

OCORRÊNCIA DE ARSÊNIO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NOS MUNICÍPIOS DE AQUIRAZ E PINDORETAMA NO ESTADO DO CEARÁ

Roberto Cruz Parente¹; Djalma Mourão Albano²; Benicia de Almeida Dias Honorio³

Resumo - As águas subterrâneas de quatro poços no município de Aquiraz e dois em Pindoretama, apresentaram níveis elevados de arsênio, acima de 0,01mg/L. Condutividade de 397 a 992 μ S/cm com maiores valores em PT-03 e PT-06 e pH alcalino, entre 7,17 a 8,42. Dureza total maior em PT-03 e PT-06 com 64mg/L e menor em PT-01 e PT-05. Os cátions (Na, Si, K, Mg e Ca) e ânions (HCO_3^- , SO_4^{2-} Cl) apresentam valores mais elevados em relação aos demais. A seqüência de cátions (Na>Si>K>Mg>Ca>B), permanece para todos os poços, exceto PT-03 com Mg>K. Os poços PT-02 e PT-04 seguiram a mesma seqüência de ânions, como também o PT-03 e PT-06. Os teores de Arsênio são elevados em todos os poços, exceto em PT-03 com 0,007mg/L. Devido o nível de toxicidade foram realizadas 24 análises, quatro para cada poço e determinados valores médios de 0,022; 0,019; 0,015; 0,019; 0,025 e 0,020mg/L, de PT-01 a PT-06, respectivamente. Possivelmente o Arsênio nas águas, relaciona-se a contaminações por fontes antrópicas, com dispersão realizada pelas águas que percolam sedimentos da Formação Barreira.

Abstract - Groundwater from four wells in the municipality of Aquiraz and two Pindoretama, showed elevated levels of arsenic above 0.01mg/L. Conductivity 397 to 992 μ S/cm with higher values in PT-03 and PT-06 and alkaline pH, between 7.17 to 8.42. Higher total hardness in PT-03 and PT-06 with 64mg/L and lower in PT-01 and PT-05. Cations (Na, Si, K, Ca and Mg) and anions (HCO_3^- , SO_4^{2-} and Cl) present higher values than the other. The sequence of cations (Na>Si>K>Mg>Ca>B) remains for all wells except PT-03 with Mg>K. The PT-02 and PT-04 wells followed the same sequence of anions, as well as the PT-03 and PT-06. The levels of arsenic are elevated in all wells, except PT-03 with 0.007mg/L. Because the level of toxicity were performed 24 analyzes, four for each well and determined average values of 0.022; 0.019; 0.015; 0.019; 0.025 and 0.020mg/L, from PT-01 to PT-06, respectively. Possibly Arsenic in water is related to contamination by anthropogenic sources, with dispersal carried out by percolating waters of the Barrier Formation sediments.

Palavras-Chave: Arsênio, Água subterrânea.

^{1,2,3}Departamento Nacional de Produção Mineral – Superintendência DNPM/CE
Rua Dr. José Lourenço, 905, Aldeota, Fortaleza/CE, CEP: 60.115-281
Fone: (85) 3388.1301 - Fax: (85) 3388.1332

¹roberto.parente@dnpm.gov.br

²djalma.albano@dnpm.gov.br

³benicia.honorio@dnpm.gov.br

1 – INTRODUÇÃO

A Resolução RCD n° 274 e 275, de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA regulamenta as características mínimas de qualidade química e microbiológica, que devem obedecer a água mineral natural, água natural e água adicionadas de sais, onde, a primeira determina o limite máximo permitido de substâncias químicas inorgânicas, orgânicas, cianotoxinas e desinfetantes que representam riscos a saúde e a segunda as características microbiológicas.

O arsênio, como fixa a RDC n° 274, tem como limite máximo permitido 0,01 mg/L, calculado como arsênio total. Valores superiores podem ser relacionados à dissolução dos minerais pela água, no contato solo/rocha com sua depuração por processos físico-químicos; a contaminação por mineralização de depósitos auríferos (Smedleey & Kinniburh 2002); ao subproduto do tratamento de minérios de cobre, chumbo, cobalto e ouro, aplicação de agrotóxicos, combustão de carvão e madeira, poeiras e vulcões e incineração de lixo (FIT - CETESB, 2012).

A contaminação mais comum por arsênio, é pelo consumo de água contaminada, porém a inalação de gases e ingestão de pó são importantes e podem causar sérios problemas metabólicos às pessoas, incluindo hiperqueratose, câncer de pele, câncer pulmonar, distúrbios do sistema nervoso, aumento da frequência de abortos espontâneos e outras doenças graves (Abernathy *et al.*, 1997). Os casos de intoxicação mais graves por arsênio ocorreram em Bengala Ocidental, Bangladesh e, na América Latina, no México, Chile e Argentina. Esses casos graves foram causados, em geral, por consumo de água subterrânea contaminada, extraída de aquíferos em formações geológicas arseníferas de grandes extensões (Smedley & Kinniburgh, 2002).

