



Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

Presença de sílica em águas subterrâneas e possíveis benefícios para a saúde

Presence of silica in underground waters and possible health benefits

Erika de Almeida Sampaio Braga¹; Marisete Dantas de Aquino²; Carlos Márcio Soares Rocha³; Luzia Suerlange Araújo dos Santos Mendes⁴

¹ Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza. Ceará.

² Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza. Ceará.

³ Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza. Ceará.

⁴ Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza. Ceará.

✉ andreierika@yahoo.com.br, marisete@ufc.br, cmarcio@yahoo.com.br, luzia.suerlange@nutec.ce.gov.br

Resumo

Palavras-chave:

Águas subterrâneas; sílica; silício; saúde; legislação.

Na região Nordeste do Brasil as águas subterrâneas, principalmente em períodos de seca, são muito utilizadas para o abastecimento da população. A presença de sílica em águas naturais é bastante comum, já que são constituintes naturais do solo e das rochas. Apesar da Portaria de Consolidação nº 05, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (MS), anexo XX, não estabelecer valor da concentração de sílica, para avaliação da potabilidade, no capítulo VII do Código de Águas Minerais – Decreto – lei 7.841 de 08 de agosto de 1945, o silício é citado como um dos oligoelementos necessários pelo corpo. Com base no contexto, este estudo buscou, tomando como referências pesquisas realizadas por outros autores sobre o assunto, estudar os possíveis benefícios da presença de silício nestas águas para a saúde, já que essas águas são usadas para abastecimento da população. Foram coletadas amostras de águas subterrâneas em diferentes municípios do estado do Ceará. As análises foram realizadas por método colorimétrico, segundo (APHA, 2012) e, de acordo com os resultados obtidos, onze entre as 18 amostras analisadas estavam na faixa de 8,0 a 15,0 mgSi.L⁻¹, indicando a existência de correlação entre a potabilidade de águas, segundo pesquisas realizadas nos Estados Unidos da América (EUA).

Abstract

Keywords:

Groundwater; sílica; silicon; health; legislation.

In the northeastern Brazil, groundwater, mainly during drought periods, is widely used to supply the population. The presence of silica in natural waters is quite common, since it is a natural constituent of soil and rocks. Although the Consolidation Ordinance 05, dated September 28, 2017 of the Ministry of Health, Annex XX, do not set a limit value for silica concentration to evaluate potability, in Chapter VII of the Mineral Water Code - Decree Law 7,841 of August 8, 1945, silicon is cited as one of the trace elements required by the human body. In this context and based on research done by other authors on the subject, this study aimed to study the possible benefits of the presence of silicon in these waters for health, as these waters are used to supply the population. Groundwater samples were collected in different municipalities in the State of Ceará. Colorimetric analysis was performed according to APHA (2012) and the results showed that 15 out of the 18 samples analyzed were in the range of 8.0 to 15.0 mgSi.L⁻¹, indicating a correlation between water potability, according to research conducted in the United States of America.

DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v34i2.29887>

1. INTRODUÇÃO

Elemento presente em processos ocorrendo desde a formação da Terra, o silício é o sólido mais abundante e disperso no ambiente crustal. Sua ocorrência na geosfera, mesmo em baixas concentrações, é fundamental nos processos geológicos, hidrológicos e biológicos. As águas minerais costumam conter o silício em sua forma biodisponível, de comprovados benefícios para a saúde humana (LAZZERINI, 2014).

Não estando prevista a classificação de águas silicatadas na legislação brasileira e sendo poucos os estudos hidroquímicos enfocando suas potenciais aplicações à saúde humana, Lazzerini (2013) realizou uma extensa revisão bibliográfica, de exemplos internacionais, sobre sua utilização medicinal, hidroterapêutica e nutricional, bem como dos teores adequados para silício nas águas e um inventário hidroquímico e geográfico que permitiu avaliar e comparar 322 ocorrências do silício, em águas subterrâneas do país (Brasil), entre si e com exemplos de outros países.

Segundo Lazzerini (2013) a intersecção entre os dois conjuntos de informações permitiu inferir que águas silicatadas são benéficas aos tecidos e estruturas ósseas dos seres vivos, bem como no combate da toxicidade devido ao alumínio (Al). Segundo o mesmo autor, os teores encontrados foram anormalmente elevados e correlações hidroquímicas e hidrogeológicas, equivalentes à bibliografia consultada, indicaram grande potencial de aproveitamento destes recursos hídricos no Brasil.

