CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DE ÁGUAS DE NASCENTES URBANAS DO CÓRREGO TIJUCO, SUB-BACIA DO RIBEIRÃO DO ONÇA, REGIÃO CENTRO-NORTE DE BELO HORIZONTE

HYDROCHEMICAL CHARACTERIZATION OF URBAN SPRING WATERS FROM TIJUCO STREAM, SUB-BASIN OF RIBEIRÃO DO ONÇA, CENTRAL-NORTH REGION OF BELO HORIZONTE

PELAES, Ana Clara Oliveira^{1*}; BONFIM, Sarah Andresa²; PALMIERI, Helena Eugênia Leonhardt³; AULER, Lucia Maria Laboissière de Alencar⁴; SILVA, Maria José de Sousa Ferreira⁵

¹Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Campus da UFMG, cep 31270-901, Belo Horizonte – MG, Brasil
(fone: +55 31 3069 3434; fax: +55 31 3069 3434)

²Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares, Av. Antônio Carlos, 6627, cep 31270-901, Belo Horizonte – MG, Brasil
(fone: +55 31 3409 6666; fax: +55 31 3409 6666)

^{3,4}Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN), Serviço de Técnicas Analíticas (SERTA), Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Campus da UFMG, cep 31270-901, Belo Horizonte – MG, Brasil
(fone: +55 31 3069 3434; fax: +55 31 3069 3434)

⁵Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), Departamento de Física e Química, Av. Dom José Gaspar, 500, cep 30535-901, Belo Horizonte – MG, Brasil
(fone: +55 31 3319 4444; fax: +55 31 3319 4444)

* Autor correspondente
e-mail: anacpelaes@gmail.com

Received 03 October 2017; received in revised form 12 March 2018; accepted 12 March 2018

RESUMO

O Córrego Tijuco, afluente da bacia do Ribeirão do Onça, possui onze nascentes ao longo de seu curso. Esse trabalho tem como objetivo traçar o perfil hidroquímico de algumas dessas nascentes, a fim de avaliar a qualidade de suas águas e se as mesmas são adequadas para uso humano. Foi realizada a quantificação dos elementos Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Li, Pb, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Se, Si, Sr, Rb, Tl, U, V e Zn; dos ânions F⁻, Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻ e SO₄²⁻; dos cátions Na⁺, NH₄⁺ e K⁺; e dos parâmetros turbidez, condutividade, temperatura, sólidos totais dissolvidos, potencial de oxidação e redução, pH e oxigênio dissolvido. Também foram realizados ensaios de alcalinidade, dureza, Cr (VI) e resíduo seco a 180°C. A avaliação dos dados foi realizada com base na Resolução nº 396/2008 do CONAMA e na Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. A maioria dos parâmetros encontra-se abaixo do Valor Máximo Permitido (VMP) estabelecido por ambas as normas, embora, devido aos parâmetros turbidez, pH, nitrato e manganês ultrapassem o VMP em algumas amostras, estas águas só possam ser utilizadas para consumo humano após tratamento prévio. Entretanto, podem ainda ser utilizadas na dessedentação de animais, irrigação e recreação. Através do diagrama de Piper, as águas foram classificadas em três grupos: bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas mistas.

Palavras-chave: Águas de nascentes, CONAMA, Caracterização hidroquímica, Belo Horizonte

ABSTRACT

PERIÓDICO TCHÊ QUÍMICA • www.periodico.tchequimica.com • Vol. 15 N. 30.
• ISSN 1806-0374 (impresso) • ISSN 1806-9827 (CD-ROM) • ISSN 2179-0302 (meio eletrônico)
© 2018. Porto Alegre, RS, Brasil

This work focuses on drawing up the hydrochemical profile of water samples collected in five springs of the Tijuco stream. The evaluation was based on quantification of the elements Al, As, Ba, Be, B, Ca, Cd, Co, Cr, Li, Pb, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Se, Si, Sb, U, V, and Zn; the anions F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} ; the cations Na^+ , NH_4^+ e K^+ and the parameters: turbidity, temperature, conductivity, total dissolved solids, oxidation-reduction potential, pH and dissolved oxygen. Alkalinity, hardness, Cr (VI) and dry weight (180° C) were also quantified. The analyzed parameters were compared with the Maximum Values (VMP) established by the resolutions nº 396/2008 of CONAMA and nº 2.914/2011 of the Ministry of Health. Most of the parameters presented a good agreement with the VMP, however, due to the parameters turbidity, pH, nitrate, and manganese exceed the VMP in some samples, these waters can only be used for human consumption after previous treatment. However, they can be used in animal watering, irrigation and recreation. The waters were classified into three groups: calcium-bicarbonate, sodium-bicarbonate and mixed-bicarbonate.

