

ADEQUAÇÃO DE POÇO COM ÁGUAS FERROMANGANOSAS ATRAVÉS DE INTERVENÇÕES FÍSICA, QUÍMICA E CONTROLE POR COMPLEXAÇÃO

André Ramos de Souza ⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental, Mestrando em Desenvolvimento Regional e Sustentável, Coordenação de Engenharia Ambiental (SAAEC-Crato).

Emanuel Sadal Santos Oliveira

Tecnólogo em Saneamento Ambiental, Pós-graduando em Eng. Sanitária e Ambiental, Técnico de Controle de Qualidade (SAAEC-Crato).

Cristiano Cardoso Gomes

Engenheiro florestal e Licenciado em Ciências Agrícolas, Mestre em Ciências Florestais. Assessor de Planejamento e Engenharia (SAAEC-Crato).

Francisco Hiago Vieira Grangeiro

Engenheiro Civil (SAAEC-Crato).

José Yarley de Brito Gonçalves

Geólogo, Mestre em Desenvolvimento Regional e Sustentável, Diretor Presidente (SAAEC-Crato).

Endereço ⁽¹⁾: Av. Teodorico Teles, 30 - Centro - Crato - Ceará - CEP: 63-100-161 - Brasil - Tel: +55 (88) 3523-2044 - engandresouza11@gmail.com.

RESUMO

A oferta de água em padrões aceitáveis para consumo humano, em atendimento à crescente demanda da população, vem se tornando um desafio contínuo para as companhias de abastecimento. A contaminação dos mananciais de abastecimento vem se agravando em paralelo ao crescimento populacional. No Crato/CE dois poços possuem águas com características ferromanganosas, causando grandes transtornos para a população, em função da oxidação e precipitação dos íons metálicos, ao entrar em contato com o oxigênio, conferindo uma coloração escura, responsável por manchar roupas e aparelhos sanitários e encrustar as tubulações. Objetivando eliminar e ou reduzir os níveis de manganês e ferro em poços, foi realizado três intervenções no sistema de abastecimento, primeiro o rebaixamento da bomba de água, segundo a higienização do poço e terceiro a aplicação de complexante. Antes e depois das intervenções foram realizadas análises. As análises indicaram que o teor de ferro caiu de 0,5 mg/l para 0,01

mg/l, já o manganês teve queda na concentração de 2,33 para 1,09 mg/l. Por fim, conclui-se que as intervenções são importantes contudo elevam o custo de fornecimento da água, sendo necessário o repasse para os clientes dessas intervenções de modo a manter a sustentabilidade e qualidade do sistema

Palavras-chave: água subterrânea, potabilidade, ferro, manganês

INTRODUÇÃO

A água é indispensável a toda forma de vida, contudo, a oferta de água em padrões aceitáveis para consumo humano, em atendimento à crescente demanda da população, vem se tornando um desafio contínuo para as companhias de abastecimento. Nos últimos anos, a contaminação dos mananciais de abastecimento por deficiência de investimentos em saneamento vem se agravando em paralelo ao crescimento populacional, sendo demandado das empresas de saneamento investir em soluções técnicas viáveis para ofertar água em conformidade com padrões de potabilidade.

Frente a tal problemática, o aproveitamento dos mananciais subterrâneos apresenta-se como uma importante ferramenta de combate às dificuldades impostas pela escassez hídrica e pela qualidade dos mananciais superficiais.

Segundo Rebouças (2008), o manancial subterrâneo detém o maior volume de água doce em forma líquida que ocorre na terra, da ordem de 10,3 milhões de km³, enquanto que os rios e lagos acumulam apenas cerca de 104 mil km³.

Diferentemente das águas superficiais, as águas subterrâneas possuem uma defesa natural contra a poluição antrópica direta, que é justamente a camada de solo/rocha que as confinam do meio externo, funcionando como um imenso filtro natural por onde as águas pluviais percolam. Sendo que quanto mais espessa seja essa camada, e de suas características geomorfológicas, mais suas águas se encontraram protegidas da contaminação externa, aumentando também o seu grau de pureza.

Para Feitosa (2000), nos aquíferos, devido a lenta circulação das águas subterrâneas, capacidade de adsorção dos terrenos e pequeno tamanho dos canalículos, uma contaminação pode levar muito tempo até manifestar-se claramente. Em outras palavras, os aquíferos são muito menos vulneráveis à poluição do que as águas superficiais.

