

ANÁLISE QUALITATIVA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE FORTALEZA, CEARÁ

Maria da Conceição Rabelo Gomes¹;
Itabaraci Nazareno Cavalcante²;
Mariane Pinto da Silva³

DOI: 10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v26n2p62-76

1-Departamento de Engenharia Civil/UFCA, Juazeiro do Norte/Ceará.
conceicaorabelo@yahoo.com.br

2- Departamento de Geologia/UFC, Fortaleza/Ceará. itabaracicavalcante@gmail.com

3-Programa de Pós-Graduação em Geologia/UFC, Fortaleza/Ceará.
marianepinto@gmail.com

RESUMO

Os recursos hídricos subterrâneos representam uma reserva hídrica inestimável, principalmente em regiões de escassez quantitativa e/ou qualitativa dos recursos hídricos superficiais. A utilização das águas subterrâneas para fins diversos está condicionada a qualidade, desta forma esse trabalho tem como objetivo avaliar a situação qualitativa da água subterrânea da cidade de Fortaleza, através de 291 (250 poços) amostras coletadas para análise físico-químicas, em dois períodos distintos: o período chuvoso (57 amostras) e o mês de estiagem (234 amostras). As águas são caracterizadas por águas Cloretadas Sódicas, independente do período de amostragem, resultante da relação $rNa > rMg > rCa$ e $rCl > HCO_3 > rSO_4$. A concentração de sais nas águas pode ser produzida por diversos fatores, sendo os mais prováveis a dissolução e o processo de evaporação. As concentrações muito baixas dos constituintes em solução são resultantes do material geológico sedimentar, constituída de sedimentos clásticos de origem continental, de composição predominantemente quartzosa, através dos quais a água subterrânea circula, bem como a elevada pluviosidade, característica do clima da área. São águas predominantemente ácidas, provavelmente associadas ao meio geológico e a recarga pluviométrica. A concentração de nitrato cresce no sentido noroeste-norte da área, chegando a ultrapassar em até 47% (setor oeste) o limite máximo recomendado pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde. A contaminação das águas por nitrato na área está ligada principalmente pela dinâmica de uso e ocupação do solo, ausência de um sistema de esgotamento sanitário e a vulnerabilidade característica do aquífero Dunas/Barreiras presente na cidade de Fortaleza.

Palavras chave: Constituintes iônicos, qualidade, poço, zona litorânea, nordeste.

ABSTRACT

Groundwater resources represent an invaluable water reserves, especially in areas of shortage quantitative and/or qualitative of surface water resources. As the use of groundwater for various purposes is also subject to quality, this study aims to evaluate the qualitative status of groundwater Fortaleza through 291 (250 wells) samples for physicochemical analysis in two distinct periods: the period rainy (57 samples) and the month of dry season (234 samples). The waters are characterized by chlorinated sodic waters, regardless of the sampling period, resulting from the ratio $rNa > rMg > rCa$ e

$\text{rCl} > \text{HCO}_3 > \text{rSO}_4$. The concentration of salts in the water can be produced by several factors, the most likely being the dissolution and evaporation process. Very low concentrations of the constituents in solution are the result of the geological sedimentary material Consisting of clastic sediments continental origin, predominantly quartz composition, through Which the groundwater flows, as well as high rainfall, ambient temperature characteristic of the area. Are predominantly acidic waters, probably due to the geological environment and the rainfall recharge. Nitrate concentration grows in the northwest-north area, even surpassing by up to 47% (west sector) the limit recommended by the maximum Ordinance N°2914/2011 of the Ministry of Health. The water contamination by nitrate in the area is linked mainly by the dynamics of use and occupation of land, lack of a sewage system and the characteristic vulnerability of the aquifer Dunas/Barreiras present in the city of Fortaleza.

Keywords: ionic constituents, quality, well, coastal zone, northeast.

INTRODUÇÃO

A exploração racional e sustentável dos recursos hídricos se torna atualmente cada vez mais importante, tendo em vista o crescimento populacional. Tal fato assume grande importância no cenário atual, especialmente em regiões como o Nordeste Brasileiro que apresenta um desequilíbrio entre a oferta e a demanda de água devido a pluviosidade irregular associadas as altas taxas de evaporação.

O problema de abastecimento de água não resulta só da quantidade de água mas, principalmente, da má qualidade da água disponível (água não potável), sobretudo nas grandes cidades onde a poluição compromete os mananciais causando inúmeros problemas, como exemplo o município de Fortaleza situado na zona litorânea da porção nordeste do Estado do Ceará, que apresenta alta vulnerabilidade a problemas de abastecimento de água que tendem a se agravar, progressivamente, com o natural crescimento demográfico da cidade (Vasconcelos, 1999).

Esse trabalho objetiva mostrar a situação da qualidade da água subterrânea de Fortaleza, apresentando assim propostas que visam aprimorar a gestão da água subterrânea no município.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no município de Fortaleza, entre as coordenadas UTM 9570000 a 9592000 metros norte e 540000 a 567000 metros leste. A área de 314,8 km² está situada na zona litorânea da porção nordeste do Estado do Ceará, limitando-se ao norte pelo Oceano Atlântico e Caucaia; ao sul pelos municípios de Maracanaú, Pacatuba, Itaitinga e Eusébio; a leste por Eusébio, Aquiraz e Oceano Atlântico; a oeste por Caucaia e Maracanaú.

No município de Fortaleza são encontrados 2 (dois) domínios hidrogeológicos: o Sedimentar (Constituído por Dunas, Barreiras e aluviões) com 259,35 km² (82%) e o Cristalino, com uma área de 55,45 km² (18%) (Fig. 1).

O aquífero dunas ocorre bordejando a orla da área do município, compostas por areias extremamente homogêneas, finas, com diâmetro efetivo de 0,15 a 0,25 mm e espessura entre 15 a 25 m. Por vezes, ocorrem leitos siltico-argilosos a argilosos, oriundos da própria variação da energia de deposição dos grãos. Geralmente se encontram sobrejacentes a Formação Barreiras e o nível estático regional é, em média, de 6 m e a vazão média

obtida a partir de poços tubulares rasos (profundidade inferior a 20m) é de 6 m³/h. O aquífero Barreiras possui grande variação de fácies, espessura de sedimentos entre 20 a 60 m e apresenta intercalações diferenciadas de leitos siltico-argilo-arenosos, que condicionam esta formação a ter diferentes parâmetros hidrodinâmicos, tanto vertical quanto horizontalmente, com os níveis arenosos representando os principais em termos de vocação aquífera. O aquífero aluvionar trata-se de aquíferos livres que ocorrem ao longo das margens dos principais rios

de Fortaleza (Cocó, Ceará e Maranguapinho). Os sedimentos aluvionares são geralmente porosos, permeáveis, de pequenas e médias espessuras, com nível estático em torno de 2 m e profundidade moderada, onde a máxima é de até 15 m (Cavalcante,1998).