Keywords: *Spring Waters, CONAMA, Belo Horizonte, Hydrochemical characterization*

INTRODUÇÃO

Grande parcela da população considera as águas de nascentes mais limpas e puras do que águas superficiais. Entretanto, as águas subterrâneas podem apresentar alterações e/ou contaminação devido à natureza e composição do solo por onde escoam, que pode intensificar a quantidade de impurezas nessas águas, principalmente quando se trata de áreas urbanas (GASPAROTTO, 2011; HELENA *et al.*, 2000).

A Bacia do Ribeirão do Onça está localizada na região centro-norte de Belo Horizonte, em uma área de alta densidade demográfica, abrangendo parte da cidade de Contagem e Belo Horizonte. Sua área total é de 212 Km², e em seu leito principal existe a Represa da Pampulha, famoso ponto turístico que integra o Complexo Arquitetônico da Pampulha. Dentre os afluentes da represa da Pampulha estão os córregos Bom Jesus, Ressaca/Sarandi, Mergulhão, Tijuco, Braúnas, AABB e Olhos D'água (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS, 2012).

O Córrego Tijuco está localizado na Avenida Fleming e encontra-se totalmente canalizado. Possui uma área de drenagem de 1,77 Km² e uma vazão média de 0,0293 m³ s⁻¹ nos períodos chuvosos. Essa sub-bacia possui onze nascentes cadastradas pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, das quais apenas duas apresentam plano de ação ambiental e muitas são utilizadas pelos moradores da região sem que exista um estudo detalhado sobre a qualidade de tais águas (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS, 2012).

As nascentes do Córrego Tijuco situam-

se em propriedades particulares de uma região densamente povoada, onde além de residências, existem restaurantes, bares, lavanderias, postos de gasolina e outros tipos de comércio. Trata-se de uma área intensamente urbanizada e impermeabilizada, na qual a maior parte da água pluvial escoia diretamente para o córrego e apenas uma pequena parcela se infiltra no solo, dando origem às águas subterrâneas. Os “Cuidadores de Nascentes” – designação dada pelo Projeto de Valorização das Nascentes Urbanas do CBH-VELHAS aos proprietários dos lotes nas quais elas brotam – utilizam estas águas no paisagismo, irrigação, dessedentação animal e até mesmo no consumo doméstico sem, no entanto, terem conhecimento se as mesmas são realmente apropriadas a tais usos (FELIPPE E MAGALHÃES JUNIOR, 2012).

No cenário atual, marcado pelo crescente processo de urbanização, poluição e escassez de chuvas, a água doce e potencialmente adequável ao consumo humano é um recurso ameaçado (NAIR *et al.*, 2015). Dessa forma, a valorização e a recuperação de nascentes, córregos e rios torna-se essencial. O objetivo desse estudo consiste na elaboração do perfil hidroquímico da água de algumas nascentes do Córrego Tijuco, a fim de classificá-las e realizar um levantamento preliminar acerca de sua qualidade.

PARTE EXPERIMENTAL

Através do levantamento das nascentes do Córrego Tijuco realizado pelo CBH-Velhas em 2012 no Projeto de Valorização das Nascentes Urbanas (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS, 2012), foi possível obter

a localização de cada nascente desse córrego. Ao todo, existem onze nascentes cadastradas pelo projeto, mas após contato com os “Cuidadores de Nascentes”, foi descoberto que três delas já haviam sido aterradas.

Dentre as oito nascentes ainda existentes, dois proprietários não se dispuseram a participar deste levantamento, e uma não foi identificada, devido ao endereço incompleto e a não localização do proprietário. Sendo assim, foram coletadas amostras de cinco nascentes distintas. Para efeito de comparação dos resultados, foi realizada, em paralelo, a análise de uma amostra de água mineral comercial (AMM). As amostras, com suas respectivas denominações e dados de localização geográfica em coordenadas UTM (Sistema Universal Transverso de Mercator), são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Denominação das amostras e localização das respectivas nascentes

Amostra	Denominação	Coordenadas geográficas (UTM)	
1	RJ 300	6059781	7802375
2	AF 545	606138	7802695
3	RMO 317	606044	7802565
4	RMO 88	606078	7802559
5	AF 227	606000	7802378
6	AMM	-	-

As amostras foram coletadas em frascos de água mineral, e após serem filtradas em membrana de 0,45 µm (Merck Millipore) foram imediatamente acidificadas (pH<2) com ácido nítrico ultrapuro e armazenadas a 4°C em recipientes de polietileno de baixa densidade, descontaminados previamente (FERREIRA *et al.*, 2017).

Os íons NO₃⁻, NO₂⁻, SO₄⁻², F⁻, Cl⁻, NH₄⁺, Na⁺ e K⁺ foram determinados por Cromatografia Líquida Iônica de Alta Performance (*High Performance Ionic Liquid Chromatography*), utilizando um cromatógrafo Shimadzu com sistema cromatográfico acoplado a um detector de condutividade CDD-6A (AULER *et al.*, 2005).

