



XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO AQUIFERO LIVRE DA ZONA NORTE DO MUNICÍPIO DE ARACAJU-SERGIPE ATRAVÉS DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS, ÍONS E BTEX

Nathália Krissi Novaes Oliveira¹; Carlos Alexandre Borges Garcia².

RESUMO: Águas subterrâneas representam água doce de fácil acesso, e muitas vezes, as únicas opções para abastecimento de água potável. Em geral, possuem melhor qualidade devido às interações com o solo durante a percolação. Porém, em áreas urbanas, diversas atividades comprometem sua qualidade e demanda, como instalação de fossas negras, esgotos domésticos sem tratamento ou com tratamento inadequado, disposição inadequada de resíduos sólidos, impermeabilização de zonas de recarga, armazenamento de produtos perigosos em tanques subterrâneos ou aéreos sem bacia de contenção, dentre outros. O objetivo desse trabalho foi avaliar a contaminação do aquífero livre da zona norte de Aracaju/SE, através da análise de metais, íons e compostos BTEX em amostras de água coletadas em poços rasos, relacionando com fontes potenciais de contaminação, avaliando os efeitos da sazonalidade e comparando com os limites de potabilidade da Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Os resultados mostraram que 9 dos 10 pontos analisados estavam impróprios para consumo humano em pelo menos uma das campanhas, com alteração mais significativa no período seco.

ABSTRACT: Groundwater is fresh water easy, and often the only options for drinking water supply. In general, it has better quality due to interactions with the ground during percolation. However, in urban areas, various activities compromise their quality and demand, such as installation of black tanks, wastewater without treatment or with inadequate treatment, improper disposal of solid waste, waterproofing recharge areas, storage of dangerous products in underground or air tanks without basin containment, among others. The objective of this study was to evaluate the contamination of the free aquifer in the northern area of Aracaju / SE, through the analysis of metal ions and BTEX compounds in water samples from shallow wells, relating to potential sources of contamination, evaluating the effects of seasonality and compared with the limits of potability of Decree No. 2,914 / 2011 of the Ministry of Health. The results showed that 9 of 10 points analyzed were unfit for human consumption by at least one of the campaigns, with most significant change in the dry season.

Palavras-chave: Água Subterrânea, Qualidade de Água, Critérios de Potabilidade.

¹ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos/UFS, São Cristóvão-SE, nathaliakrissi@yahoo.com.br

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos/UFS, São Cristóvão-SE, cgarcia@ufs.br

1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas, em geral, possuem boa qualidade para consumo humano, exigindo menos custos com tratamento do que águas superficiais, o que a torna mais acessível à população (LAVOIE et al, 2015). Regiões com solos arenosos e rochas sedimentares, como Aracaju, são potenciais fornecedoras de água subterrânea pela porosidade e alta permeabilidade dessa formação (ARAÚJO, 2009). Por ser mais superficial, o aquífero livre é o mais explorado pela população, sendo bastante suscetível a contaminação (SILVA E ARAÚJO, 2003; LIBÂNIO, 2005; SILVA et al, 2014). A contaminação destes se reflete em um importante problema de saúde pública, visto que o consumo de água potável é um dos principais meios de prevenção de doenças (SILVA E ARAUJO, 2003).

De acordo com dados publicados pelo IBGE (2010), somente 26 dos 75 municípios sergipanos possuem coleta de esgoto, e destes somente 07 realizam algum tipo de tratamento. A CETESB em 2014 divulgou 5.148 áreas contaminadas, das quais 74,3% relacionadas a postos de combustíveis e 16,74% a indústrias (CETESB, 2014). Combustíveis possuem compostos como Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno, de elevada toxicidade e potencial carcinogênico. Uma vez no aquífero, exigem processos de descontaminação, em geral com custos elevados (CORSEUIL E ALVAREZ, 1996).

Os padrões de potabilidade da água para consumo humano são definidos pela Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Além desta, a Resolução CONAMA Nº. 396/08 apresenta parâmetros com Valores Máximos Permitidos (VMP) para os usos preponderantes (CONAMA, 2008), e a Resolução CONAMA nº 420/09 define valores orientadores para substâncias presentes no solo e na água subterrânea (CONAMA, 2009).