Do ponto de vista químico, o arsênio é um metalóide, um elemento com propriedades intermédias entre os metais e não-metais (Emsley, 1998; Csuros & Csuros, 2000). Os estados de oxidação mais importantes são As(III) e As(V), sendo o As(III) a forma comum presente em ambientes redutores com maior nível de toxicidade (Cotton *et al.*, 1999). Os minerais típicos do arsênio são a arsenopirita (FeSAs) e o realgar (AsS). A liberação do arsênio nas rochas mineralizadas ocorre pela oxidação da arsenopirita por O₂ ou Fe³⁺ (Plumlee 1999), por processos inorgânicos ou bióticos (Nordstron & Southam 1997).

Em condições e pH levemente ácido a alcalino, o íon arsenato solubilizado pode ser retido no solo, em rochas intemperizadas pela adsorção em óxido de ferro e argilo-minerais ou co-precipitação com óxido de ferro (Bowell 1994; Dzombak & Morel 1990; Manning & Goldberg

1996,1997). Em meio alcalino pode ocorrer a formação de arsenatos de Ca (Julliot *et al.*, 1999), de Mg (Voigt *et al.*, 1996) e provavelmente de Fe e Ca. Os prováveis minerais hospedeiros deste elemento são: os feldspatos, a magnetita, a ilmenita, a pirita, a galena, a blenda e a apatita (Reimann & Caritat, 1998).

No intuito de contribuir no estudo das águas subterrâneas nos municípios de Aquiraz e Pindoretama, o presente trabalho objetiva pela análise química das águas desses poços, determinar os principais íons presentes, as possíveis fontes de contaminação de arsênio nessas águas e as influências do ambiente solo/rocha.

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

As águas estudadas foram coletadas em seis poços, quatro (PT-01: S4°01'22,14"/W38°23'08,20"; PT-02: S4°01'23,21"/W38°23'03,73"; PT-03: S4°01'26,38"/W38°22'55,76" e PT-04: S4°01'32,35"/W38°22'52,24"), localizados no Sítio São José, localidade de Araticum, distrito de Caponga, sudeste do município de Aquiraz e dois (PT-05: S4°03'40,6"/W38°17'08,50" e PT-06: S4°03'43,40"/W38°17'11,60"), no Sítio Artina situado na porção sul, no município de Pindoretama, ambos na região metropolitana de Fortaleza, porção nordeste do estado do Ceará (Figura 1).

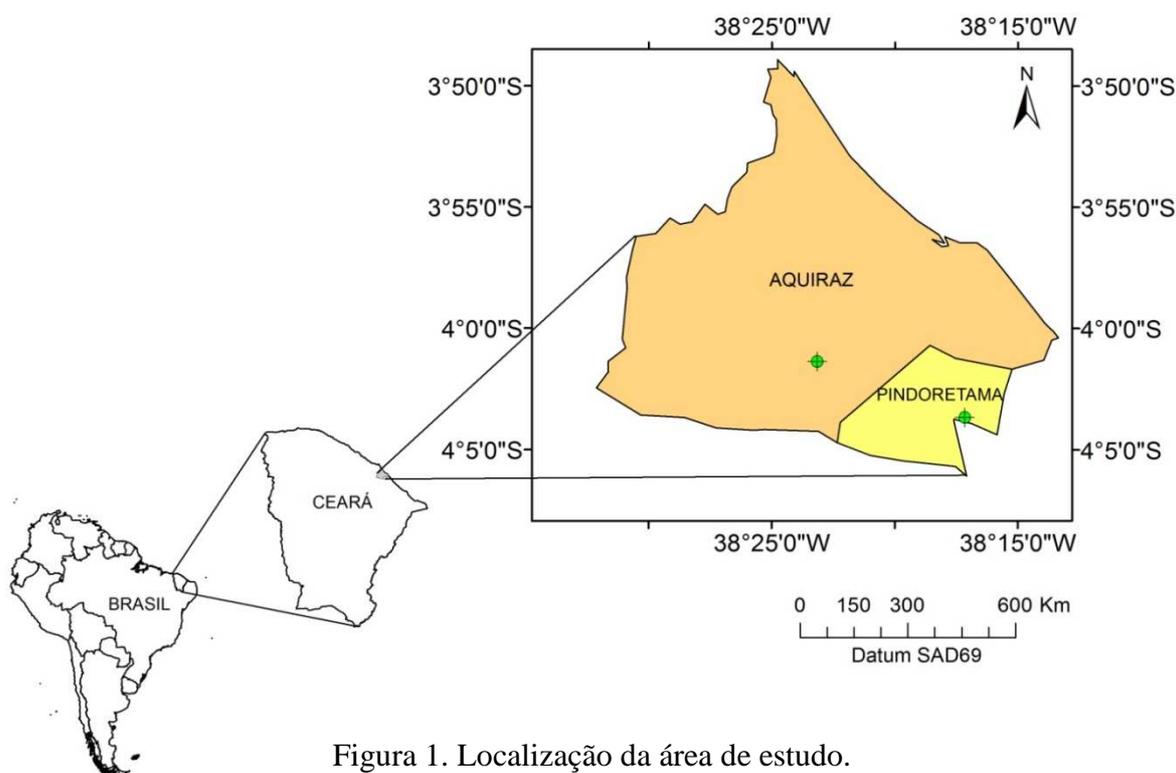


Figura 1. Localização da área de estudo.

