrados, a partir de perfis construtivo-litológicos, foram coletadas amostras d'água para as análises físico-químicas. Foram utilizados medidores de pH e medidor de condutividade elétrica, no local, para obter uma maior precisão nas informações de reconhecimento hidroquímico.

Para verificação da acuracidade das informações, tanto no mapeamento quanto no inventário dos poços, foram obtidos dados atuais das obras de captação e aspectos diversos, localização dos principais pontos com risco potencial de poluição/contaminação existentes nos municípios de Mauriti e Brejo Santo, mostrando a ação antrópica e o modo de uso e ocupação do meio.

• Análises Laboratoriais

As análises físico-químicas das águas foram realizadas pelo Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física (UFC), dentro do que concebeu o projeto patrocinado pela FINEP e no qual esta proposta está inserida, sendo aqui realizadas e tratadas 92 análises físico-químicas em 19 poços. Nos resultados das análises apresentados foram determinados o pH, temperatura, alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio, condutividade elétrica, cloreto, sulfato, sódio, potássio, nitrato, bicarbonato e sólidos totais dissolvidos. As determinações das concentrações iônicas foram realizadas com a metodologia adotada a seguir:

Ca ⁺⁺ e Mg ⁺⁺	método titulométrico com EDTA
Na ⁺ e K ⁺	fotometria de chama
Cl ⁻	método titulométrico com AgNO ₃
SO ₄ ⁼	método espectrofotométrico com cloreto de bário
CO ₃ ⁼ e HCO ₃ ⁻	método titulométrico com HCl
NO ₃ ⁻	método espectrofotométrico do NITRAVER

As curvas de calibração elaboradas para os diferentes tipos de determinações, tanto fotométricas como espectrofotométricas, mostram coeficientes de correlação da ordem de 0,99; as análises titulométricas foram realizadas sempre em duplicata, com diferença de valores na faixa de 0-5%.

• Balanço Iônico

É importante para os resultados da pesquisa hidroquímica uma avaliação das informações prestadas pelo laboratório e das análises e aferição do cadastro. Essa avaliação foi feita pelo cálculo do erro da análise, o conhecido e necessário balanço iônico.

Em uma análise hidroquímica completa, a concentração total dos cátions deve ser igual à concentração total dos ânions. O desvio percentual desta igualdade é determinado pelo coeficiente de erro da análise (E%)

calculado pela equação e realizado no laboratório de análises das amostras (THORNTHWATTE & MATHER, 1995; SCHOLLER, 1964 e SZIKSZAY, 1993).

$$\text{Erro (\%)} = \frac{\left| r \sum \text{ânions} + r \sum \text{cátions} \right|}{r \sum \text{ânions} - r \sum \text{cátions}} \cdot 100 \quad (1) \text{ meq/L}$$

• Tratamento e Integração dos Dados

As informações obtidas na primeira etapa e conferidas no campo receberam um tratamento mais apurado no que se refere aos dados de cadastro de poços e análises de água.

Os poços cadastrados passaram por uma análise comparativa de dados, de modo que algumas informações foram atualizadas, como coordenadas ou situação de uso (desativados e em funcionamento), utilizando o *software* Excel.

Foram confeccionados os mapas simplificado de distribuição dos poços e hidrogeológico da área com localização dos poços pertencentes a área de trabalho, utilizando o *software* ArcMap 9.0.

A caracterização hidroquímica das águas subterrâneas foi realizada a partir da utilização de diagramas específicos (Piper e U.S. Salinity Laboratory Staff) onde foram plotados as concentrações dos elementos químicos envolvidos, para posterior interpretação. Os resultados da caracterização hidroquímica foram tratados utilizando-se o *software* Qualigraf, versão Beta, desenvolvido por MÖBUS (2003).

2. GEOLOGIA

A Bacia do Araripe (Figura 2) está situada na parte sul do estado do Ceará ocupando uma área aproximada de 11.000km², correspondendo a uma bacia

sedimentar de evolução policíclica, em cujo arcabouço estratigráfico podem ser distinguidas quatro sequências tectono-sedimentares limitadas por discordâncias regionais ou, ainda, por hiatos paleontologicamente definidos.

A evolução dos conhecimentos geológicos, abordados a seguir para

descrever as características geológicas da bacia sedimentar, foram adotados a partir da divisão estratigráfica proposta por PONTE & APPI (1990), ilustrada na figura 2, que divide a coluna sedimentar em três seções distintas, limitadas por discordâncias angulares de extensão regional, da base para o topo.

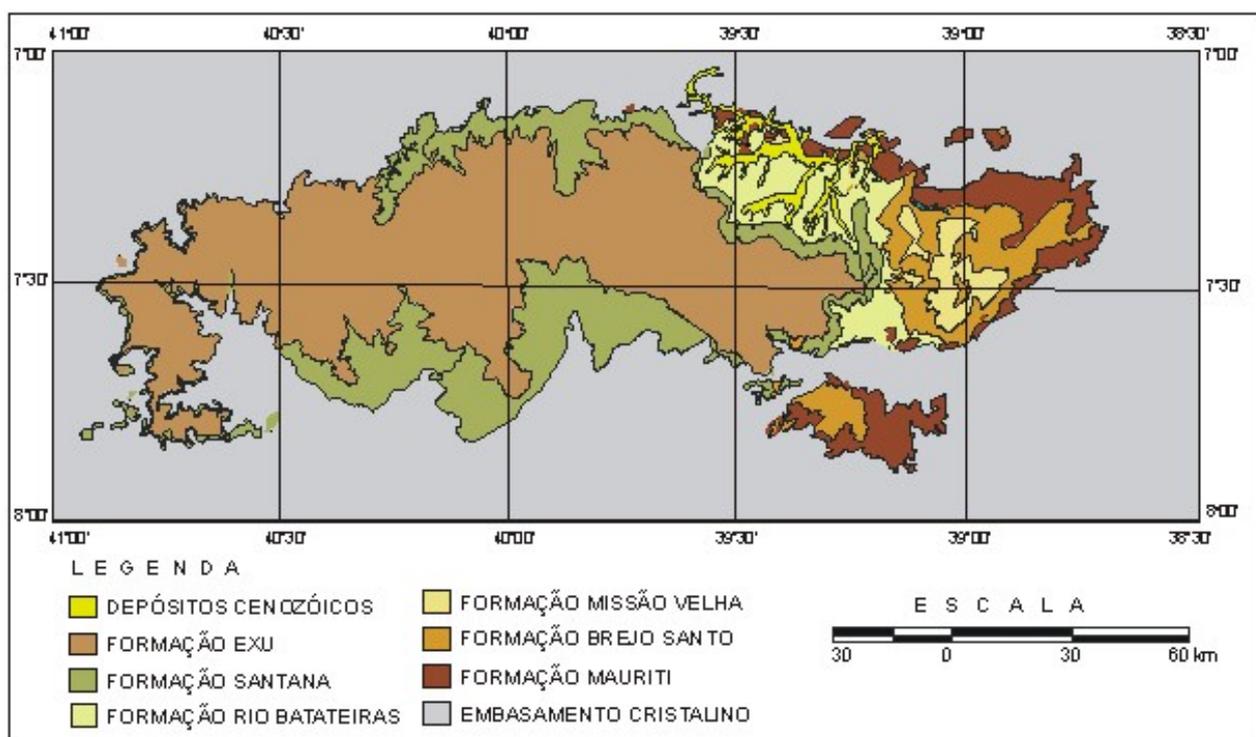


Figura 2 - Esboço geológico da Bacia do Araripe (Ponte & Appi, 1990).

3. HIDROGEOLOGIA LOCAL

A região do Cariri, inserida na Sub-Bacia do rio Salgado, se constitui na bacia hidrogeológica mais importante do estado do Ceará estando os municípios de Mauriti e Brejo Santo localizados dentro desse contexto.

A área pesquisada, com 1.270,7km² é geologicamente representada pelas formações Rio da Batateira, Mauriti, Abaiara, Missão Velha, Brejo Santo, Santana, Arajara e Exu, além das manchas aluvionares e coberturas sedimentares clásticas, arenosa e areno-argilosas.

As formações Exu, Arajara, Rio da Batateira, Abaiara, Missão Velha e

Mauriti possuem uma boa vocação hídrica. As demais, Santana e Brejo Santo, apresentam muito baixa ou nenhuma vocação hídrica, representando aquíferos/aquicludes.