Em águas subterrâneas, a sílica pode ser encontrada principalmente sob as formas solúvel (sílica reativa), coloidal (sílica não-reativa) ou particulada (sílica cristalina). A presença de sílica dissolvida em água é devido a presença de formas hidratadas como o ácido ortossilícico (Si(OH)_4) e metasilícico (H_2SiO_3) (MELO *et al.*, 2008).

De todas as espécies particuladas no qual a sílica pode ocorrer em águas naturais, a forma amorfa (coloidal) é a que possui maior solubilidade. Na prática, sempre que ocorre a precipitação de sílica, ela tende a ocorrer em sua forma amorfa, devido à lenta cinética de formação da sílica cristalina (MELO *et al.*, 2008).

Nas águas subterrâneas, o teor de Si costuma ser mais elevado, ao ponto deste aspecto ser utilizado para indicar a autenticidade de uma água mineral natural, bem como distingui-la de uma água superficial (BELTON *et al.*, 2012).

De acordo com o Código de Águas Minerais - Decreto - lei 7.841 de 08 de agosto de 1945 - Capítulo VII - Da Classificação Química das Águas Minerais, Art. 35 - As águas minerais serão classificadas, quanto à composição química em:

I - oligominerais, quando, apesar de não atingirem os limites estabelecidos neste artigo, forem classificadas como minerais pelo disposto nos §§ 2º e 3º, do Art. 1º da presente lei.

Os oligoelementos são os minerais que são necessários pelo corpo em quantidades muito pequenas, como minerais provêm do solo e da água e não pode ser feita por organismos vivos, a maioria dos oligoelementos em nossas dietas vêm diretamente das plantas ou indiretamente de fontes animais. O silício (Si) é um dos oligoelementos em estudo.

Uma vez que a classificação de água mineral silicatada (ou silicática) não está prevista em legislação brasileira, exemplos de outros países serviram para a definição dos parâmetros iniciais. Assim, para sugerir possíveis aplicações no Brasil, foram consultadas legislações similares de outros países e publicações técnico-científicas sobre o assunto. Os fatores de conversão dos compostos de silício são: $1,0 \text{ mgSiO}_2 \cdot \text{L}^{-1} = 0,47 \text{ mgSi} \cdot \text{L}^{-1} = 1,3 \text{ mg H}_2\text{SiO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ (LAZZERINI, 2014).

Apesar de ainda não muito conhecidos, os benefícios do Si à saúde humana tiveram seus primeiros estudos no século XVI. São encontradas citações de suas formas dissolvidas em águas nos tratados fundamentais da medicina e da farmacopeia do século XIX. Trabalhos experimentais iniciados no século XX reforçaram a sua importância, associando um melhor e mais saudável desenvolvimento dos seres vivos habitando ambientes enriquecidos em sílica (SCHEER, 1997 *apud* EXLEY, 2012).

O Si compreende apenas 0,026% da massa total do corpo humano e ocorre, naturalmente, em alimentos sob a forma de dióxido de silício e outros silicatos. Uma das melhores fontes nutricionais de Si ocorre pela ingestão de bebidas, especialmente em sua forma mais biodisponível, quando dissolvido naturalmente nas águas minerais (PRESCHA *et al.*, 2011).

Assim, sua biodisponibilidade para o consumo humano equivale entre 50 a 86% do Si ingerido e, tipicamente, contribuem no mínimo com 20% de seu consumo total cotidiano (MATSKO *et al.*, 2011).

A distribuição geoquímica e a biodisponibilidade das substâncias químicas não são uniformes na superfície da Terra. A biodisponibilidade depende das formas física e química do material e de fatores ambientais como pH, temperatura e condições de umidade.

A presença de Si coloidal nas águas minerais costuma desempenhar papel importante no controle da disponibilidade biológica tóxica do alumínio, bem como no aumento da eficácia hidroterápica, melhoria da capacidade de absorção fisiológica dos alimentos. A sua interação com outros oligoelementos potencializa a bioatividade de outros elementos, por exemplo, do molibdênio (JUGDAOHSINGH *et al.*, 2002).