O acesso a Aquiraz, saindo de Fortaleza é realizado pela rodovia estadual CE-040, até o Km-21, onde segue-se 7,9Km pela BR-116 em sentido sudoeste até Araticum e 1,6Km em sentido leste ao Sítio São José. O acesso a área em Pindoretama a partir de Fortaleza também é realizada pela CE-040, em uma distância de 35km, onde dobra-se a esquerda, e percorre 2Km em estrada municipal até o Sítio Artina.

3 - CARACTERIZAÇÕES DA ÁREA ESTUDADA

O município de Aquiraz compõe área territorial de 482,56 Km² e população de 72,628 habitantes (IBGE, 2010). Apresenta temperatura média em torno de 27°C, umidade relativa do ar de 78%, tempo de insolação 269,4 dias/ano, com velocidade média anual dos ventos de 3,6 km/h, sendo estes fracos no período das chuvas que ocorrem de dezembro a abril, e fortes no período de estiagem entre os meses de maio a novembro (IPECE, 2010). Pindoretama abrange área de 72,964Km² e população de 18,683 habitantes (IBGE, 2010). Apresenta temperatura anual em torno de 26,2°C e pluviosidade média anual em torno de 1275mm, com maiores valores registrados de janeiro a junho e períodos mais secos de julho a dezembro (IPECE, 2010).

Os recursos hídricos subterrâneos de Aquiraz definem cinco sistemas hidrogeológicos distintos conforme a geologia: sistema misto cristalino/barreira; misto barreira/dunas; barreiras; dunas/paleodunas e Aluvionar. Pindoretama constitui o sistema misto cristalino/barreira ou cristalino e barreira isoladamente.

O cristalino é representado por rochas ígneas e metamórficas orto e paraderivadas, com lentes de quartzito intercalado em biotita-gnaisses e anfibolito-gnaisses que se dispõem nas zonas de depressão sertaneja (Ribeiro, 2000), recobertos por sedimentos clásticos terciário da Formação Barreiras que se apresentam como Tabuleiros Pré-Litorâneos próximo ao litoral onde formam patamares escalonados recuados entre 50 a 200 metros da praia, no sentido NE-SW, acompanhando o sistema de falhas que corta o Estado do Ceará (Carvalho *et al.*, 1994), e depósitos quaternários formados pelas dunas e paleodunas, sedimentos fluvio-aluvionários e de mangues (Ribeiro, 2000).

A Formação Barreira (Figura 2) constitui arenitos finos a médios com intercalações de siltitos e argilas e níveis conglomerados com variação lateral de fácies, discreta estratificação cruzada entre os bancos deposicionais. Constitui matriz argilosa caulínica com cimentos ferruginosos, com níveis silicosos e laterizados. Possui caráter continental e forma amplas faixas de

leques aluviais coalescentes próximos aos depósitos eólicos recentes. As dunas e paleodunas constituem areias quartzosas alaranjadas e ou acinzentadas de granulação fina a média, distribuídas sob forma de cordões contínuos, paralelos a linha de costa. As paleodunas são compactas apresentam processos de edafização e revestimento vegetal.

