

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

DESEMPENHO DE FILTROS LENTOS COM MEIO FILTRANTE DE MISTURAS DE AREIA E MATERIAIS SUSTENTÁVEIS

Samara Tavares dos Santos ¹

Anderson de Jesus Lima ¹

* Denise Conceição de Gois Santos Michelin ¹

PERFORMANCE OF SLOW FILTERS WITH FILTER MEDIA MADE OF MIXTURES OF SAND AND SUSTAINABLE MATERIALS

Recibido el 14 de marzo de 2022. Aceptado el 7 de junio de 2022

Abstract

Slow filters are easy to build, operate and maintain, making them suitable for water treatment also in small communities. Although the filter media commonly used is sand, studies suggest its full or partial replacement by unconventional materials, as long as it maintains efficiency in water treatment. Thus, the objective of this work was to verify the efficiency of slow filters using sustainable materials coconut fibers and ceramic residue mixed with sand as a filter medium. For this, three slow filters with different filter media were set up on a laboratory scale, they are: sand mixed with ceramic residue (Filter 1), sand mixed with coconut fibers (Filter 2), and conventional sand filter (Filter 3). The filters operated with a downward flow at a filtration rate of 3 m³/m².d (± 10%) continuously, fed with groundwater with the addition of WTP sludge. Raw water and water treated by filters were analyzed according to the quality standards of current legislation. The filters were also compared with each other in terms of efficiency, to verify which one presented the best performance in the treatment. Although the three models of filters analyzed had similar performances and brought benefits to the treatment of water contaminated with total and thermotolerant coliforms, Filter 1 showed greater efficiency in removing the physical-chemical parameters turbidity and apparent color, Filter 2 showed greater efficiency only in removing of thermotolerant coliforms and Filter 3 in the removal of total dissolved solids. Therefore, in cases where ceramic residue or coconut fiber is available, it is suggested that these materials are mixed with sand for better performance of the filter media.

Keywords: slow filtration, unconventional materials, coconut fibers, ceramic residue.

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, Brasil.

*Autor correspondente: Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia Civil. Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, Av. Marechal Rondon, s/n, Bairro Jardim Rosa Elze São Cristóvão, Sergipe, Brasil CEP 49100-000. Email: denise_gois@yahoo.com.br

Resumo

Os filtros lentos são de fácil construção, operação e manutenção, tornando-se adequados para o tratamento de água também em pequenas comunidades. Apesar do meio filtrante comumente empregado ser de areia, estudos sugerem a substituição integral ou parcial da mesma por materiais não convencionais, desde que mantenha a eficiência no tratamento de água. Assim, o objetivo desse trabalho foi verificar a eficiência de filtros lentos utilizando os materiais sustentáveis fibras de coco e resíduo cerâmico misturados à areia como meio filtrante. Para isso, montou-se em escala laboratorial, três filtros lentos com diferentes meios filtrantes, são eles: areia misturada com resíduo cerâmico (Filtro 1), areia misturada com fibras de coco (Filtro 2) e filtro convencional de areia (Filtro 3). Os filtros operaram com fluxo descendente à taxa de filtração de 3 m³/m².dia (± 10%) de forma contínua, alimentados com água subterrânea com adição de lodo de ETA. A água bruta e a água tratada pelos filtros foram analisadas quanto aos padrões de qualidade da legislação vigente. Os filtros também foram comparados entre si em termos de eficiência, para verificar qual deles apresentou melhor desempenho no tratamento. Embora os três modelos de filtros analisados tiveram desempenhos semelhantes e trouxeram benefícios ao tratamento água contaminada com coliformes totais e termotolerantes, o Filtro 1 apresentou maior eficiência na remoção dos parâmetros físico-químicos turbidez e cor aparente, o Filtro 2 apresentou maior eficiência apenas na remoção de coliformes termotolerantes e o Filtro 3 na remoção de sólidos dissolvidos totais. Portanto, nos casos em que houver disponibilidade de resíduo cerâmico ou fibra de coco, é indicado que estes materiais sejam misturados à areia para melhor desempenho dos meios filtrantes.

Palavras-chave: filtração lenta, materiais não convencionais, fibras de coco, resíduo cerâmico.