Para observação dos benefícios à saúde, devido o consumo cotidiano de águas contendo Si, estudos epidemiológicos, em diversas regiões dos Estados Unidos da América (EUA), indicaram a existência de correlação entre a potabilidade de águas com teores de $8,0\text{-}15,0 \text{ mgL}^{-1}$ e uma menor taxa de mortalidade devido a doenças coronárias e problemas de coração na população.

De acordo com Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2003), a Geologia Médica é uma ciência interdisciplinar que estuda as variações regionais na distribuição dos elementos químicos, principalmente os metálicos e metaloides, seus comportamentos geológico e geoquímicos, as contaminações naturais e antropogênicas e os possíveis danos à saúde humana, animal e/ou vegetal por excessos ou deficiências de tais elementos.

Tal especialidade desponta no cenário científico internacional como elo entre os profissionais das ciências médicas e os das geociências, em busca da qualidade de vida das populações.

Os seres vivos necessitam de alguns elementos químicos para manutenção de sua saúde. Para os humanos, são essenciais os macronutrientes cálcio (Ca), cloreto (Cl), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), enxofre (S), oxigênio (O), hidrogênio (H) e os micronutrientes cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), selênio (Se), vanádio (V) e zinco (Zn), além de flúor (F), iodo (I) e sílica (Si). A carência e/ou o excesso desses elementos na ingestão de águas, alimentos e ar pode acarretar prejuízos à saúde.

Diante disso, foi instituído em 2003 o Programa Nacional de Pesquisa em Geoquímica Ambiental e Geologia Médica - PGAGEM, sob a coordenação do Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Com atuação multi-institucional e interdisciplinar e com resultados multituosos, o PGAGEM foi elaborado por pesquisadores da CPRM, da Universidade de Campinas - Unicamp, da Universidade do Estado de São Paulo - USP, da Universidade Federal do Estado do Pará - UFPA, da Universidade Estadual de Londrina - UEL, da Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, do Serviço Geológico do Paraná - Mineropar, do Instituto Evandro Chagas, do Instituto Adolfo Lutz, da Escola Nacional de Saúde Pública - ENSP (FIOCRUZ) e da Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA).

O estudo das propriedades dos elementos e íons é fundamental para compreender seus comportamentos nas condições físico-químicas e termodinâmicas existentes e a consequente migração observada. Para esta forte componente locacional, é imprescindível o uso da geoestatística e estudos das variâncias temporais e espaciais como na geoquímica exploratória. Desta forma, o uso de técnicas exploratórias há

muito aplicado na prospecção mineral, com o enfoque ambiental, permite mapear, diagnosticar o problema e auxiliar no prognóstico de sua solução.

Estes trabalhos enfocam, principalmente, os processos geoquímicos capazes de apontar alvos com potencial mineral e de influenciar a saúde das pessoas, animais e do meio ambiente como um todo, tornando fundamental sua relação com a Geologia Médica.

Os elementos, ao serem liberados das rochas pelo intemperismo, são incorporados em minerais neoformados, adsorvidos em minerais argilosos, incorporados em óxido-hidróxidos de ferro e manganês, precipitados como carbonatos ou postos em solução na água. Quando solubilizados, ou passam ao solo e são levados às águas de subsuperfície, ou são transportados pela drenagem. O homem e os animais são contaminados via alimentos (as plantas assimilam os elementos/substâncias disponíveis no solo), água, ar e contato dérmico.

A parte geológica nas pesquisas em Geologia Médica, em geral, objetiva, por meio da geoquímica, avaliar a dispersão dos elementos químicos no meio ambiente utilizando-se de coleta e análise química de amostras de sedimentos de corrente, solos, ar e águas (superficial, subterrânea e de consumo humano). Utiliza-se, também, de diversas disciplinas das Geociências, como: Litologia, Estrutural, Estratigrafia, Geofísica, Isótopos, Paleontologia etc.

A parte médica dedica-se a investigar possíveis danos à saúde humana, por meio de estudo epidemiológico, com coleta de amostras biológicas (sangue, tecido, cabelo, unha e urina) em indivíduos da população considerada exposta na região identificada pela Geologia, como também em indivíduos da população não exposta, residentes fora da área em estudo que será utilizada como referência.