O objetivo desse trabalho foi avaliar a contaminação do aquífero livre da zona norte de Aracaju/SE, através da análise de metais, íons e compostos BTEX de amostras de água coletadas em poços rasos, relacionando com atividades antrópicas e fontes potenciais de contaminação, e comparando com os limites de potabilidade da Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a zona norte da cidade de Aracaju, no leste sergipano, inserida na bacia dos Rios Sergipe e Vaza Barris. Dados publicados pelo IBGE (2016), a população estimada de Aracaju em 2015 foi de 632.744 habitantes, sendo a cidade mais populosa do estado. O clima da região é o megatérmico sub-úmido, com temperatura média mensal variando entre 24,65°C e 27,32°C, período chuvoso entre abril e agosto, e período seco entre setembro e março. O aquífero predominante é o

aquífero granular, formado por rochas sedimentares das formações superficiais cenozoicas, com boa capacidade de fornecimento de água, devido a porosidade primária e alta permeabilidade dos terrenos arenosos (PINTO et al, 2000; ARAUJO, 2009; SERGIPE, 2012; INMET, 2016).

2.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foram selecionados 10 poços de monitoramento rasos (até 8 m) para coleta, todos já existentes, e localizados no aquífero livre da zona norte de Aracaju. O tamanho da amostra foi estabelecido em função do custo e dos poços disponíveis para coleta. As amostragens foram efetuadas em maio (período chuvoso) e em novembro e dezembro de 2015 (período seco), avaliando o efeito sazonal para as concentrações de metais (Al, As, Ba, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Sr, Zn), íons (cálcio, magnésio, potássio, sódio, sulfato, cloreto, fluoreto) e BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), e, quando foi o caso, comparados com os valores máximos permissíveis da Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde, e com a CONAMA nº 420/09.

As amostragens foram realizadas com amostrador manual bailer de válvula dupla, descartável, e transferidas imediatamente para os vasilhames apropriados a cada análise, identificados e preservados em gelo. A válvula existente no bailer permite transferir a amostra com menor perda dos compostos voláteis (ASTM, 2010). A primeira amostra foi destinada à análise de BTEX, visando preservar a concentração desses voláteis (EPA, 1986). A preservação das amostras e análise seguiram a metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). As análises foram realizadas no Laboratório de Química Analítica Ambiental – LQA da Universidade Federal de Sergipe, com exceção dos parâmetros BTEX, que foram analisados no Instituto de Tecnologia e Pesquisa – ITP/SE.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença de altos teores de metais na água subterrânea pode estar relacionada a lançamentos de efluentes industriais ou lixiviação de resíduos industriais, em especial metais pesados como As, Cr, Cu, Pb, que além de tóxicos, possuem efeito acumulativo no organismo (FARIAS, 2006). Dos metais que possuem limites de potabilidade (Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn) somente As, Cd e Mn tiveram os limites extrapolados (Tabela 1 e 2). Co e Cr não foram detectados.

Tabela 1 - Concentração total de metais no período chuvoso na água subterrânea

| Site | Al | As | B | Ba | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | Li | Mn | Ni | Sr | Zn |
|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | mg.L ⁻¹ |
| P01 | 0,0328 ±0,0032 | 0,0091 ±0,0032 | 0,0281 ±0,0003 | n.d. | 0,0041 ±0,0005 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0005 ±0,0003 | 0,0163 ±0,0011 | 0,3824 ±0,0057 | n.d. | 0,5356 ±0,0040 | 0,0367 ±0,0056 |
| P02 | 0,0041 ±0,0010 | 0,0104 ±0,0039 | n.d. | n.d. | 0,0040 ±0,0004 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0025 ±0,0004 | 0,0227 ±0,0020 | 0,4069 ±0,0028 | n.d. | 0,1635 ±0,0023 | 0,0454 ±0,0020 |
| P03 | 0,0444 ±0,0092 | 0,0221 ±0,0019 | n.d. | n.d. | 0,0034 ±0,0003 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0392 ±0,0039 | 0,0162 ±0,0018 | 0,0429 ±0,0024 | n.d. | 0,1196 ±0,0047 | 0,0457 ±0,0058 |
| P04 | 0,0206 ±0,0071 | n.d. | 0,0094 ±0,0056 | n.d. | 0,0049 ±0,0002 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0167 ±0,0017 | 0,0262 ±0,0038 | 0,0014 ±0,0002 | 0,2372 ±0,0039 | 0,0335 ±0,0022 |
| P05 | 0,0555 ±0,0037 | 0,0254 ±0,0038 | 0,0192 ±0,0037 | n.d. | 0,0033 ±0,0005 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0132 ±0,0012 | 0,0164 ±0,0020 | 0,0213 ±0,0025 | n.d. | 0,1040 ±0,0050 | 0,1706 ±0,0066 |
| P06 | 0,0262 ±0,0061 | 0,0078 ±0,0025 | 0,0280 ±0,0054 | n.d. | 0,0035 ±0,0006 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0132 ±0,0003 | 0,0164 ±0,0019 | 0,0167 ±0,0030 | 0,0011 ±0,0004 | 0,4619 ±0,0062 | 0,0331 ±0,0014 |
| P07 | n.d. | 0,0186 ±0,0047 | n.d. | n.d. | 0,0035 ±0,0004 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0167 ±0,0018 | n.d. | n.d. | 0,1403 ±0,0032 | n.d. |
| P08 | n.d. | 0,0279 ±0,0042 | 0,0015 ±0,0003 | n.d. | 0,0033 ±0,0002 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0086 ±0,0002 | 0,0167 ±0,0018 | 0,1447 ±0,0038 | n.d. | 0,1950 ±0,0028 | 0,0138 ±0,0053 |
| P09 | 0,0968 ±0,0083 | 0,0146 ±0,0019 | n.d. | n.d. | 0,0045 ±0,0005 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0512 ±0,0004 | 0,0169 ±0,0015 | n.d. | n.d. | 0,0493 ±0,0027 | n.d. |
| P10 | n.d. | 0,0071 ±0,0065 | 0,0090 ±0,0004 | n.d. | 0,0036 ±0,0003 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0430 ±0,0003 | 0,0163 ±0,0018 | 0,0042 ±0,0007 | n.d. | 0,3759 ±0,0019 | n.d. |