Introdução

A água é um elemento essencial para a vida na Terra, fazendo-se presente nas atividades humanas desde as atividades industriais até a agricultura. O excesso de impurezas químicas ou biológicas na água pode causar sérios danos à saúde humana e às atividades econômicas (Heller e Pádua, 2010). Logo, a água destinada à população deve ser potável, ou seja, pode ser ingerida sem provocar danos à saúde. No Brasil, para que seja considerada potável, a água precisa se enquadrar aos padrões de qualidade definidos pela Portaria de Potabilidade vigente (Brasil, 2021). Na maioria das vezes, para atender aos padrões de qualidade é necessário que a água passe por tratamento.

Há diversas maneiras de se tratar a água para chegar na qualidade desejada para consumo humano. Inicialmente, para definir qual o tratamento a ser utilizado, é necessário conhecer a qualidade da água bruta, proveniente de mananciais superficiais ou subterrâneos e que não passou por tratamento. Assim é possível empregar a solução mais adequada, dentre elas, pode-se citar simples fervura, filtros domésticos, filtros de areia, desinfecção solar, cloração, ou até mesmo um tratamento mais completo envolvendo coagulação química ou natural (Pádua, 2010).

A exemplo de tratamento de água, tem-se a filtração lenta, também chamada de filtro de areia. Na filtração lenta a remoção das impurezas ocorre por meio de mecanismos físico-químicos, quando ocorre a passagem da água bruta pelo meio filtrante, deixando as partículas/impurezas retidas nos poros desse filtrante, e também por atividades biológicas, após o desenvolvimento da camada biológica no meio filtrante (Heller *et al.*, 2004; Souza, 2017). A filtração lenta é de simples construção, operação, manutenção e, conseqüentemente, geralmente apresenta custos mais acessíveis. À vista disso, esse tipo de tratamento é adotado principalmente em pequenas comunidades, cujas águas dos mananciais apresentam baixos teores de turbidez e cor (Brasil, 2019).

Os filtros lentos ditos convencionais possuem meios filtrantes de areia. No entanto, a partir de uma revisão sistemática, Santos *et al.* (2021) observaram que uma variedade de materiais vem sendo empregados nos meios filtrantes de filtros lentos ao longo dos anos, com a substituição integral ou parcial da areia comumente utilizada, mas mantendo sua eficiência. Jayalath *et al.* (2016), por exemplo, operaram dois filtros com substituição parcial da areia, sendo um com meio filtrante de areia misturada com pedrisco e outro de areia misturada com tijolo queimado e, ao comparar a água tratada nos filtros com a água bruta, obtiveram eficiências na remoção da turbidez de 79% e 90%, respectivamente. Anjali *et al.* (2019) substituíram integralmente a areia por escória e obtiveram média de cor e turbidez praticamente nulas. Letshwenyo e Lebogang (2019) utilizaram escória entre a camada filtrante de areia e a camada suporte de cascalho e obtiveram eficiências de remoção para os coliformes totais e termotolerantes de até 100%.

Quanto a seleção dos materiais não convencionais a serem empregados como meio filtrante, busca-se avaliar aspectos econômicos, técnicos e principalmente ambientais quanto ao seu uso. Segundo Lima (2020), costuma-se explorar aqueles materiais que se caracterizam como resíduos de atividades econômicas de destaque no país ou localmente, ou seja, resíduos gerados de forma abundante e que a princípio seriam descartados, pois sua coleta, reciclagem, reutilização, reaproveitamento ou destinação ainda não estão amplamente difundidas e aplicadas.

Em meio aos possíveis materiais não convencionais que podem ser utilizados como meio filtrante, tem-se os resíduos cerâmicos e as fibras de coco. Os altos índices de produção de cerâmica e coco no Brasil tem como consequência a geração de volume considerável de resíduos que em muitos casos são depositados diretamente em aterros. No processo cerâmico, aproximadamente 30% dos materiais se tornam resíduos (Wesler *et al.*, 2021). Já na produção de coco, estima-se que apenas 15% do volume total produzido é efetivamente consumido, o resto vira resíduos (Machado *et al.*, 2009).

