

PRODUÇÃO DE PELOTAS VÍTREAS PARA PURIFICAÇÃO DE ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO HUMANO

José Sebastião C. Vieira¹; João Darlon Alves do Ano²; Makson Rangel de M. Rodrigues³; Francisco Wanderson P. de Carvalho⁴; Beatriz B. da Silva⁵; Alexandre da C. Reis⁶; Raquel S. de Sousa⁷; Agostinho R. Pereira⁸; Luana de A. Cruz⁹

¹Instituto Federal do Maranhão-Campus São José de Ribamar e-mail:sebastiaocidreira@ifma.edu.br

²Instituto Federal do Maranhão-Campus Zé Doca e-mail:joaodarlon12317@gmail.com

³Instituto Federal do Maranhão-Campus Zé Doca e-mail:makson.rodrigues@ifma.edu.br

⁴Instituto Federal do Maranhão-Campus Zé Doca e-mail:Francisco.carvalho@ifma.edu.br

⁵Instituto Federal do Maranhão-Campus Zé Doca e-mail:barros.beatriz@acad.ifma.edu.br

⁶Instituto Federal do Maranhão-Campus Zé Doca e-mail:alexandredacr@gmail.co

⁷Instituto Federal do Maranhão-Campus Zé Doca e-mail:sousaraquel@acad.ifma.edu.br

⁸Instituto Federal do Maranhão-Campus Maracanã e-mail:agustinhorp@gmail.com

⁹Instituto Federal do Maranhão-Campus Zé Doca e-mail:luanaandrade@acad.ifma.edu.br

Palavras-Chave: Resíduo, Dopagem, Purificação.

INTRODUÇÃO

A água é um bem comum para toda a humanidade. Ela é um recurso natural de valor estratégico, econômico e social imprescindível à existência e bem-estar do homem e à manutenção dos ecossistemas na Terra. Por tanto, todo ser humano tem o direito de obtê-la em condições ótimas de potabilidade (LEAL, 2013).

O conhecimento do efeito das substâncias encontradas na composição química da água tem grande relevância nos casos de poluição hídrica. Alguns metais como o ferro (Fe) e manganês (Mn) são essenciais para o metabolismo de microrganismos, plantas, animais e do homem quando em baixas concentrações. Ao serem absorvidos em elevadas concentrações podem ocasionar efeitos extremamente nocivos (BATALHA, PARLATORE, 1977). A presença de substâncias inorgânicas e orgânicas em altas concentrações na água destinada para consumo humano pode causar instabilidade física, química e biológica na água de abastecimento acarretando efeitos adversos na qualidade da mesma até inclusive o crescimento de bactérias, formação de biofilmes na rede de distribuição, produção de compostos odoríferos, indicativo do metabolismo microbiano e corrosivo nas canalizações de distribuição (WESTPHALEN, CORÇÃO, BENETTI, 2016).

As doenças transmitidas pela água são causadas por microrganismos patogênicos de origem entérica, animal ou humana, as quais são transmitidas pelas rotas fecal e oral respectivamente. Os excrementos fecais de indivíduos contaminados em geral, são ingeridos através da água de consumo contaminada. Dentre as principais patogenias causadas pela ingestão de água contaminada destacam-se a cólera, a disenteria amebiana, a disenteria bacilar, a febre tifoide e paratifoide, a gastroenterite, a giardíase, a hepatite infecciosa, a leptospirose, a paralisia infantil e a salmonelose (AMARAL et al., 2003; LORENZI, 2004).

As tecnologias tradicionais empregadas no tratamento de águas para consumo humano em geral, são ineficientes no tocante à remoção de traços de metais solúveis. O ferro e o manganês na forma Fe^{2+} e de Mn^{2+} formam compostos solúveis em meio aquoso, porém, ao manter contato com um ambiente oxidante, se precipitam na forma de Fe^{3+} ou Mn^{4+} originando compostos insolúveis que conferem à água a coloração avermelhada indicativo da presença de precipitados de ferro e marrom escuro de precipitados de manganês, além disso, esses íons metálicos podem contribuir para a elevação da turbidez da água (APOLINÁRIO et al., 2018).