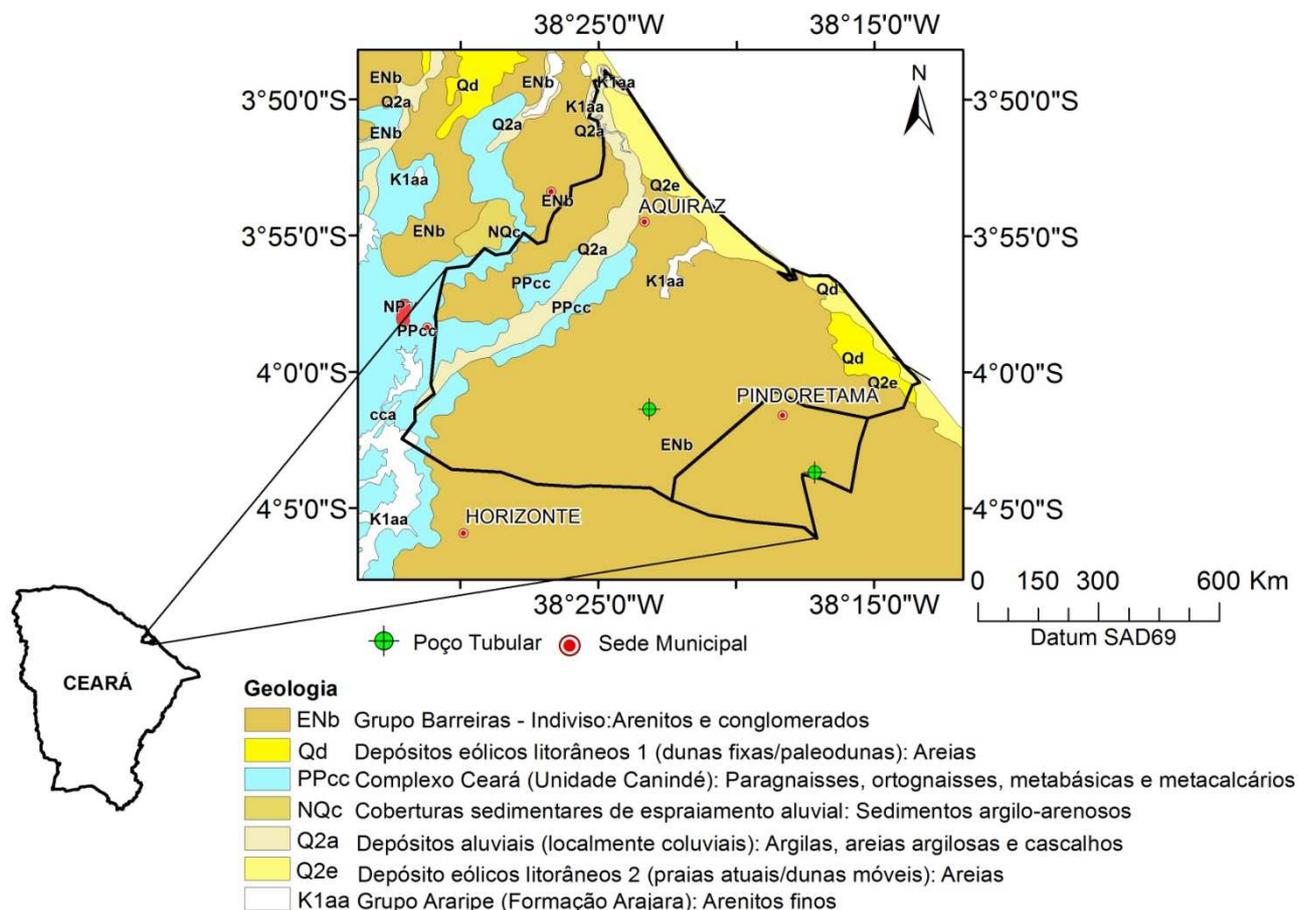


Figura 2. Mapa geológico da área de estudo.

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

Os poços estudados foram construídos conforme as recomendações às normas da ABNT, NBR-12.212 (Projeto de poço para captação de água subterrânea), e NBR-12.244 (Construção de poço para captação de água subterrânea). Foi utilizada uma perfuratriz roto-pneumática, onde o sistema rotativo foi utilizado nos sedimentos e o pneumático no cristalino. Foram revestidos com tubo somente a parte sedimentar e colocados filtros nessa área somente para os poços PT-05 e PT-06.

Para os poços PT-01, PT-02, PT-03 e PT-04, foram utilizados as seguintes especificações no sistema de revestimento (tubo): Diâmetro de Referência (Dref.= 6”), Diâmetro Nominal (DN=154), Diâmetro Externo Médio (dem=174mm), Espessura de Parede (e=7,5mm), Diâmetro Interno Mínimo dos Tubos (dim=153mm), Diâmetro Externo Máximo das Bolsas (W=abertura das ranhuras), Massa = 6,46Kg/m. O espaço anelar restante da parte revestida com tubo foi preenchido com pré-filtro, composto por cascalho peneirado com alta pureza em sílica e bom grau de esfericidade com granulometria entre 1,0 e 10,0mm, previamente desinfetado com solução de hipoclorito de sódio.

Visando o isolamento das águas superficiais, o espaço anelar dos poços (PT-01, PT-02, PT-03 e PT-04), foram selados com argamassa composta à base de cimento e areia, selo sanitário, sendo adicionado a composição da pasta aceleradora de pega sika tipo 1. Sobre a cimentação foi construída laje de concreto, laje de proteção, fundida no local, envolvendo o tubo de revestimento, com declive de 5% do centro para as bordas, com área de 10,89m² em torno do eixo do poço e espessura de 0,25m. A coluna de tubos de revestimento foi projetada em 0,50m acima da laje de proteção.

A amostragem das águas e a análise físico-química, dos poços PT-01, PT-02, PT-03, PT-04, PT-05 e PT-06, foram realizadas no período de 2009 a 2011 pelo Laboratório de Análises Minerais - LAMIN. Foi utilizada para cada poço uma análise onde foram determinados aspecto natural, odor a frio e a quente, aspecto após fervura, sólidos em suspensão, cor aparente e real (u Hazen), turbidez (u T), pH, condutividade a 25°C (µS/cm), dureza total, permanente e temporária em CaCO₃, bicarbonato estequiométrico e titulado, os cátions: alumínio, arsênio, bário, boro, cálcio, estrôncio, ferro total, lítio, magnésio, potássio, silício, sódio e os ânions: carbonato, nitrato, sulfato, fosfato, fluoreto, brometo, cloreto. O método EPA 300.1 IT-03-07-01 foi utilizado para quantificar os ânions; amônio e nitrito pelo (método calorímetro) AquaQuant Merk 1.4408.0001; e os cátions pelo SMEWW 3120 IT-03-06-01.

