

ESTUDO COMPARATIVO DA PERDA DE CARGA EM UM REATOR DE LEITO FIXO BI-FLUXO CONTÍNUO (RLF-BFC) EM ESCALA REAL E PILOTO EMPREGADO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO

Alcione Aparecida de Almeida Alves ⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pelo Centro Universitário Dinâmica das Cataratas (UDC), Mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Júlia Villela Toledo Ferreira ⁽²⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

Stefani Sulzbacher Souza ⁽³⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Milena Santiago Chiquim ⁽⁴⁾

Engenheira Química pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai (URI), mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis pela Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS)

Aline Raquel Müller Tones ⁽⁵⁾

Engenheira Ambiental pela Faculdade União das Américas (UNIAMERICA), Mestre em Tecnologias Ambientais Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Medianeira (UTFPR) e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

Endereço ⁽¹⁾: Rua Jacob Reinaldo Haupenthal, 1580, São Pedro, Cerro Largo, Rio Grande do Sul, Brasil.
CEP: 97900-000- Tel: +55 (55) 8102-2834- - e-mail: alcione.almeida@uffs.edu.br.

RESUMO

O tratamento de água para fins de atingir padrões de potabilidade tem demandado de tecnologias capazes de remover os mais distintos poluentes presentes na água, com isso, observa-se uma crescente quanto à utilização de processos de tratamento combinados. Dentre estes, a filtração seguida de adsorção. Entretanto, esse processo apresenta como limitação a colmatação do leito filtrante/adsorvente e conseqüentemente é suscetível à perda de carga ao longo do processo de tratamento. Diante disso, esta pesquisa objetivou avaliar de modo comparativo a perda de carga ocorrida durante a operação de um Reator de Leito Fixo Bi-Fluxo contínuo (RLF-BFC) em escala piloto e real, ambos desenvolvidos por Alves (2018), os quais contemplam o processo de filtração (areia) e adsorção (carvão ativado granular) para aplicação no tratamento de água. O monitoramento da perda de carga foi realizado por meio de fitas métricas alocadas no interior dos leitos. Os resultados demonstraram que a perda de carga máxima foi atingida após 2 h 20 min de operação do RLF- BFC piloto, enquanto no RLF-BFC real não foi atingida. Os sistemas apresentaram comportamentos semelhantes considerando o parâmetro referido.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água, estudo comparativo, perda de carga.

INTRODUÇÃO

A operação unitária de adsorção tem sido largamente estudada e aplicada para produção de água potável e a sua aplicação utilizando carvão ativado granular (CAG) como material adsorvente em leito fixo é considerada eficaz devido a afinidade do CAG por uma ampla gama de compostos e a sua grande área de superfície interna (EBRAHIMZADEH *et al.*, 2022). Os adsorventes de carvão ativado (CA) destacam-se por serem altamente porosos e apresentarem diferentes tamanhos de poros, desde rachaduras visíveis até fendas de dimensões moleculares (JEIRANI, HUI NIU; SOLTAN, 2016)

De acordo com Rocha e Pereira (2019), o processo de adsorção é uma das operações que pode ser realizada em leito fixo, permitindo a redução da concentração de algum componente no fluido de saída do leito quando comparada a concentração presente no fluido de entrada. Salienta-se que quanto maior o tamanho do leito ou menor o tamanho dos grãos do recheio, maior será a área superficial e conseqüentemente, mais material será adsorvido.

Para obtenção de melhor eficiência, estudos que combinam a adsorção em CA à filtração rápida têm sido

desenvolvidos e têm demonstrado melhores resultados, por exemplo, no tratamento de água potável do que tratamentos que contemplam apenas a adsorção (EBRAHIMZADEH *et al.*, 2022). Conforme destaca Alves *et al.* (2019), um limitante da utilização do carvão ativado granular (CAG) é a sua interação com micropoluentes orgânicos, o que acarreta o fenômeno denominado colmatação, reduzindo assim, o tempo de uso do adsorvente em um leito fixo. Devido a esse fator, uma alternativa promissora é a combinação desse processo com a filtração rápida em areia.