Na atualidade, diversas técnicas capazes de remover compostos de ferro presentes nas águas subterrâneas são empregadas visando sua potabilidade. Porém, o alto custo das matérias-primas e a necessidade de regeneração dos catalisadores inviabilizam sua utilização e remoção dos referidos íons (APOLINÁRIO et al., 2018). Dentre as alternativas para remoção de íons metálicos de águas de poços artesianos, destacam-se o emprego de pelotas vítreas originárias de vidrarias obsoletas (avariadas, quebradas), resultante das atividades experimentais de Laboratórios Didáticos de Química. O vidro moído e sinterizado ao atingir sua fase de transição vítrea podem permutar átomos de sua estrutura com íons metálicos presentes na água de abastecimento e dessa forma arrastá-los do meio aquoso tornando a água propícia para o consumo humano (RIBEIRO, 2014).

A implantação e implementação de um processo de baixo custo e que não necessite de reagentes químicos para sua regeneração é de fundamental importância no tratamento de águas destinadas para o consumo humano. Este trabalho de pesquisa científica teve o objetivo primordial de desenvolver um biofiltro a baixo custo, contendo pelotas vítreas impregnadas com o antimicrobiano, nitrato de prata (AgNO_3), capaz de remover íons de Fe^{2+} das águas de poços artesianos destinada ao abastecimento humano e reduzir os efeitos causados à saúde pública em decorrência da falta de saneamento básico e tratamento de esgoto em localidades de baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Além de atender as especificações da Portaria n° 888/21–MS nos quesitos físicos, químicos e microbiológicos de águas propícias para o consumo humano e prevenir doenças de veiculação hídrica e contribuir para melhorar a qualidade de vida da população.

MATERIAIS E MÉTODOS

As vidrarias danificadas nos Laboratórios Didáticos de Química e áreas afins no decurso de atividades experimentais do IFMA-Campus Zé Doca foram coletadas, selecionadas, submetidas à imersão em solução de hipoclorito de sódio a 20% , lavadas com água corrente e secas em estufa a 80° C durante 30 minutos.

Após a secagem, as vidrarias avariadas foram trituradas em um moinho de bolas e o pó resultante peneirado abaixo de 0,12 mm. O Vidro em forma de pó foi armazenado em frasco adequado e disponibilizado para o processo de formação de pelotas.

O pó oriundo da moagem das vidrarias avariadas foi misturado com solução de álcool polivinílico a 10% (aglutinante), e pequenas bolas de isopor (agregado) em proporções bem definidas para compor uma massa cimentícia. Dessa massa base formaram-se pequenas pelotas, que por sua vez foram sinterizadas em forno mufla a 1.200 °C durante 2 horas.

Posteriormente, foram disponibilizadas para o processo de impregnação do antimicrobiano, nitrato de prata, (AgNO_3). No interior do biofiltro (removedor de substâncias indesejáveis) foram inseridas as pelotas de vidros triturados abaixo de 0,12mm e sinterizadas a 1200°C para atingir a fase de transição vítrea visando à formação poros capazes de arrastar os íons metálicos ferruginosos e interferentes físico-químicos contidos na água a ser tratada. Além disso, as pelotas vítreas foram dopadas com o antimicrobiano nitrato de prata (AgNO_3) para eliminar e/ou redimir microrganismos patogênicos.

A Figura 1 ilustra o processo inicial de coleta e lavagens de vidrarias obsoletas oriundas das atividades experimentais do Laboratório didático de Química do IFMA-Campus Zé Doca, moagem e pelletização respectivamente.

Figura 1 – Etapas de produção de pelotas vítreas.



Legenda:

Figura 1a: Vidrarias resíduais oriundas das atividades experimentais, Figura 1b: Vidros triturados em moinho de bola e Figura 1c: Pelotas vítrea tratadas termicamente.

Fonte: O próprio autor (2023).

A partir da montagem de um dispositivo, deu-se startup ao tratamento de água destinada ao consumo humano. Amostras de água *in natura* foram coletadas de um poço artesiano desativado e inseridas no reservatório do dispositivo de tratamento de água.