Apesar do sistema aquífero superior não apresentar uma uniformidade de características hidrodinâmicas entre as duas formações envolvidas, foi considerado com um aquífero, mesmo que, a permeabilidade da Formação Exu, predominantemente arenosa, é sempre bem superior à da Formação Arajara, mais argilosa, que apresenta mais características de um aquífero. As aluviões e coberturas arenosas e areno-argilosas ficarão fora deste

capítulo por conter pequenas espessuras.

3.1 Sistema Aquífero Superior

Esse sistema aquífero é representado pelas formações Exu e Arajara que capeiam a Bacia do Araripe e correspondem as unidade de menores exposições na área pesquisada, ocupando 17,88km² (1% da área), localizando-se na porção leste de Brejo Santo.

Apresenta expressiva variação litológica, onde a formação Exu é representada por uma sequência por arenitos vermelhos, friáveis a litificados, argilosos, em geral caulíníticos, de granulometria variável, contendo, muitas vezes, leitos intercalados de arenitos grossos a conglomeráticos. A Formação Arajara é representada por intercalações de níveis arenosos, sílticos a síltico-argilosos que refletem diferentes condutividades hidráulicas, tanto vertical quanto horizontal.

O pacote sedimentar representado pelas Formações Exu e Arajara possui uma forma tabular, com espessuras em torno dos 240m e suave mergulho (5°) de sul para norte. O volume que atua como reservatório hídrico subterrâneo é relativamente reduzido, desde que somente 30 a 50m de espessura de sedimentos se acha saturado em água, ou seja, representando apenas entre 12 e 20% do pacote sedimentar total (MONT'ALVERNE *et al.*, 1996).

Nesse sistema aquífero, as águas podem estar armazenadas em aquíferos livres, como nos arenitos da Formação Exu, ou confinadas em camadas arenosas intercaladas entre camadas síltico - argilosas da Formação Arajara.

A recarga desse aquífero se processa unicamente por infiltração direta das águas da chuva, uma vez que no topo da chapada de relevo semi-plano a

drenagem é incipiente (baixa densidade de drenagem), predominando um escoamento difuso e desordenado, tornando-se orientado nas proximidades da borda da chapada. A água infiltrada no topo da chapada desce por gravidade até atingir o nível de saturação, passando a circular sub-horizontalmente no sentido dos exutórios naturais.

3.2 Sistema Aquífero Médio

Por englobar mais de duas formações litoestratigráficas, esse sistema hidrogeológico localiza-se em grande parte na área estudada, encontrando-se distribuídas em uma faixa contínua de norte ao sul da área, ocupando 274,27km² (22%) da área estudada.

A recarga deste sistema é realizada fundamentalmente através de infiltrações pluviométricas diretas, facilitada pelas elevadas permeabilidade e porosidade do meio aquífero. O sentido preferencial do fluxo ocorre de sul para norte e de oeste para leste.

O estudo isotópico de O¹⁸ e C¹⁴ executado na bacia aponta para a possibilidade de alimentação desse sistema aquífero por filtração vertical através do pacote sedimentar da formação Santana (MENDONÇA, 1996). Essa possibilidade nos parece ser muito remota, em primeiro lugar tendo em vista a praticamente impermeabilidade dos depósitos representados por folhelhos, argilitos, calcários e gipsita, com espessura da ordem de 200m e, em segundo, devido as pressões confinantes que geram cargas potenciométricas mais elevadas no aquífero sotoposto na chapada, impedindo qualquer fluxo vertical descendente. Mesmo que houvesse fraturas no maciço semi-impermeável da formação Santana, as pressões geradas pelo confinamento

ao pacote sedimentar sotoposto fariam com que o fluxo vertical fosse ascendente e não descendente (MONT'ALVERNE *et al.*, 1996).

No sistema aquífero médio apenas 06 poços, que possuem análises físico-químicas, apresentaram fichas técnicas com perfis construtivos/litológicos. Os poços 198, 371, 381, 382, 384 e 386 foram identificados como poços que

captam água somente desse sistema aquífero (Figura 3).

Finalmente, há que se considerar a contribuição oriunda das fontes ou exutórios naturais do sistema aquífero superior, que escoam superficialmente sobre os sedimentos do pediplano, propiciando uma infiltração de parte desse escoamento superficial,

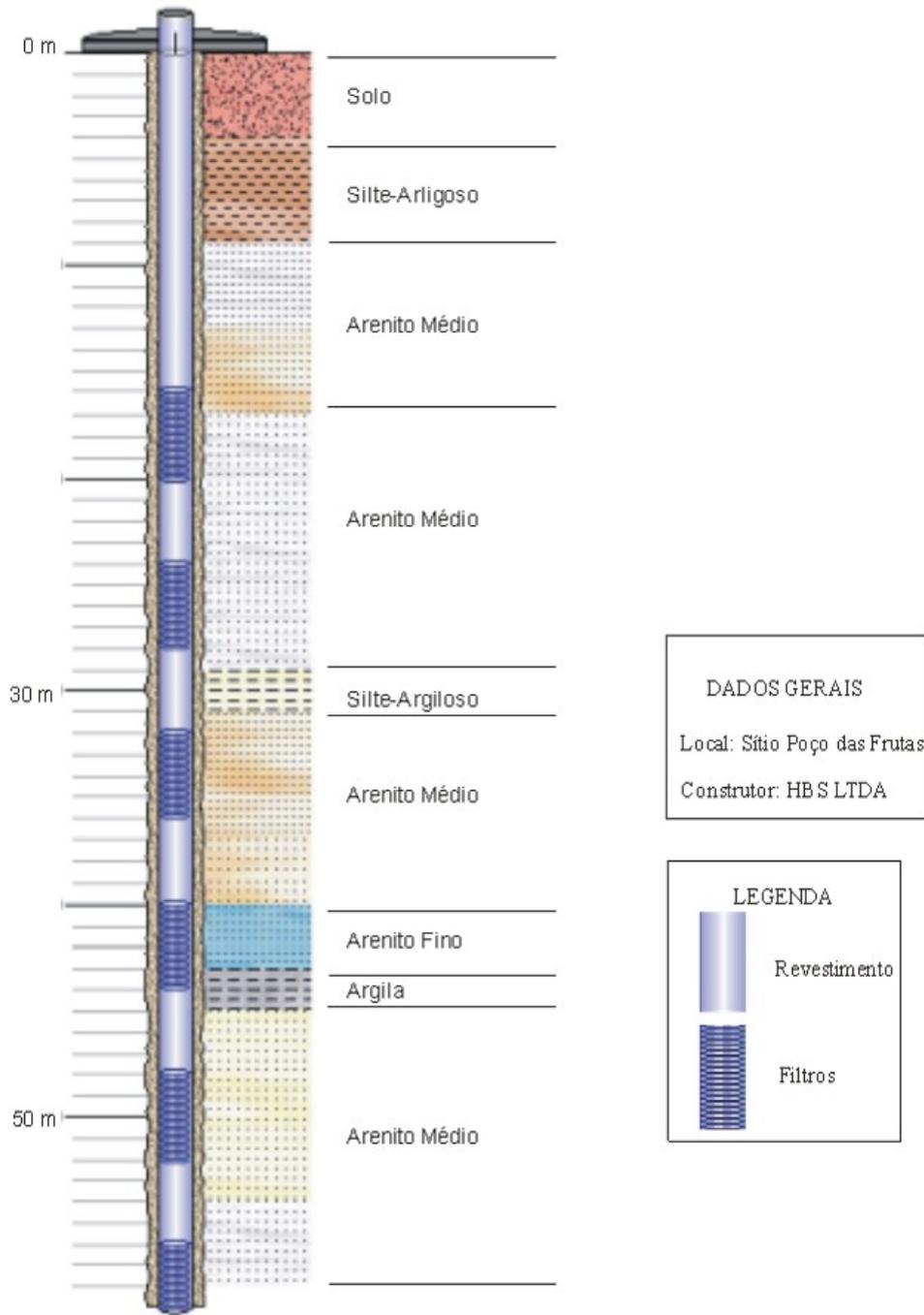


Figura 3 - Perfil construtivo técnico do Poço nº 371 como exemplo de poços da região.