A quantificação de Ca, Mg e Fe foi realizada por meio da técnica de espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente

acoplado (ICP-AES) (Spectro Analytical Instruments) e os elementos Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Li, Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, Se, Si, Sr, Rb, Tl, U, V e Zn foram determinados por espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) (Perkin-Elmer Elan DRCe). Água ultra-pura obtida do Sistema Milli Q (Millipore, Belford, MA, USA) e ácido nítrico ultra-puro 69,5% (w/w) (Fluka) foram utilizados para a preparação das soluções padrão e preservação das amostras. A solução multielementar padrão 3 PerkinElmer N9301720 (STD 3) contendo Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, In, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Tl, U, V, Zn (10,0 mg L⁻¹) foi utilizada para a preparação das curvas de calibração, de acordo com metodologia estabelecida por Palmieri *et al.* (PALMIERI *et al.*, 2013).

O resíduo seco (RS) foi determinado por gravimetria e Cr(VI) por colorimetria, através de reação com difenilcarbazido em solução ácida (Standard Methods – 3500-Cr D) (RICE *et al.*, 2012). Dureza total foi estimada por meio de titulação com EDTA, utilizando eriocromo preto-T como indicador e a alcalinidade foi determinada por titulação ácido-base.

Além das análises mencionadas, alguns parâmetros foram medidos *in loco*, tais como condutividade elétrica, temperatura, potencial de oxirredução, sólidos totais dissolvidos e pH, usando um medidor multiparâmetro (Myron L Company Ultrameter). Equipamentos portáteis também foram utilizados para realizar as medições de concentração de oxigênio dissolvido e turbidez (HACH, USA).

Os dados hidroquímicos foram avaliados graficamente através do diagrama de Piper (PIPER, 1944), no qual as amostras foram classificadas com base em sua composição iônica. Os resultados também foram comparados com os valores estabelecidos pela Resolução nº 396 de 3 de abril de 2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2008) e pela Portaria do Ministério da Saúde, nº 2914 de 12 de Dezembro de 2011 (BRASIL, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados dos parâmetros químicos e físico-químicos das águas das cinco minas amostradas foi possível traçar o perfil hidroquímico dessas nascentes. A Resolução nº 396/2008 do CONAMA apresenta o Valor

Máximo Permitido (VMP) em águas subterrâneas para uma série de parâmetros, de acordo com o uso preponderante da água: consumo humano, dessedentação animal, irrigação e recreação (Tabela 2). De acordo com essa Resolução os parâmetros analisados são necessários para o acompanhamento das condições de qualidade da água subterrânea.

Na Tabela 2 também são apresentados os VMP estabelecidos pela Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde para o padrão organoléptico de potabilidade da água.

A Tabela 3 apresenta a matriz dos coeficientes de correlação de Pearson para os principais elementos utilizados na avaliação e caracterização das águas das nascentes em questão.

A turbidez (TUR), dada em Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU), está diretamente relacionada com a presença de sólidos em suspensão na amostra, cuja presença dificulta a transmissão de luz. O Ministério da Saúde limita a turbidez da água a 5,0 NTU, de forma que as amostras RMO 317 e RMO 88 por apresentaram valores de turbidez de 11,90 e 31,60 NTU, respectivamente, não são adequadas para consumo humano.

Sólidos totais dissolvidos (STD) e condutividade elétrica (CE) são parâmetros diretamente correlacionados (Tabela 3) e dependem da concentração, mobilidade e valência dos íons presentes na água (DAVIS E DE WIEST, 1966). Todas as amostras apresentaram resultados dentro do padrão de potabilidade ($<1000 \text{ mg L}^{-1}$) para esse parâmetro. Os valores variaram de $44,42 \text{ mg L}^{-1}$ a $124,00 \text{ mg L}^{-1}$, sendo que o maior valor se refere à amostra RMO 317, cuja nascente brota dentro de um viveiro de animais.

Em relação ao resíduo seco (RS), todas as amostras apresentaram valores superiores àqueles obtidos para STD. Isso ocorreu devido a essa análise possibilitar a identificação de todo e qualquer sólido, dissolvido ou em suspensão.

A temperatura (T) é um parâmetro físico importante, pois é diretamente proporcional a solubilidade de sais minerais e inversamente proporcional à solubilidade de gases em água, como por exemplo, o oxigênio. A variação da temperatura influencia reações químicas e biológicas no meio, além de propriedades da água, como tensão superficial, densidade e viscosidade (FEITOSA, 2008). O CONAMA e o

Ministério da Saúde não estabelecem VMP para a temperatura das águas. A temperatura das nascentes em estudo foi determinada em campo e não houve grandes variações entre elas.

A medida do potencial de oxiredução (ORP) nos sistemas aquáticos é utilizada para indicar se o sistema em questão é aeróbio (oxidante) ou anaeróbio (redutor) (FEITOSA *et al.*, 2008). Valores baixos de ORP são característicos de águas subterrâneas (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO, 2009), enquanto valores mais elevados podem indicar oxigenação da água entre o ponto onde a mina nasce e o ponto de coleta da amostra. Os valores de ORP variaram entre 120 mV e 278 mV.