n.d. Não detectado

Tabela 2 - Concentração total de metais no período seco na água subterrânea

| Site | Al | As | B | Ba | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | Li | Mn | Ni | Sr | Zn |
|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | mg.L ⁻¹ |
| P01 | 0,0447 ±0,0033 | 0,0183 ±0,0049 | 0,0252 ±0,0045 | n.d. | 0,0020 ±0,0002 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0148 ±0,0036 | 0,0162 ±0,0016 | 0,1091 ±0,0022 | 0,0001 ±0,00001 | 0,3691 ±0,0041 | 0,0261 ±0,0014 |
| P02 | n.d. | 0,0057 ±0,0040 | 0,0153 ±0,0059 | n.d. | 0,0050 ±0,0003 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0983 ±0,0026 | 0,0201 ±0,0011 | 0,1074 ±0,0061 | 0,0021 ±0,0003 | 0,1141 ±0,0023 | 0,0355 ±0,0057 |
| P03 | 0,0092 ±0,0009 | 0,0052 ±0,0033 | n.d. | n.d. | 0,0044 ±0,0002 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0375 ±0,0061 | 0,0163 ±0,0013 | 0,0494 ±0,0045 | 0,0019 ±0,0007 | 0,0747 ±0,0044 | 0,0448 ±0,0032 |
| P04 | 0,0083 ±0,0008 | 0,0182 ±0,0016 | n.d. | n.d. | 0,0034 ±0,0001 | n.d. | n.d. | 0,0006 ±0,0001 | n.d. | 0,0180 ±0,0015 | 0,0209 ±0,0055 | n.d. | 0,3989 ±0,0031 | 0,0768 ±0,0037 |
| P05 | 0,0207 ±0,0083 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0040 ±0,0004 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0602 ±0,0026 | 0,0165 ±0,0020 | 0,0140 ±0,0065 | n.d. | 0,0366 ±0,0062 | 0,0746 ±0,0017 |
| P06 | 0,0205 ±0,0078 | n.d. | 0,0252 ±0,0011 | n.d. | 0,0036 ±0,0005 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0369 ±0,0050 | 0,0161 ±0,0019 | 0,0467 ±0,0030 | n.d. | 0,3622 ±0,0038 | 0,0175 ±0,0017 |
| P07 | n.d. | n.d. | 0,0066 ±0,0022 | n.d. | 0,0039 ±0,0004 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0175 ±0,0014 | 0,0089 ±0,0042 | n.d. | 0,2199 ±0,0021 | n.d. |
| P08 | n.d. | n.d. | 0,0026 ±0,0014 | n.d. | 0,0042 ±0,0006 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0343 ±0,0015 | 0,0168 ±0,0021 | 0,0068 ±0,0015 | n.d. | 0,1899 ±0,0050 | n.d. |
| P09 | 0,0121 ±0,0033 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0048 ±0,0001 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0276 ±0,0012 | 0,0161 ±0,0015 | 0,0027 ±0,0005 | n.d. | 0,1016 ±0,0054 | n.d. |
| P10 | 0,0162 ±0,0012 | 0,0436 ±0,0039 | 0,0825 ±0,0054 | 0,6202 ±0,0310 | 0,0077 ±0,0002 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,0128 ±0,0029 | 0,0251 ±0,0021 | 0,1633 ±0,0034 | 0,0286 ±0,0026 | 0,1724 ±0,0046 | 0,0482 ±0,0032 |