Quanto às descargas do sistema aquífero médio devem ser consideradas as naturais e as artificiais: a descarga natural do sistema aquífero é representada pela própria vazão de escoamento natural, que drena o aquífero e, teoricamente, representaria toda a descarga para a drenagem superficial na forma de ressurgências, se não fosse dela retirada uma parte representada pela descarga artificial, que são as captações feitas através de poços tubulares na região.

A descarga natural representada pelo sistema de fluxo de água subterrânea do sistema aquífero médio na Sub-Bacia do Cariri se faz ao longo do vale do rio Salgado e de seus afluentes, garantindo parcialmente o caráter perene de algumas drenagens da região.

A descarga artificial ocorre principalmente através do bombeamento de poços tubulares pertencentes ao sistema aquífero médio.

Todo o volume de água que escoou dos rios nos meses que se sucedem a paralisação das chuvas decorre de restituição de águas subterrâneas, que se infiltraram durante o período chuvoso.

3.3 Sistema Aquífero Inferior

A área de afloramento da Formação Mauriti correspondente à borda setentrional e oriental da região do Cariri, numa extensão de 463,18km², constitui a base da coluna sedimentar da Bacia do Araripe.

Sua distribuição é muito variada em espessura, dependendo da situação estrutural de horst ou de graben. A alimentação desse sistema aquífero somente se processa na área onde aflora, haja vista que na zona confinada a camada que se situa diretamente sobre o mesmo é a formação Brejo Santo, com espessura média de 315m

predominantemente argilosa, impedindo a circulação hídrica descendente a partir do sistema aquífero que lhe é sobreposto.

Para classificar as águas subterrâneas, em função do aquífero captado, foram analisados os perfis construtivos/litológicos dos poços que possuem análise físico-química, após a análise foram constatado que os poços 192, 195, 199, e 215 estão captando água do sistema aquífero inferior (Figura 4).

Na área de recarga o aquífero é alimentado principalmente através da infiltração direta das precipitações pluviométricas e, secundariamente, através da drenagem que procede da área cristalina ao norte. Nesse aquífero foi considerado a descarga natural e a artificial, em que a primeira é representada pelas ressurgências ou restituições aos cursos d'água superficiais na forma de escoamento de base da rede fluvial da região, enquanto a segunda corresponde à retirada pelo homem, através de poços construídos no sistema aquífero.

3.4 Aquicludes

Um aquíclude é uma formação que pode conter água, até mesmo em quantidades significativas, mas é incapaz de transmiti-la em condições normais SANTOS (2000, *in*: FEITOSA & MANOEL FILHO *et al.*, 2000).

Foram inicialmente classificadas como formações praticamente impermeáveis, isto é, aquícludes, as formações Santana e Brejo Santo, a primeira do Albiano (Cretáceo Médio) e a segunda do Malmoniano (Jurássico Superior). Apesar do caráter eminentemente pelítico dessas formações geológicas, ocorrem reduzidas e espacialmente limitadas intercalações

arenosas, que são eventualmente explotadas como zonas aquíferas.

No caso da formação Santana, constituída por margas e folhelhos no topo (Membro Romualdo), calcário e gipsita na porção intermediária (membro Ipubi) e calcários com marga na base (Membro Crato), com uma espessura total da ordem de 200m, a predominância de materiais impermeáveis é absoluta.

A Formação Santana pode oferecer intercalações arenosas, porém isso ainda não a enquadra como aquífero e sim como aquíclode, pois a composição predominantemente é pelítica. Além do mais, essas camadas ou “zonas aquíferas” contidas dentro de espessas camadas impermeáveis impossibilita qualquer recarga ou renovação das águas, tratando-se, provavelmente, de águas conatas.

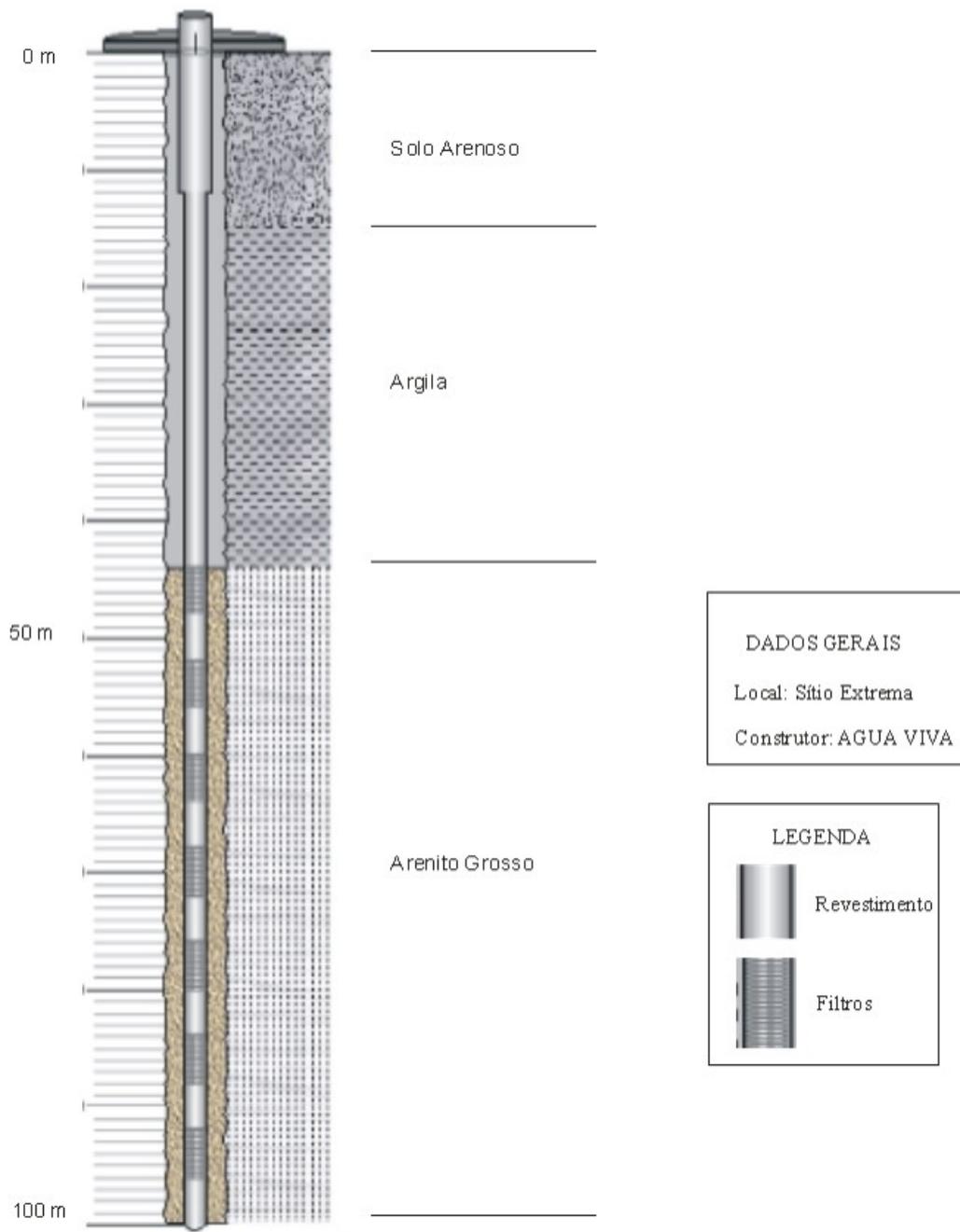


Figura 4 - Perfil construtivo técnico do Poço nº 192 (capta água do sistema aquífero inferior).

Quanto a Formação Brejo Santo, que ocorre na região do Cariri, sobretudo na porção mais oriental (Milagres e Mauriti), apresenta, ocasionalmente, intercalações arenosas próximas à sua base que interagem com a formação Mauriti subjacente, fazendo com que a espessura total deste aquífero apareça um pouco aumentada, daí ter sido tratada como um sistema aquífero. Todavia, não há nenhum poço explotando unicamente essas camadas arenosas da base do aquíclode Brejo Santo, que são constituídas por um pacote de folhelhos e siltitos vermelhos a arroxeados que chegam a ultrapassar de 400m de espessura.

Dessa maneira, continuará a formação, como um todo, a ser tratada como um aquíclode, funcionando apenas a sua base como uma interface para o aquífero sotoposto.