Segundo Lima (2020), há relatos do emprego de resíduos cerâmicos e fibras de coco no tratamento de água/efluentes baseados na capacidade de remover contaminantes a partir da alta porosidade e capacidade de adsorção desses materiais. Como nos trabalhos de Dominghini *et al.* (2014) e Muter *et al.* (2017), que comprovaram o potencial adsorvente dos resíduos cerâmicos na adsorção do corante azul de metileno e na remoção de contaminantes farmacêuticos, respectivamente. Já para as fibras de coco, o seu potencial adsorvente foi demonstrado quimicamente por Silva *et al.* (2013), onde as análises realizadas mostraram que esse material apresenta as características apropriadas para o processo de biossorção de metais pesados em efluentes a base de água. Ainda, Lo Monaco *et al.* (2009) avaliaram o desempenho de um filtro orgânico utilizando a fibra de coco como material filtrante no tratamento primário de águas residuárias e obtiveram eficiência na remoção de sólidos suspensos (75%) e sólidos totais (40%).

Como constatado por Santos *et al.* (2021), o uso de materiais não convencionais costuma apresentar resultados positivos quando comparados ao filtro convencional de areia. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo verificar a eficiência de filtros lentos utilizando os materiais não convencionais fibras de coco e resíduo cerâmico misturados à areia como meio filtrante, na expectativa de que esses materiais alternativos contribuam, de alguma forma, para aumentar a qualidade do tratamento de água. Assim como, comparar o desempenho do filtro lento de areia com os filtros utilizando os materiais não convencionais.

Metodologia

Foram instalados e operados três filtros lentos (sistemas piloto) em escala laboratorial, sendo: filtro de areia misturada com resíduo cerâmico (Filtro 1), filtro de areia misturada com fibras de coco (Filtro 2) e filtro convencional de areia (Filtro 3). Cada filtro possui seção transversal quadrada de 11 x 11 cm, estrutura com paredes de vidro com espessura de 4 mm e foram apoiados em estrutura de madeira. Além disso, toda a superfície de vidro foi forrada com papel laminado, buscando evitar a interferência da luz nos filtros, uma vez que a mesma pode propiciar o crescimento de algas (Di Bernardo, 2003). O esquema da camada suporte e dos meios filtrantes em cada filtro pode ser visualizado na Figura 1.

A água bruta proveniente de poço tubular de 20 m de profundidade, armazenada em reservatório semienterrado, foi bombeada para um reservatório elevado, de modo a permitir alimentação dos filtros por gravidade. De acordo com Lima (2020), a água subterrânea deste poço não apresenta concentração de coliformes significativa em períodos sem precipitação, uma vez que para o mês de julho (período chuvoso) foi observada concentração de coliformes totais acima de 1.6×10^6 NMP/100mL e 4.7×10^4 NMP/100mL para coliformes termotolerantes e para o mês de janeiro não fora observado a presença desses microrganismos patogênicos. Assim, para que fosse possível verificar a eficiência dos filtros para o tratamento de água quanto a concentração de coliformes,

optou-se por adicionar lodo de Estação de Tratamento de Água (ETA) à água subterrânea bruta, por ser um lodo enriquecido de coliformes proveniente de manancial. Testou-se a adição de 1 mL de lodo a cada 500 mL de água bruta e, ao realizar as análises para as concentrações de coliformes totais e termotolerantes, obteve-se valores na ordem de 8.3×10^3 e 8.5×10^3 NMP/100 mL, respectivamente. Tais concentrações adequaram a água bruta às pretensões desse estudo.

Cada filtro teve funcionamento independente e a vazão de entrada e de saída foi controlada a partir do grau de abertura das torneiras de alimentação dos filtros, possibilitando realizar o controle de água caso houvesse necessidade de fazer manutenção. Ademais, buscou-se fixar a vazão de entrada nos filtros com taxas de filtração de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ ($\pm 10\%$). O sentido de escoamento do fluxo em todos os filtros foi descendente, sendo a água filtrada coletada no fundo falso.