No entanto, as características geomorfológicas dessa camada de proteção dos aquíferos, podem ainda, promover alteração natural na composição química das águas que por ela se deslocam. Como por exemplo a presença de rochas calcárias que são responsáveis por conferir dureza às

águas subterrâneas, e, ainda, a presença de minérios de ferro e manganês, que incorporam íons metálicos à constituição dessas águas, gerando vários transtornos à sua utilização caso não haja antes um tratamento adequado para o controle desses metais.

O município do Crato está situado na Bacia Sedimentar do Araripe, na região do Cariri, no extremo sul do Estado do Ceará. Esse pacote sedimentar se caracteriza como o mais importante aquífero do Estado do Ceará. Nesta região, os recursos hídricos subterrâneos são a mais importante fonte de água potável para abastecimento público e privado, bem como para diversas atividades, tais como práticas agrícolas, industriais e lazer (MENDONÇA, 2001).

Geologicamente, na região do Cariri Cearense, a Chapada do Araripe é formada, do topo para a base, pelas formações Exu e Arajara, compostas predominantemente por arenitos, que formam o sistema aquífero superior da Bacia Sedimentar do Araripe, o qual é separado do aquífero médio pelo aquíclode Santana, composta principalmente por gipsita, calcário e níveis argilosos (CAJAZEIRAS, 2007). O aquífero médio (Figura 1), pertencente às formações Rio da Batateira, Abaiara e Missão Velha, no Vale do Cariri, é composto predominantemente por arenitos e, por ser responsável pelo fornecimento de água da maioria dos municípios que compõem a região do Cariri (CAJAZEIRAS, 2007).

Figura 1 – Perfil geológico da Bacia Sedimentar do Araripe.



Fonte: MONT'ALVERNE *et al.* (1996).

O referido aquífero, no vale do Cariri, encontra-se depositado sobre rochas precambrianas e constitui-se de um pacote variável com espessura estimada em 200 metros sobreposto à Formação Brejo Santo. A área é constituída em quase toda sua totalidade (95%) por rochas sedimentares pertencentes à Bacia do Araripe. Litologicamente caracteriza-se por uma sequência alternada de siltitos, arenitos finos a grosseiros, calcários e uma pequena área de cristalino (2%).

A mineralogia, obtida dos solos onde aflora esta formação, indica a presença de 100% de quartzo vítreo incolor, contendo grãos com aderência ferruginosa, depósitos manganosos e argiloferruginosos, feldspato com predominância de potássio bastante intemperizado (CAJAZEIRAS, 2007; MACHADO *et al.*, 2007).

A chapada e sua bacia sedimentar do ponto de vista geomorfológico é sustentada pelos arenitos da Formação Exu. A chapada funciona como uma barreira para as nuvens, fazendo com que exista uma área de barlavento localizada ao norte e nordeste, outra de sotavento localizada a sul e sudeste da Chapada do Araripe. A região de barlavento está presente na parte cearense enquanto que a sotavento pertence ao estado de Pernambuco, no barlavento as médias pluviométricas anuais variam de 900 a 110 mm (REIS, 2012.).

Para Souza e Oliveira (2006) o enclave úmido da Chapada do Araripe pertencente à região do Cariri – CE corresponde a uma das áreas mais singulares dentre as áreas úmidas de exceção do contexto semiárido nordestino.

Apesar de ser propício a chuvas, há escassez de água no topo da chapada, motivado por duas causas: a alta condutividade hidráulica dos arenitos da Formação Exu ($k = 3 \cdot 10^{-5} \text{m/s}$) e dos solos deles derivados, que permite infiltração e percolação muito rápidas das chuvas, e as características de um planalto, que não permitem a acumulação de água por falta de um contorno lateral impermeável, mas levam à exsudação da água da chapada por fontes na falésia (MENDONÇA, 2001).

Na área urbana do vale do Cariri, e especialmente no Crato, os poços tem profundidade entre 90 metros a 120 metros de profundidade, tais condições permitem que a empresa de Abastecimento local tenha 82% do abastecimento de poços e 18% a partir de água de nascentes.