A bomba peristáltica foi energizada e a água começou a circular continuamente do reservatório, passando pela bomba, pelo biofiltro e deste para o reservatório com auxílio da tubulação de PVC. O dispositivo permaneceu em operação durante 6 horas continuamente. Periodicamente, de 2 em 2 horas foram retiradas do dispositivo 2 L de água tratada. Os frascos foram lacrados, identificados e disponibilizados para os ensaios físicos, químicos e bacteriológicos. A Figura 2 faz referência ao processo de operacionalização de tratamento de água coletada em um poço artesiano desativado.

Figura 2 – Dispositivo construído para tratamento de água destinada para o consumo humano



Fonte: O próprio autor (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decurso do tratamento da água, os componentes adsorvidos concentraram-se na superfície externa das pelotas vítreas, evidenciando, que quanto maior for a superfície externa por unidade de massa maior será a capacidade adsorptiva do adsorvente. O processo adsorptivo das pelotas de vidro envolveu uma combinação entre forças relacionadas à adsorção física e química. Diversos são os fatores que podem interferir no processo do tratamento de água por intermédio dessas pelotas, tais como: a área superficial específica, as propriedades do adsorvente e do adsorvato, a temperatura do sistema, a natureza do solvente e o pH do meio (NASCIMENTO, 2014).

A Tabela 1 faz alusão aos resultados revelados para a mostra *in natura* e para as amostras tratadas ao longo de 6 horas de purificação das amostras de água de um poço artesiano desativado.

Tabela 1 - Amostras de água tratadas com pelotas vítreas

Parâmetros de controle de qualidade	Amostras				Especificação da Portaria 888/21-MS
	<i>In natura</i>	AM12	AM24	AM36	
Turbidez	0,04	0,05	0,03	0,03	1,0 uT
pH	5,74	7,21	7,04	7,22	6,0 a 9,5
Alcalinidade Total	40,00	60,00	60,00	60,00	mg.L ⁻¹
Dureza	54,00	70,00	74,00	67,00	300 mg.L ⁻¹
CO ₂	28,00	16,00	17,00	15,00	28,0 mg.L ⁻¹
Cloro total	0,10	0,30	0,10	0,20	0,2 a 2,0 mg.L ⁻¹
Cloretos	0,10	0,20	0,10	0,20	250 mg.L ⁻¹
Fluoretos	1,16	1,22	1,20	1,26	1,5 mg.L ⁻¹
Nitrato	8,74	0,33	0,23	0,1	10,0 mg.L ⁻¹

Fonte: O próprio autor (2023).

Na Tabela 1, observa-se que os parâmetros de controle de qualidade da amostra *in natura* estão em conformidade com a Portaria n° 888/21 do MS. A turbidez inicial era 0,04 uT (unidade nefelométrica de turbidez). Com o aumento do tempo de residência do tratamento da água do poço artesiano desativado ocorreu um pequeno aumento da turbidez alusivo à amostra tratada com o tempo de residência de 2 h atingindo 0,05 uT. Com a continuidade do tratamento notou-se claramente que a passagem da luz pela água aumentou ainda mais com a redução da turbidez para 0,03 uT.

A cor da água pode ser um indicativo do seu grau de poluição. Água com coloração intensa apresenta elevada demanda química (DQO) ou bioquímica de oxigênio (DBO), além de concentrações elevadas de sólidos dissolvidos. Inicialmente, a cor da água analisada já estava com um aspecto límpido e isento de impurezas pode-se inferir que as pelotas vítreas foram capazes de adsorver as substâncias (adsorvato) que estavam dissolvidas na água submetida ao tratamento.

O pH revelado para a amostra *in natura* foi de 5,74. Com o passar do tempo, apresentou pequeno aumento. Este parâmetro está extremamente ligado à alcalinidade total e à dureza total. Como a dureza total aumentou subte-se que a concentração de sais alcalinos (CaCO₃) presentes na água do poço artesiano também aumentou, ocasionando a elevação da alcalinidade total, uma vez que este parâmetro é indicativo da presença de íons OH⁻¹, cuja função é neutralizar ácidos (H⁺¹) em ambientes aquáticos. Daí o pH da água tratada ter ser mantido dentro da especificação do MS (6,0 a 9,5). Outro parâmetro que influencia na acidez de água despoluída (separada de sujidades) é o CO₂.