No entanto, durante o processo em leitos, um dos fatores a ser considerado para efetividade do sistema é a perda de carga, uma vez que se utilizam materiais granulares para filtração e/ou adsorção. Em síntese, o valor da perda de carga aumenta à medida que o filtro coleta os sólidos, limitando ao longo do tempo, o funcionamento de um filtro (HOWE *et al.*, 2016). A perda de carga é um limitante da efetividade desse processo, pois quando se apresenta em valores elevados gera maior diferença de pressão entre a entrada e a saída do filtro, elevando a pressão exercida pelo fluido no sentido de provocar a passagem dos contaminantes no interior do leito, o que compromete mais rapidamente a operação de filtração (PIZZOLO, 2015).

Nesse sentido, este estudo teve como objetivo analisar em um estudo comparativo o comportamento da perda de carga durante a operação de um sistema de filtração rápida seguida de adsorção por CAG em um Reator de Leito Fixo Bi-Fluxo (RLF-BFC)¹ em escala piloto e um RLF-BFC e escala real.

OBJETIVO

Avaliar por meio de um estudo comparativo a perda de carga durante a operação de um Reator de Leito Fixo Bi-Fluxo (RLF-BFC) em escala piloto e um RLF-BFC em escala real.

METODOLOGIA

REATOR DE LEITO FIXO BI-FLUXO CONTÍNUO (RLF-BFC) EM ESCALA PILOTO

O RLF-BFC em escala piloto foi construído considerando o estudo realizado por Alves *et al.* (2018)¹, bem como a ABNT NBR n° 12.216/1992 que trata de projetos de Estação de Tratamento de Água (ETA) para abastecimento público, considerando filtros rápidos. O sistema consiste em um leito filtrante de areia com altura de 15 cm e um leito filtrante/adsorvente com 25 cm de altura, constituído de CAG comercial oriundo do epicarpo do babaçu (*Orbignya phalerata*) e preparado conforme o descrito por Alves *et al.* (2018). Ambos os leitos contavam com uma camada suporte de seixos rolados de tamanho efetivo entre 0,02 e 0,05 m com altura de 0,25 m no leito filtrante e de 0,13 m no leito adsorvente.

Para a operacionalização utilizou-se água coletada em um poço de captação e abastecimento do meio rural no município de Cerro Largo – RS no mês de março de 2022.

O sistema operou conforme o descrito a seguir: a água bruta (AB) armazenada em um reservatório de 200 L era encaminhada ao leito filtrante de areia operando em fluxo descendente. Após atingir a camada suporte, a água tratada por filtração (ATF) passava para o meio adsorvente de CAG operando em fluxo ascendente até a coleta da água tratada por filtração e adsorção (ATF-A). O RLF-BFC piloto operou com taxa de aplicação superficial (TAS) $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, conforme a ABNT NBR n° 12.216/92.

Para o monitoramento da perda de carga dos leitos filtrante e filtrante/adsorvente, foram acopladas fitas métricas no interior dos leitos. A verificação da perda de carga foi realizada a cada 10 minutos de operação.

REATOR DE LEITO FIXO BI-FLUXO (RLF-BFC) EM ESCALA REAL

O RLF-BFC em escala real foi confeccionado, dimensionado e construído com finalidade de auxiliar e contribuir para potabilização de água de abastecimento público em meio rural, incluindo a remoção de micropoluentes por compostos agrotóxicos, seguindo o descrito por Alves (2018)¹. O reator foi construído de material inox e considerou a ABNT NBR n° 12.216/1992, o qual direciona em relação às condicionantes para elaboração de projeto de ETA destinada à produção de água potável para abastecimento público. O sistema contempla o processo de filtração em leito de areia com altura de 0,25 m e o processo de filtração/adsorção em um leito com altura de 0,12 m de CAG comercial proveniente do epicarpo do babaçu (*Orbignya phalerata*) e ativado fisicamente por vapor d'água, seguindo as informações do fabricante. Ambos os leitos foram alocados acima de uma camada constituída de seixos rolados de tamanho efetivo entre 0,05 m e 0,13 m, com altura de 0,25 m no leito filtrante e de 0,13 m no leito adsorvente.