Segundo a SAAEC (comunicação técnica oral) parte significativa dos poços tem qualidade excelente. Embora não tenha sido detectado contaminação no sistema aquífero por meio antrópico, alguns de seus poços possuem a presença natural, em pequenas concentrações, de íons de Ferro e Manganês dissolvidos, sendo que dois dentre os principais poços de captação, responsáveis pelo abastecimento do bairro Vila Alta, apresentam problemas relacionados ao excesso de ferro e manganês dissolvidos, gerando sérios transtornos para a população abastecida.

Segundo Moruzzi e Reali (2012), a presença de íons de ferro e manganês em águas destinadas ao abastecimento causam depósitos, incrustações e possibilitam o surgimento de bactérias ferruginosas nocivas que passam a habitar as redes de abastecimento, além de conferir gosto e odor, manchas em roupas, pisos, paredes e aparelhos sanitários e interferir em processos industriais.

De acordo com Carlson *et al.* (1997), uma variedade de efeitos negativos, incluindo coloração, sabor e problemas em canalizações, podem ser atribuídos a presença de ferro e manganês em

sistemas de abastecimento de água. A presença de ferro e manganês apesar de, aparentemente, não causar inconvenientes relacionados a saúde nas concentrações habitualmente encontradas, todavia podem comprometer a confiabilidade pública quanto ao sistema de tratamento.

Conforme o Anexo XX da Portaria nº 3.283, de 04 de dezembro de 2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), que dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, o parâmetro ferro possui valor máximo permitido de 0,3 mg/l, e o manganês de 0,1 mg/l. Os parâmetros ferro e manganês são permitidos em valores superiores aos apresentados, caso estejam complexados com produtos químicos comprovadamente de baixo risco à saúde, desde que as concentrações não ultrapassem 2,4 mg/l e 0,4 mg/l respectivamente (BRASIL, 2017).

A Vila Alta é um dos maiores bairros da cidade do Crato, com cerca de 10.217 habitantes, apresentando uma demanda de consumo de água, da ordem de 3.500 m³/dia, com per capita de 342 l/hab.dia. Demanda suprida pela utilização de dois poços tubulares profundos de grande vazão, PT-01 de 120 m de profundidade e vazão de 140 m³/h e PT-02 de 90 m de profundidade e vazão de 120m³/h, ambos localizados no próprio bairro. Os dois poços possuem águas com características ferro-manganosas, bastante ricas em concentrações de ferro e manganês dissolvidos, causando grandes transtornos para a população (figura 2), em função da oxidação e precipitação dos íons metálicos ao entrar e contato com o oxigênio e com produtos com ação oxidante tal como o cloro utilizado na desinfecção dessas águas e seus derivados encontrados em produtos de limpeza, conferindo uma coloração escura, responsável por manchar roupas e aparelhos sanitários, bem como causar danos para a companhia de abastecimento, devido a incrustações nas tubulações (figura 3).

Figura 2 – Água com elevada concentração de manganês, em imóvel localizado em ponta de rede.



Figura 3 – Tubulação completamente obstruída por depósito de manganês.



Segundo Hausman (1995), a origem desses elementos está associada aos processos de decomposição das rochas vulcânicas que possuem minerais ferro-magnesianos, os quais, quando quimicamente intemperizados acabam por fornecer os elementos de Fe e Mn para os solos e, conseqüentemente, para as águas que circulam por eles.

Segundo Martins Netto *et al.* (2007), no decorrer da operação normal dos poços, a água, no momento em que chega aos mesmos, sofre alterações temperatura, pressão e pH, as quais geram precipitações e corrosão com variações cuja intensidade depende da constituição hidroquímica da água. Tais incrustações muitas vezes não são prontamente percebidas, no entanto, com o passar do tempo o seu acúmulo acarreta o aparecimento de problemas referentes a redução da produção de água, além de alterações de qualidade.

Como forma de combater e controlar os problemas gerados pela presença destes minerais nas águas de poços, a muitos anos vem sendo utilizados em diversos países, assim como no Brasil, produtos à base de fosfatos (ortofosfatos ácidos são utilizados como desincrustantes de contato, enquanto que polifosfatos são utilizados como controladores). Segundo Diniz, Netto e Joroski (2002), desde 1995, ortofosfatos são usados em Estações de Tratamento de Água Superficial para melhorar os parâmetros de cor e turbidez, além controlar processos de corrosão e desincrustar redes de distribuição de água.