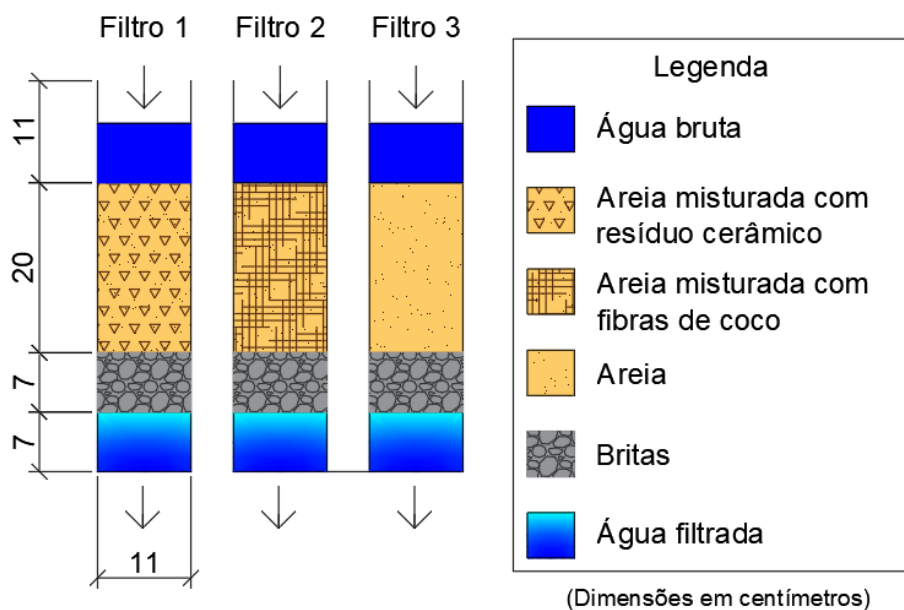


Figura 1. Esquema das camadas dos filtros. *Fonte: Autores (2022).*

Quanto aos materiais utilizados para compor o meio filtrante, a areia utilizada possuía grãos com tamanho efetivo médio de 0.17 mm e coeficiente de uniformidade médio de 2.85. A areia passou por lavagem prévia para eliminar possíveis resíduos antes de ser empregada de forma isolada para compor o meio filtrante do Filtro 3 e misturada com os materiais não convencionais nos Filtros 1 e 2.

Os resíduos cerâmicos foram obtidos a partir de blocos cerâmicos descartados por apresentarem qualidade insuficiente para seu emprego na construção civil, que geralmente são blocos com problemas na queima, dimensões ou resistência. A absorção de água e a porosidade aparente para os resíduos cerâmicos utilizados foram de $10.94 \pm 1.07\%$ e $21.53 \pm 2.02\%$, respectivamente. Após redução nas suas dimensões, através de triturador mecânico, para um intervalo de 9 a 14 mm, os resíduos cerâmicos foram lavados e misturados com a areia para compor o meio filtrante do Filtro 1 com traço de 1:1 (areia: resíduo cerâmico), medido em unidade de massa.

Sabendo-se que as fibras de coco são biodegradáveis, Azevêdo et al. (2022) estudaram o uso da fibra de coco no tratamento de água para consumo humano. Para tal, monitoraram as fibras em água saturada por 193 dias, das quais não apresentaram aspecto visual de decomposição durante o monitoramento. Diante do tempo de monitoramento, observa-se viabilidade no uso das fibras de coco. Assim, para o presente estudo, caracterizou-se as fibras de coco quanto a absorção de água e a porosidade aparente obtendo-se $103.9 \pm 14.34\%$ e $49.85 \pm 3.88\%$, na devida ordem. As fibras de coco também passaram por lavagem prévia, com o intuito da retirada das impurezas existentes. Tal lavagem ocorreu até que não fosse possível visualizar impurezas na água. Após serem lavadas, as fibras foram cortadas manualmente (com tesoura) no comprimento de aproximadamente 1 cm e misturadas com a areia para compor o meio filtrante do Filtro 2 com traço, em massa, de 1:100 (areia: fibra de coco).

A camada suporte utilizada em todos os filtros era de mesmo material e granulometria, composta por britas com diâmetros máximo e mínimo de 56.97 e 9.26 mm, respectivamente. Assim como os materiais utilizados no meio filtrante, as britas passaram por lavagem, de modo a retirar possíveis impurezas agregadas aos grãos. Ainda, a camada de britas foi confinada entre duas mantas não tecida, de modo a não ter meio filtrante preenchendo os seus vazios.