O CO₂ da água *in natura* indicou uma concentração de 28,0 mg. L⁻¹ atingindo o limite máximo exigido pela Portaria n° 888/21 MS. Observa-se na Tabela 1, que no decurso do tratamento da água em análise, o referido parâmetro foi reduzido e no final do processo permaneceu em 15 mg. L⁻¹. O CO₂ dissolvido na água é resultante da respiração animal, da decomposição da matéria orgânica e de certos minerais e, acabam influenciando na acidez da água e certamente contribuiu para a manutenção do pH da água na faixa de 7,04-7,22 no final do tratamento.

O íon cloreto (Cl⁻¹) é um dos ânions inorgânicos enormemente encontrados em águas naturais e residuárias. O sabor de uma água tratada depende da concentração do íon cloreto e da sua composição química. Quando determinada água é detentora de cátions como o cálcio (Ca⁺²) ou magnésio (Mg⁺²) pode apresentar sabor salino ou quando a concentração de cloreto for superior a 1.000 mg. L⁻¹. A água do poço artesiano desativado em análise revelou Cl⁻¹: 0,10 mg. L⁻¹, no decorrer do tratamento da referida água houve um leve aumento, atingindo a

concentração final de 0,20 mg. L⁻¹. As amostras da água permaneceram insípidas, portanto, isentas de sabor salino detectável.

Durante o tratamento da água do poço artesiano foi detectado um teor significativo elevado para o parâmetro nitrato (NO₃⁻¹) na ordem de 8,74 mg. L⁻¹ e com o decorrer do tratamento com as pelotas vítreas baixou significativamente atingindo a faixa de 0,10 -0,33 mg. L⁻¹ no final do tratamento. Sua presença em águas destinadas para o abastecimento humano é indicativa da presença de microrganismos patógenos. Este fato corrobora com os resultados revelados durante a análise bacteriológica que identificou a presença de colônias de bactérias do grupo coliforme total e fecal entre os ensaios presuntivos e confirmativos pelo método do ensaio múltiplo, em um total de 96 horas de análise.

A Tabela 2 ilustra os resultados da caracterização bacteriológica revelada ao longo da etapa de tratamento da água do poço artesiano desativado.

Tabela – Resultados microbiológicos das amostras de água de poço artesiano

Parâmetros microbiológicos	Amostras				Especificação da Portaria 888/21-MS
	<i>In natura</i>	AM12	AM24	AM36	
Bactérias totais	246	1	0	1	≤ 200 UFC/100 mL
Leveduras	23	1	0	1	≤ 10 UFC/100 mL
Enterococcus	5	0	0	0	Ausente
Coliformes totais	66	0	0	0	Ausente
Coliformes termotolerantes	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Fonte: O próprio autor (2023).

A partir da análise microbiológica das amostras coletadas com 2, 4 e 6 horas de purificação da água com o adsorvente ativado quimicamente com o AgNO₃ observou-se que durante os ensaios bacteriológicos, pelo método de tubos múltiplos entre os testes presuntivos e confirmativos não foram detectadas colônias de bactérias do grupo coliforme total e fecal. Tais resultados foram atribuídos à capacidade antimicrobiana dos íons de Ag⁺ impregnados na superfície porosa do material adsorvente sintetizado a partir do de vidrarias obsoletas. Coube ao pó de vidro eliminar os interferentes físicos e químicos com destaque para os íons de ferro tornando-a um excelente adsorvente de compostos indesejáveis presentes nas amostras da água do poço analisado.

Quanto à capacidade adsortiva de íons ferruginosos, foi adicionada 0,25 mg de cloreto de ferro (FeCl₃) no reservatório contendo água do poço artesiano (7 L) . No decurso de 6 horas de operação a cada 2hr foi retirada do dispositivo uma amostra para determinação quantitativa de íons ferruginosos. A Tabela 3 mostra os resultados revelados no decurso da determinação dos referidos íons. Os ensaios foram realizados em triplicata totalizando 12 análises.

Tabela 1. Determinação de íons ferruginosos em água de poço artesiano

Amostra in natura (mg. L ⁻¹)	Teor de íons ferruginosos presentes nas amostras analisada (mg.L ⁻¹)		
	AM12	AM24	AM36
0,56	0,13	0,14	0,13

Fonte: Próprio autor (2023).