A Geologia Médica é uma das mais nobres aplicações das Geociências, ao diagnosticar e identificar a origem de doenças e, principalmente, atuar na prevenção destas, objetivando o bem-estar da sociedade.

As amostras de águas subterrâneas foram coletadas no estado do Ceará, nas regiões centro-sul, na região de Cascavel (porção nordeste do estado) e na região dos sertões de Senador Pompeu (porção central do estado).

De acordo com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 1998), na região centro-sul pode-se distinguir três domínios hidrogeológicos distintos: rochas sedimentares, rochas cristalinas e depósitos aluvionares.

As rochas cristalinas representam o que é denominado comumente de aquífero fissural. Como basicamente não existe uma porosidade primária nesse tipo de rocha, a ocorrência da água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão.

Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas e a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do clima semi-árido é, na maior parte das vezes, salinizada.

Essas condições atribuem um potencial hidrogeológico baixo para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem.

Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região, e apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativa alta do ponto de vista hidrogeológico, principalmente em regiões semi-áridas com predomínio de rochas cristalinas.

Semelhante a região centro-sul, na porção central do estado pode-se distinguir dois domínios hidrogeológicos distintos: rochas cristalinas e depósitos aluvionares.

Na porção Nordeste do estado pode-se distinguir dois domínios hidrogeológicos distintos: sedimentos da Formação Barreiras e depósitos aluvionares. O domínio representado pelos sedimentos da Formação Barreiras caracteriza-se por uma expressiva variação faciológica, com intercalações de níveis mais e menos permeáveis, o que lhe confere parâmetros hidrogeológicos variáveis de acordo com o contexto local. Essas variações induzem potencialidades diferenciadas quanto à produtividade de água subterrânea.

A Formação Barreiras é subdividida em quatro níveis: o nível inferior, nível intermediário A, nível intermediário B e nível superior (PINHEIRO, 2000).

O nível inferior é constituído de areia muito fina com grande quantidade de sedimentos argilosos, de coloração marrom clara e poucos vestígios de laterização evidentes na porção superior. Sobreposto a este, encontra-se o nível intermediário A constituído de areia muito fina, lamosa, apresentando aspecto mosqueado, e uma intensa laterização. Nesse nível a condutividade hidráulica é muito baixa, e devido ao alto teor de ferro tem comprometido a qualidade da água dos poços que entram em contato com o mesmo. O nível intermediário B é composto de areia fina variegada de coloração cinza clara a amarelada. O nível superior apresenta as mesmas características do nível intermediário B, mas intensamente laterizado, o que lhe confere uma cor avermelhada. Nessas camadas, a granulometria proporciona uma condutividade hidráulica mais favorável, porém, devido ao teor de ferro, pode causar o problema da capa rosa, uma fina lâmina avermelhada que flutua sobre a água dos poços. Para o município localizado na porção nordeste do estado, onde as amostras foram coletadas, o domínio dos sedimentos da Formação Barreiras, abrange 100% das captações de água subterrânea existentes.

Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região, e apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativa alta do ponto de vista hidrogeológico, onde a alta permeabilidade dos termos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas.

Segundo a Secretaria de Recursos Hídricos (SRH, 1992), a formação geológica do Estado do Ceará, com cerca de 75% de solos cristalinos em sua parte central, e apenas com 25% de solos sedimentares, torna o potencial de águas subterrânea bastante baixo (CEARÁ, 1992).

Os solos cristalinos têm sua capacidade de acumulação restrita às zonas fraturadas (fendas e falhas geológicas) e ao manto de intemperismo rochoso, que geralmente é pouco desenvolvido e pouco contribui para as reservas subterrâneas.

Entretanto é comprovado que, existe grande quantidade de fontes de água, em todo o Nordeste, que poderá assumir papel importante no abastecimento de centenas de comunidades espalhadas por toda a Região.

As características físico-químicas das águas subterrâneas são fortemente influenciadas pelo tipo de solo através do qual elas percolam, bem como também do nível de renovação dos reservatórios subterrâneos. A presença de sílica em águas naturais é bastante comum, já que é constituinte natural do solo e das rochas.