De acordo com Domenico e Schwartz (1998), enquanto que os ortofostatos possuem cadeias mais curtas na classe dos PO_4 . Os polifosfatos, por sua vez, apresentam cadeias mais longas, se comportando com bastante instabilidade em variações íngremes de pH, agindo melhor em

condições neutras, onde tem capacidade de solubilizar e complexar metais, criando condições de desincrustação lenta.

Nas águas subterrâneas, as técnicas de desincrustação de poços pela utilização de produtos à base de ortofosfatos ácidos vem ocorrendo de maneira muito satisfatória. De acordo com Diniz, Netto e Joroski (2002), em pH ácido, sua velocidade de solubilização de íons metálicos é muito mais rápida e efetiva em comparação com os polifosfatos, possibilitando a remoção das incrustações metálicas nos poços e na formação geológica.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo, apresentar as alternativas realizadas pela SAAEC, no tocante a contribuir para uma melhor gestão da qualidade da água fornecida aos nossos clientes, através de melhorias nos processos de tratamento, frente a necessidade de adequar os padrões de potabilidade e uma melhor aceitação por parte da população.

MATERIAL E MÉTODOS

Objetivando eliminar e ou reduzir os níveis de ferro e manganês na água de abastecimento do bairro Vila Alta, de modo a melhorar a qualidade da água ofertada e atender a legislação pertinente, optou-se pela desativação do poço PT-02 cujas concentrações dos respectivos minerais são bem mais elevadas, mantendo-se em funcionamento apenas o PT-01 cujas águas possuem melhor qualidade, sendo, teoricamente, mais fáceis de serem trabalhadas, motivo pelo qual este poço foi escolhido para receber a intervenção. Para tanto, para contornar o déficit de água gerado pela desativação do poço PT-02, se fez necessário aumentar o horário de funcionamento do poço PT-01 de 14 h/dia para 20 h/dia, resultando em um volume diário de 2.800 m³, havendo ainda a necessidade de remanejar os 700 m³ restantes da demanda total, de um bairro vizinho, cujos poços de abastecimento também necessitaram passar por um aumento no horário de trabalho.

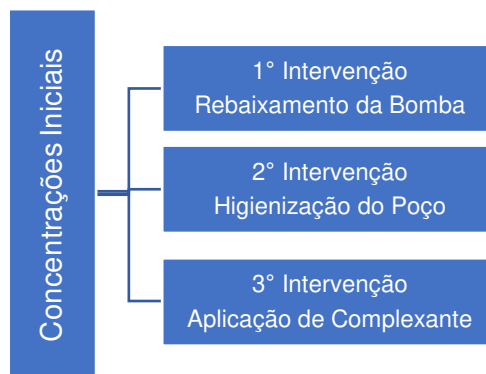
Para o poço PT-01 foram realizadas três intervenções, primeiro o rebaixamento da bomba da água, segundo a higienização química do poço e terceiro a aplicação controlada do complexante (Figura 4).

Como a SAAEC nunca havia realizado este tipo de tratamento em seus poços, o poço PT-01 funcionou também como piloto, visando a posterior utilização da tecnologia em outros poços de sua responsabilidade.

Antes e após as intervenções foram coletadas amostras de água no referido poço e encaminhadas a laboratório especializado para realização das análises de caracterização da qualidade quanto a presença de íons de ferro e manganês dissolvidos.

A primeira intervenção foi de natureza física, com o rebaixamento da bomba, como tentativa eventual de acessar água com menor concentração de ferro e manganês. Em seguida, de posse dos resultados das concentrações obtidas nas análises de cada íon metálico, após as duas primeiras intervenções, foi dosado o complexante para se aprimorar a qualidade da água ofertada.

Figura 4 – Fluxo das Intervenções realizadas.



1) Primeira intervenção:

Na primeira intervenção, foi realizado o rebaixamento da bomba de 33 m para 63 m de profundidade, alterando o ponto de captação d'água no poço para outro filtro e camada litológica. Foram utilizados para esse procedimento a adição de 5 tubos galvanizados de 4" e 6 m, 5 luvas galvanizadas de 4", 72 m de cabo flexível de 70 mm e um total de 12 horas de trabalho com 5 colaboradores. Foi investido nesse procedimento R\$ 4.142,00.