n.d. Não detectado

O Arsênio, relacionado a resíduos industriais, queima de carvão, atividades de fundição mineral e inseticidas (FILHO, 2000), foi encontrado em todos os pontos, superando em 9 a concentração limite de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ da Portaria nº 2.914/11, em pelo menos uma das campanhas, e valor mais alto no P10, período seco igual a $0,0436 \text{ mg.L}^{-1}$. O Cd é altamente tóxico à saúde humana, e o excesso pode causar anemia, hipertensão arterial e morte (SANTOS, 2000). As concentrações foram superiores no período seco, exceto P01 e P04, e 2 pontos foram mais críticos em relação ao limite de potabilidade ($0,005 \text{ mg.L}^{-1}$): P02 - $0,0050 \text{ mg.L}^{-1}$ e P10 - $0,0077 \text{ mg.L}^{-1}$, período seco. O Mn é muito utilizado na indústria, para fabricação de ligas metálicas, baterias, tintas, vernizes, fogos de artifício e fertilizantes (FARIAS, 2006). Considerando o limite para o consumo humano de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$, as concentrações foram elevadas em 4 dos 10 pontos analisados: P01, P02, P08 e P10.

Estudos realizados por Alves et al (2006) em amostras de solo superficial e água subterrânea de uma antiga área de lançamento de efluentes industriais em Aracaju/SE, identificou a presença de metais como Cu, Cd, Zn, Pb, Ni, Cr e Mn. Parte desses metais – como o Cu, Cd, Zn, Ni e Mn – também foi detectada no presente estudo, em pelo menos uma das amostras analisadas. Fernandes et al (2013) analisou diversos parâmetros em poços rasos no município de Quissamã/RJ, e detectou concentrações de Al, Fe, Mn e Ni acima dos limites máximos permitidos.

Íons como Ca e Mg são os principais representantes da dureza da água, que pode causar incrustações em tubulações, reduz a formação de espuma e dificulta o cozimento de alimentos (LIBÂNIO, 2005; SANTOS, 2000). Os teores de Ca variaram entre $14,06$ e $143,61 \text{ mg.L}^{-1}$ no período chuvoso e entre $8,73$ e $88,50 \text{ mg.L}^{-1}$ no período seco. As concentrações de Mg variaram entre $0,64$ e $7,96 \text{ mg.L}^{-1}$ no período chuvoso e entre $0,50$ e $9,29 \text{ mg.L}^{-1}$ no período seco. Ambos apresentaram concentrações mais elevadas no período chuvoso para a maioria dos pontos.

Todas as amostras apresentaram valores inferiores a 200 mg.L^{-1} de Na, valor máximo para consumo humano. As concentrações variaram entre $3,97$ e $45,59 \text{ mg.L}^{-1}$ no período chuvoso e $4,71$ e $55,85 \text{ mg.L}^{-1}$ no período seco, com maiores valores no P06. Potássio foi detectado em todas as amostras, com pouca alteração sazonal, variando entre $2,77$ e $16,88 \text{ mg.L}^{-1}$ no período chuvoso, e entre $2,08$ e $16,85 \text{ mg.L}^{-1}$ no período seco. A legislação não define valor máximo para concentrações de potássio, e sua toxicidade para seres humanos é pouco conhecida (WHO, 2011).

Com relação ao sulfato, pode estar relacionado a descarga de efluentes domésticos e industriais. Para consumo humano deve estar a uma concentração máxima de 250 mg.L^{-1} ; acima desse valor, possui efeitos laxativos (PIVELI E KATO, 2005). Todas as amostras estavam abaixo desse valor, e maiores concentrações foram encontradas no período seco, com valor máximo no P06, igual a $40,18$ e $41,84 \text{ mg.L}^{-1}$ nos períodos chuvoso e seco respectivamente.