No sistema aquífero do embasamento cristalino, no estado do Ceará, predominam águas salobras do tipo cloretadas (GOMES, 2005; LOPES, 2006).

De acordo com Santos (*in* Feitosa & Manoel Filho, 1997), o silício, embora seja o elemento mais largamente encontrado nas rochas, não ocorre em quantidades significativas nas águas subterrâneas. O quartzo ou a sílica amorfa, devido sua baixa solubilidade, fortemente dependente da temperatura, não são fontes significativas de sílica (SiO₂) da água subterrânea.

Em terrenos cristalinos, na região de Limoeiro do Norte e Ocara, estado do Ceará, tanto Gomes (2005) como Lopes (2006), encontraram uma quantidade de sílica, na água subterrânea, em torno de 50,0 mgSiL⁻¹, enquanto no aquífero aluvial do rio Jaguaribe, segundo Gomes (2005), a concentração média é 26,0 mgSiO₂L⁻¹.

Na área, os valores de sílica foram geralmente maiores em novembro, mas sempre inferiores aos valores encontrados no meio fissural, por Gomes (2005) e Lopes (2006); a concentração média para este mês foi de 19,0 mgSiL⁻¹ (AGUIAR *et al.*, 2006).

Nas águas subterrâneas, os diferentes litotipos afetam a presença do silício (Si) dissolvido, por exemplo: nas rochas cristalinas, sua hidrólise é menor que nas sedimentares arenosas, havendo maior dependência da participação do ácido carbônico (CO₂); os feldspatos alcalinos nos granitos (e gnaisses) implicam em concentrações entre 4,0 e 10,0 mgSiL⁻¹; nos dioritos, ocorre principalmente como SiO₂ coloidal e pouco H₄SiO₄; nos basaltos, são comuns concentrações maiores que nos granitos, em torno de 20,0 mgSiL⁻¹; nos micaxistos, a concentração média é de 9,0 mgSiL⁻¹ e nos arenitos de 12,0 mgSiL⁻¹ (SZIKSZAY, 1993 *apud* CELLIGOI, 1999). A solubilidade da sílica nas águas provenientes de rochas ultrabásicas é mais elevada devido à menor salinidade do meio.

A maioria das águas em contato com os basaltos tem uma tendência a precipitar sílica seja como quartzo, calcedônia ou outro silicato, porém a reação é mais lenta do que a intemperização da rocha primária. Estes aspectos levam a teores de sílica superiores aquele do equilíbrio com a forma mais cristalizada menos solúvel da sílica que é o quartzo (BITTENCOURT *et al.*, 2003).

A solubilidade da sílica é diretamente proporcional à temperatura, todavia em temperaturas em torno de 20°C, por fatores cinéticos propiciam teores de sílica superiores ao equilíbrio com o quartzo (MANASSÉS, 2009).

A dependência da composição dos cátions sobre a química dos aluminossilicatos é mais claramente manifestada nas águas mais frescas ou de circulação mais rápida. Em soluções alcalinas, especialmente as contendo sais de sódio, apesar do aumento da salinidade ser inversamente proporcional ao conteúdo de sílica, pode ocorrer aumento da solubilidade da sílica na água em até 50 vezes (com o NaHCO₃ e NaOH) ou mesmo até 100 vezes (com o NaCl) (BRICKER, 1967).

O sódio é o constituinte maior das rochas ígneas (28.000 mgKg⁻¹). Ocorre em plagioclásio, principalmente albita (NaAlSi₃O₈) e é liberado durante o intemperismo destes silicatos (MATTHESS, 1982). O sódio é geralmente presente nas águas doces como íons Na⁺; em soluções concentradas ocorrem NaCO₃, NaHCO_{3(aq)} e NaSO₄. As mais altas concentrações de sódio ocorrem em associação com íons Cl.

3. MATERIAL E MÉTODOS

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE SÍLICA

As medidas do teor de sílica foram obtidas através de espectrofotômetro da marca Termo Scientific, modelo Orion Aquamate 8000, utilizando o método do molibdato. Este método baseia-se na capacidade do molibdato em reagir com a sílica solúvel presente na amostra para formar complexo azul de silico-molibdênio, com absorção no espectro visível, no comprimento de onda de 460nm.