A dureza (DUR) deve-se ao teor de cálcio e magnésio, expresso em termos de carbonato de cálcio. As águas podem ser classificadas em: mole (teor de $\text{CaCO}_3 < 50 \text{ mg L}^{-1}$), moderadamente dura (teor de CaCO_3 entre 50 a 100 mg L^{-1}), dura (teor de CaCO_3 entre 100 a 200 mg L^{-1}) e muito dura (teor de $\text{CaCO}_3 > 200 \text{ mg L}^{-1}$) (FEITOSA *et al.*, 2008). Esse fato é confirmado pelos coeficientes de correlação entre DUR e Mg ($r = 0,935$) e DUR e Ca ($r = 0,999$). Em águas adequadas ao consumo humano, o VMP para a dureza é igual a 500 mg L^{-1} de CaCO_3 . Todas as amostras apresentaram valores abaixo do VMP. As amostras RJ 300, AF 545 e AF227 podem ser classificadas como águas moles e as amostras RMO 317, RMO 88 e AMM como águas moderadamente duras.

O pH indica o potencial hidrogeniônico de um meio, baseado na concentração de íons H^+ . Dessa forma, é possível caracterizar um meio como ácido, neutro ou alcalino (FEITOSA *et al.*, 2008). Embora o pH não possua impacto direto na saúde humana, o VMP estabelecido pelo Ministério da Saúde encontra-se entre 6,0 e 9,5. As águas analisadas apresentaram pH na faixa de 5,40 a 7,69. Apenas duas amostras apresentaram valores fora do intervalo do VMP: RJ 300 e AF 227. DUR e pH mostram correlações positivas com HCO_3^- ($r = 0,901$ e $r = 0,997$, respectivamente), enquanto pH e DUR também estão positivamente correlacionados ($r = 0,883$).

O oxigênio é um gás pouco solúvel em água. Sua solubilidade é função da temperatura, pressão e dos sais dissolvidos, sendo encontrado em baixas concentrações em águas

subterrâneas, variando entre 0 e 5 mg L⁻¹. A maior parte do oxigênio encontrado em águas é consumido no processo de oxidação da matéria orgânica (FEITOSA *et al.*, 2008). Nas amostras analisadas os valores para oxigênio dissolvido (OD) variaram entre 3,21 e 8,93 mg L⁻¹. Para as amostras RMO 317 e RMO 88, que apresentaram os valores mais elevados para esse parâmetro, é importante observar que a primeira foi coletada de uma nascente que brota dentro de um viveiro de animais e a segunda se localiza em ambiente isento de construções, similar a um brejo, onde existem pequenos animais (como girinos, por exemplo), ou seja, águas que brotam e absorvem o oxigênio do ar. Ambas apresentaram valores próximos ao valor obtido para a amostra de comparação AMM.

A alcalinidade expressa a capacidade da água em neutralizar ácidos e é diretamente relacionada com a presença de íons carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. De acordo com o valor de pH encontrado é possível prever os tipos de alcalinidade da amostra (Tabela 4). Todas as amostras analisadas apresentaram alcalinidade de bicarbonatos, com valores de pH na faixa entre 5,40 e 7,69.

Tabela 4. Alcalinidade em função do pH

pH	Alcalinidade
11 a 9,4	Alcalinidade de hidróxidos e carbonatos
9,4 a 8,3	Alcalinidade de carbonatos e bicarbonatos
8,3 a 4,6	Alcalinidade de bicarbonatos
4,6 a 3,0	Ácidos minerais

Fonte: FEITOSA *et al.* **Hidrogeologia: conceitos e aplicações/ organização e coordenação científica**, 2008.

A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde estabelece que as concentrações de Fe e Mn em águas potáveis não devem ultrapassar 0,3 mg L⁻¹ e 0,1 mg L⁻¹, respectivamente. Os mesmos valores são adotados pelo CONAMA.

A amostra AF 545 apresentou concentração de Fe igual a 0,33 ± 0,03 mg L⁻¹, valor muito próximo ao VMP, embora, devido ao seu desvio padrão, não possa ser considerado inadequado. O Fe está positivamente correlacionado com a TUR (r = 0,941), indicando a influência do ferro no parâmetro turbidez. A principal forma de ocorrência do Fe em água se dá como hidróxido férrico (Fe⁺³), podendo

também ocorrer como hidróxido ferroso (Fe⁺²), que é instável na presença de oxigênio. Uma alta concentração de Fe em águas subterrâneas pode ocorrer devido a presença de ferrobactérias ou proveniente da corrosão de revestimentos ou filtros de poços (FEITOSA *et al.*, 2008). A forte correlação positiva entre Fe e Al e Fe e Mn (r = 0,959 e r = 0,899, respectivamente) indica que esses elementos podem ser provenientes da mesma fonte.