A presença de cloretos nas águas subterrâneas é muito comum, e pode ser fruto da dissolução de sais, da intrusão salina e ainda, do lançamento de efluentes (LIBÂNIO, 2005). Foram detectadas concentrações em todas as amostras analisadas, e nenhuma ultrapassou o limite de 250 mg.L⁻¹ da Portaria n° 2.914/11. As amostras coletadas no período seco apresentaram concentrações superiores, como fruto da menor demanda hídrica do período, e, conseqüentemente, menor diluição.

O fluoreto é mais encontrado no ambiente pela aplicação de flúor nas estações de tratamento como preventivo a cárie dentária (BRASIL, 2013). Em águas subterrâneas, também pode estar presente pela decomposição de solos e rochas, e em concentrações mais elevadas, podem ser prejudiciais, causando a deterioração dos dentes (LIBÂNIO, 2005). Foi detectado em todas as amostras, abaixo do limite de 1,5 mg.L⁻¹.

Tabela 3 - Concentração total de íons nas amostras analisadas no período chuvoso

| Site | Ca mg.L ⁻¹ | Mg mg.L ⁻¹ | Na mg.L ⁻¹ | K mg.L ⁻¹ | SO ₄ mg.L ⁻¹ | Cl mg.L ⁻¹ | F mg.L ⁻¹ |
|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| P01 | 143,61 ±0,17 | 7,816 ±0,011 | 24,847 ±0,190 | 11,821 ±0,012 | 32,888 ±0,204 | 54,61 ±0,14 | 0,280 ±0,025 |
| P02 | 60,20 ±0,10 | 2,544 ±0,011 | 26,881 ±0,143 | 8,564 ±0,012 | 1,793 ±0,111 | 58,90 ±0,08 | 0,462 ±0,035 |
| P03 | 37,81 ±0,06 | 2,985 ±0,006 | 8,602 ±0,187 | 3,323 ±0,019 | 12,431 ±0,121 | 14,33 ±0,07 | 0,047 ±0,003 |
| P04 | 57,52 ±0,15 | 2,429 ±0,019 | 19,145 ±0,179 | 5,938 ±0,006 | 25,311 ±0,163 | 26,95 ±0,15 | 0,237 ±0,035 |
| P05 | 33,85 ±0,13 | 1,234 ±0,013 | 9,918 ±0,173 | 2,770 ±0,019 | 7,071 ±0,135 | 15,65 ±0,10 | 0,042 ±0,003 |
| P06 | 111,81 ±0,16 | 7,963 ±0,012 | 45,588 ±0,197 | 16,885 ±0,009 | 40,179 ±0,154 | 72,77 ±0,09 | 0,156 ±0,028 |
| P07 | 25,85 ±0,11 | 0,674 ±0,020 | 3,970 ±0,060 | 3,374 ±0,006 | 5,356 ±0,200 | 5,30 ±0,06 | 0,076 ±0,009 |
| P08 | 54,84 ±0,15 | 3,726 ±0,009 | 27,364 ±0,182 | 10,448 ±0,017 | 33,584 ±0,156 | 47,18 ±0,19 | 0,250 ±0,039 |
| P09 | 14,06 ±0,08 | 0,758 ±0,014 | 5,170 ±0,088 | 4,589 ±0,006 | 5,253 ±0,204 | 8,27 ±0,05 | 0,023 ±0,005 |
| P10 | 92,30 ±0,19 | 5,843 ±0,006 | 35,292 ±0,095 | 15,233 ±0,007 | 12,608 ±0,182 | 55,05 ±0,10 | 0,146 ±0,036 |