Os filtros operaram continuamente durante 123 dias, no período de 25/03/2021 a 26/07/2021. O monitoramento foi realizado por meio da análise de parâmetros físico-químicos (cor aparente, turbidez, pH, temperatura, sólidos dissolvidos totais) mensurados duas vezes por semana, o que correspondeu a 27 dados por parâmetro e biológicos (coliformes totais e coliformes termotolerantes), totalizando 4 dados para cada coliforme analisado mensalmente. A partir dos resultados obtidos nas análises dos parâmetros, foi feita a comparação dos valores de água tratada nos filtros com os padrões de qualidade indicados pela legislação vigente (Brasil, 2021). Observou-se também o desempenho dos filtros entre si e comparou-se os filtros com material não convencional (Filtros 1 e 2) com o considerado convencional (Filtro 3).

Os dados dos parâmetros foram avaliados quanto a sua aderência à distribuição de probabilidade normal (teste de normalidade) e, caso se ajustassem à distribuição normal, foram aplicados testes estatísticos paramétricos sobre a média e/ou mediana, caso contrário foram aplicados testes não paramétricos. Todos os testes estatísticos foram feitos com nível de significância de 5%.

Resultados e discussão

Parâmetros físico-químicos

Os resultados alcançados por meio do monitoramento dos parâmetros físico-químicos para a água bruta e para a água tratada em cada um dos filtros estão apresentados na Figura 2.