5 – RESULTADOS E DISCUSÕES

Os poços perfurados constituem duas unidades geológicas, a Formação Barreira e o embasamento cristalino, sendo utilizado o método de perfuração rotativa no primeiro, representado por sedimentos com diâmetro de perfuração de 12” em PT-05 e PT-06, e 10” para os restantes. Na segunda unidade foi utilizado o método pneumático, rocha compacta granito e diâmetro de

perfuração de 6". Apresentaram profundidade total de 93, 94, 96, 95, 80 e 78m de PT-01 a PT-06 respectivamente e profundidade das fraturas no cristalino de 45,5 a 46, 62,4 a 63 e 93m, para poço PT-01; 58,3 a 59, 65,4 a 66 e 72,3 a 73m para PT-02; 58,3 a 59, 65,4 a 66, 72,3 a 73m para PT-03; 46,3 a 47,2, 58,5 a 59 e 92,3 a 93m para PT-04; 34m para PT-05 e 39 e 47m para PT-06. Os poços PT-01, PT-02, PT-03 e PT-04, captaram água somente das fraturas do embasamento cristalino, enquanto o PT-05 e PT-06 são poços mistos por captarem águas dos dois aquíferos, como mostra colocação de filtros conforme dados construtivos da Tabela 1.

Tabela 1. Dados construtivos e características dos poços.

PARÂMETROS	PT-01	PT-02	PT-03	PT-04	PT-05	PT-06
PROFUNDIDADE TOTAL (m)	93	94	96	95	80	78
DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO	10" e 6"	10" e 6"	10" e 6"	10" e 6"	12" e 6"	12" e 6"
PERFURAÇÃO EM 10" e 12" (m)	0 a 44	0 a 54	0 a 20	0 a 30	0 a 33,4	0 a 33,4
PERFURAÇÃO EM 6" (m)	44 a 93	54 a 94	20 a 96	30 a 95	33,4 a 80	33,4 a 78
DIÂMETRO DE REVESTIMENTO	6"	6"	6"	6"	6"	6"
REVESTIMENTO TUBO CEGO 6" (m)	0 a 44	0 a 54	0 a 20	0 a 30	0 a 33,4	0 a 33,4
PROFUNDIDADE DAS FATURAS (m)	45,5 a 46; 62,4 a 63; 93.	58,3 a 59; 65,4 a 66; 72,3 a 73.	45,3 a 45,9; 67,5 a 68; 90,3 a 91.	46,3 a 47,2; 58,5 a 59; 92,3 a 93.	34	39 e 47
FILTRO (m)	-	-	-	-	21 a 33	22 a 26; 28 a 30; 32 a 34
VAZÃO (m³/h)	20	23	20	7	25,00	15,00
NÍVEL ESTÁTICO (m)	11,11	10,36	2,08	2,90	10,12	11,75
NÍVEL DINÂMICO (m)	26,36	22,68	21,08	27,38	38,20	39,17

Quanto as características físicas, as águas subterrâneas apresentam aspecto natural e de fervura límpido, odor a frio e a quente inodoro, exceto odor a quente para PT-06 que foi detectado, sólidos em suspensão menor que 5mg/L, cor real e aparente 0 u Hazen, exceto PT-06 com 2,5 u Hazen. Turbidez varia de 0,02 a 0,76u T, com maior valor no PT-06. O pH é alcalino com variações de 7,17 a 8,42 e a condutividade de 397 a 992µS/cm com maiores valores registrados nos poços PT-03 e PT-06 (Figura 3). A dureza total é mais elevada nos poços PT-03 e PT-06 com 64mg/L e

menores valores para PT-01 e PT-05 (Tabela 2). A dureza total é igual à soma da dureza temporária e permanente onde a primeira geralmente é causada pelo cálcio e magnésio que se combina com o bicarbonato e carbonato e que pode ser eliminado por ebulição, e a segunda é causada pelo cálcio e magnésio que se combina com íons de sulfato, cloreto, nitrato e outros e não podem ser eliminados por ebulição.

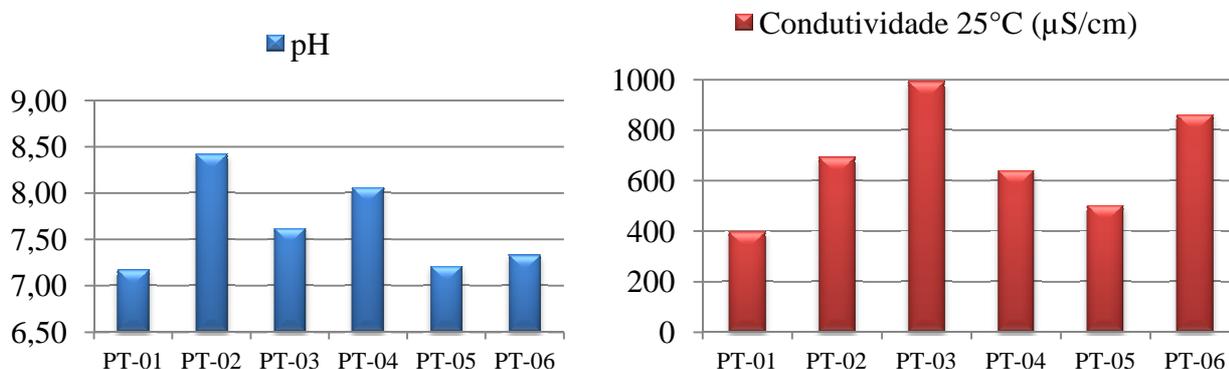


Figura 3. Valores de pH e condutividade das águas subterrâneas.