Segundo Cavalcante (1998), no aquífero cristalino, os poços têm uma profundidade predominantemente de 50 a 60 m, podendo atingir até 80 m; o nível estático localiza-se entre 1 a 15 m e o rebaixamento entre 5 e 35 m e as vazões são em torno de 2 m³/h.

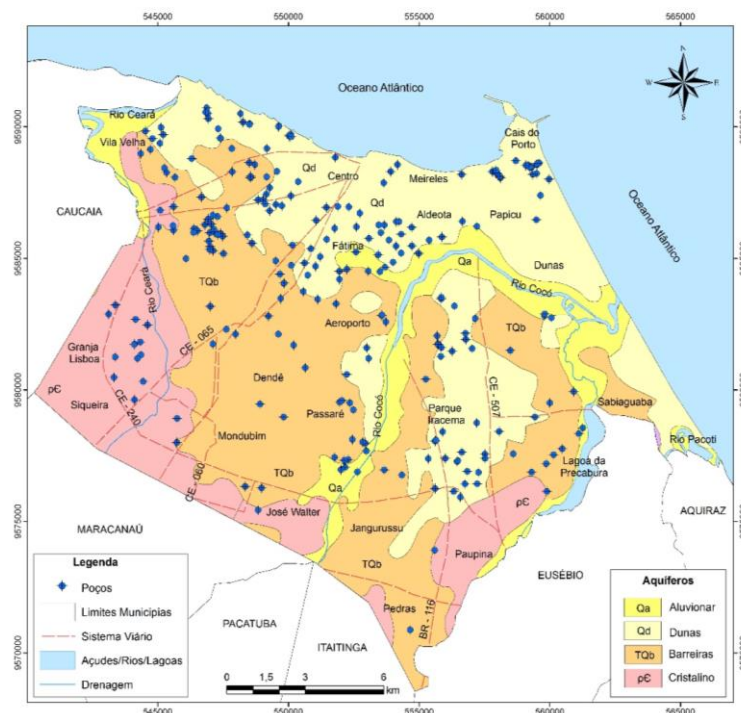


Figura 1 – Tipos de aquíferos em Fortaleza, Ceará (Fonte: Gomes 2013)

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se o banco de dados hidroquímicos do Laboratório de Hidrogeologia da Universidade Federal do Ceará (LABHID/UFC), com informações de 250 poços (291 amostras) distribuídos no município de Fortaleza. Os dados hidroquímicos foram analisados durante o período de 2001 a 2011 e divididos em dois

períodos distintos: o período chuvoso (57 amostras) e o período de estiagem (234 amostras).

Nas amostras coletadas foram analisados os íons e parâmetros: pH, condutividade elétrica (CE), bicarbonato (HCO_3^-), cloretos (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), Ferro Total (Fe), Alumínio (Al), fluoretos (F^-), alcalinidade (CaCO_3), dureza (CaCO_3),

amônia (NH₃), nitrito (N-NO₂⁻), nitrato (N-NO₃⁻), turbidez, sólidos totais dissolvidos (STD), fosfato (P-PO₄³⁻) e carbonato (CO₃²⁻).

O balanço iônico das análises foi realizado mediante a utilização da equação 1, definida por Logan (1965), que define o coeficiente individual de erro das análises, admitindo-se um valor máximo de 10% para análises aproveitáveis. Este valor percentual está associado à concentração total dos

cátions e dos ânions. Em uma análise hidroquímica completa a concentração total dos cátions deve ser aproximadamente igual à concentração total dos ânions. O desvio percentual desta igualdade é determinado pelo coeficiente de erro da análise (E = %) (Logan 1965), obtido na equação 1. Onde: $\sum A$ = Somatório de ânions (meq/L); $\sum C$ = Somatório de cátions (meq/L); E = Erro das análises em eq/L = Mili-equivalente por litro.

$$E (\%) = \left| \frac{\sum A - \sum C}{\sum A + \sum C} \right| \times 100 \quad \text{equação 1}$$

Para a classificação iônica das águas subterrâneas utilizou-se o Diagrama de Piper, frequentemente usado para classificar o tipo químico da água de acordo com o conteúdo iônico dominante. O software utilizado foi o Qualigraf (Mobus, 2003) que tem uma interface extremamente simples e otimizada para a classificação das águas.

Para a identificação da adequação das águas para consumo humano, foram avaliadas as amostras conforme o padrão de potabilidade da Portaria N° 2914 do Ministério da Saúde de 12/12/2011 (Brasil, 2011).

As análises hidroquímicas foram organizadas em uma planilha Excel para ordenamento dos dados em função das coordenadas UTM de cada ponto analisado. O método de interpolação usado foi a Krigagem (Geostatistical Analyst) gerando, então, uma grade de pontos, que foi transformada em um arquivo Raster e trabalhada no ambiente SIG, gerando assim mapas de zoneamentos hidroquímicos.