Para realizar a operação do RLF-BFC em escala real, foram utilizados em média 400 L de água bruta coletada de um poço de água subterrânea localizado na cidade de Cerro Largo/RS fortificada com glifosato+AMPA na concentração máxima de quatro vezes o valor máximo permitido (VMP) estipulado pela Portaria n° 888/21 do MS.

O reator operou de modo contínuo com TAS igual a $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ da seguinte maneira: a AB armazenada em um reservatório de 200 L era encaminhada ao leito filtrante em fluxo descendente. Após atingir a camada suporte, a ATF passava para o leito adsorvente de CAG operando em sentido ascendente até a coleta da água tratada por filtração e adsorção (ATF-A).

¹ Alves *et al.* (2018). Chamada Universal MCTIC/CNPq n°28/2018

O monitoramento da perda de carga foi realizado por meio de fitas métricas acopladas no interior dos leitos, com amostragens a cada 20 minutos de operação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do estudo em questão, geraram-se tabelas e Figuras para facilitar a análise dos dados. Para comparação, foi analisado o mesmo número de amostragens. Os resultados de perda de carga do RLF-BFC em escala piloto estão apresentados na Tabela 1 e os resultados do RLF-BFC em escala real estão evidenciados na Tabela 2.

Tabela 1 – Perda de carga no RLF-BFC piloto.

| Amostragem | Perda de carga leito filtrante (cm) | Perda de carga leito filtrante/adsorvente (cm) | Tempo de operação (min) |
|------------|-------------------------------------|--|-------------------------|
| 0 | 16 | 11 | 40 |
| 1 | 20 | 15 | 50 |
| 2 | 20 | 15 | 60 |
| 3 | 20 | 15 | 70 |
| 4 | 20 | 15 | 80 |
| 5 | 20 | 15 | 90 |
| 6 | 21 | 15 | 100 |
| 7 | 21 | 15 | 110 |
| 8 | 21 | 15 | 120 |
| 9 | 21 | 15 | 130 |
| 10 | 21 | 15 | 140 |

Fonte: Os autores (2023).

Tabela 2 – Perda de carga no RLF-BFC real.

| Amostragem | Perda de carga leito filtrante (cm) | Perda de carga leito filtrante/adsorvente (cm) | Tempo de operação (min) |
|------------|-------------------------------------|--|-------------------------|
| 0 | 7,5 | 18,6 | 0 |
| 1 | 19,5 | 18,6 | 20 |
| 2 | 27 | 18,6 | 40 |
| 3 | 28,2 | 18,6 | 60 |
| 4 | 28,2 | 18,6 | 80 |
| 5 | 29,6 | 18,6 | 100 |
| 6 | 29,7 | 18,6 | 120 |
| 7 | 28,7 | 18,6 | 140 |
| 8 | 27,5 | 18,6 | 160 |
| 9 | 24,6 | 18,6 | 180 |
| 10 | 26,2 | 18,6 | 200 |

Fonte: Os autores (2023).

Conforme apresentado na Tabela 1, os valores de perda de carga no RLF-BFC em escala piloto variaram entre 11 e 21 cm, considerando o leito filtrante/adsorvente (CAG) e o leito filtrante (areia).

Quanto ao leito filtrante, notou-se que em 40 min de operação, a perda de carga correspondeu a 16 cm e atingiu 21 cm em 1 h 40 min, se mantendo constante até o final da operação. No leito filtrante/adsorvente, notou-se que nos primeiros 40 min de operação do RLF-BFC ocorreu uma perda de carga igual a 11 cm e logo após, aos 50 min atingiu o valor de 15 cm e se manteve constante até o final da operação.

De acordo com o exposto na Tabela 2, foi possível verificar que a perda de carga no RLF-BFC em escala real variou de 7,5 a 26,2 considerando os dois leitos.