2) Segunda intervenção:

Na Higienização química do poço (figura 5), cavalete do poço foi desmontado e a tubulação de saída de água bombeada redirecionada de modo a toda a água bombeada para fora do poço, retornasse ao seu próprio interior, fazendo a água recircular através do trabalho realizado pela própria bomba do poço sob elevadas vazão e pressão. Sendo realizada então a adição dos agentes químicos.

Foram utilizados produtos químicos específicos para a limpeza de poços tubulares profundos, o Ferbax e o No Rust, os quais ambos possuem certificado de produto não tóxico do tipo DP 50 > 2.000mg/kg.

O Ferbax é um agente bactericida na forma líquida isento de cloro, com função de matar bactérias, composto por uma solução aquosa de peróxidos, umectantes, anticorrosivos e estabilizantes. Sua ação não se resume somente a matar as bactérias e ferro-bactérias, ele decompõe também toda a matéria orgânica (filme biológico) presente no poço, em seus filtros e

na formação geológica ao seu entorno, impedindo assim que possíveis bactérias permaneçam vivas e protegidas pela desidratação dos polissacarídeos do "filme", tendo desta forma uma ação mais eficaz e profunda, especialmente em infestações mais antigas em poços de sedimento com pré-filtro. Por ser isento de cloro, durante sua ação não há possibilidade de formação subprodutos secundários da desinfecção perigosos como os trihalometanos. Na ação foi recirculado para dentro do poço o produto por 5 horas, sendo utilizado 30 litros de produto na atividade.

O outro produto utilizado foi o No Rust, que é um desincrustante químico de poços à base de ortofosfatos ácidos na forma líquida, desenvolvido para redução de metais presentes na formação geológica, possibilitando assim, correção na alteração de qualidade de água por excesso de metais (ferro e manganês) além de propiciar recuperação de vazões. A aplicação do produto se deu por 2 horas de recirculação, utilizando 120 litros do produto. Após esse período, foi realizado o desligamento do sistema e o produto ficou dentro do poço por um período de 12 horas para ter sua ação aprimorada, voltando a ser recirculado por mais de 2 horas.

Esse processo de intervenção foi realizado através de contratação de empresa para realizar a expurgação e higienização do poço através de contrato no valor de R\$ 18.198,08.

Figura 5 – Higienização do poço com o Ferbax e No Rust.



Após esse período, iniciou-se o processo de bombeamento para retirada dos produtos e resíduos resultantes da limpeza química. A expurgação ocorreu por 14 horas, com monitoramento contínuo dos níveis de pH (figura 6). Nesse procedimento, o pH funcionou como parâmetro indicativo da presença ou ausência dos produtos químicos nas águas do poço, durante a limpeza o pH da água que em condições normais é de 6,8, caiu para cerca de 1,8 e a ação de expurgação ocorreu até a normalização do pH.

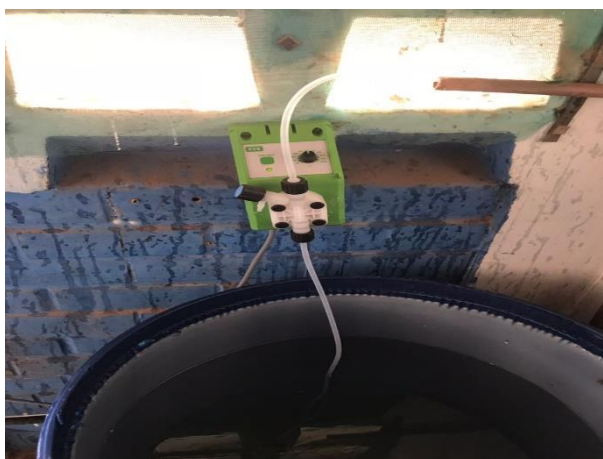
Figura 6 – Monitoramento contínuo do pH da água.