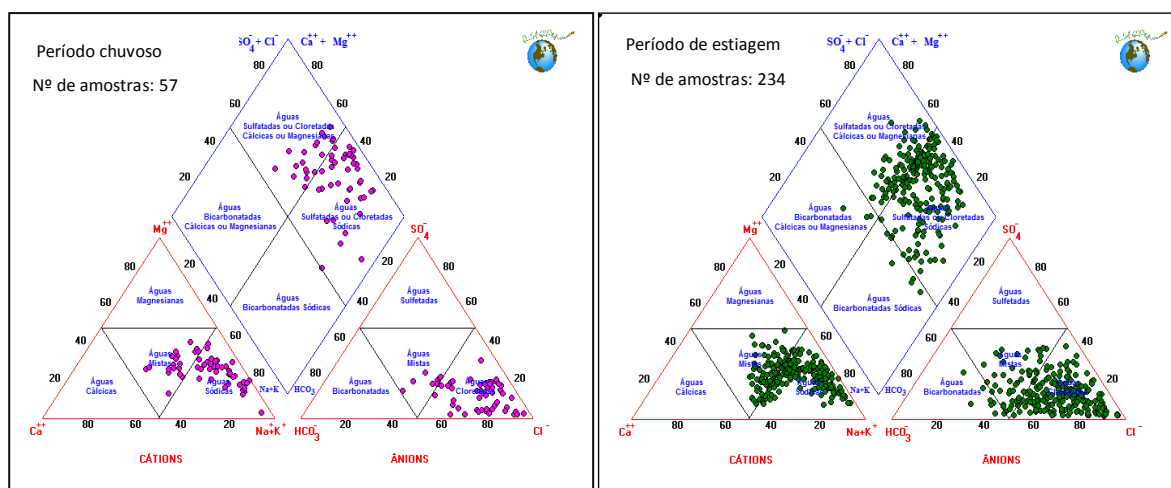
RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o cálculo do balanço iônico, verificou-se que as

análises apresentaram erros toleráveis, inferiores a 10% (Logan, 1965) para as 291 amostras, cujo mínimo foi de 0,28% e o máximo de 9,30% no período chuvoso e, 0,35 (mínimo) e 9,41% (máximo) para o período de estiagem.

As águas subterrâneas de Fortaleza são caracterizadas por águas Cloretadas Sódicas, nos dois períodos de amostragem (Figuras 2 e 3). Esta predominância (86% e 81%) está relacionada às águas marinhas e à evaporação, que aumentam a concentração do cloreto nas águas subterrâneas, favorecida pela proximidade da área de pesquisa ao Oceano Atlântico, inserida na faixa costeira. Segundo Gomes (2013), a concentração do cloreto se deve às suas propriedades químicas, como alta solubilidade, baixa precipitação e raio iônico. A predominância dos constituintes iônicos (Na e Cl) nas águas subterrâneas é independente do período de recarga do aquífero.

Ressalta-se que a classificação iônica foi realizada de amostras proveniente do domínio sedimentar (dunas e barreiras), mas não individualizadas devido à ausência de 96% dos perfis litológicos dos poços.



Figuras 2 e 3 - Classificação iônica das águas subterrâneas, Fortaleza – Ceará

Os valores de pH mostram a predominância de águas ácidas nas duas etapas de amostragem, e de acordo com a Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde, a faixa de valores para o consumo humano é de 6,0 a 9,5. Em 105 amostras o pH é inferior a 6,0 (36%). A principal razão dos valores de pH da água serem inferiores a 6 é a quantidade significativa de minerais de argila; que dissolve e libera sílica e alumínio anormalmente alta para a água (Hounslow, 1995). Valores mais elevados de pH geralmente se encontram em águas com predominância dos íons Na^+ e Ca^{++} ou em águas ricas em bicarbonatos; as águas poluídas geralmente são mais ácidas. O pH ácido das águas podem causar doenças como gastrite, câncer gástrico e restrições nos usos gerais de indústrias. De acordo com a figura 4 (A e B), observa-se espacialmente a predominância de águas (56 e 62%) com pH inferior a 6,5 nos dois períodos de amostragem (chuvoso e estiagem). Os menores valores de pH foram encontrados em poços com profundidade de 1,2 a 50m, captando água exclusivamente do aquífero sedimentar.

O cloreto na área aparece em oito (8) amostras acima do Valor Máximo Permitido (250 mg/L) na Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde,

atingindo 515 mg/L na porção sul (Período chuvoso) e 456,5 mg/L no sudoeste da área (período de estiagem); estas concentrações são responsáveis pelo aumento gradativo de salinidade das águas e, conseqüentemente, pelo aumento dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD). Das 291 amostras analisadas de águas subterrâneas, 283 (97%) encontram-se dentro do padrão aceitável, podendo ser usadas para consumo humano. Segundo Cavalcante (1998) as origens desse elemento podem estar associadas à influência das águas marinhas sobre as continentais, já que a área encontra-se localizada na zona litorânea, ou à captação das águas subterrâneas no meio cristalino, tendo em vista que os cloretos são provenientes da lixiviação de minerais ricos em Fe e ferromagnesianos (magnetita, biotita, pirita, piroxênios e anfibólios) provenientes do cristalino ou, ainda, a uma fonte de poluição antrópica rica em cloretos e que possa estar cedendo-os para as águas subterrâneas.

De acordo com os valores de sulfato, das 291 amostras, 290 (99,9%) podem ser usadas para consumo humano e somente uma amostra, a sudoeste da área, com profundidade de 60m, teve sulfato fora do padrão de potabilidade (250mg/L) estabelecido pela Portaria N° 2914/2011 do

Ministério da Saúde. A concentração de sulfato na água varia de acordo com as condições ambientais. Santiago *et al.* (2007) afirma que as menores concentrações estão em águas de chuva e águas superficiais sujeitas à redução de sulfato. As maiores concentrações estão em salmouras de sulfato de magnésio. De acordo Custódio e Llamas (1983) as altas concentrações desse elemento podem provocar efeitos laxativos e na presença de íons de magnésio e sódio pode causar distúrbios gastrointestinais.

O sódio é o um dos principais responsáveis pelo aumento gradativo da salinidade das águas naturais do ponto de vista catiônico. Os teores de sódio mostram que 5 (2%) das amostras de água subterrânea analisadas estão fora do limite permitido (200 mg/L) pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, localizadas uma na porção sul, 2 à oeste e 2 à sudoeste; de todas elas, somente 1 amostra (209,5 mg/L), à sudoeste da área, foi coletada no período chuvoso. As maiores concentrações de sódio nas águas têm origem em altas concentrações de bicarbonato e com isso, a redução do cálcio e magnésio na solução do solo. A quantidade de sódio presente na água é um elemento limitante de seu uso na agricultura. Segundo Custódio (1965), há um enriquecimento gradativo deste elemento a partir das zonas de recarga.