Em relação ao leito filtrante, após 40 min de operação a perda de carga verificada foi de 27 cm, entretanto não apresentou estabilidade durante os 3 h e 20 min de operação considerados. Quanto ao leito filtrante/adsorvente, aos 40 min de operação a perda de carga verificada foi de 18,6 cm e se manteve constante durante o período

considerado de operação. Nos dois leitos, o RLF-BFC real não atingiu a perda de carga máxima, fato que ocorreria em um maior tempo de operação e, conseqüentemente, maior volume de água tratada.

No entanto, apesar da operação do RLF-BFC real não ter alcançado a saturação dos leitos, verificou-se que quanto ao leito filtrante houve aumento da perda de carga ao longo do tempo analisado. Notou-se um aumento de 18,7 cm considerando a perda de carga inicial no leito e a final na última amostragem. Do mesmo modo, esse comportamento foi o observado também no RLF-BFC piloto, o qual apresentou um acréscimo de 5 cm na perda de carga no leito filtrante considerando os valores iniciais e finais. Rocha e Pereira (2019) observaram um desempenho semelhante em seu estudo de análise da perda de carga e da porosidade em leito fixo e destacam que durante o escoamento a porosidade dinâmica do leito aumenta em relação à estática, aumentando proporcionalmente a perda de carga. No tocante ao leito adsorvente, notou-se que tanto no RLF-BFC piloto quanto no real não houve grande variação na perda de carga durante o tempo de operação analisado, tendendo, nos dois casos, a breve estabilidade.

Para melhor visualização, os Figuras 1 e 2 gerados apresentam a relação de perda de carga e tempo de operação do RLF-BFC escala piloto e real, respectivamente.

Figura 1 - Perda de carga do RLF-BFC piloto

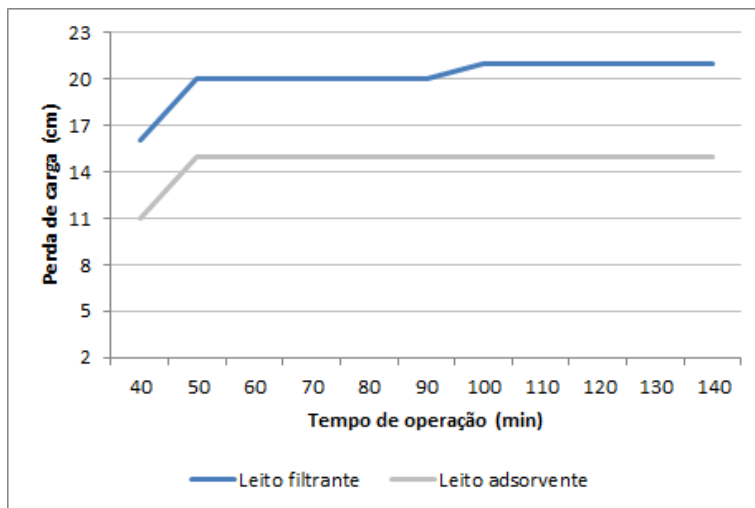
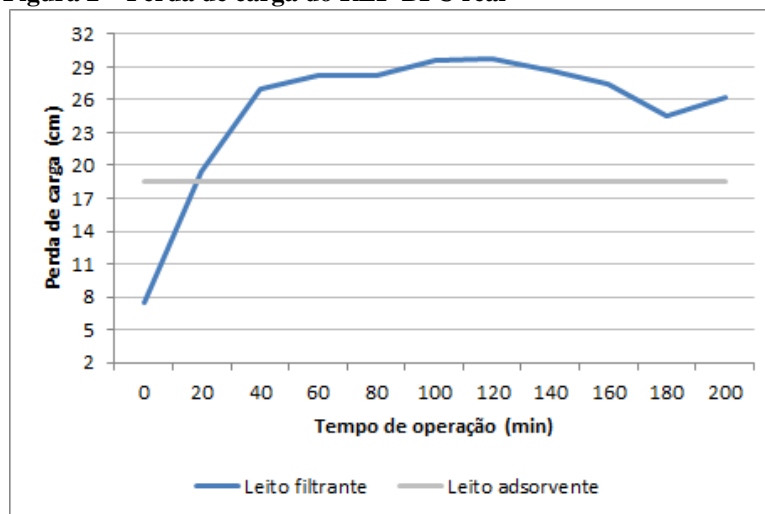


Figura 2 – Perda de carga do RLF-BFC real



Fonte: Os autores (2023).