4. HIDROQUÍMICA

Do ponto de vista da gestão das águas, a qualidade da água subterrânea é tão importante quanto o aspecto quantitativo. Dessa maneira, o estudo hidroquímico tem por finalidade identificar e quantificar suas principais propriedades e os constituintes químicos das águas subterrâneas, procurando estabelecer uma relação com o meio físico.

4.1 Propriedade Físico-Químicas e Consumo Humano

As propriedades físico-químicas são importantes no que se refere a qualificação das águas, sendo definidas pela sua composição e pelo conhecimento dos efeitos que seus constituintes hidroquímicos podem causar à saúde humana.

4.1.1 Condutividade Elétrica (CE)

Foi verificado nos 19 poços

amostrados, que a condutividade elétrica (CE) varia de um mínimo de 110 S/cm, com média de 402 S/cm e máxima de 1.519 S/cm; todas a 25°C (análise de água do poço 381 de junho/2006). Nas análises de água dos poços 191, 194, 196, 198, 201 e 387 observa-se que durante o período de estiagem, representado pelos meses de maio a novembro, os valores de condutividade elétrica são relativamente mais elevados, estando relacionados diretamente ao período de precipitação. Vale salientar que as análises dos poços 199 e 381 estão bem acima da média da região, podendo este poço estar captando água bem mais rasa (freático), onde o nível estático é quase aflorante e que todos os poços apresentam um comportamento mais homogêneo. Segundo LOPES (2004), as águas subterrâneas de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha estão com valores abaixo da estudada (CE), tornando os poços de Mauriti e Brejo Santo com águas mais salinas em comparação aos municípios de Crato, Juazeiro e Barbalha.

De acordo com os dados de condutividade elétrica (CE) é possível notar que houve uma predominância nos valores mais baixos da condutividade elétrica, que se devem, possivelmente, ser relacionados às pequenas concentrações de íons cloretos.

4.1.2 pH

Dentro do universo de análises das águas dos 19 poços, com medidas de pH, os valores oscilam entre 4,4 a 8,0 com média de 6,5, mostrando um caráter levemente ácido das águas subterrâneas dos municípios de Mauriti e Brejo Santo. A análise dos histogramas de pH assemelha-se à distribuição apresentada na condutividade elétrica (CE). As análises físico-químicas das águas

dos poços 191, 192, 193, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 215, 381, 385 e 386 apresentam-se com valores superiores a 6,0 e inferiores a 9,5 estando dentro dos padrões recomendados pela Portaria N° 518 do Ministério da Saúde de 25/03/2004, que considera o valor máximo tolerável para o consumo humano de 6,0 a 9,5.

Fazendo uma comparação entre as águas dos poços estudados, independentemente do período amostrado nota-se uma grande homogeneidade. Pode-se separar as águas dos poços com valores mais altos, tendendo a neutralidade, de outros com resultados de pH relativamente baixos e, portanto, com características ácidas. As águas dos poços 194, 195, 371, 382, 384 e 387 mostram valores de pH normalmente acima de 5, com pico superiores a 6, ao passo que os demais poços apresentam resultado de pH superiores a 6 e tendendo a 8.

Cabe destacar que no estudo desenvolvido por LOPES (2004) nos municípios de Crato, Juazeiro e Barbalha, que fazem parte da Região do Cariri, foram obtidos valores de pH na faixa de 5,5 a 8,3 semelhantes aos valores obtidos aqui, visto que apenas o poço 384 a água apresenta pH inferior a 5, registrado em abril de 2005, decorrente da infiltração das águas pluviais.

4.1.3 Cloreto

Os resultados para cloretos nas análises de cloretos em 19 poços, mostra que a taxa varia entre o mínimo de 4mg/l e um máximo de 184mg/l, com valor médio de 53mg/l. Na análise para cloretos observa-se uma grande irregularidade comportamento individual dos poços, podendo-se, entretanto, separar grupos com distintos comportamentos. As águas dos poços 198, 200, 201, 371, 381, 384 e

387 apresentam, em geral, teores de cloretos sempre acima de 80mg/l. Em contrapartida as águas dos poços 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 199, 215, 382, 385 e 386 possuem teores de cloretos abaixo dos 80,0mg/l.

As análises das águas dos poços 191, 193, 194, 196, 197, 199, 201, 215, 371, 381, 384, 386 e 387 indicam, ainda, uma tendência aos teores mais baixos de cloretos que ocorrem no período chuvoso (diluição natural), no mês de dezembro a abril, enquanto as concentrações mais elevadas são encontrados durante o período de estiagem (maio a novembro).

Segundo a Portaria N° 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde, o valor máximo tolerável/VMT para cloretos é de 250mg/l e, assim, todos os valores da área encontram-se dentro do aceitável, podendo estas águas ser usadas para fins domésticos e para fins econômicos diversos (indústria, irrigação e atividades recreativas).

4.1.4 Nitrato

As águas dos poços, quando analisadas temporalmente, tiveram comportamento muito heterogêneo. Constata-se que os teores máximos para nitrato, na maioria das águas analisadas, foram encontrados no período de estiagem (junho e julho), valores muito acima dos demais meses. Dentro do universo de 78 análises de nitrato as concentrações variam entre 0,02mg/l $N^-NO_3^-$ e 73,10mg/l $N^-NO_3^-$, com média de 8,01mg/l $N^-NO_3^-$. Segundo a Portaria N° 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde, o valor máximo tolerável de nitrato ($N^-NO_3^-$) é de 10mg/l $N^-NO_3^-$, ou seja, as análises físico-químicas de águas dos poços 191, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 201, 371, 381, 382, 386, e 387 no mês de julho, e 384 e 387 no mês de junho encontram-se acima dos limites permissíveis.

4.1.5 Cálcio

De acordo com os resultados para cálcio, nas análises de águas de 19 poços, observa-se que concentração varia entre o mínimo de 1mg/l e um máximo de 147mg/l, com valor médio de 19mg/l. Para as análises das águas dos poços 191, 194, 196, 371, 385 e 387 nota-se que durante o período de chuvas, principalmente o mês de abril, os valores de cálcio são relativamente mais altos podendo estar ligados diretamente a diluição dos calcários da formação Santana.

Quando se faz uma comparação entre os poços, independentemente do período amostrado, pode-se separar os poços 381 e 382 que possuem a suas águas com valores muito elevados em comparação aos poços da região, que pode ser causado pela recarga do aquífero da formação Santana.

4.1.6 Dureza

A dureza é definida como a dificuldade de uma água em dissolver sabão, fazendo espuma, pelo efeito do cálcio, magnésio e de outros elementos como Fe, Mn, Cu, Ba etc.. A dureza pode ser classificada como “temporária” ou de “carbonatos” que é a devida aos íons de cálcio e de magnésio que, sob aquecimento, se combinam com íons bicarbonato e carbonatos, podendo ser eliminada por fervura. Em caldeiras e tubulações por onde passa água quente (chuveiro elétrico, por exemplo) os sais formados devido à dureza temporária se precipitam formando crostas e criando uma série de problemas, como o entupimento das tubulações; já a dureza “permanente” é devido aos íons de cálcio e magnésio que se combinam com sulfato, cloretos, nitratos e outros, dando origem a compostos solúveis que não podem ser retirados pelo aquecimento;

e a dureza “total” representa a soma da dureza temporária com a permanente. CUSTÓDIO & LLAMAS (1983) apresentaram uma classificação para as águas subterrâneas a partir dos teores de dureza, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação da dureza das águas segundo CUSTÓDIO & LLAMAS (1983).

Tipo	CaCO ₃ (mg/l)
Branda	< 50
Pouco Dura	50 – 100
Dura	100 – 200
Muito Dura	> 200

A classificação das águas subterrâneas da área com relação a sua dureza (teor de CaCO₃ em mg/l) a partir de um universo de 19 poços, sem analisar temporalmente a água, revela que os poços 193, 195, 196, 197 e 386 possuem águas com características de “branda”; os poços 191, 371 e 385 possuem águas com características de “pouco dura”; e o poço 198 possui água com característica de “dura”. Em relação a variação de tempo, a água do poço 194 e 201 varia de “branda” a “pouco dura”, já os poços 200, 384 e 387 possuem águas com variação nos teores e classificadas em “pouco dura” a “dura” e possui água variando de “dura” a “muito dura” o poço 382. Com exceção do poço 381, todos os valores de dureza nas análises estão dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde, que é de até 500 mg/l de CaCO₃.