Em relação aos íons potássio, cálcio e magnésio, a Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece um valor máximo permissível para suas concentrações. O potássio variou pontualmente de 0,75 (1 amostra no oeste e 2 no setor leste/sul) a 35,99 mg/L (1 amostra no setor oeste); o cálcio variou de 0,78 (2 amostras no setor oeste) a 94,25 mg/L (1 amostra na parte sul da área), e o magnésio de 4,7 a

75 mg/L, ambos na porção norte da área. O potássio tem a tendência de estar sempre presente nos sedimentos argilosos em proporções maiores do que nas rochas ígneas. O cálcio é abundante na maioria das águas e rochas, enquanto o magnésio é muito raro nas águas subterrâneas devido a sua escassez geoquímica. Segundo Pearson *et al.* (1962) e Gonzalez-Erico *et al.* (1979), na zona vadosa a mobilidade do magnésio lixiviado no perfil depende da existência de outros ânions na solução do solo, particularmente do NO_3^- e do Cl^- , oriundos da mineralização da matéria orgânica, tendo como fonte principal o lançamento de esgoto não tratado na área.

As concentrações de ferro em 47 amostras analisadas estão acima do permissível pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (0,3 mg/L). De acordo com Szikszay (1993), a presença ou ausência de ferro na água subterrânea depende dos seus estados de oxidação e de condições de pH. Durante a oxidação de sulfeto de ferro, através de formação de sulfato de ferro e ácido sulfúrico, as bactérias de oxidação de sulfetos (*Thiobacillusthiooxydans* e *Thiobacillusferrooxydans*) contribuem para a solubilização do ferro. Na área é comum a ocorrência da “capa rosa” nas águas subterrâneas; a origem é a concentração de ferro na área que está correlacionada ao Sistema Aquífero Barreiras, que normalmente apresenta camadas lateríticas com elevadas concentrações de ferro. No organismo humano, o ferro atua na formação da hemoglobina, a sua carência pode causar anemia e seu excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos e diabéticos. As maiores concentrações de ferro nas águas foram encontradas em poços de 30 a 50m de profundidade.

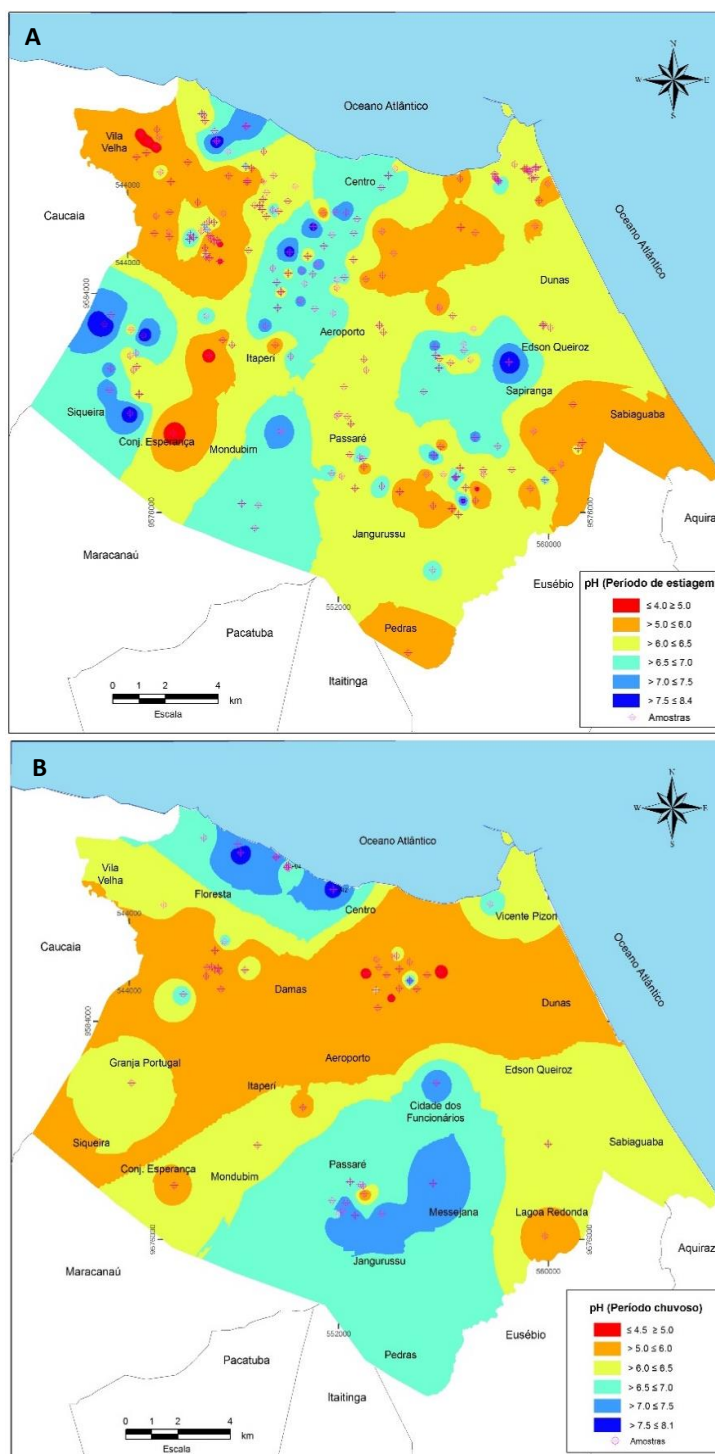


Figura 4 (A e B) - Comportamento tendencial do pH nas águas subterrâneas, Fortaleza – Ceará

O alumínio está presente em 63 amostras, sendo 3 (porção oeste da área) estão fora do limite permitido (0,2 mg/L) pela Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde. O aumento da concentração de alumínio está associado

ao período de chuva e, portanto, com a alta turbidez da água. O nível de alumínio no consumo humano tem sido associado ao aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer.

Em todas as amostras analisadas o fluoreto ficou dentro do limite permitido (1,5mg/L) pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, variando de 0,3 a 1 mg/L. Os fluoretos são comumente encontrados em pequenas concentrações nas águas subterrâneas. Possui solubilidade limitada e pouco contribui para a alcalinidade da água, pois se hidroliza rapidamente. O flúor, em baixos teores, até 1,5 mg/L, é benéfico à saúde na prevenção de cáries dentárias de crianças em fase de crescimento. Acima deste teor já é prejudicial, causando manchas nos dentes e deformação dos ossos. Doses excessivas causam a morte. É muito tóxico para os vegetais.

A dureza total nas amostras analisadas está dentro do limite permitido (500 mg/L) pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde. A dureza nas águas subterrâneas é uma propriedade que provoca incrustações nas tubulações, causando sérios problemas ao sistema de abastecimento, além de dificultar o cozimento dos alimentos. Em geral, os sais em contato com as águas, podendo ser um Carbonato de Cálcio (CaCO_3), Dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), MgCO_3 (Magnesita) e CaSO_4 (Sulfato de cálcio) definem a dureza da água.