A amostra RMO 88 apresentou concentração de Mn foi igual a 0,170 mg L⁻¹, valor em desacordo com o VMP das duas legislações para águas de consumo humano. A amostra RJ 300, cuja concentração de Mn foi igual a 0,079 mg L⁻¹, embora esteja de acordo com o VMP para potabilidade, excedeu o VMP estabelecido pelo CONAMA para dessedentação animal, cujo valor é 0,05 mg L⁻¹. Nas águas subterrâneas anaeróbias, o Mn é geralmente identificado em concentrações mais elevadas, no entanto, uma excessiva concentração de Mn pode provocar efeitos tóxicos no sistema nervoso central, respiratório, cardíaco e reprodutor (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO, 2009). A principal fonte de Fe e Mn em águas subterrâneas se dá graças ao intemperismo das rochas, embora alguns fatores possam contribuir para o aumento desses elementos, como drenagem ácida de mina, efluentes industriais e lixiviação de esgoto (ABD EL-SALAM, 2015).

A maioria dos íons analisados está de acordo com seu respectivo VMP estabelecido pelo CONAMA para águas de consumo humano (F⁻ = 1,5 mg L⁻¹; Cl⁻ = 250 mg L⁻¹; NO₂⁻ = 3,3 mg L⁻¹; NO₃⁻ = 44,3 mg L⁻¹; SO₄⁻ = 250 mg L⁻¹). Entretanto, a amostra RMO 317 apresentou concentração de NO₃⁻ igual a 44,8 ± 0,8 mg L⁻¹, valor acima do VMP, embora, devido ao seu desvio padrão, não possa ser considerado inadequado. O nitrato, se ingerido em excesso, pode provocar a metahemoglobinemia infantil: quando é reduzido no organismo a nitrito, este íon compete com o ferro pelo oxigênio livre na corrente sanguínea (JALALI, 2009). Outro aspecto a ser considerado sobre o nitrato/nitrito é que pode participar na formação de nitrosaminas e nitrosamidas no organismo, que são carcinogênicas. Com relação às águas de minas, a presença destes contaminantes pode ser devida à própria natureza da água superficial que tem maior exposição aos contaminantes externos (PITT *et al.*, 1999). A área de minas, nascentes e

poços deve ser protegida e livre de qualquer fonte de contaminação.

Classificação Hidroquímica das Águas

A composição química de águas subterrâneas varia segundo a geologia do local, bem como de acordo com os processos geoquímicos e atividades antropogênicas que possam afetar dinâmica fluvial (KAMTCHUENG *et al.*, 2016).

A classificação hidroquímica das águas foi realizada com base na elaboração do diagrama de Piper através do programa AquaChem 2011.1 (Schlumberger Water Services). A classificação é baseada de acordo com os cátions e ânions dominantes (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; Na^+ ; HCO_3^- ; Cl^- e SO_4^{2-}). A água é denominada quanto ao ânion ou cátion, cuja concentração (meq L^{-1}), ultrapassa em 50% de suas respectivas somas. Caso o valor de nenhum dos demais íons tenha ultrapassado essa soma, a água é classificada de acordo com os dois íons de maior abundância. O diagrama de Piper das amostras analisadas pode ser observado na Figura 1.

Figura 1. Diagrama de Piper para as amostras analisadas

As amostras foram classificadas em três tipos: águas bicarbonatadas cálcicas (RMO 88 e AMM), águas bicarbonatadas sódicas (RJ 300 e AF 227) e águas bicarbonatadas mistas –

cálcicas e sódicas (AF 545 e RMO 317). Para confirmar essa classificação, foi realizada a classificação segundo a abundância iônica, cujos resultados podem ser observados na Tabela 5.

CONCLUSÕES

As análises realizadas revelaram que a maioria dos parâmetros analisados está de acordo com os Valores Máximos Permitidos pelo CONAMA e pelo Ministério da Saúde para águas de consumo humano.

Para a amostra RJ 300, o único parâmetro em desacordo com o padrão de potabilidade da água foi o pH, que ficou abaixo do limite especificado pelo Ministério da Saúde. Essa amostra também apresentou o valor de Mn inadequado para a dessedentação de animais, segundo o VMP estabelecido pelo CONAMA. Entretanto, a água dessa nascente ainda poderia ser usada para irrigação e recreação, de acordo com os demais parâmetros.

A amostra RMO 317 apresentou valor elevado de turbidez, em desacordo com o VMP estabelecido pelo Ministério da Saúde. Também houve inconformidade com as normas nacionais em relação ao teor de nitrato. Esse resultado pode indicar uma possível contaminação da água dessa nascente por efluentes domésticos, tornando-a imprópria para o consumo humano, embora ainda possa ser utilizado para outros propósitos, como dessedentação animal e irrigação.