4.2 Classificação Iônica

Para classificar o tipo químico das águas subterrâneas dos aquíferos de acordo com os íons predominantes foi utilizado o Diagrama de Piper. Nesse diagrama pode-se distinguir três campos onde são plotados os valores percentuais

das concentrações dos principais constituintes iônicos (cátions e ânions), permitindo identificar-se as distintas fácies hidroquímicas. O cruzamento do prolongamento dos pontos na área do losango define sua posição e classifica a amostra de acordo com suas fácies. A representação das fácies química dos sistemas hidrogeológicos consta na Figura 5.

Utilizando as análises de águas de 19 poços, amostrados em diferentes períodos de tempo, o Diagrama de Piper revela que as águas dos poços 191, 192, 199 e 385 variam de bicarbonatadas-mistas a bicarbonatadas-sódicas; os

poços 384 e 387 possuem suas águas variando de cloretada-sódica a cloretada-mista; as análises das águas do poço 195 variaram de bicarbonatadas-sódicas, cloretadas-sódicas e mistas-sódicas e, o poço 215 possui análises de águas que variam de bicarbonatadas-mistas a bicarbonatadas-magnesianas. Na análise de água do poço 198 nota-se que durante o período de estiagem, representado pelos meses de maio a novembro, as águas possuem características de bicarbonatadas-mistas a mistas-mistas e no período de chuvas (dezembro a abril) as águas possuem características de cloretadas-mistas.

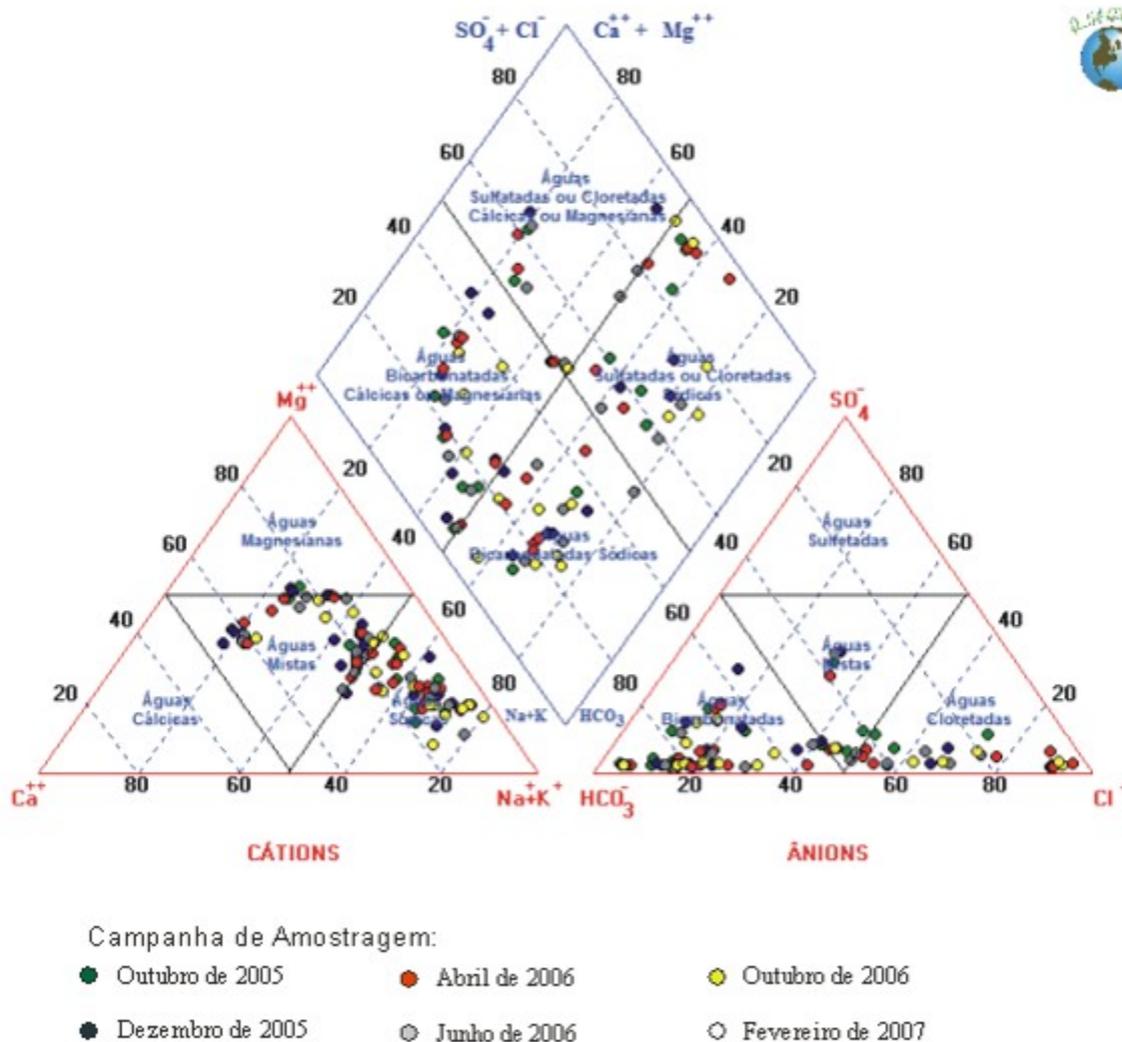


Figura 5 - Diagrama de Piper das águas subterrâneas da área de estudo.

Nas análises das águas de 19 poços a predominância para as águas dessa região, em função da relação iônica entre ânions e cátions, é de: $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ e $r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{++} > r\text{Ca}^{++}$ (Quadro 1). Essa relação catiônica

é muito comum nas águas subterrâneas no âmbito da Região do Cariri, onde a predominância é das águas bicarbonatadas, como podem ser verificados em LOPES (2004) e VERÍSSIMO (1999).

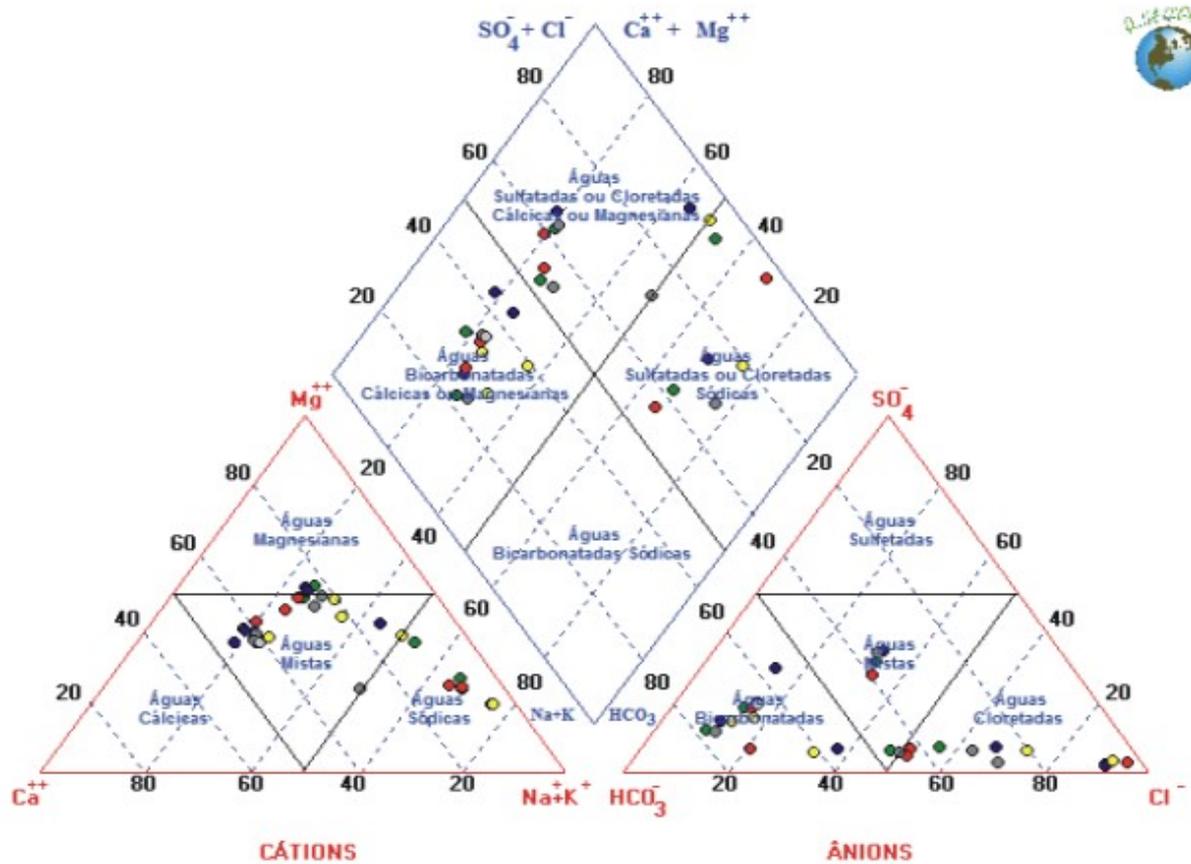
Quadro 1 - Classificação iônica das águas subterrâneas da área de estudo.