Em relação ao nitrato, 50% das amostras (Figura 5 A e B) estão acima do limite permissível pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (10 mg/L N-Nitrato), atingindo em até 46% (setor sul) e 47% (setor oeste) acima deste limite máximo. Esse íon não é proveniente de processos geológicos, e sim de atividades antrópicas pois, segundo Santos (2008), geralmente os teores de nitrato nas águas subterrâneas naturais varia de 0,1 a 10mg/L. A alta concentração de nitrato na zona centro e norte do município reflete o efeito das ações antrópicas. Esta área apresenta as maiores densidades demográficas, variando de 14.877 e 13.534 hab/km²

(Figura 6), respectivamente, com cobertura de 43% de domicílios atendidos por rede de esgoto. A concentração de centros urbanos na maioria das vezes gera impactos nas águas subterrâneas, e em Fortaleza, isso não é diferente, onde as lagoas, açudes e drenagens estão seriamente comprometidos pelo uso e ocupação do solo. A maioria deles recebe esgoto urbano e, em suas margens, depósitos de lixo. Peixoto *et al.* (2011), ao comparar os dados de contaminação das lagoas de Messejana, Maraponga e Porangabussu, concluíram que a de Porangabussu, apesar de ter serviço de esgoto na área em que está inserida; diferente das outras lagoas analisadas, possui um grau muito maior de contaminação por coliformes fecais *termotolerantes* e *Escherichia coli*, resultante, principalmente do grande adensamento urbano da área e da quantidade de ligações de esgotos clandestinos que são ligados à lagoa. É gerado, portanto um aumento da contaminação das águas subterrâneas. A geologia da área é formada por sedimentos do Barreiras (níveis siltico-argilo-arenosos) e Dunas (areias quartzosas inconsolidadas de granulação fina a média). Os valores mais elevados de nitrato estão em poços rasos (1,2 a 20m) e mediantemente profundos (20-50m), captando, respectivamente, os aquíferos Dunas e Barreiras. Segundo Lemos e Medeiros (2006), o nitrato no sistema digestivo é transformado em nitrosaminas, que são substâncias carcinógenas. O excesso de íons nitrato na água e no alimento pode levar a um aumento na incidência de câncer de estômago. Crianças com menos de três (03) meses de idade tem bactérias em seu aparelho digestivo que reduzem o nitrato a nitrito que se liga muito fortemente às moléculas de hemoglobina, impedindo-as de transportar oxigênio para as células do organismo. A deficiência de oxigênio leva a danos neurológicos permanentes,

difficuldade de respiração e, em casos mais sérios, à morte por asfixia (metaglobenemia ou “síndrome do bebe azul”).

A turbidez variou de 0,4 a 472 UT, com 60 (28%) das amostras com valores de turbidez acima do padrão de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 2914/2011, que é o Valor Máximo Tolerável de 5,0 UT. A alta

concentração de turbidez na área se deve, provavelmente, ao baixo mecanismo de diluição nas amostras coletadas durante o período de estiagem, e/ou também à ausência de proteção sanitária dos poços, a má construção de poços, filtro e pré-filtro mal dimensionados ou mal posicionados, permitindo assim a entrada de impurezas.

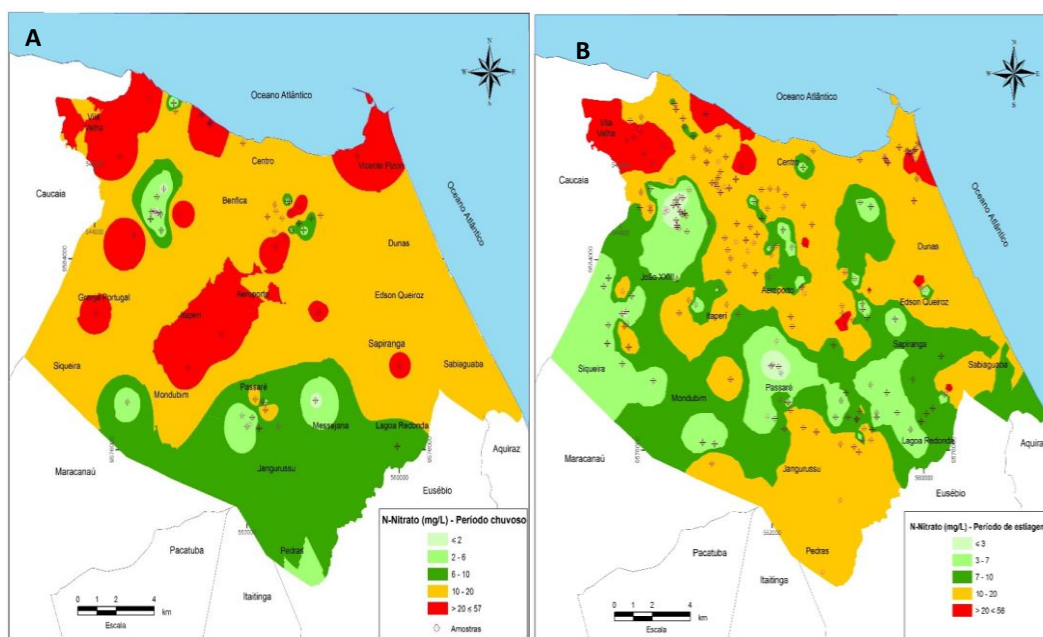


Figura 5 - Comportamento tendencial do N-Nitrato nas águas subterrâneas, Fortaleza – Ceará, no período chuvoso (A) e seco (B).