A amostra RMO 88 também apresentou valor elevado de turbidez, em desacordo com o VMP estabelecido pelo Ministério da Saúde para o padrão de potabilidade da água. A concentração de Mn encontrada também foi superior ao VMP estabelecido pelo CONAMA para águas de consumo humano, embora ainda possa ser utilizada na dessedentação de animais, irrigação e recreação.

Na amostra AF 227, apenas o parâmetro pH ficou abaixo da faixa de VMP estabelecido pelo Ministério da saúde para o padrão de potabilidade da água, podendo ser utilizada para os demais usos preponderantes.

Apesar da maioria dos parâmetros encontrarem-se abaixo do Valor Máximo Permitido (VMP) estabelecido por ambas as normas, estas águas só podem ser usadas para consumo humano após tratamento prévio,

devido, como já dito, aos parâmetros (turbidez, pH, nitrato, Mn), que ultrapassaram o VMP em algumas amostras, como também devido a necessidade da análise microbiológica que não foi realizada. No entanto, estas águas podem ser utilizadas na dessedentação de animais, irrigação e recreação.

As águas analisadas foram classificadas de acordo com os íons dominantes, em três grupos: bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas mistas.

A caracterização hidroquímica destas águas permitiu portanto, realizar uma avaliação preliminar acerca de sua qualidade e de seus possíveis usos.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/ Comissão Nacional de Energia Nuclear (CDTN/CNEN), CNPQ, FAPEMIG e Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

1. ABD EL-SALAM, M. M.; ABU-ZUID, G. I. **Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt.** Journal of Advanced Research, 6. 579-586. 2015.
2. AULER, L. M. L. A.; SILVA, C. R.; COLLINS, K. E.; COLLINS, C. H. **New stationary phase for anion-exchange chromatography.** Journal of Chromatography A, v.1073, p. 147-153, 2005.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914 de 12 de Dezembro de 2011.
4. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução nº 396 de 3 de Abril de 2008.
5. COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS (CBH-VELHAS). **Projeto de valorização das nascentes urbanas.** EGL Editores Gráficos Ltda. Belo Horizonte, 2012.
6. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SÃO PAULO (CETESB). **Significado Ambiental e Sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.** Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo – Apêndice A. São Paulo, 2009.
7. DAVIS, S. N.; DE WIEST, R. J. M. **Hydrogeology.** Vol. 463, New York: John Wiley & Sons, 1966.
8. FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações / organização e coordenação científica.** 3ª ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008.
9. FELIPPE, M. F.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. **Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte.** Geografias, 8 (2). 8-23. 2012.
10. FERREIRA, C. A. **Avaliação de elementos traços com ênfase em arsênio, urânio, tório e elementos terras raras em águas de fontes de cidades do quadrilátero ferrífero, Minas Gerais.** 2012. Dissertação (mestrado) – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais, Belo Horizonte, 2012.
11. FERREIRA, C. A.; PALMIERI, H. E. L.; MENEZES, M. Â. B. C.; AULER, L. M. L. A. **Hydrochemical Assessment of Spring Waters from the Iron Quadrangle Region, Minas Gerais, Brazil.** American Journal of Water Resources. 5 (2). 29-40. 2017.
12. GASPAROTTO, F. A. **Avaliação Ecotoxicológica e Microbiológica da Água de Nascentes no Município de Piracicaba - SP.** Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Ciências, Piracicaba, 2011.
13. HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ, J. M;

- FERNANDEZ, L. **Temporal Evolution of Groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by Principal Component Analysis.** Water Research, 3 (34). 807-816. 2000.
14. JALALI, M. **Geochemistry characterization of ground-water in an agricultural area of Razan, Hamadan, Iran.** Environmental Geology, 56 (7). 1479-1488. 2009.
15. KAMTCHUENG, B. T.; FANTONG, W. Y.; WIRMVEM, M. J.; TIODJIO, R. E.; TAKOUNJOU, A. F.; NDAM NGOUPAYOU, J. R.; KUSAKABE, M.; ZHANG, J.; OHBA, T.; TANYILEKE, G.; HELL, J. V.; UEDA, A. **Hydrogeochemistry and quality of surface water and groundwater in the vicinity of Lake Monoun, West Cameroon: approach from multivariate statistical analysis and stable isotopic characterization.** Environ. Monit. Assess, 188 (9). 524. 2016.
16. NAIR, H. C; PADMALAL, D.; JOSEPH, A. **Hydrochemical assessment of tropical springs - a case study from SW India.** Environ. Monit. Assess., 187 (48). 1-24. 2015.
17. PALMIERI, H. E. L.; KNUPP, E. A. N.; FERREIRA, C. A.; WINDMOLLER, C. C. **Direct quantification of trace element concentrations in spring waters by ICP-MS.** Brazilian Journal of Analytical Chemistry - BrJAC (Print), 3. 451-459. 2013.
18. PIPER, A. M. **A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses,** Trans. Am. Geophys. Union, 25. 914-928. 1944.
19. PITT, R.; CLARK, S; FIELD, R. **Groundwater contamination potential from stormwater infiltration practices.** Urban Water, 1. 217-236. 1999.
20. RICE, E. W.; BARD, R. B.; EATON, A. D.; CLESCERI, L. S. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 22 ed. Ed. American Public Health Association, 2012.