Classificação Iônica	out/05	dez/05	abr/06	jun/06	out/06	fev/07
	Amostras					
Água Cloretada-Sódica	5	3	6	2	4	1
Água Cloretada-Mista		1	1	2	1	
Água bicarbonatada-Sódica	4	4	4	6	7	2
Água bicarbonatada-Mista	6	6	6	4	4	1
Água bicarbonatada-Magnesianas	1	2				
Água Mista-Mista	2	1	1	3	1	
Água Mista-Sódica	1			1		

Na classificação hidroquímica do sistema aquífero médio foram utilizadas as análises de água de 06 poços tubulares profundos, analisado em períodos de tempo, onde o Diagrama de Piper revela que as águas dos poços os poços 384 possuem suas águas variando de cloretadas-sódicas a cloretadas-mistas; as análises das águas dos poços 371, 381, 382 e 386 estão classificadas como cloretadas-sódicas, mistas-mistas, bicarbonatadas-mistas e bicarbonatadas-magnesianas, respectivamente. Na análise da água do poço 198 observa-se que durante o período de estiagem, representado pelos meses de maio a novembro, as águas possuem características de bicarbonatadas-mistas a mistas-mistas, e no período de chuvas (dezembro a abril) as águas possuem características de cloretadas-mistas, essa característica está ligada diretamente ao aumento da precipitação (Figura 6).

A predominância para as águas desse aquífero, em função da relação iônica entre ânions e cátions é de: $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ e $r\text{Na}^+ = r\text{Mg}^{++} > r\text{Ca}^{++}$.

Utilizando as análises de água de 19 poços, amostrados em diferentes períodos de tempo, o Diagrama de Piper (Figura 7) revela que as águas dos poços 192 e 199 variam de bicarbonatadas-mistas a bicarbonatadas-sódicas; as análises das águas do poço 195 variam de bicarbonatadas-sódicas, cloretadas-sódicas e mistas-sódicas; o poço 215 possui águas que variam de bicarbonatadas-mistas a bicarbonatadas-magnesianas. No sistema aquífero inferior a relação iônica entre ânions e cátions é de: $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ e $r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{++} > r\text{Ca}^{++}$.



Campanha de Amostragem:

- Outubro de 2005
- Abril de 2006
- Outubro de 2006
- Dezembro de 2005
- Junho de 2006
- Fevereiro de 2007

Figura 6 - Diagrama de Piper para as águas subterrâneas do sistema aquífero médio.

4.3 Razão de Adsorção de Sódio (RAS)

Na classificação do RAS (Razão de Adsorção de Sódio) juntamente com a condutividade elétrica, o que indica se a água é apropriada ou não para tal fim. Quanto maior o RAS, menos apropriada será a água para uso na agricultura.

O RAS é uma razão que indica a percentagem de sódio contido numa água que pode ser adsorvido pelo solo e é calculado através da equação 01 e expresso em meq/l (U.S. Salinity Laboratory Staff):

$$RAS = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(rCa^{++} + rMg^{++})}} \quad (\text{Eq. 1})$$

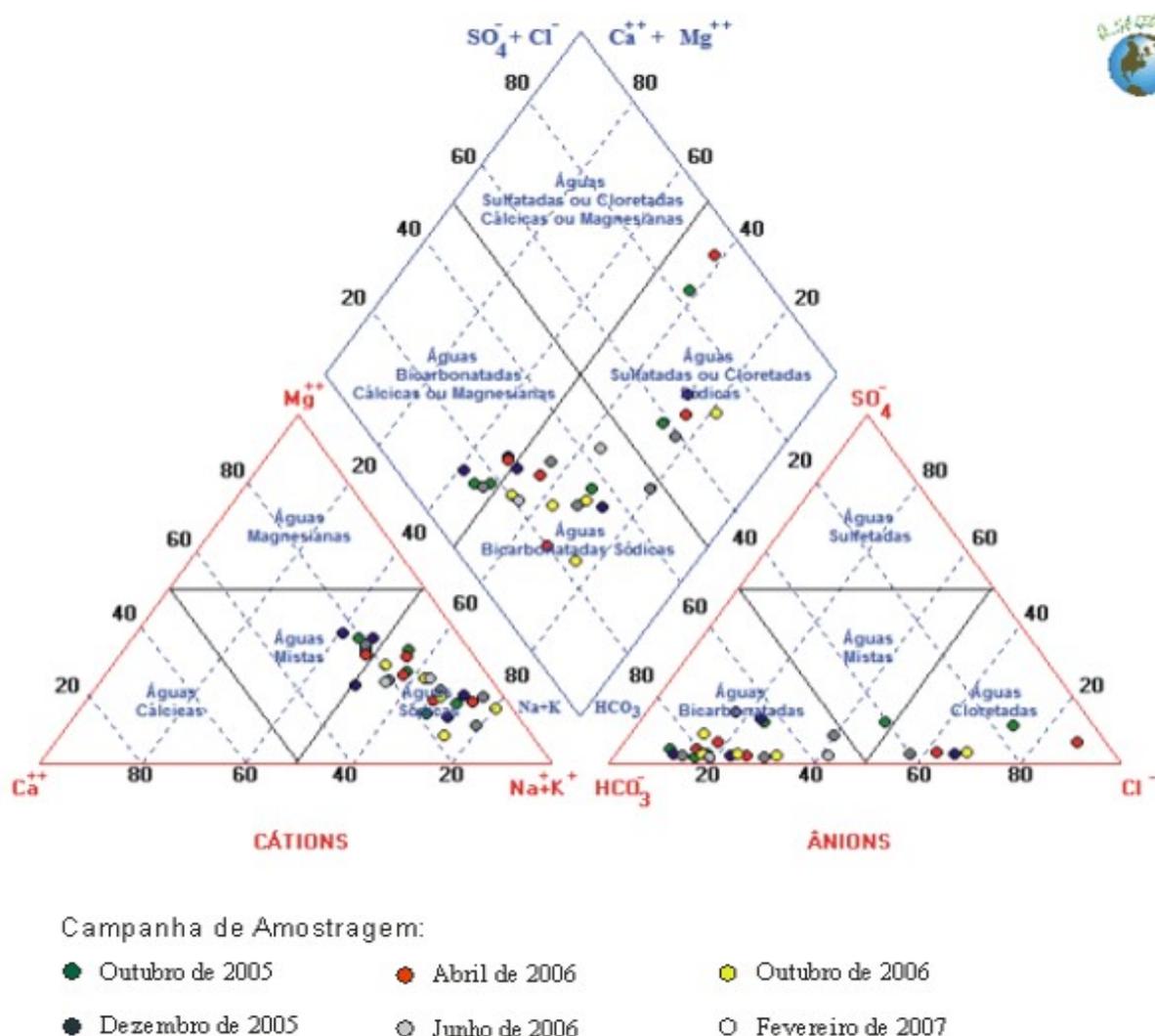


Figura 7 - Diagrama de Piper das águas subterrâneas do sistema aquífero inferior.

A concentração de sódio é importante, pois ele substitui o cálcio na estrutura do solo e, caso esteja em concentração excessiva, irá reduzir a permeabilidade e levar a uma situação de esterilidade (FREEZE & CHERRY, 1979).