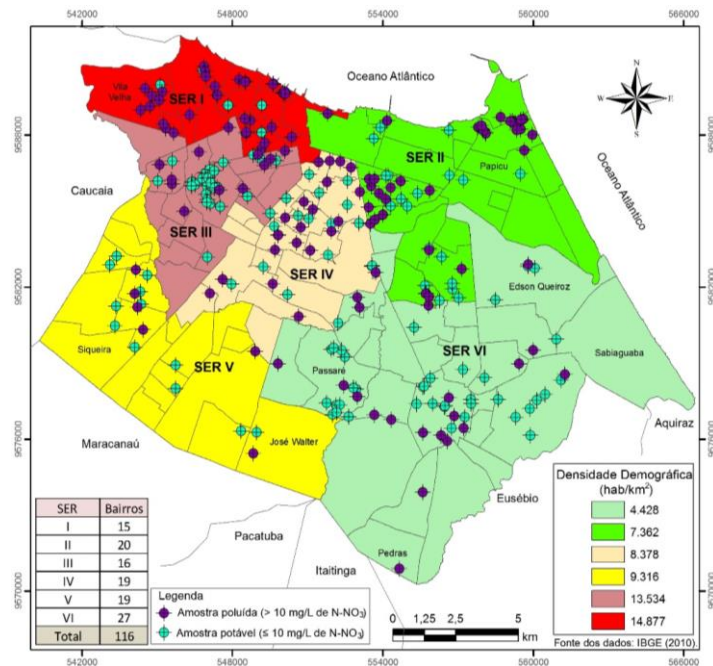


Figura 6 – Concentração de nitrato nas águas subterrâneas *versus* Densidade Populacional das Secretarias Executivas Regionais (SER) de Fortaleza, Ceará

Em relação ao fosfato a Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece um valor máximo permitido para sua concentração. Na área o fosfato apresentou o valor máximo de 1,42 mg/L em duas amostras no setor noroeste da área (período de estiagem). Segundo Mathess (1982), a concentração de fosfato deve ser baixa (< 0,5 mg/L) em águas naturais, devido a ação dos microrganismos. Valores acima de 1,0 mg/L geralmente são indicativos de águas poluídas. O fósforo, por via antropogênica, pode ser acrescido às águas subterrâneas por derivados de detergentes, efluentes domésticos, inseticidas e pesticidas.

Nas amostras analisadas, os STD estão em 98,6% delas dentro do limite permitido (1000 mg/L) pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde. No período chuvoso variou de 70 a 838 mg/L e no período de estiagem oscilou de 83 a 1508 mg/L. O STD aumenta pontualmente na parte noroeste e ao sul no período chuvoso, e a sudoeste e ao norte durante a estiagem (Figura 7 A e

B), este comportamento é semelhante àquele observado para os cloretos, refletindo um processo de incorporação de águas recentes (águas de chuva), fazendo com que ocorra a diluição das concentrações de íons dissolvidos na água. Este processo é imediato e ocorre apenas durante o período chuvoso, após o qual as concentrações tendem a se reequilibrar. A concentração de sais nas águas subterrâneas de Fortaleza pode ser produzida por diversos fatores, sendo os mais prováveis a dissolução e o processo de evaporação. Segundo Pohling *et al.* (1981), no primeiro caso, a concentração por dissolução nas águas subterrâneas tende a atingir um equilíbrio com as rochas que estão em contato e, quanto mais lenta a circulação maior é o tempo de contato, consequentemente, maior será o acréscimo na concentração total de sais na água do aquífero; o segundo processo é influenciado essencialmente pelas condições climáticas, podendo se verificar o aparecimento de maiores concentrações de sais nas regiões de climas quentes e secos.

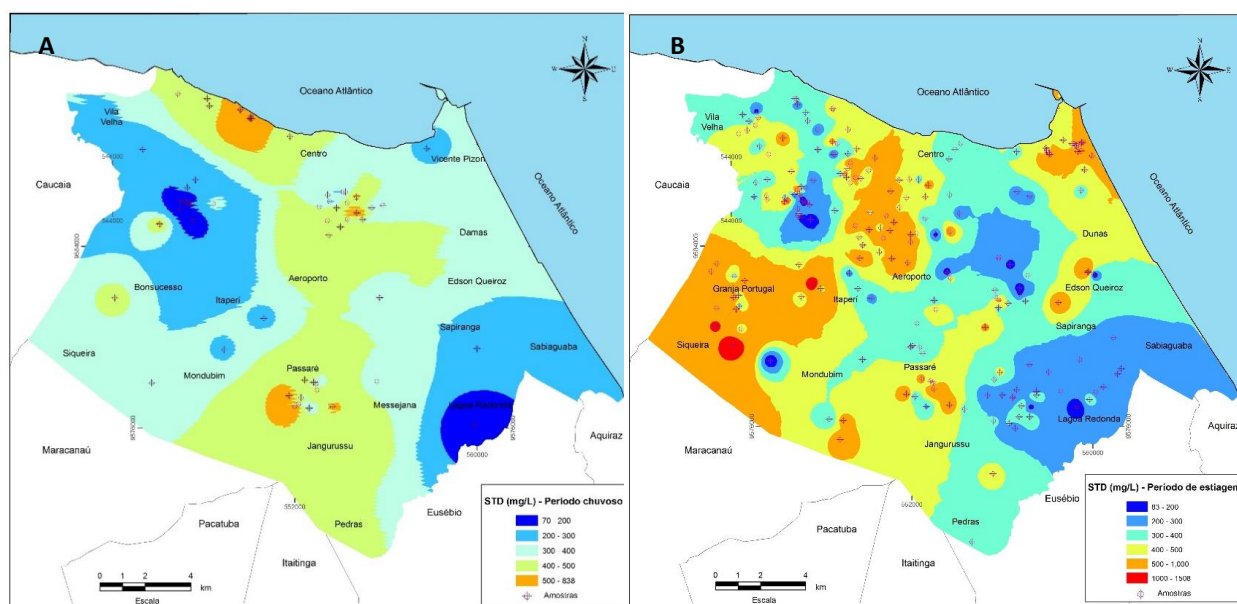


Figura 7(A e B) - Comportamento tendencial de Sólidos Totais Dissolvidos nas águas subterrâneas, Fortaleza – Ceará

A figura 8 mostra a distribuição espacial da água subterrânea em termos de potabilidade e as potenciais fontes de poluição (má construção de poços, cemitérios, aterros inativos, posto de combustíveis, infiltração de águas superficiais contaminadas e ausência de saneamento básico) que possam afetar a qualidade da água. As águas consideradas potáveis (49%) são aquelas que tiveram todos os parâmetros analisados dentro das normas da Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde. A ocorrência das águas potáveis e não potáveis são bem distribuídas, comprovando que essa contaminação é proveniente não somente do uso e ocupação do solo, como da má construção de poços. Como exemplo tem-se o poço (10 m de profundidade) localizado no bairro Edson Queiroz (sul da área) que está a uma distância de 1,5 m da fossa da residência, podendo ocasionar a proliferação de doenças de veiculação hídrica, particularmente quando se consome água sem um tratamento prévio. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabelece a

distância mínima de 30 m entre o poço e a fossa. Além disso a água desse poço apresentou alta concentração de turbidez (14 UT), acima do padrão de potabilidade estabelecidos pela Portaria N° 2914/2011 (VMP de 5,0 UT). A proteção sanitária não é prática comum na área, ocorrendo muito raramente; o “poço” passa a funcionar como condutor direto e eficiente das águas superficiais, potencialmente poluída para os níveis aquíferos mais profundos.