Observa-se na Figura 1 que a perda de carga dos leitos filtrante e filtrante/adsorvente do RLF-BFC piloto apresentou maior similaridade no comportamento quando comparada a perda de carga dos mesmos leitos do RLF-BFC real, exposta na Figura 2. No entanto, nas duas escalas observaram-se valores de perda de carga maiores e uma tendência de aumento no leito filtrante do que no leito filtrante/adsorvente. Esse fator se justifica de acordo com Howe *et. al.* (2016) uma vez que a perda de carga através do leito do filtro aumenta à medida que o filtro retém sólidos. Dessa forma, pode-se inferir que os leitos desempenharam sua função principal que é a retenção de partículas presentes na água.

CONCLUSÕES

Considerando o objetivo proposto e os resultados obtidos, pode-se concluir que a perda de carga máxima observada no RLF-BFC em escala piloto ocorreu após 2 h 20 min de operação e que este foi capaz de reter uma porção das partículas presentes na água de estudo, fato evidenciado pelo aumento gradual da perda de carga.

Em relação ao RLF-BFC real, durante o tempo de operacionalização considerado os leitos não apresentaram a máxima de perda de carga, ou seja, não alcançaram o ponto máximo de colmatção. Para um estudo mais robusto será necessário operar o reator até que fosse atingida a saturação dos leitos, o que acarretaria em um maior volume de água tratada.

No entanto, verificou-se comportamento semelhante quanto à perda de carga no RLF-BFC piloto e no real, evidenciando a semelhança entre seus desempenhos e cumprindo a função de reter sólidos presentes no fluido de tratamento.

Por fim, cabe ressaltar que o RLF-BFC está em fase de estudos de viabilidade de aplicação e de melhor e maior conhecimento acerca de sua aplicabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, A. A. A.; DERVANOSKI, A.; TONES, A. R. M.; NONATO, T. C. M.; RUIZ, G. L. O.; SENS, M. L. . Removal of carbamate insecticides from drinking water through a fixed bed column of granular activated carbon: a thermodynamic, kinetic and equilibrium study of multicomponent adsorption. *Desalination and Water Treatment*, v. 108, p. 171-182, 2018.
2. ALVES, A. A. A.; RUIZ, G. L. O.; NONATO, T. C. M.; PELISSARI, C.; DERVANOSKI, A.; SENS, M. L.. Combined microfiltration and adsorption process applied to public water supply treatment: water quality influence on pesticides removal. *Environmental Technology*, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1567605>. Acesso em: 04 de jun. 2023.
3. EBRAHIMZADEH, S.; WOLS, B.; AZZELLINO, A.; KRAMER, F.; VAN DER HOEK, J. P. Removal of organic micropollutants in a drinking water treatment plant by powdered activated carbon followed by rapid sand filtration. *Journal of Water Process Engineering*, 2022, v. 47. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102792>. Acesso em: 04 de jun. 2023.
4. HOWE, K. J.; HAND, D. W.; CRITTENDEN, J. C.; TRUSSELL, R. R.; TCHOBANOGLIOUS, G. *Princípios de Tratamento de Água*. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2016.
5. JEIRANI, Z.; HUI N., Catherine; SOLTAN, J. Adsorption of emerging pollutants on activated carbon. *Chemical Engineering*, 2016, 33(5). Disponível em: <https://doi.org/10.1515/revce-2016-0027>. Acesso em: 04 de jun. 2023.
6. PIZZOLO, J. P. Avaliação do transporte de soluto e de correlações para estimativa de perda de carga em filtração descendente com leito granular. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2015.

7. ROCHA, E.C.L.; PEREIRA, P.R.A. Análise da perda de carga e da porosidade me leito fixo. Brazilian Technology Symposium, 2019, v. 1. Disponível em: <<https://lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-19/Papers/204.pdf>>. Acesso em: 04 de jun. 2023.