3) Terceira intervenção:

A terceira intervenção, que ocorre de forma contínua, é a aplicação (dosagem) do agente complexante não tóxico, uma solução de ortopolifosfato de sódio. O ortopolifosfato atua como sequestrante de metais e os mantém solúveis em suspensão, de maneira que impede a incrustação, além de formar uma camada protetora contra corrosão nas paredes de encanamentos. De modo geral, ele complexa a molécula de ferro e manganês evitando a sua precipitação através da oxidação quando entra em contato com o oxigênio, controlando dessa forma a cor e a turbidez da água, sendo que sua ação desincrustante recupera (limpa) as tubulações já incrustadas. Para aplicação do produto, utiliza-se uma concentração de 6 ml/m³ através de bomba dosadora (figura 7) com aplicação constante. Como o poço produz 140 m³/h e funciona aproximadamente 20h por dia, gera um volume de água 2.800 m³/dia, consumindo 16,8 litros de ortopolifosfato por dia. O ortopolifosfato possui o valor atual de R\$ 16,71/L, o que corresponde a um valor diário para manutenção de R\$ 280,72.

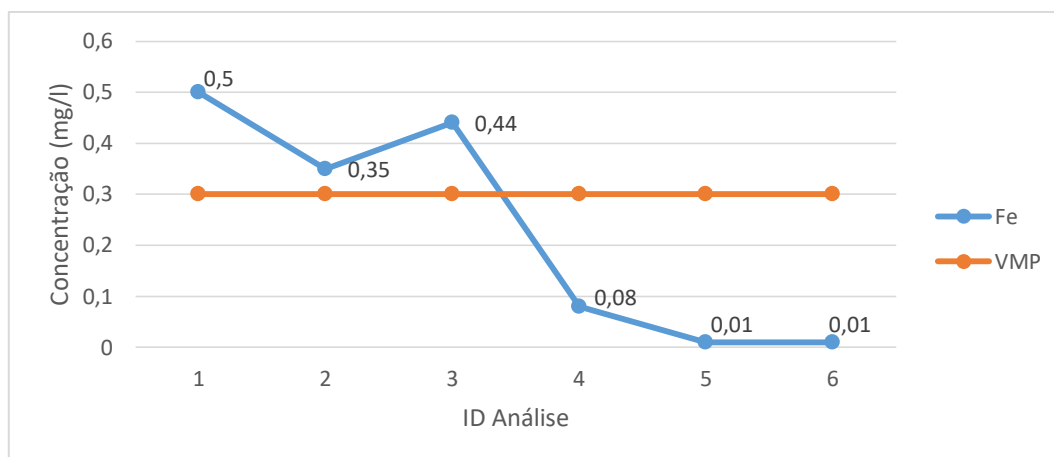
Figura 7 – Bomba dosadora de aplicação contínua do ortopolifosfato de sódio.



RESULTADOS/DISCUSSÃO

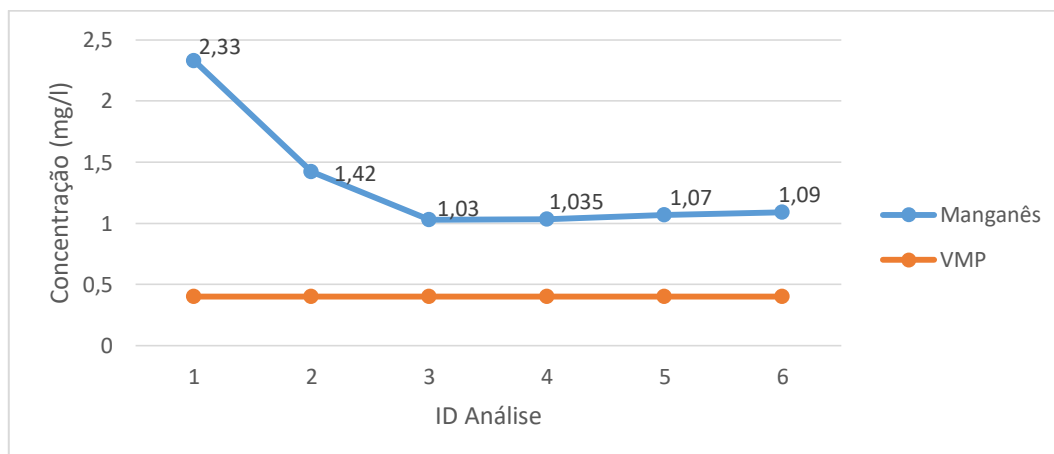
O resultado comparativo entre as análises realizadas antes e após as intervenções (gráfico 1) mostram uma redução bastante significativa nas concentrações de ferro nas águas do poço PT-01. As análises 1, 2 e 3 foram realizadas nos dias 15/03/2016, 22/06/2016 e 06/07/2016 respectivamente, antes das intervenções. Já as análises 4, 5 e 6 foram realizadas nos dias 23/04/2018, 24/05/2018 e 20/06/2018, respectivamente, após as intervenções. Vale salientar, que como foi realizado a aplicação de complexante, o Valor mínimo permitido de concentrações de ferro poderia chegar até 2,4 mg/l, tendo ficado com 0,3 mg/l e o ferro ter caído de 0,5 mg/l para 0,01 mg/l.