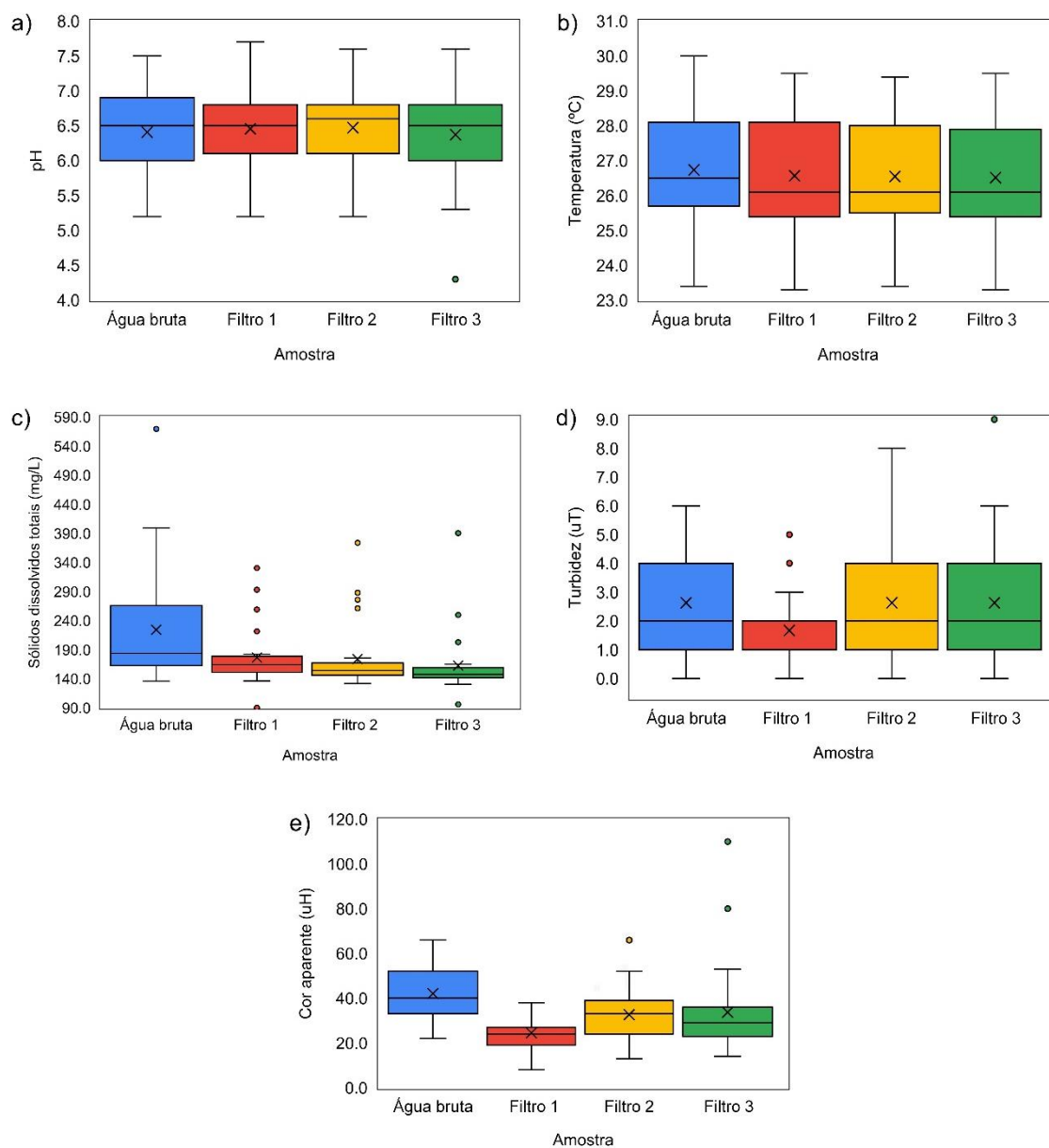


Figura 2. Variação dos parâmetros físico-químicos: a) pH; b) Temperatura; c) Sólidos dissolvidos totais; d) Turbidez; e) Cor aparente. *Fonte: Autores (2022).*

A variação dos valores de pH para a água bruta foi de 5.2 e 7.5, sendo que a maioria das amostras apresentaram valores entre 6.8 e 7.2. Para a água tratada dos filtros, a maior parte dos valores pertenciam ao intervalo de 6.1 a 7.2, considerando todos os filtros. Quando comparados à faixa de pH exigida pela legislação vigente, que é de 6.0 a 9.5, 82.72% das amostras dos filtros apresentaram pH adequado para consumo humano (Brasil, 2021). De forma semelhante, Nascimento et al. (2012) verificaram valores de pH na faixa de 6.7 a 7.4 para água bruta e filtrada em seus estudos sobre filtração lenta para tratamento de água em pequenas comunidades rurais.

Para verificar se havia ou não diferenças significativas nos valores de pH entre as amostras de água bruta e água tratada de cada filtro, assim como entre as amostras de cada unidade, comparou-se estatisticamente as médias das amostras, como exposto na Tabela 1. Foi possível verificar que não houve diferenças significativas entre os valores das amostras de água bruta e água tratada. O mesmo foi observado por Śmiech *et al.* (2018) e Bradley *et al.* (2011) que utilizaram filtros com misturas de areia e ferro. Além disso, na comparação entre filtros apenas foram observadas diferenças significativas entre os Filtros 1 e 3, indicando que o Filtro 2 apresentou comportamento semelhante ao convencional.

Tabela 1. Comparação estatística entre as médias do pH das amostras.

p-valor	Água bruta x	Água bruta x	Água bruta x	Filtro 1 x	Filtro 1 x	Filtro 2 x
	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 3
	0.481 ^a	0.411 ^a	0.714 ^b	0.796 ^a	0.035 ^b	0.174 ^b

Nota: ^a Teste paramétrico "T" pareado (H0: Não há diferenças significativas entre as médias das duas variáveis dependentes, p-valor > 0.05). ^b Teste não paramétrico de Wilcoxon (H0: Não há diferenças significativas entre as médias das duas variáveis dependentes, p-valor > 0.05). Fonte: Autores (2022).