Tabela 4 - Concentração total de íons nas amostras analisadas no período seco

| Site | Ca mg.L ⁻¹ | Mg mg.L ⁻¹ | Na mg.L ⁻¹ | K mg.L ⁻¹ | SO ₄ mg.L ⁻¹ | Cl mg.L ⁻¹ | F mg.L ⁻¹ |
|------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| P01 | 83,38 ±0,11 | 9,297 ±0,018 | 25,136 ±0,060 | 5,863 ±0,016 | 36,825 ±0,139 | 54,81 ±0,14 | 0,330 ±0,046 |
| P02 | 34,73 ±0,18 | 2,541 ±0,013 | 30,104 ±0,194 | 5,644 ±0,009 | 1,931 ±0,181 | 61,19 ±0,06 | 0,485 ±0,024 |
| P03 | 19,86 ±0,08 | 2,327 ±0,014 | 10,110 ±0,207 | 7,443 ±0,018 | 14,930 ±0,159 | 14,87 ±0,21 | 0,052 ±0,021 |
| P04 | 65,08 ±0,13 | 4,494 ±0,011 | 22,693 ±0,093 | 8,462 ±0,009 | 26,829 ±0,144 | 30,13 ±0,06 | 0,250 ±0,041 |
| P05 | 8,73 ±0,06 | 0,508 ±0,008 | 10,665 ±0,137 | 2,077 ±0,009 | 7,496 ±0,097 | 17,12 ±0,10 | 0,051 ±0,001 |
| P06 | 88,50 ±0,17 | 8,466 ±0,017 | 55,854 ±0,106 | 11,815 ±0,013 | 41,841 ±0,097 | 74,56 ±0,09 | 0,179 ±0,036 |
| P07 | 41,60 ±0,18 | 2,007 ±0,009 | 4,710 ±0,086 | 4,865 ±0,015 | 5,786 ±0,135 | 5,64 ±0,08 | 0,083 ±0,007 |
| P08 | 48,38 ±0,10 | 3,735 ±0,009 | 31,639 ±0,084 | 7,300 ±0,015 | 33,604 ±0,141 | 54,21 ±0,21 | 0,272 ±0,050 |
| P09 | 28,24 ±0,12 | 2,343 ±0,010 | 6,253 ±0,072 | 4,411 ±0,007 | 6,156 ±0,135 | 9,89 ±0,13 | 0,028 ±0,005 |
| P10 | 77,41 ±0,13 | 2,026 ±0,012 | 42,447 ±0,147 | 16,845 ±0,020 | 15,062 ±0,166 | 61,39 ±0,12 | 0,165 ±0,022 |

Os compostos BTEX são hidrocarbonetos monoaromáticos usados como indicadores de contaminação por combustível, mais precisamente a gasolina (BARROS e PORTO, 2009). Sete dos 10 pontos analisados apresentaram algum tipo de contaminação relacionada a combustíveis, resultado relacionado à existência de postos de combustíveis nas proximidades de todos os pontos.

No que se refere ao benzeno, P01, P02 e P10 apresentaram valores acima do permitido pela legislação ($0,005 \text{ mg.L}^{-1}$). A exposição em longo prazo ao benzeno pode causar efeitos crônicos como: alteração na medula óssea, sangue, cromossomos, sistema imunológico, diversos tipos de câncer, danos ao sistema nervoso central e irritação na pele e nas mucosas (ARCURI et al, 2012).

O tolueno tem limite igual a $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$, podendo ser encontrado além da gasolina, em produtos de uso doméstico como colas e produtos de limpeza (FORSTER et al, 1994). Foi encontrado em 6 pontos acima ao valor legal estabelecido. Somente a amostra P08, período chuvoso, apresentou valor inferior, igual a $0,016 \text{ mg.L}^{-1}$. A exposição ao tolueno afeta o fígado, rins e o sistema nervoso central, causando tremores, alucinações, convulsões e coma (PIVELI E KATO, 2005).

O etilbenzeno foi detectado em 5 pontos, acima do limite de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ da Portaria nº 2.914/11. Os valores no período chuvoso foram de $7,69$ e $5,17 \text{ mg.L}^{-1}$ para P01 e P02 respectivamente, e no período seco igual a $20,12 \text{ mg.L}^{-1}$ no P01 e $7,35 \text{ mg.L}^{-1}$ no P02. P09 apresentou valores abaixo do limite legal estabelecido. Finotti et al (2001) relata que esse composto é tóxico, porém não bioacumula e não é carcinogênico.

O xileno total representa a soma dos isômeros *orto*, *meta* e *para*-xileno, e estão presentes na gasolina e em solventes na fabricação de tintas. Degradam-se rapidamente na atmosfera pela foto-oxidação, e na água, o *m*-xileno e o *p*-xileno degradam-se mais facilmente enquanto o *o*-xileno é mais persistente (PIVELI E KATO, 2005). Na legislação, o limite máximo para consumo humano é apresentado como xileno total, igual a $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$. Cinco pontos apresentaram concentrações de xileno, todas acima de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$. Os valores variaram entre $1,33$ e $1,42 \text{ mg.L}^{-1}$ no período chuvoso e $0,34$ a $4,22 \text{ mg.L}^{-1}$ no período seco. O *o*-xileno não foi detectado em nenhuma das amostras, e a presença somente de *m*-xileno e *p*-xileno pode indicar uma contaminação mais recente.