Gráfico 1 – Avaliação da Concentração de Ferro no Poço PT 01.



Já as análises comparativas das concentrações de manganês (gráfico 2) demonstraram uma redução significativa nas concentrações, contudo, ainda estão com valores acima do valor máximo permitido. Vale salientar que o uso de complexantes inibe a precipitação dos metais impedindo a alterações das características organolépticas, contudo, não remove as moléculas presentes na água. O VMP apresentado no gráfico foi baseado no valor máximo de concentração com a adição de complexante, e mesmo assim ainda ficou distante do aceitável. As análises 1, 2 e 3 foram realizadas nos dias 15/03/2016, 22/06/2016 e 06/07/2016, respectivamente, antes dos procedimentos. Já as análises 4, 5 e 6 foram realizadas 23/04/2018, 24/05/2018 e 20/06/2018, respectivamente, após os procedimentos. Tendo caído a concentração de manganês de 2,33 para 1,09 mg/l

Gráfico 2 – Avaliação da Concentração de Manganês no Poço PT 01.



Após as intervenções, apesar de se observar uma redução nas concentrações de manganês, essas ainda permanecerem em valores superiores ao valor máximo permitido, contudo, fez-se necessário efetuar uma diluição dessa água. O total da demanda de consumo de água no bairro é de 3.500 m³/dia, desses hoje 700 m³ (20,0%) são provenientes de águas de outro poço (poço São Raimundo) que através de adutora alimenta o reservatório de distribuição. O poço São Raimundo possui concentrações de Mg de 0,021 mg/l e através dessa diluição, a água para distribuição tem suas concentrações reduzidas.

Netto e Diniz (2002) avaliou a redução dos íons metálicos através da desincrustação química dos poços através do uso de Ortofosfatos isentos de metais pesados, combinado com agentes bactericidas no município de Ribeirão Preto/SP. Os resultados obtidos em dois poços avaliados os teores de ferro e manganês mostraram uma redução mais significativa nas concentrações de Fe, variando de 4,40 mg/l para 0,30 mg/l no primeiro poço e de 2,20 mg/l para 0,20 mg/l no segundo. Já as concentrações de manganês reduziram de 0,10mg/l para 0,09mg/l no primeiro poço e de 0,07mg/l para 0,06mg/l no segundo poço.

CONCLUSÃO

Diante do exposto, conclui-se que, as ações empregadas com o objetivo de melhoria da qualidade da água que abastece o bairro Vila Alta realizadas no referido poço através das intervenções de rebaixamento da bomba, limpeza química e controle de águas ferromangânicas por complexação, obteve resultados relevantes no que diz respeito à atenuação dos problemas que tais íons metálicos causavam aos moradores do referido bairro, principalmente quanto a redução da presença de ferro e quando se observa a redução das reclamações por parte da população.

Para o parâmetro manganês não conseguiu atender ao valor estipulado pela portaria nº 3.283, de 4 de dezembro de 2017 que deve ser no máximo igual 0,4 mg/l caso esteja complexado com produtos químicos comprovadamente de baixo risco à saúde, dessa forma, para obedecer a portaria, a diluição se mostrou como uma medida eficaz, contudo, deve ser ampliada.