A classificação das águas subterrâneas da área de estudo para irrigação utilizou o gráfico proposto pelo United States Salinity Laboratory que tem por base o RAS e o risco de salinidade. De acordo com a classificação do diagrama (Figura 8), houve mudança de classe na amostra de água do poço 384 em dezembro/2005 (em relação aos demais meses) onde estas águas

passaram da classe C2-S1 para C3-S1 e uma mudança da classe C2-S1 para C1-S1 nas análises das águas do poço 193 em abril/2005 e junho/2006, comparando com as amostras de água de outubro/2005, dezembro/2005 e outubro/2006. Nos dois casos de mudanças de classe elas ocorreram pelas variações da estação climática, onde o regime pluviométrico que é caracterizado pelas chuvas, concentradas nos meses de dezembro a abril, diluiu os sais presentes nas águas fazendo reduzir os valores de condutividade elétrica (CE) e no período de estiagem, que se encontram

concentrados nos meses de maio a novembro, a ausência de chuvas elevaram os totais de sais da água e, conseqüentemente, a valores de condutividade elétrica/CE (Tabela 2).

De modo geral, quanto ao uso na irrigação, apenas as águas dos poços 201 e 384 apresentam grandes

restrições. São de baixa a média salinidade, exigem um cuidado com a salinidade e com lavouras muito sensível a sódio. Pelo risco de salinidade apresentado, apenas os vegetais de alta tolerância salina podem ser cultivados com águas dos poços 201 e 384.

Tabela 2 - Padrões de qualidade d'água para irrigação.

Classe	Período	Amostra Ausente	Mudança de Classe
Outubro/05			
C1-S1	Poços 191,192,194,195,196,197,199,386	-	-
C2-S1	Poços 193,198,200,215,371,382,384,385,387	-	-
C3-S1	Poços 201,381	-	-
Dezembro/05			
C1-S1	Poços 191,192,194,195,196,197,199,386	-	-
C2-S1	Poços 193,198,215,371,382,385	Poços 200,387	Poço 384
C3-S1	Poços 201,381,384	-	Poço 384
Abril/06			
C1-S1	Poços 191,193,194,195,196,197,199,386	Poço 192	Poço 193
C2-S1	Poços 198,200,215,371,382,384,385,387	-	Poço 193
C3-S1	Poços 201,381	-	-
Junho/06			
C1-S1	Poços 191,192,193,194,195,196,197,199,386	-	Poço 193
C2-S1	Poços 198,215,382,384,385,387	Poços 200,371	Poço 193
C3-S1	Poços 201,381	-	-
Outubro/06			
C1-S1	Poços 191,192,193,194,196,197,199,386	Poço 195	-
C2-S1	Poços 198,215,371,382,385,387	Poço 200	-
C3-S1	Poços 201,384	Poço 381	-
Fevereiro/07			
C1-S1	Poços 195,199	-	-
C2-S1	Poços 382,387	-	-
C3-S1	-	-	-

Em uma classificação geral, as análises das águas dos poços estudados pertencem as classes C1-S1, C2-S1 e C3-S1 (Figura 8).

A água para o consumo animal deverá ser avaliada nos aspectos físico-químico, biológico e radiológico, para evitar contaminações, intoxicações e até

morte do animal. Os padrões para consumo animal devem ser adotados de acordo com a espécie, clima, cadeia alimentar, etc. Segundo LOGAN (1965), o gado deve consumir água com menos de 5.000mg/l de STD. Todas as águas analisadas se encontram dentro dos padrões aceitáveis para este tipo de consumo.

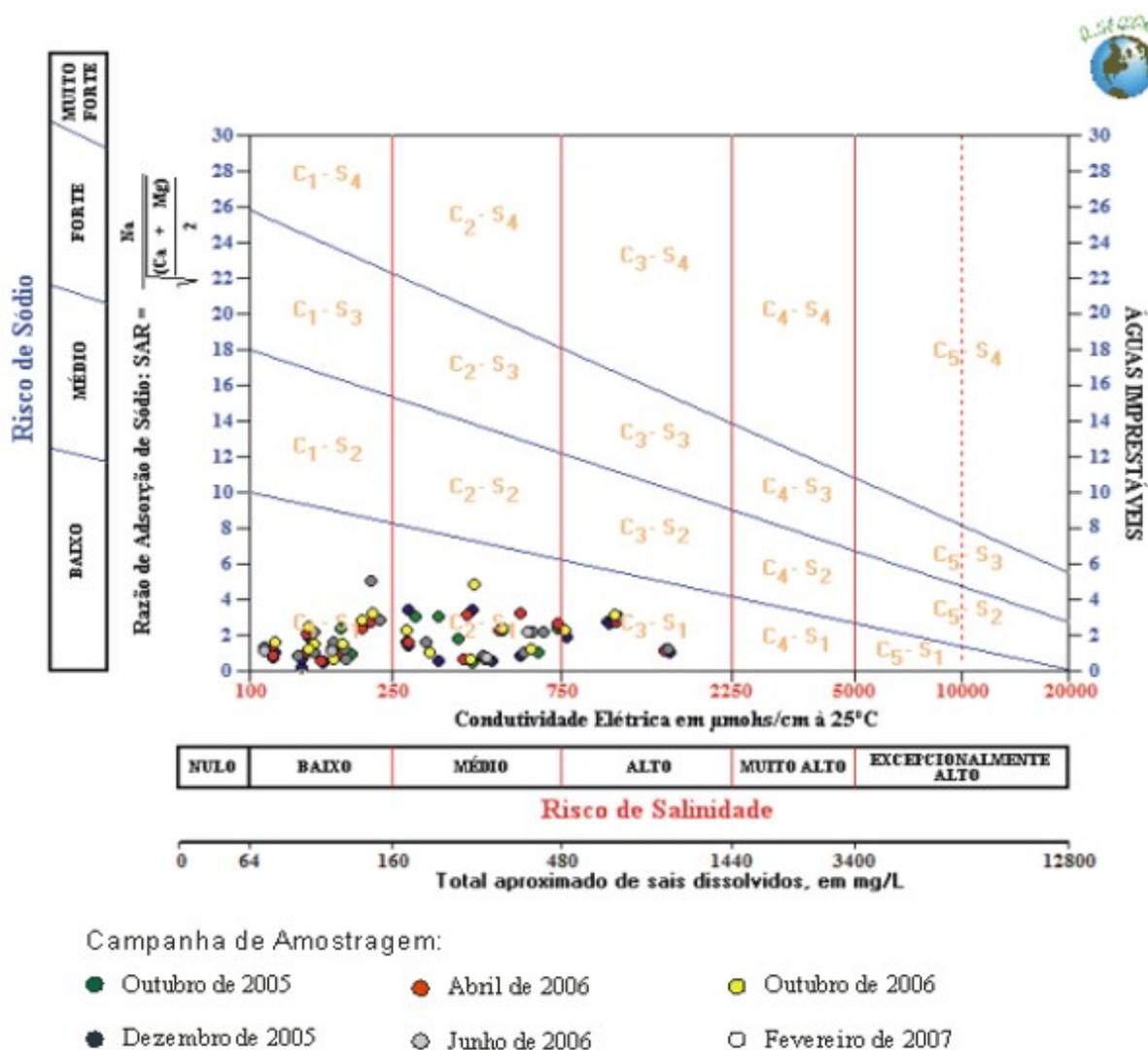


Figura 8 – Classificação das águas subterrâneas da área de estudo para irrigação segundo o método do U.S. Salinity Laboratory.

4.4 Uso Industrial

Usos específicos da água podem ter diferentes requisitos de qualidade. Assim, a tabela 3 mostra os principais elementos a serem analisados e as concentrações aceitáveis em função do direcionamento de uso.

Tomando-se como base os valores obtidos nas análises físico-químicas e confrontando-as com os da tabela 3, verificou-se que com relação a indústria de bebidas e suco de fruta (2) os dados de dureza das análises das águas dos poços 201, 215, 381 e 382 (em todos os períodos amostrados) 384 (no mês de

outubro e abril) e 198 (mês de abril) estão fora do padrão aconselhável. Para os valores de cloretos, as análises dos poços 198, 200, 201, 371, 381, 384 e 387 em todos os períodos e do poço 286 no mês de abril estão fora do padrão aconselhável, em relação ao sulfato o poço 381 (em todos os períodos) e o poço 382 (no mês de dezembro) encontra-se com suas águas fora do padrão aconselhável. Os dados de STD mostram que as amostras dos poços 286 (com exceção de abril) e 381 estão fora do padrão.