A temperatura da água bruta variou de 23.4 a 30.0 °C, sendo que 40.75% das amostras apresentaram temperatura entre 25.6 e 26.7 °C. Já as amostras de água tratada apresentaram valores entre 23.3 e 29.5 °C. A maioria das observações para a água tratada estavam no intervalo de 24.4 a 26.6 °C, apresentando pequena redução de temperatura quando comparada a água bruta. De acordo com Lima (2020), essa redução decorre das leis da termodinâmica, pois a água bruta armazenada no reservatório tende a manter sua temperatura por mais tempo de modo a apresentar maior resistência ao equilíbrio entre a temperatura da água e a temperatura ambiente no laboratório. Em seu estudo com filtros de areia para tratar água em áreas rurais, Mtavangu *et al.* (2017) apontam que a diferença de temperatura entre o ambiente de operação dos filtros e de realização das análises também pode contribuir com a alteração da temperatura. Essa diferença foi comprovada a partir do teste de Wilcoxon (Tabela 2). Contudo, ainda que as variações de temperatura influenciem no

desenvolvimento da camada biológica, as diferenças de temperatura encontradas nas amostras não causam influencia no tratamento. Isso ocorre, pois, os microrganismos possuem a capacidade de se adaptarem às mudanças de temperatura desde que não haja mudanças extremas de temperatura (Arnold *et al.* 2016).

Tabela 2. Teste de Wilcoxon para temperatura.

p-valor	Água bruta x Filtro 1	Água bruta x Filtro 2	Água bruta x Filtro 3
	0.007	0.002	0.001

Fonte: Autores (2022).

Os valores de sólidos dissolvidos totais para a água bruta ficaram na faixa de 135.7 a 569.6 mg/L, com a maioria dos valores entre o intervalo de 135.7 a 208.0 mg/L. Já para a água tratada nos filtros os valores variaram de 90.2 a 390.4 mg/L, indicando redução do parâmetro após a passagem pelos filtros. O Filtro 3 apresentou a menor média entre os filtros (162.5 mg/L), semelhante ao trabalho de Delgado-Gardea *et al.* (2019), que obteve melhor desempenho na remoção de sólidos dissolvidos totais no filtro controle (convencional), em comparação ao filtro com adição de latão. O valor máximo permitido para sólidos dissolvidos totais pela legislação vigente é de 500 mg/L. Desse modo, o percentual de atendimento ao o valor de referência foi de 100% para todos os filtros.

Ainda, foram constatadas diferenças significativas entre os valores de sólidos dissolvidos totais da água bruta e tratada para todos os filtros (Tabela 3), comprovando que os filtros atuaram no tratamento deste parâmetro. Contudo, não foram observadas diferenças significativas entre as amostras dos filtros, indicando que os mesmos funcionaram de forma semelhante.

Tabela 3. Comparação estatística entre as médias de sólidos dissolvidos totais das amostras.

p-valor	Água bruta x Filtro 1	Água bruta x Filtro 2	Água bruta x Filtro 3	Filtro 1 x Filtro 2	Filtro 1 x Filtro 3	Filtro 2 x Filtro 3
	0.040	0.032	0.010	0.831	0.320	0.172

Nota: Teste não paramétrico de Wilcoxon (H_0 : Não há diferenças significativas entre as médias das duas variáveis dependentes, p -valor > 0.05). Fonte: Autores (2022).

A variação temporal dos valores de turbidez para a água bruta foi de 0.0 a 6.0 uT, sendo que a maioria das amostras apresentaram turbidez de 1.0 a 2.0 uT. Após a passagem nos filtros, os valores de turbidez da água variaram de 0.0 a 9.0 uT. A Portaria de Potabilidade vigente determina

turbidez menor ou igual a 1 uT na saída de filtros lentos (Brasil, 2021). Desta forma, nenhum dos filtros apresentou o desempenho recomendado, sendo o Filtro 1 o que apresentou melhor comportamento entre os filtros, com 48.15% das amostras atendendo ao padrão de potabilidade. O desempenho negativo apresentado pelos filtros lentos em remover turbidez pode ser atribuído ao fato de a lavagem operacional dos materiais não ter sido suficiente para conferir a funcionalidade desejada durante o período de análise. Uma vez que, ao utilizar filtros com características próximas das aplicadas este trabalho, mas com meio filtrante separado entre camadas de areia, Lima (2020) obteve média de turbidez de 0.67 uT para o filtro convencional e de 0.79 uT para o filtro com resíduo cerâmico.