Na Tabela 3 observam-se que inicialmente a amostra de água in natura continha uma concentração de íons de ferro em torno $0,56 \text{ mg.L}^{-1}$. Tal valor é superior ao limite máximo especificado pela Portaria de nº 888/21-MS, que é de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$. No decurso de 6 horas de tratamento contínuo nota-se que ocorreu a desferriização da água com uma redução significativa na faixa de 23-25%. Tais valores nos permitiram afirmar que o biofiltro contendo pelotas vítreas sinterizadas é capaz de adsorver íons ferruginosos.

CONCLUSÃO

A síntese de pelotas vítreas com propriedades porosas, produzido a partir do pó de vidrarias avariadas oriundas das atividades experimentais do Laboratório de Química e ativadas quimicamente com nitrato de prata, indicou elevado potencial de aplicabilidade no tratamento de água destinada para o abastecimento humano.

Os resultados indicaram que as referidas pelotas desempenharam um excelente papel em termos físicos e químicos, uma vez que a água tratada permaneceu dentro das especificações da Portaria nº 888/21-MS. No que concerne aos parâmetros microbiológicos, as pelotas vítreas ativadas com o antimicrobiano, nitrato de prata, foram eficazes, pois os ensaios microbiológicos não revelaram a presença de microrganismos patogênicos nas amostras tratadas.

A produção de pelotas vítreas dopadas com íons Ag^+ apresentaram vantagens no tocante ao baixo custo de produção, uma vez que a utilização de resíduos oriundos das atividades experimentais tem respaldo científico-tecnológico e inovador, além de contribuir econômico e ambientalmente para atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e, acima de tudo, melhorar a qualidade da água destinada ao consumo humano, conforme especifica a Portaria nº 888/21-MS, ajudando na purificação física, química e bacteriológica da água, prevenindo doenças de veiculação hídrica e contribuindo para melhorar a qualidade de vida da população.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte concedido pela FAPEMA, pela PRPGI-IFMA, pelo Campus Zé Doca e pelo GPAQS para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa científica.

REFERÊNCIAS

AMARAL, L. A.; NADER FILHO, A.; POSSINI JÚNIOR, O. D.; FERREIRA, F. L. A.; BARROS, L. S. S. **Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais**. Rev. Saúde Pública, vol. 37, nr. 4, p'510-514, 2003.

APOLINÁRIO, M. F.; MEIRELES, D. J. S.; SANTANA, H. F. **Estudo da remoção de íons de ferro e manganês da água utilizando peróxido de hidrogênio como agente oxidante**. The Journal of Engineering and Exact Sciences, vol. 4, n.2, 2018.

BATALHA, B.H.L.; PARLATORE, A. C. **Controle de qualidade da água para consumo humano**, São Paulo: Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, p.198, 1977.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília, p. 281. 2006. Disponível em:

<https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf>.
Acesso em: 17 dez 2023.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE E GABINETE DO MINISTRO. **Procedimento de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Brasília (DF), 2021. Portaria GM/MS n. 888 de 04 de maio de 2021. Disponível em: <gov.br/portaria-gm/ms-n-888>. Acesso em: 30 mar. 2022.

BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos.** Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.** – Brasília: Funasa, 2014.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** 3ª edição. São Carlos-SP: LDIBE, 2017.

DI BERNARDO, L.; BOTARI, A; SABOGAL, P. L. P. **Uso de modelação matemática para projeto de câmaras mecanizadas de floculação** em série em estações de tratamento de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, p. 82-90, 2005.

LEAL, W. P. **Remoção do Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) por Adsorção em Carvão Ativado Pulverizado Associado ao Tratamento Convencional de Água para Consumo Humano.** Vitória, 2013. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

LORENZI, E. S. **Vidros Bactericidas no Tratamento Microbiológico de Água.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina- Florianópolis, 2004.

RIBEIRO, G. V. **Obtenção de carvão ativado impregnado com prata para fins bactericidas.** Santa Maria (RS), 2014, 48f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (RS), 2014.

WESTPHALEN, A. P. C.; CORÇÃO, G.; BENETTI, A. D. **Utilização de carvão ativado biologicamente para o tratamento de água para o consumo humano.** *Revista de literatura*, vol. 21, n. 3, p. 425-436. 2016.