É importante salientar que o investimento inicial de R\$ 22.340,08 nas duas primeiras intervenções e o valor de manutenção do complexante por meio da aplicação contínua do ortopolifosfato de sódio na ordem de R\$ 280,72 por dia, resultaram numa mudança significativa na qualidade da água, contudo, observa-se que as reclamações quando ocorrem, são resultantes de proprietários com imóveis em ponta de rede, onde estão sendo instaladas descargas, para retirada dos resíduos que estão continuamente sendo desincrustados pela ação do ortopolifosfato de sódio e que se acumulam nesses locais. Por fim, conclui-se que as intervenções são importantes contudo elevam o custo de fornecimento da água, sendo necessário o repasse para os clientes dessas intervenções de modo a manter a sustentabilidade e qualidade do sistema.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério Da Saúde. Portaria de Consolidação nº 3.283, de 4 de dezembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde, arts. 668 a 678 que versam sobre o Plano de Expansão da Radioterapia no Sistema Único de Saúde (SUS). Brasília, 5 dez. 2017. CAJAZEIRAS, C.C.A. 2007. Qualidade e Uso das Águas Subterrâneas e a Relação com Doenças de Veiculação Hídrica, Região de Crajubar/CE. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Dissertação de Mestrado, 54p
- CARLSON, K.H.; KNOCKE W.R.; GERTIG, K.R. Optimizing treatment through Fe and Mn fractionation. Journal AWWA, 1997. v.89, n.4, p.162-171.
- DINIZ, H. N.; NETTO, J. P. G. M.; JOROSKI, R. Novas Tecnologias de Desincrustação Química Utilizadas nos Poços Tubulares Profundos Do Saae De Capivari, SP. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2012, Florianópolis. Congresso [...]. [S. l.: s. n.], 2002. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22062/0>. Acesso em: 30 out. 2018.
- DOMENICO, P.³; SCHWARTZ, F.W. 1998. *Physical and Chemical hydrogeology*. 2a Ed., John Wiley & Sons, Nova York, 506 p.
- FEITOSA, F. A. C. e FILHO, J. M. (Coord.). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. 391 p.
- HAUSMAN, A. (1995). Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul, RS. Estudos Tecnológicos: Acta Geológica Leopoldensia, Série Mapas. Nº 2. P-1-127.

- MENDONÇA, L. A. R. Recursos hídricos na Chapada do Araripe - Ceará. 2001. 217f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2001.
- MENDONÇA, L. A. R. (2006). Comportamento dos Aquíferos do Cariri. Juazeiro do Norte, Ceará. Universidade Federal do Ceará. Centro de Tecnologia. 33 p.
- MONT´ALVERNE, A.A. F. *et al.* (1996) - Projeto Avaliação hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros. Recife. Fase I. 100p.
- MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. (2012). Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial – uma abordagem geral. *Rev. de Engenharia e Tecnologia*. V. 4, nº. 1, São Paulo.
- REBOUÇAS, A. C. (2008). Hidrogeologia: conceitos e aplicações/ organização e coordenação científica/ Fernando a. C. Feitosa... *Et al.* 3. Ed. Ver. E ampl. CPRM: labhid.
- REIS, P. G.; ALENCAR SILVA, F. M. de; OLIVEIRA SILVA, J. M. Eventos Extremos de Chuva na Porção a Barlavento da Chapada Do Araripe – Ce No Período Chuvoso De 2011. *Revista Geonorte*, [S.l.], v. 3, n. 8, p. 988– 999, out. 2012. ISSN 2237-1419. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2449>>. Acesso em: 19 jan. 2019.
- MACHADO, C. J.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; MENDES FILHO, J. (2007). Hydrogeochemical and flow modeling of aquitard percolation in the Cariri Valley-Northeast Brazil. *Aquat Geochem*. n.13, p. 187–196.
- MARTINS NETTO, J.P.; DINIZ, H.N., JOROSKI, R., Novas Tecnologias de Desincrustação Química Utilizadas dos Poços Tubulares Profundos do SAAE de Capivari, SP -. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis, ABAS/DNPM/UFSC-PPGEA, - 2002, CD-ROM
- MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e Remoção de Ferro e Manganês em Águas para Fins de Abastecimento Público ou Industrial: Uma Abordagem Geral. *Revista de Engenharia e Tecnologia*. v.4, 2012.
- NETTO, J. P. G. M.; DINIZ, H. Ne. Perspectivas de Redução de Íons Metálicos na Água Subterrânea a Partir de Processos de Desincrustação Química em Poços Tubulares Profundos - Estudo de um Caso em Ribeirão Preto, SP. *In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, 2002, Florianópolis/SC, 2002. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22862>. Acesso em: 29 nov. 2018.
- SOUZA, M. J. N.; OLIVEIRA, V. P. V. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semiárido do nordeste brasileiro. *Mercator – Revista de Geografia da UFC*, 2006, n 09, p. 85-102.