As amostras foram coletadas em poços localizados em três municípios, localizados em diferentes regiões do Estado do Ceará, nos meses de agosto a novembro de 2019.

As coletas das amostras foram realizadas de acordo com os procedimentos recomendados no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Águas, Sedimentos e Efluentes da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011).

As análises para determinação de sílica foram realizadas de acordo com procedimentos descritos (APHA, 2012).

Os resultados obtidos em termos de óxido de silício (SiO₂.L⁻¹) foram multiplicados pelo fator de conversão 0,47 mgSi.L⁻¹, para obtenção dos resultados em sílica (Si).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1 – Resultados médios obtidos de sílica em águas subterrâneas.

Amostras	Resultados médios mg Si.L ⁻¹
Poço 01	16,41
Poço 02	11,65
Poço 03	9,51
Poço 04	8,27
Poço 05	14,07
Poço 06	11,89
Poço 07	19,48
Poço 08	6,26
Poço 09	33,12
Poço 10	15,30
Poço 11	8,68
Poço 12	4,51
Poço 13	7,01
Poço 14	12,39
Poço 15	15,58
Poço 16	12,60
Poço 17	17,22
Poço 18	10,59

Fonte: Autores, 2019.

De acordo com os resultados da tabela 1, observou-se que a amostra de água do poço 12 apresentou o menor resultado (4,51 mg Si.L⁻¹), enquanto que a amostra de água do poço 09 apresentou o maior resultado (33,12 mg Si.L⁻¹).

Segundo a pesquisa de (Lazzerini *et al.*, 2014), para observação dos benefícios à saúde, devido o consumo cotidiano de águas contendo Si, estudos epidemiológicos, em diversas regiões dos Estados Unidos da América (EUA), indicaram a existência de correlação entre a potabilidade de águas com teores de 8,0 – 15,0 mg Si.L⁻¹ e uma menor taxa de mortalidade devido a doenças coronárias e problemas de coração na população.

Dentre o total de dezoito (18) amostras analisadas, quinze (15) amostras tiveram resultados dentro da faixa da pesquisa citada, colaborando para confirmar que estas amostras de água trariam benefícios à saúde da população, mesmo que a Portaria de Consolidação nº 05,

de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde, Anexo XX, não estabeleça valor para concentração de sílica em água para consumo humano.

O Código de Águas Minerais do Brasil (Decreto-lei No. 7841 de 8 de agosto de 1945) estabelece que as águas minerais deverão ser classificadas de acordo com o elemento predominante, íons ou substâncias dignas de nota (Brasil, 1945).

Uma vez que a classificação de água mineral silicatada (ou silicática) não está prevista em legislação brasileira, os resultados obtidos também foram comparados com o valor adotado de 37,0 mg Si.L⁻¹ por (Lazzerini *et al.*, 2014), como o mínimo para uma água silicatada. Portanto, as amostras de água estudadas nessa pesquisa, não são classificadas como silicatadas quando comparadas com o valor adotado por Lazzerini, já que a maior concentração encontrada nesse estudo foi de 33,12 mgSi.L⁻¹.

Porém, comparando-se o valor do maior resultado dessa pesquisa com as concentrações de Si sugeridas por outros países, as águas dos poços 01, 07, 09, 10, 15 e 17, podem ser classificadas como águas minerais silicatadas, conforme (FAGUNDO *et al.*, 2001).

Tabela 2 – Concentrações de Si sugeridas por outros países.

Países	mgSi.L ⁻¹
Japão	17,9
Rússia	23,4
Japão	25,3
Espanha	14,1
Cuba	18,7

Fonte: (FAGUNDO *et al.*, 2001).

Conforme citado por (Lazzerini, 2013), no Brasil, entre as dez principais ocorrências de Si em águas subterrâneas, o maior valor de Si encontrado foi de 462,1 mg Si.L⁻¹ na Ilha de Marajó/PA.