A situação qualitativa das águas de poços com profundidade inferior a 20m (poços rasos) está mais vulnerável devido a alterações antrópicas, principalmente em função da concentração de nitrato. O nitrato é considerado como o poluente mais frequente oriundo dos sistemas sépticos. Em Fortaleza, isto é confirmado à medida que as análises das águas subterrâneas mostram a existência constante deste elemento, em concentrações quase sempre acima de 5 mg/L, que segundo Santos (2008) pode servir como indicativo de contaminação da água subterrânea por atividade humana (fossas, esgotos, lixões, etc).

Enquanto que a qualidade das águas em função das variáveis iônicas tais como, cloreto, sulfato, sódio, potássio, cálcio, magnésio e ferro, depende basicamente de suas características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas naturais.

Existem sete cemitérios (Fig. 8), dois destes, localizam-se na orla costeira, sobre o Aquífero Dunas, cujo nível estático é sub-aflorante em níveis arenosos, com porosidade e condutividade hidráulica que facilitam a acumulação de água e a migração de elementos contaminantes; disposição de resíduos sólidos (lixões); postos de combustíveis predominando sobre os sedimentos das Dunas e Barreiras, que tem de média a alta vulnerabilidade natural, associado à um nível estático sub-aflorante e a localização geográfica da região propícia a reações de oxidação-redução, a condição de risco potencial de poluição pode, facilmente, tornar-se efetiva; Águas superficiais poluídas, como açudes e drenagens que estão seriamente comprometidos pelo uso e ocupação do solo, onde a maioria recebe esgoto urbano e, em suas margens, depósitos diretos de lixo e ausência/deficiência de saneamento básico, que segundo Cavalcante (1998) leva a população a utilizar fossas sépticas, que em função da oscilação sazonal do nível freático podem transformar-se em fossas negras, neste caso, a função depuradora do sistema aquífero passa a ser mínima, ou sequer existir. As águas subterrâneas podem sofrer os impactos desta carga poluente, principalmente no contexto das Dunas que apresentam uma alta vulnerabilidade, com um nível estático sub-aflorante.

A zona do solo, com sua intensa atividade biológica, tem grande capacidade para alterar as características físico-químicas da água quando a infiltração ocorre. Em seu percurso, iniciando a partir da precipitação pluviométrica, prosseguindo com a

infiltração e circulação, a água subterrânea interage principalmente com as rochas sedimentares, constituídas por sedimentos clásticos de origem continental. De acordo com Tancredi (1996), essa interação que se traduz por uma variedade de processos geoquímicos, como reações de óxido-redução, de trocas de base, de hidrólises e de dissoluções, se reflete nos constituintes dissolvidos e suas concentrações.

O uso e ocupação do solo influenciam decisivamente na composição das águas subterrâneas na área. Os problemas de inundações em Fortaleza resultam da alteração do uso do solo e ocupação dos ambientes fluviais e lacustres, que aliado às chuvas mais intensas e concentradas da quadra chuvosa, bem como ao não acompanhamento do crescimento populacional, com a implantação de infraestruturas e equipamentos de drenagem no mesmo ritmo do crescimento da cidade, gera problemas desta natureza. Em Fortaleza, as áreas mais densamente ocupadas são também as que possuem menor cobertura vegetal, o que torna esses espaços os de menor infiltração de água para o subsolo e, portanto, as áreas mais impermeáveis da cidade, como os bairros da Aldeota, Meireles, Centro e Mucuripe (Fig. 8). Este fato remete ao desrespeito à Lei de Uso e Ocupação do Solo (Lei nº 7.987/1996), tornando esses ambientes propícios a impactos ambientais.

Ressalta-se que existe uma quantidade significativa de poços (27% do total existente em Fortaleza) construídos nesses bairros (Aldeota, Meireles, Centro e Mucuripe); ainda mais, esta faixa representa a área aflorante das Dunas (Fig. 8) que pode ter a recarga das águas subterrâneas afetada pela impermeabilização do solo sofrendo, assim, significantes perdas referentes às reservas e, consequentemente, em relação à oferta hídrica subterrânea.

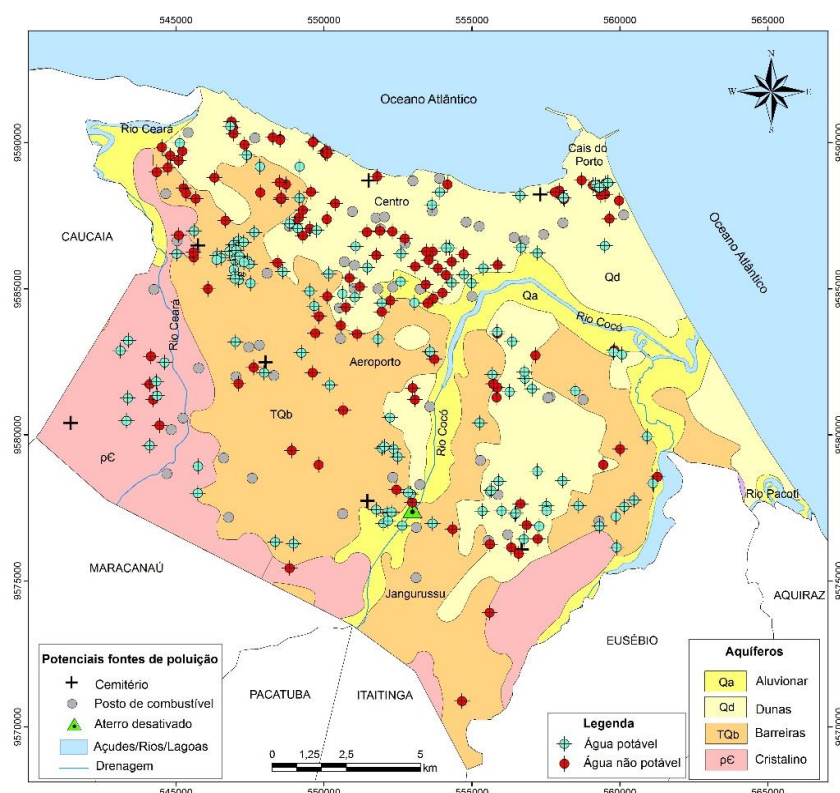


Figura 8 - Situação da qualidade das águas subterrâneas versus potenciais fontes de poluição, Fortaleza - Ceará

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas Subterrâneas de Fortaleza são caracterizadas por águas Cloretadas Sódicas, independente do período de amostragem, resultante da relação $rNa > rMg > rCa$ e $rCl > HCO_3 > rSO_4$.