Tabela 2. Parâmetros físicos das águas subterrâneas.

PARÂMETROS FÍSICOS	PT-01	PT-02	PT-03	PT-04	PT-05	PT-06
Aspecto natural	límpido	límpido	límpido	límpido	límpido	límpido
Odor a frio	inodoro	inodoro	inodoro	inodoro	inodoro	inodoro
Sólidos em suspensão (mg/L)	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Aspecto após fervura	límpido	límpido	límpido	límpido	límpido	límpido
Odor a quente	inodoro	inodoro	inodoro	inodoro	inodoro	detectado
Cor aparente (u Hazen)	0	0	0	0	0	2,5
Cor real (u Hazen)	0	0	0	0	0	0
Turbidez (u T)	0,25	0,14	0,02	0,02	0,02	0,76
pH	7,17	8,42	7,62	8,06	7,21	7,33
Condutividade 25°C (µS/cm)	397	692	992	640	501	860
Dureza total em CaCO ₃ (mg/L)	17,50	34,00	64,00	28,50	19,00	64,00
Dureza permanente em CaCO ₃ (mg/L)	17,50	34,00	62,50	28,50	17,00	62,50
Dureza temporária em CaCO ₃ (mg/L)	0,00	0,00	1,50	0,00	2,00	1,50

Dos parâmetros químicos analisados, os cátions (Na, Si, K, Mg e Ca) e ânions (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- e CO_3^{2-} somente em PT-02 e PT-04) apresentam valores mais elevados em relação aos demais. (Tabela 3). A seqüência de cátions (Na>Si>K>Mg>Ca>B), permanece para todos os poços, exceto o PT-03 com o Mg>K. Os poços PT-02 e PT-04 seguiram a mesma seqüência de ânions, como também o PT-03 e PT-06 (Tabela 4).

Tabela 3. Parâmetros químicos das águas subterrâneas.

	PARÂMETROS (mg/L)	PT-01	PT-02	PT-03	PT-04	PT-05	PT-06
CÁTIONS	Alumínio	0,012	0,003	0,010	0,003	0,016	0,003
	Arsênio	0,011	0,015	0,007	0,011	0,036	0,025
	Bário	0,151	0,070	0,046	0,049	0,031	0,029
	Boro	0,248	0,418	0,408	0,400	0,577	0,630
	Cálcio	1,689	2,761	5,702	3,108	1,309	5,974
	Estrôncio	0,032	0,060	0,115	0,055	0,020	0,089
	Ferro total	0,082	0,003	0,002	0,002	0,021	0,010
	Lítio	0,014	0,028	0,022	0,017	0,020	0,032
	Magnésio	3,054	5,627	13,030	5,170	2,423	7,996
	Potássio	5,476	7,704	11,020	8,403	6,234	8,264
	Silício	28,190	28,15	36,620	32,030	37,350	33,21
	Sódio	75,000	130,90	194,30	134,90	97,180	147,7
	Vanádio	0,035	0,035	0,037	0,062	0,030	0,030
ÂNIONS	Bicarbonato estequiométrico	141,99	210,63	287,34	262,30	105,86	162,81
	Carbonato	0,00	14,63	0,00	15,53	0,00	0,00
	Nitrato	0,04	0,04	<0,01	0,005	0,01	<0,01
	Sulfato	38,52	55,41	50,26	58,39	71,75	95,46
	Fosfato	0,44	0,31	0,36	0,20	1,91	0,68
	Fluoreto	0,48	0,77	0,60	0,71	1,15	1,10
	Brometo	0,05	0,06	0,28	0,07	0,09	0,13
	Cloreto	19,65	46,12	150,70	17,53	44,65	99,18

Tabela 4. Seqüência para cátions e ânions das águas subterrâneas.

POÇOS	CÁTIONS	ÂNIONS
PT-01	Na>Si>K>Mg>Ca>B>Ba>Fe>V>Sr>Li>Al>As	HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > F^- > PO_4^{3-} > Br^- > NO_3^-
PT-02	Na>Si>K>Mg>Ca>B>Ba>Sr>V>Li>As>Fe=Al	HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > CO_3^{2-} > F^- > PO_4^{3-} > Br^- > NO_3^-
PT-03	Na>Si>Mg>K>Ca>B>Sr>Ba>V>Li>Al>As>Fe	HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-} > F^- > PO_4^{3-} > Br^- > NO_3^-
PT-04	Na>Si>K>Mg>Ca>B>V>Sr>Ba>Li>As>Al>Fe	HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > CO_3^{2-} > F^- > PO_4^{3-} > Br^- > NO_3^-
PT-05	Na>Si>K>Mg>Ca>B>As>V>Ba>Fe>Li=Sr>Al	HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^- > PO_4^{3-} > F^- > Br^- > NO_3^-
PT-06	Na>Si>K>Mg>Ca>B>Sr>Li>V>Ba>As>Fe>Al	HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-} > F^- > PO_4^{3-} > Br^- > NO_3^-