Tabela 2. Parâmetros de qualidade analisados

Parâmetro	RJ 300	AF 545	RMO 317	RMO 88	AF 227	AMM	CONAMA 396/2008 (mg L ⁻¹)				M. S. P. nº 2914 (mg L ⁻¹)
							Consumo humano	Dessedentação animal	Irrigação	Recreação	
TUR (NTU)	0,61	3,95	11,9	31,6	1,5	0,09					5 NTU
CE (µS cm ⁻¹)	94,85	156,60	262,10	130,80	130,60	160,50					
T (°C)	23,5	20,2	22,2	22,1	22,2	23,5					
STD (mg L ⁻¹)	44,42	72,83	124,00	61,34	61,31	75,50	1000				1000
RS (mg L ⁻¹)	86,0 ± 8,6	111 ± 11	223 ± 22	138 ± 14	107 ± 11	101 ± 10					
ORP (mV)	278	264	256	120	230	198					
pH	5,42	6,15	6,38	6,75	5,40	7,69					6,0 - 9,5
OD (mg L ⁻¹)	4,46	3,21	7,85	8,93	3,94	7,94					
DUR (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	16,0 ± 1,6	40,0 ± 4,0	75,0 ± 7,5	60,0 ± 6,0	23,0 ± 2,3	84,0 ± 8,4					500
HCO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	15,5 ± 1,6	47,4 ± 4,7	56,7 ± 5,7	68,0 ± 6,8	17,5 ± 1,8	87,6 ± 8,8					
Al (µg L ⁻¹)	< 0,38	< 0,38	< 0,38	23,7	5,93	< 0,38	0,2	5	5	0,2	0,2
Ba (µg L ⁻¹)	203	148	189	39,1	313	22,7	0,7			1	
Cd (µg L ⁻¹)	0,013	0,011	0,016	< 0,01	0,017	< 0,01	0,005	0,05	0,01	0,005	
Ca (mg L ⁻¹)	2,7 ± 0,3	10 ± 1	23 ± 2	17 ± 2	4,4 ± 0,4	20 ± 2					
Pb (µg L ⁻¹)	0,26	0,013	0,035	0,027	0,13	0,14	0,01	0,1	5	0,05	
Cr (µg L ⁻¹)	2,11	0,98	1,28	1,06	0,90	0,41	0,05	1	0,1	0,05	
Cu (µg L ⁻¹)	1,08	0,71	1,05	0,57	0,81	0,086	2	0,5	0,2	1	
Fe (mg L ⁻¹)	< 0,10	0,33 ± 0,03	0,16 ± 0,02	2,7 ± 0,3	< 0,10	< 0,10	0,3		5	0,3	0,3
Mg (mg L ⁻¹)	1,8 ± 0,2	2,7 ± 0,3	7,4 ± 0,7	4,2 ± 0,4	2,2 ± 0,2	9,4 ± 0,9					
Mn (µg L ⁻¹)	79,0	28,6	10,0	170	41,7	< 0,22	0,1	0,05	0,2	0,1	0,1
Ni (µg L ⁻¹)	0,86	0,94	1,09	0,70	0,53	0,56	0,02	1	0,2	0,1	
Si (µg L ⁻¹)	7652	8054	12064	13610	6635	10330					
Zn (µg L ⁻¹)	15,9	13,6	58,9	6,45	6,51	1,9	5	24	2	5	5
Li (µg L ⁻¹)	0,35	0,56	0,60	0,032	0,20	2,03			2,5		
Be (µg L ⁻¹)	0,11	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,069	0,068	0,004	0,1	0,1		
V (µg L ⁻¹)	0,30	0,51	2,87	0,99	0,88	0,248	0,05	0,1	0,1		
Co (µg L ⁻¹)	1,52	1,36	0,21	0,66	1,22	0,018		1	0,05		
As (µg L ⁻¹)	< 0,09	0,11	< 0,09	0,40	0,074	< 0,09	0,01	0,2		0,05	
Se (µg L ⁻¹)	< 0,29	< 0,29	< 0,29	< 0,29	< 0,29	< 0,29	0,01	0,05	0,02	0,01	
Rb (µg L ⁻¹)	18,1	17,9	6,58	1,22	17,2	5,3					

(continuação Tabela 2)