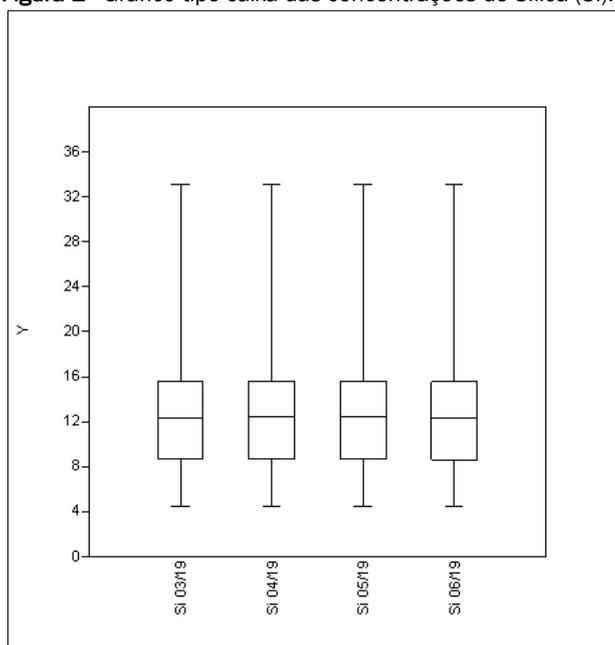
A sílica dissolvida representa a parcela da sílica que permanece em solução após o intemperismo químico das rochas. Sua solubilidade é diretamente proporcional à temperatura.

Manassés (2009), obteve-se uma média de 39,50 mg.L⁻¹. Já o valor máximo foi de 73,30 mg.L⁻¹ e o mínimo de 12,59 mg.L⁻¹. A mediana foi de 41,6 mg.L⁻¹ e o desvio padrão de 14,85 mg.L⁻¹.

TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para maior confiabilidade dos resultados, foi feito um tratamento estatístico, através de gráficos tipo caixa (boxplot) mostrado na figura 1.

Figura 1 - Gráfico tipo caixa das concentrações de Sílica (Si).



Fonte: Autores (2019).

As linhas horizontais da caixa expressam os valores de 25, 50 e 75%. A barra de erro inclui os valores entre 5 e 95%; (x) os valores correspondentes a 1 e 99% e o sinal (-) os valores mínimo e máximo do conjunto de dados. A média aritmética corresponde dentro da caixa.

Através do teste one-way as amostras apresentaram médias semelhantes dentro das concentrações analisadas.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

Do total de 18 amostras analisadas, 15 amostras apresentaram valores dentro da faixa de 8,0 a 15,0 mg Si.L⁻¹ colaborando para confirmar uma correlação com a potabilidade das águas.

Comparando-se a concentração de 33,12 mg Si.L⁻¹, com concentrações estabelecidas por outros países para classificação da água como mineral silicatada, essa amostra pode ser classificada como silicatada.

A presença de sílica em águas potáveis, pode contribuir para reduzir a taxa de mortalidade devido a doenças coronárias e problemas de coração na população.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, PONCIANA FREIRE DE; GOMES, DIOLANDE FERREIRA; NOGUEIRA, SÉRGIO RICARDO PINTO; FREIRE, GEORGE SATANDER DE SÁ; PEREIRA, LAMARKA LOPES. Hidroquímica e qualidade ambiental das águas dos aquíferos costeiros do município de Beberibe, Ceará, Brasil. *Revista de Geologia*, v. 19, n. 2, p. 241-251, 2006.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Guia Nacional de Coleta e Preservação Amostras. Água, Sedimentos, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos. Brasília, DF. 2011.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Water Environment Federation*. Standard methods for the examination of water and wastewater, 22 ed., 2012.

BELTON, D. J; DESCHAUME, O; PERRY, C. C. An overview of the fundamentals of the chemistry of silica with relevance to biosilicification and technological advances. *The FEBS Journal*. v. 279, p. 1710–1720, 2012.

BRASIL. Código de Águas Minerais: Decreto-Lei nº 7841, de 08 de agosto de 1945. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia - MME.

BRASIL. Portaria de Consolidação (PRC) nº 05, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.

BRASIL. Resolução de Diretoria Colegiada RDC nº 275, de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Aprova o Regulamento Técnico Natural e Água. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 06 nov. 202. Seção 1.

BRICKER, O. P. Cations and silica in natural waters: control by silicate minerals. *Int. Ass. Set. Hydrol. Spec. Pub.*, v. 78, p. 110-119. 1967.

CEARÁ. SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS – SRH. Plano estadual de recursos hídricos. Fortaleza, 1992.