Com base nas análises químicas e no código de águas minerais, as águas dos poços PT-01, PT-02 e PT-04 foram classificadas como água mineral alcalino-bicarbonatada, fluoretada, vanádica,

litinada, arseniada, fracamente radioativa na fonte e hipotermal na fonte. PT-03 é classificada com todos os parâmetros anteriores exceto de fracamente radioativa para radioativa. PT-05 foi classificada como água mineral, fluoretada, litinada, arseniada, radioativa e hipotermal na fonte e PT-06 repete a classificação, contudo acrescenta alcalino-bicarbonatada.

Os valores de Arsênio, apresentam níveis elevados em relação aos valores máximos permitidos, pelas legislações aplicáveis (VMP=0,01mg/L), em todos os poços, exceto em PT-03 com 0,007mg/L. Devido o nível de toxicidade, foram realizadas vinte quatro análises somente para o arsênio, quatro para cada poço e determinados os valores médios para PT-01(0,022mg/L), PT-02(0,019mg/L), PT-03(0,015mg/L), PT-04(0,019mg/L), PT-05(0,025mg/L) e PT-06(0,020mg/L), o que confirma concentrações elevadas em todos os poços (Figura 4), os quais, determinam risco à saúde e inviabilizam o consumo.

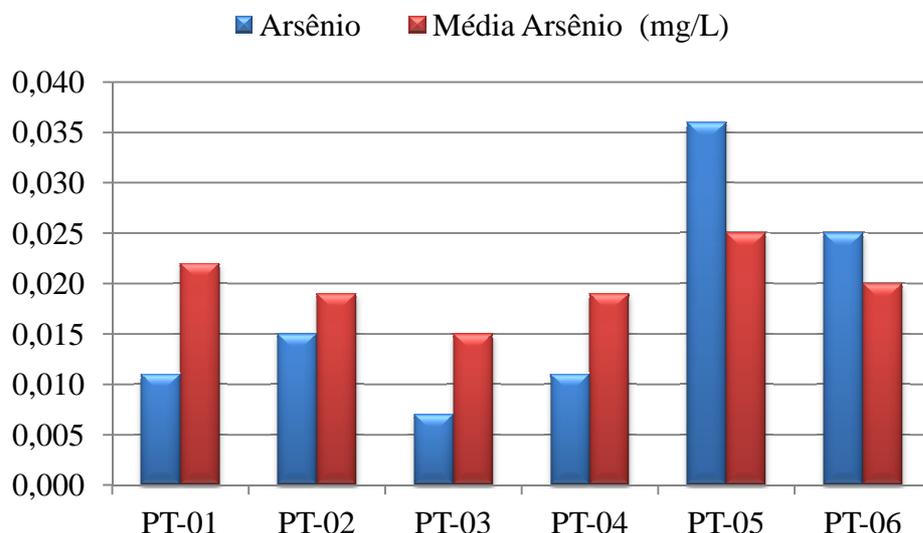


Figura 4. Valores de arsênio e média ponderada de quatro análises para cada poço.

6 - CONCLUSÕES

O pH nas águas é essencialmente básico, apresentam valores mínimos de 7,17 em PT-01 e máximo de 8,42 em PT-02, o que justifica elevadas concentrações de HCO_3^- e silício nos poços. Apesar, que a capacidade de neutralizar ácido está relacionada também a íons CO_3^{2-} que apresentam concentrações de 14,63mg/L em PT-02 e 15,53mg/L em PT-04 e em menor grau com íons ou compostos capazes de reagir com ácidos e contribuir com a alcalinidade como fosfatos, hidróxidos, compostos orgânicos e silício que, para todos os poços, após o Na, apresentou maiores valores.

As maiores concentrações de arsênio foram registradas nas águas dos poços PT-05 e PT-06 com valores de 0,036 e 0,025mg/L, em relação aos poços PT-01, PT-02, PT-03 e PT-04, com 0,011, 0,015, 0,007 e 0,011mg/L, respectivamente. Os valores mais elevados podem ser relacionados à captação da água em poços mistos, pela Formação Barreira e o embasamento cristalino. As menores concentrações estão relacionadas aos poços que captaram água somente em reservatórios de zonas fraturadas do embasamento cristalino composto por granitos formados essencialmente de quartzo, feldspatos e minerais máficos.

Segundo Silva e Fiúza (2011), as concentrações mais baixas de arsênio encontram-se nos solos resultantes da meteorização dos granitos e em ambientes redutores, por apresentarem baixa mobilidade. Possivelmente os valores elevados de arsênio nas águas subterrâneas estão relacionadas a fontes externas antrópicas, por não existir presença visível de rocha arseniada (protólito), sendo sua dispersão realizada por águas que percolam os sedimentos da Formação Barreira.