Os valores mais altos no período seco podem representar uma nova contaminação entre os períodos, mas também podem ser consequência do menor volume de água no período seco, conforme observado no estudo realizado por Silva et al (2002). Para o ponto P01, a redução na concentração de benzeno e tolueno entre os períodos chuvoso e seco pode indicar a biodegradação desses compostos.

Tabela 5 - Concentração total de BTEX nas amostras analisadas

| Site | Chuvoso | | | | Seco | | | |
|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Benzeno | Tolueno | Etilbenzeno | Xileno Total | Benzeno | Tolueno | Etilbenzeno | Xileno Total |
| | mg.L ⁻¹ |
| P01 | 23,940 ± 1,077 | 0,460 ± 0,058 | 7,690 ± 0,988 | 1,330 ± 0,037 | 17,569 ± 0,957 | n.d. | 20,120 ± 1,089 | 3,238 ± 0,088 |
| P02 | 6,990 ± 0,997 | 0,260 ± 0,038 | 5,170 ± 0,769 | 1,420 ± 0,076 | 15,753 ± 0,927 | n.d. | 7,349 ± 0,781 | 4,219 ± 0,091 |
| P03 | n.d. |
| P04 | n.d. |
| P05 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,212 ± 0,038 | 1,246 ± 0,087 |
| P06 | n.d. |
| P07 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | 0,232 ± 0,072 | n.d. | 0,874 ± 0,024 |
| P08 | n.d. | 0,160 ± 0,034 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,350 ± 0,029 | n.d. | n.d. |
| P09 | n.d. | 0,200 ± 0,026 | n.d. | n.d. | n.d. | 0,548 ± 0,082 | 0,127 ± 0,035 | n.d. |
| P10 | n.d. | 0,280 ± 0,019 | 0,110 ± 0,076 | n.d. | 2,173 ± 0,027 | 0,658 ± 0,106 | 0,343 ± 0,035 | 0,342 ± 0,039 |

n.d. Não detectado

4. CONCLUSÃO

Aracaju apresenta vulnerabilidades que permitem inferir uma má qualidade do aquífero livre, pois além da existência dos diversos impactos inerentes às zonas urbanas, a predominância de solos arenosos cria uma condição propícia a contaminação. Os resultados diagnosticaram que a água encontra-se imprópria para consumo humano em 09 dos 10 pontos analisados, em pelo menos uma das campanhas de amostragem. Os limites dos parâmetros sódio, sulfato, fluoreto, cloretos, Al, Ba, Cu, Fe, Ni e Zn não foram excedidos em nenhuma das amostras realizadas. A detecção de compostos BTEX revelam uma preocupação maior pela toxicidade destes em concentrações elevadas mesmo sendo altamente voláteis, sugerindo maior atenção a esses parâmetros nas avaliações de potabilidade.

5. BIBLIOGRAFIA

ALVES, J. P. H.; GARCIA, C. A. B.; XAVIER, C. A. (2006). “*Metais traços no solo e água subterrânea da região do Distrito Industrial de Aracaju – Sergipe*” in: 29a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2006, Águas de Lindóia - SP. Livro de resumos da 29a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2006. v. Único. p. AB114-AB114.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater*. 20 ED. Washington, APHA.

ARAÚJO, H. M.; BEZERRA, G. S.; SOUZA, A. C. (2009). “*Hidrografia e hidrogeologia: qualidade e disponibilidade de água para abastecimento humano na bacia costeira do rio Sergipe*” in: Anais do Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Viçosa, UFV. Disponível em: <<https://ri.ufs.br/bitstream/123456789/526/1/Hidrografia%20e%20hidrogeologia.pdf>>. Acesso em 23 nov. 2014.