CELLIGOI, ANDRÉ. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. *Geografia*, Londrina, v. 28, n. 1, p. 91-97, jan/jun. 1999.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea do Estado do Ceará. Fortaleza. 1998.

EXLEY, C. Reflections upon and recent insight into the mechanism of formation of hydroxyaluminosilicates and the therapeutic potential of silicic acid. *Coordination Chemistry Reviews*, v. 256, p. 82–88, 2012.

FAGUNDO, J. R; CIMA, A; GONZÁLEZ, P. *Revision Bibliografica sobre Classificación de las Aguas Minerales y Mineromedicinales*. Havana: Centro Nacional de Termalismo “Víctor Santamarina”. p. 27. 2001.

FEITOSA, FERNANDO A. CARNEIRO; MANOEL FILHO, JOÃO; FEITOSA, EDILTON CARNEIRO. Livro: Hidrogeologia: conceitos e aplicações. CPRM/LABHID – UFPE, Fortaleza, p. 412. 1997.

GOMES, D.F. Estudo Hidroquímico, Isotópico e da Dinâmica do Nível Estático das Águas Subterrâneas e Superficiais da Região de Limoeiro do Norte – Baixo Jaguaribe - Ceará. 2005. 218f. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2005.

JUGDAOHSINGH, R., ANDERSON, S. H. C., TUCKER, K. L., ELLIOTT, H., KIEL, D. P., THOMPSON, R. P. H., POWELL, J. J. Dietary silicon intake and absorption. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 75, n. 5, p. 887–893. 2002.

LAZZERINI, F. T. Fontes Hidrominerais do Brasil: Componentes Naturais Biologicamente Ativos. 2013. 270 f. Tese (Doutorado em GEOLOGIA REGIONAL) – UNESP, Rio Claro, 2013.

LAZZERINI, FÁBIO TADEU. BONOTTO, DANIEL MARCOS. Fontes de águas milagrosas no Brasil. *Ciência e Natura*, Santa Maria. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas*. v. 36, p. 559–572. 2014.

LAZZERINI, FÁBIO TADEU. BONOTTO, DANIEL MARCOS. O silício em águas subterrâneas do Brasil. The silicon in Brazilian groundwater. *Ciência e Natura*, Santa Maria. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM* v. 36, n. 2, p. 159-168, mai/ago. 2014.

- LOPES, M.F.O. Estudo Hidrológico e Hidroquímico do Município de Ocara – CE. 2006. 62p. Relatório de Graduação. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2006.
- MANASSÉS, FÁBIO. Caracterização hidroquímica da água subterrânea da formação Serra Geral na Região sudoeste do estado do Paraná. Curitiba. 2009.
- MELO, MARCEL; COSTA, BYRON; AQUINO, OSWALDO DE. Remoção de ferro e sílica de água subterrânea visando geração de vapor: estudo de caso. *In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. 2008.
- MATTHESS, G. The Properties of Groundwater. New York, John Wiley & Sons, p. 406. 1982.
- MATSKO, N. B., Znidaršič, N., LETOFSKY-PAPST, I., DITTRICH, M., GROGGER, M., ŠTRUS, J., HOFER, F. Silicon: the key element in early stages of biocalcification. 2011.
- Pinheiro, R.D. Estudo das Características Geológicas e Geoambientais da Região da Lagoa de Uruaú – Beberibe – CE. Relatório de Graduação, UFC, p. 106. 2000.
- PRESCHA, A.; ZABŁOCKA, K.; NADUK, J.; GRAJETA, H. Natural mineral and spring waters and fruit juices as food sources of silicon. *Rocz Panstw Zakl Hig.*, v. 62, n. 3, p. 289-293. 2011.
- SANTOS, A. C. Noções de hidroquímica. *In* Feitosa, F.A & Manoel Filho, J.C. (1997). Hidrogeologia. Conceitos e Aplicações. 2ª ed. LABHID/UFPE. p. 81-107. 2000.
- SCHEER, J. F. Silica: Health & beauty from nature. *Better Nutrition*. v. 59, n. 12, p. 1-38. 1997.
- SZIKSZAY, M. Geoquímica das águas. *Boletim IG/ USP Série didática*, São Paulo, n. 5, p. 1-166. 1993.