Parâmetros	RJ 300	AF 545	RMO 317	RMO 88	AF 227	AMM	CONAMA 396/2008 (mg L ⁻¹)				M. S. P. nº 2914 (mg L ⁻¹)
							Consumo humano	Dessedentação animal	Irrigação	Recreação	
Sr (µg L ⁻¹)	39,5	76,2	112	75,7	85,4	19,0					
Tl (µg L ⁻¹)	0,32	0,19	0,067	0,007	0,23	0,016					
U (µg L ⁻¹)	0,025	0,010	0,026	0,047	0,009	0,26	0,015	0,2	0,01		
Na ⁺ (mg L ⁻¹)	8,2 ± 0,3	12,1 ± 0,6	17,4 ± 0,2	6,89 ± 0,09	11,5 ± 0,1	0,94 ± 0,04	200			300	200
K ⁺ (mg L ⁻¹)	3,7 ± 0,2	5,2 ± 0,2	3,39 ± 0,06	0,5 ± 0,1	4,69 ± 0,07	1,01 ± 0,07					
NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	0,47 ± 0,06	0,28 ± 0,02	0,31 ± 0,02	1,43 ± 0,09	0,72 ± 0,04	< 0,05					1,5
F ⁻ (mg L ⁻¹)	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,14 ± 0,01	< 0,05	< 0,05	1,5	2	1		
Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	5,7 ± 0,3	11,1 ± 0,2	21,0 ± 0,4	0,97 ± 0,07	8,0 ± 0,2	0,15 ± 0,03	250		100 - 700	400	250
NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	3,3	32,9	3,3	3,3	
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	30,6 ± 0,8	16,6 ± 0,2	44,8 ± 0,8	0,37 ± 0,05	37,3 ± 0,8	0,80 ± 0,07	44,3	398,6		44,3	
SO ₄ ²⁻ (mg L ⁻¹)	0,65 ± 0,06	0,32 ± 0,03	0,31 ± 0,01	0,07 ± 0,01	1,56 ± 0,09	0,15 ± 0,02	250	1000		400	250

Tabela 3. Matriz dos coeficientes de correlação de Pearson

Variáveis	Al	Mn	Zn	Fe	Mg	Ca	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	TUR	pH	HCO ₃ ⁻	CE	STD	DUR
Al	1,000																
Mn	0,895	1,000															
Zn	-0,449	-0,550	1,000														
Fe	0,959	0,899	-0,352	1,000													
Mg	0,049	-0,183	0,855	0,136	1,000												
Ca	0,264	0,020	0,683	0,383	0,951	1,000											
Na ⁺	-0,601	-0,843	0,839	-0,575	0,674	0,504	1,000										
K ⁺	-0,857	-0,853	0,054	-0,893	-0,346	-0,488	0,453	1,000									
Cl ⁻	-0,671	-0,844	0,894	-0,609	0,676	0,496	0,984	0,448	1,000								
NO ₃ ⁻	-0,747	-0,799	0,623	-0,842	0,251	-0,052	0,720	0,567	0,729	1,000							
SO ₄ ²⁻	-0,276	-0,345	-0,300	-0,531	-0,487	-0,655	0,039	0,538	-0,052	0,529	1,000						
TUR	0,880	0,748	-0,024	0,941	0,462	0,662	-0,289	-0,925	-0,320	-0,658	-0,628	1,000					
pH	0,564	0,385	0,268	0,720	0,668	0,864	0,084	-0,657	0,075	-0,544	-0,827	0,862	1,000				
HCO ₃ ⁻	0,524	0,324	0,301	0,679	0,693	0,882	0,146	-0,609	0,131	-0,505	-0,808	0,833	0,997	1,000			
CE	-0,272	-0,541	0,901	-0,194	0,917	0,824	0,904	0,048	0,893	0,459	-0,303	0,135	0,475	0,523	1,000		
STD	-0,269	-0,538	0,904	-0,193	0,920	0,825	0,903	0,043	0,892	0,464	-0,299	0,136	0,472	0,520	1,000	1,000	
DUR	0,291	0,036	0,649	0,410	0,935	0,999	0,488	-0,491	0,473	-0,089	-0,657	0,680	0,883	0,901	0,811	0,811	1,000

Tabela 5. Classificação hidroquímica das águas

Amostra	Abundância (%)								Classificação hidroquímica
	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
RJ 300	15,3	29,8	9,7	0,8	8,1	8,9	21,5	5,7	Bicarbonatada sódica
AF 545	28,3	9,8	11,4	0,2	18,2	8,1	19,2	4,8	Bicarbonatada mista (cálcica e sódica)
RMO 317	19,2	14,9	12,2	0,1	23,7	12,6	15,6	1,8	Bicarbonatada mista (cálcica e sódica)
RMO 88	42,0	0,2	1,0	0,1	31,9	13,0	11,3	0,5	Bicarbonatada cálcica
AF 227	13,2	27,8	10,4	1,5	10,1	8,4	23,1	5,5	Bicarbonatada sódica
AMM	43,6	0,4	0,1	0,1	30,3	23,5	1,2	0,8	Bicarbonatada cálcica