Tabela 3 - Padrões de qualidade d'água para indústrias.

Parâmetro	Unidade	1	2	3	4	5	6
pH	-	-	-	6,5-7,0	-	-	8
Dureza	mg/l CaCO ₃	50	180	50-75	25	50	50
Alcalinidade	mg/l CaCO ₃	-	-	-	128	-	135
Cálcio	mg/l	-	-	200	-	10	-
Magnésio	mg/l	-	-	30	-	-	-
Cloreto	mg/l	-	30	100	250	100	-
Sulfato	mg/l	-	60	-	250	100	-
Nitrato	mg/l	-	30	10	-	-	-
Ferro	mg/l	0,5	0,3	0,1	0,2	0,25	0,2
Manganês	mg/l	0,5	0,1	0,1	0,2	0,25	0,2
Amônia	mg/l	-	Traços	-	-	-	-
STD	mg/l	-	500	1000	850	-	-

1 – Águas de Refrigeração	2 – Ind. Laticínios	3 – Cervejaria
4 – Ind. de Bebidas e Sucos de Frutas	5 – Ind. Têxtil	6 – Curtumes

Fonte: modificado de Santos (2000, *in*: FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000)

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em relação a condutividade elétrica (CE) as análises de água dos poços 191, 194, 196, 198, 201 e 387 mostraram que durante o período de estiagem, representado pelos meses de maio a novembro, os valores de condutividade elétrica são relativamente mais altos, estando ligados diretamente a baixa ou nenhuma precipitação. Vale salientar que as concentrações iônicas das águas dos poços 199 e 381 estão bem acima da média da região, podendo estar captando águas freáticas, e que todos os outros poços apresentam um comportamento mais homogêneo. De acordo com os dados de condutividade elétrica (CE), é possível notar que houve uma predominância nos valores mais baixos da condutividade elétrica, que se devem, possivelmente, pela às pequenas concentrações de íons (cloretos).

Quando se faz uma comparação do pH entre as águas

independentemente do período amostrado, nota-se uma boa homogeneidade. Podem-se separar as águas dos poços com valores mais altos, tendendo a neutralidade, de outros com resultados de pH relativamente baixos e, portanto, com características ácidas.

Em relação aos cloretos, as análises realizadas nas águas dos poços 191, 193, 194, 196, 197, 199, 201, 215, 371, 381, 384, 386 e 387 indicam, ainda, uma tendência a menores teores (concentrações mais baixas) ocorre justamente associada ao período chuvoso, correspondendo aos meses de dezembro a abril, enquanto concentrações mais elevadas são encontradas durante o período de estiagem (maio a novembro).

Ao analisar o nitrato, observa-se que as águas dos poços, quando analisadas temporalmente, tiveram um comportamento muito heterogêneo.

Constata-se que os teores máximos para nitrato, na maioria das águas analisadas, foram encontrados no período de estiagem (junho e julho), em valores muito acima dos demais meses. Em determinada época do ano, as águas podem estar imprópria para o consumo humano devido as altas concentrações de nitrato.

Quando se faz uma comparação entre os poços, independentemente do período amostrado, pode-se separar os poços 381 e 382 que possuem as suas águas com concentrações iônicas muito elevadas em comparação aos demais poços da região, que pode ter como causa a proximidade com os calcários da formação Santana. As águas dos poços 191, 192, 193, 195, 198, 371, 381, 382, 386 e 387 mostram que os histogramas de dureza assemelham-se, na sua distribuição, aos de cálcio, mostrando que a dureza das águas desses poços encontra-se ligada as águas de natureza carbonatada.

As análises de águas destes 19 poços mostraram que a predominância para as águas dessa região, em função da relação iônica, independente do período amostrado, entre ânions e cátions é de: $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ e $r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{++} > r\text{Ca}^{++}$. No sistema aquífero médio, a predominância para as águas em função da relação iônica entre ânions e cátions é de: $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ e $r\text{Na}^+ = r\text{Mg}^{++} > r\text{Ca}^{++}$ e para o sistema aquífero inferior a relação iônica entre ânions e cátions é de: $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ e $r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{++} > r\text{Ca}^{++}$.

Para o uso industrial verificou-se que os dados de dureza das águas dos poços 201, 215, 381 e 382 em todos os períodos amostrados, poço 384 no mês de outubro e abril e poço 198 no mês de abril, estão fora do padrão aconselhável. Para os valores de cloretos,

as análises das águas dos poços 198, 200, 201, 371, 381, 384 e 387 em todos os períodos e o poço de número 286 no mês de abril, todos estão fora do padrão aconselhável e, em relação ao sulfato, a água do poço 381 (em todos os períodos) e a água poço 382 (no mês de dezembro) encontra-se com suas análises fora do padrão aconselhável. Os dados de STD mostra que as amostras de águas dos poços 286 (com exceção do mês de abril) e 381 estão fora do padrão.

Para as águas em relação ao uso na agricultura, todas as amostras analisadas, segundo o Diagrama do *U. S. Salinity Laboratory*, são de baixa a média salinidade, exigem, portanto, um cuidado com a salinidade e com lavouras muito sensíveis ao sódio. Pelo risco de salinidade apresentado, apenas os vegetais de alta tolerância salina podem ser cultivados com as águas dos poços 201 e 384. Recomenda-se a execução de mais campanhas de cobertura analítica físico-químicas nos poços da área, desta feita sendo isoladas as unidades aquíferas captadas (a partir de perfis dos poços analisados), no sentido de possibilitar uma melhor compreensão das condições de captação dos poços e dos parâmetros hidrogeoquímicos para cada sistema aquífero existente. Também se recomenda uma maior fiscalização, cobrança e fiscalização sistemática (profissional e séria) em todo o processo de construção dos poços para obter dados que possam ajudar a compreender ainda mais os sistemas aquíferos da Bacia do Araripe.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition. Washington, D. C., 1155p., 1995.

- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Coleta e Preservação de Amostras de Água. São Paulo: Procedimento Técnico, 1988.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará. 2. ed. Fortaleza: CPRM. Programa Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará, 2000.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. Hidrologia Subterrânea. Barcelona. Barcelona: Ed. Omega, v.2, 1983.
- FEITOSA, F.A.C. & MANOEL FILHO, J. (Orgs.) Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM. 2ª ed., 269p., 2000.
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A. Groundwater. New Jersey : Prentice - Hall. 604 p., 1979.
- LOGAN, J. Interpretação de Análises Químicas da Água. US. Agency for International Development. Recife., 1965,
- LOPES, C.R.M. Qualidade das águas subterrâneas no Vale do Cariri – Área em Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha – Estado do Ceará. Mestrado em Geologia. Programa de Pós-graduação em Geologia Universidade Federal do Ceará. Fortaleza (CE). 123 p., 2004.
- MENDONÇA, L. A. R. M. Modelagem matemática, química e isotópica de uma bateria de poços na cidade de Juazeiro do Norte – Ceará. Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (CE). Dissertação de Mestrado, 122 p., 1996.
- MOBÜS, G. Qualigraf: software para interpretação de análises físico-químicas, versão Beta. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. 2003. Download do programa a partir da página: www.funceme.br.
- MONT'ALVERNE, A. A. F.; PONTE, F. C.; COSTA, W. C.; DANTAS, J. R. A; LOPES, C. F.; MELO JUNIOR, A. H.; PONTE, J. S. A.; FILGUEIRA, J. B. M.; SOUZA, S. do R.; SILVA, E. C. C. da. Projeto Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros. Recife. Fase I. 100p. il, 1996.
- PONTE, F. C. & APPI, C. J. Proposta de Revisão da Coluna Estratigráfica da Bacia do Araripe. 1990. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, Anais.. SBG. V.1, p.211 – 226, 1990.
- PORTARIA GM/MS Nº 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.
- SCHOLLER, H. Les eaux souterraines. Masson & Cia., Ed. Paris, 624 p, 1962.
- SZIKSZAY, M. Geoquímica das águas. Boletim IG, São Paulo, nº 5. 32p, 1993.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, Jr. The Water Balance. Centron, N.J. Laboratory of Climatology. 104p., 1955.
- VERÍSSIMO, L. S. A. Importâncias das Águas Subterrâneas para o Desenvolvimento Sócioeconômico do Eixo CRAJUBAR, Cariri Ocidental – Ceará. 1999. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará 128p., 1999.