A concentração de sais nas águas pode ser produzida por diversos fatores, sendo os mais prováveis a dissolução e o processo de evaporação. As concentrações muito baixas dos constituintes em solução são resultantes do material geológico sedimentar, constituída de sedimentos clásticos de origem continental, de composição predominantemente quartzosa, através dos quais a água subterrânea circula, bem como a elevada pluviosidade, característica do clima da área.

São águas predominantemente ácidas, provavelmente associadas ao meio geológico (Aquífero Barreiras) e a recarga pluviométrica.

A concentração de nitrato cresce no sentido noroeste-norte da área, chegando a ultrapassar em até 47% (setor oeste) o limite máximo recomendado pela Portaria N° 2914/2011 do Ministério da Saúde. A contaminação das águas por nitrato na área está ligada principalmente pela dinâmica de uso e ocupação do solo, ausência de um sistema de esgotamento sanitário e a vulnerabilidade característica do aquífero Dunas/Barreiras presente na cidade de Fortaleza.

Para o município de Fortaleza é necessária a criação e implantação de um processo de gestão que supere a negligência com o ambiente, uma maior fiscalização das construções (vias de

transporte, habitações etc), bem como uma educação ambiental efetiva, a fim de conscientizar as pessoas da importância da preservação das áreas verdes e recursos hídricos, a fim de se ter à captação e uso da água sob a óptica de desenvolvimento sustentável e qualidade de vida.

Agradecimentos

A CAPES/REUNI, pela bolsa de Doutorado concedida a primeira autora durante o período de 2009 a 2013 no curso de Pós-Graduação em Geologia/UFC. Ao Laboratório de Hidrogeologia/UFC, sob a coordenação do Prof. Dr. Itabaraci N. Cavalcante pelo apoio a pesquisa e Arquivo de Dados de Poços e Análises de Água.

REFERÊNCIAS

- Brasil. 2011. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF. 34p.
- Cavalcante, I.N. 1998. *Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará*. Tese de doutorado, Pós-graduação em Geociências - USP. 153p.
- Custódio, E. 1965. Notas sobre hidroquímica. Comisaría de aguas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas. Barcelona. 103p.
- Custódio, E., Llamas, M. R. 1983. *Hidrologia Subterránea*. Barcelona: Omega. vol. 2. 2. ed.
- Gomes, M.C.R. 2013. *Análise Situacional Qualitativa Sobre as Águas Subterrâneas de Fortaleza, Ceará/Brasil como Subsídio à Gestão dos Recursos Hídricos*. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Geologia – UFC. 213p.
- Gonzalez-Erico E., Kamprath, E. J., Naderman, G. C., Soares, W. V. 1979. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an oxisol of central Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, v.43, p.1155-1158.
- Hounslow, A. W. 1995. *Water quality data: analysis and interpretation*. Lewis Publishers New York. Boca Raton. 395p.
- Lemos, E. C. L.; Medeiros, F.W. 2006. *Águas subterrâneas e as doenças de veiculação hídrica. Área piloto: Bairros Bom Jardim e Granja Portugal. Município de Fortaleza - Ceará*. Monografia, Graduação em Geologia – UFC. 95p.
- Logan, J. 1965. *Interpretação de análises químicas de água*. Recife: U.S. Agency for International Development. 67 p.
- Mathess, G. 1982. *The Properties of Groundwater*. 1. ed. USA: John Wiley & Sons. 406p.
- Mobus, G. 2003. Qualigraf: software para interpretação de análises físico-químicas, versão Beta. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Fortaleza. Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acessado em: 10ago/2013.
- Pearson, R. W., Abruna, F., Vicent-Chandler, J. E. 1962. Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two humid tropical soil of Puerto Rico. *Soil Science*, Baltimore, v. 93, p. 77–82.
- Peixoto, F. S.; Cavalcante, I. N.; Lemos, E. C. L.; Pedrosa, A.; Gomes M.

- da C. R. 2011. Uso e Ocupação do Meio Físico Urbano e o Impacto Sobre a Qualidade das Águas das Lagoas Costeiras na Cidade de Fortaleza - Ceará. In: Encontro Intercontinental sobre a Natureza. Fortaleza. Anais do Encontro Intercontinental sobre a Natureza. p. 1 -11.
- Pohling, R.; Santiago, M. F.; Torquato, J. R.; Garrett, L. 1981. Estudo da qualidade da água de Fortaleza. In: Pohling, R. (Org.). Estudos Hidrológicos do Nordeste. Serie: monografias. Fortaleza: BNB, vol. 3. p. 7-72.
- Santiago, M. M. F.; Silva, C. M. S. V. 2007. Manual de análise hidroquímica e bacteriológica do Departamento de Física da UFC. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 27 p.
- Santos, A. C. 2008. Noções de Hidroquímica. In: Feitosa, F. A. C.; Manoel Filho, J.; Feitosa, E. C.; Demetrio, J. G. A. (Org.). Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. 3.ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM e LABHID, cap. 05. p. 325-357.
- Szikszay, M. 1993. Geoquímica das Águas. Boletim do Instituto de Geociências, São Paulo, n.5, p. 1-166.
- Tancredi, A.C.F.N.S. 1996. *Recursos hídricos subterrâneos de Santarém: fundamentos para uso e proteção*. Tese de doutorado, Pós-graduação em Geoquímica - UFPA. 141p.
- Vasconcelos, S. M. S. 1999. *Recarga do Aquífero Dunas/Paleodunas, Fortaleza - CE*. Tese de doutorado, Pós-graduação em Geociências – USP. 100p.