- ARCURI, A. S. A. *et al.* (2012). *Efeitos da exposição ao benzeno para a saúde*. São Paulo, Fundacentro.
- ASTM (2010). *METHOD D6699-01: Standard practice for sampling liquids using bailers*. ASTM International, Pennsylvania.
- BARROS, R. M.; PORTO, R. M. (2009). “*Risco de poluição das águas subterrâneas por vazamentos em postos de abastecimento de combustível, no município de Ribeirão Preto–SP*”. *Águas Subterrâneas*, v. 23, n. 1.
- BRASIL (2013). *Manual prático de análise de água*. Brasília, Fundação Nacional de Saúde, 4ª ed.
- _____ (2011). Ministério da Saúde. *Portaria 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 14 de dezembro de 2011, Seção V, p. 32.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB (2014). *Texto explicativo: relação de áreas contaminadas no estado de São Paulo*. Diretoria de Controle e Licenciamento Ambiental. CETESB, São Paulo. Disponível em: <<http://areascontaminadas.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2013/11/texto-explicativo1.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2016.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA (2008). *Resolução CONAMA N.º 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências*. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 7 abr. 2008, Seção 1, p. 64-68.
- _____ (2009). Resolução CONAMA N.º 420, de 28 de dezembro de 2009. *Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas*. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 30 dez. 2009, p. 81-84.
- CORSEUIL, H. X.; ALVAREZ, P. J.J. (1996). “*Natural bioremediation perspective for BTX-contaminated groundwater in Brazil: effect of etanol*”. *Water Science and Technology*, v. 34, n. 7, p. 311-318.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF UNITED STATES - EPA (1986). *RCRA Ground Water Technical Enforcement Guidance Document*. Office of Waste Program Enforcement, Office of Solid Waste and Emergency Response. Washington, D.C.
- FARIAS, M. S. S. (2006). *Monitoramento da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Cabelo*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – UFCG, Campina Grande.
- FERNANDES, P. A. M.; ALVES, M. G.; DIAS FILHO, J. L. E.; DA SILVA JÚNIOR, G. C. (2013). *Diagnóstico hidroquímico das águas subterrâneas de Quissamã-RJ*. Exatas & Engenharia, v. 3, n. 6.
- FILHO, J. M. (2000). “*Contaminação das águas subterrâneas*”, in *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. FEITOSA, F. A. C e FILHO, J. M (org.), 2.ed. Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID-UFPE.
- FINOTTI, A. R.; CAICEDO, N. O. L.; RODRIGUEZ, M. T. R. (2001). “*Contaminações subterrâneas com combustíveis derivados de petróleo: toxicidade e a legislação brasileira*”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n. 2, p. 29-46.

FORSTER, L. M. K.; TANNHAUSER, M.; TANNHAUSER, S. L. (1994). “*Toxicologia do tolueno: aspectos relacionados ao abuso*”. Revista de Saúde Pública, v. 28, n. 2, p. 167-172.

INMET (2016). *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso 30 jan. 2016

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2016). *Censo Demográfico 2010*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=280030>>. Acesso em: 24 jan. 2016.

_____. (2010). *Pesquisa nacional de saneamento básico - 2008*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2016.

LAVOIE, R.; JOERIN, F.; VANSNICK, J.C.; RODRIGUEZ, M. J. (2015) “*Integrating groundwater into land planning: A risk assessment methodology*”. Journal of Environmental Management, v. 154, p. 358-371.

LIBÂNIO, M. (2005). *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. Campinas, SP, Editora Átomo.

PINTO, J. E. S. S.; SANTOS, F. V. ; SOUSA, I. F. (2000). *Variação Rítmica dos elementos climáticos em Aracaju, SE*. Rio de Janeiro-RJ, Sociedade Brasileira de Meteorologia, p. 641-647. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-54b288633434b1633436a1881aa85582.pdf>>. Acesso em 20 mar. 2016.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. (2005). *Qualidade das águas e poluição: Aspectos físico-químicos*. ABES, São Paulo.

SANTOS, A.C. (2000). “*Noções de hidroquímica*” in *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. FEITOSA, F. A. C e FILHO, J. M (org.). 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE.

SERGIPE (2012). Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Recursos Hídricos. *Atlas digital sobre recursos hídricos*. Aracaju: SEPLANTEC/SRH. CD-ROM.

SILVA, D. D.; MIGLIORINI, R. B.; SILVA, E. C.; LIMA, Z. M.; MOURA, I; B. (2014). “*Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT)*”. Eng Sanit Ambient, v. 19, n. 1, p. 43-52.

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. (2003). “*Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA)*”. Ciênc. saúde coletiva, São Paulo, v. 8, n. 4.

SILVA, R. L. B., BARRA, C. M., MONTEIRO, T. C. N., BRILHANTE, O. M. (2002). “*Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis consequências para a saúde pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil*”. Cadernos de Saúde Pública, v.18(6), p.1599.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (2011). *Guidelines for drinking-water quality: recommendations*. 4ª ed, Geneva, WHO. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf>. Acesso em: 23 jan 2016.