Contudo, sugere-se um estudo mais intenso com caracterização físico-química de solo, rocha, água e determinação de formas de ocorrência de arsênio presentes nesses ambientes para descobrir precisamente a fonte de contaminação. Dessa forma, deixa-se uma alerta para as autoridades municipais quanto à ocorrência desse elemento em águas subterrâneas desses municípios uma vez que apresenta risco a saúde da população.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERNATHY, C.O.; CALDERON, R.L.; CHAPPELL, W.R. (Eds.) 1997. Arsenic exposure and health effects. [S.l.]:Chapman & Hall, p. 429.

BOWELL R. J. 1994. Sorption of arsenic by iron oxides and oxyhydroxides in soils. *Appl. Geoch.*, 9: p. 279-286.

BOWELL R.J., MORLEY N.H., DIN V.K. 1994. Arsenic speciation in soil porewaters from the Ashanti mine, Ghana. *Appl. Geoch.*, 9: p.15-22.

CARVALHO, A. M.; COUTINHO, P. N.; MORAIS, J. O. 1994. Caracterização Geoambiental e Dinâmica Costeira da região de Aquiraz na Costa Leste do Estado do Ceará. Fortaleza. Revista de Geologia/UFC, v.7, p.55-68.

COTTON, F. A.; WILKINSON, G.; MURILLO, C. A.; BOCHMANN, M. 1999. Advanced Inorganic Chemistry. New York: Jonh Wiley & Sons, Inc., p.1355.

CSUROS, M.; CSUROS, C. 2000. Environmental sampling and analisys for metals. New York: Lewis Publishers. p.372.

DZOMBAK D. A. & MOREL F. M. M. 1990. Surface complexation modeling: hydrous ferric oxide. John Wiley and Sons, New York, p.393.

EMSLEY J. 1998. The elements. New York: Oxford University Press Inc., 1998. p292.
Ficha de Informação Toxicológica - FIT, N° CAS:7440-38-2, Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, 06/2012, CETESB.

IBGE. (2010). Censo Demográfico Brasileiro. <http://www.censo2010.ibge.gov.br>; Acesso em 27/05/2014 às 13h.

IPECE. (2010). Instituto de Pesquisa e Estratégias econômicas do Ceará. http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/perfil-basico-municipal-2010; Acesso em 28/05/2014 às 15h.

JUILLOT F., ILDEFONSE PH., MORIN G., CALAS G., KERSABIEC A. M. 1999. Remobilization of arsenic from buried wastes at an industrial site: mineralogical and geochemical control. *Appl. Geoch.*, 14: p.1031-1048.

MANNING B.A. & GOLDBERG S. 1996. Modeling arsenate competitive adsorption on kaolinite, montmorillonite and illite. *Clays and Clay Minerals*, 44: p.609-623.

MANNING B.A. & GOLDBERG S. 1997. Adsorption and stability of arsenic(III) at the clay mineral-water interface. *Environ. Sci. Technol.*, 31: p.2005-2011.

NORDSTRON D.K. & SOUTHAM, G. 1997. Geomicrobiology of sulphide mineral oxidation. In: J.F BANFIELD. & K.H. NEALSON (eds.) *Geomicrobiology – Interactions between microbes and minerals*. Mineralogical Society of America, Washington, D.C., *Reviews in Mineralogy*, 35: p.361-390.

Normas ABNT - NBR 12.212: Projeto de poço para captação de água subterrânea, e NBR-12.244: Construção de poço para captação de água subterrânea.

PLUMLEE G.S. 1999. The environmental geology of mineral deposits. In: G.S. PLUMLEE & M.J. LOGSDON, (eds.) *The environmental geochemistry of mineral deposits, Part A: Processes, techniques, and health issues*. Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology*, 6: p.71-116.

REIMANN C. AND CARITAT P. 1998. Chemical Elements in the Environment, Springer.

RIBEIRO, J. A. P. 2000 – Caracterização sedimentar e hidrogeológica da faixa costeira leste da Região Metropolitana de Fortaleza. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza/CE, p.49.

RESOLUÇÃO RCD n° 274 da ANVISA, publicado no D.O.U. Diário Oficial da União, Poder Executivo, de 23 de setembro de 2005. Regulamento técnico para águas envasadas e gelo.

RESOLUÇÃO RCD n° 275 da ANVISA, publicado no D.O.U. Diário Oficial da União, Poder Executivo, de 23 de setembro de 2005. Regulamento técnico de características microbiológicas para água mineral natural e água natural.

SILVA F. A. E FIÚZA A, 2011. Distribuição e comportamento do arsênio em ambientes naturais. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Ref: CLME_3605R.

SMEDLEY, P.L.; KINNIBURGH, D.G. 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, Oxford, v. 17, n. 5, p. 517–568.

VOIGT D. E., BRANTLEY S. L., HENNET R. J. C. 1996. Chemical fixation of arsenic in contaminated soils. *Applied Geochem.*, 11: p.633-643.