As eficiências de remoção de turbidez variaram de 0 a 100% em todos os filtros. No entanto, o Filtro 1 apresentou a melhor média de remoção (50%), seguido dos Filtros 3 (48.60%) e 2 (31.25%). De forma semelhante, Baig *et al.* (2011) e Mutemi *et al.* (2020) obtiveram melhor eficiência na remoção de turbidez no filtro convencional de areia do que nos filtros modificados com biomassa de cacas de pinus conífera e mistura de areia com ferro, respectivamente. Já Abdolahnejad *et al.* (2014) obtiveram eficiências médias de remoção de turbidez em torno de 99% nos três filtros utilizados em seu trabalho, sendo um filtro convencional de areia e dois filtros modificados com materiais não convencionais escória e zeólita.

O melhor desempenho apresentado pelo Filtro 1 foi atestado ao comparar os valores de turbidez entre as amostras de água bruta e água tratada em cada filtro, onde apenas a comparação com o Filtro 1 apresentou diferenças significativas (Tabela 4). Quanto a comparação entre os filtros, apenas foram constatadas diferenças significativas entre os Filtros 1 e 3, sugerindo que o filtro utilizando resíduo cerâmico apresentou melhores resultados do que o convencional, enquanto que o filtro com fibras de coco apresentou resultados semelhantes.

Tabela 4. Comparação estatística entre as médias de turbidez das amostras.

	Água bruta x Filtro 1	Água bruta x Filtro 2	Água bruta x Filtro 3	Filtro 1 x Filtro 2	Filtro 1 x Filtro 3	Filtro 2 x Filtro 3
p-valor	0.021 ^a	0.707 ^b	1.000 ^a	0.052 ^b	0.019 ^a	0.819 ^b

Nota: ^a Teste paramétrico "T" pareado (H0: Não há diferenças significativas entre as médias das duas variáveis dependentes, p-valor > 0.05). ^b Teste não paramétrico de Wilcoxon (H0: Não há diferenças significativas entre as médias das duas variáveis dependentes, p-valor > 0.05). Fonte: Autores (2022).

Os valores de cor aparente para a água bruta variaram de 22 a 66 uH, sendo que a maioria das amostras apresentaram valores entre 22 a 29.4 uH. Os valores para a água tratada nos filtros variaram de 8 a 110 uH. Todos os filtros apresentaram redução da média de cor aparente, mostrando a capacidade dos filtros na melhoria desse parâmetro. Contudo, os filtros não

apresentaram médias abaixo do valor máximo permitido pela legislação vigente, que é de 15 uH (Brasil, 2021). Richter (2009) relata em seu trabalho que mesmo que os filtros lentos fossem constituídos e operados em condições ideais, nesses filtros a remoção de cor é muito baixa e requer uma água bruta com valor inferior a 20 uH.

O Filtro 1 apresentou menor média de cor aparente, seguido pelos Filtros 2 e 3, na devida ordem. Ainda, as eficiências de remoção variaram de 0 a 80.30% em todos os filtros, com as melhores médias de remoção apresentadas no Filtro 1 (44.24%), seguido dos Filtros 3 (38.61%) e 2 (35.12%). Diferente do que foi observado por Paterniani *et al.* (2011), onde o filtro convencional de areia apresentou melhor média de remoção do que o filtro não convencional. Já no trabalho de Lima (2020), o mesmo obteve resultados semelhantes de cor aparente para o filtro convencional e o filtro com resíduo cerâmico.

Ao comparar estatisticamente as médias de cor aparente, encontrou-se diferenças significativas entre a água bruta e os Filtros 1 e 2 (Tabela 5), comprovando a capacidade dos filtros na melhoria desse parâmetro e que os filtros com materiais não convencionais apresentaram melhores resultados para esse parâmetro do que o filtro convencional. Quanto a comparação entre os filtros, foram observadas diferenças significativas entre Filtro 1 e Filtro 2 e entre Filtro 1 e Filtro 3, indicando diferenças no comportamento dos filtros. Diferentemente do que aconteceu no trabalho de Santos Júnior *et al.* (2020), onde o filtro com meio filtrante de maravalha de eucalipto entre duas camadas de areia apresentou desempenho estatisticamente igual ao filtro convencional de areia para esse parâmetro.

Tabela 5. Comparação estatística entre as médias de cor aparente das amostras.

p-valor	Água bruta x Filtro 1	Água bruta x Filtro 2	Água bruta x Filtro 3	Filtro 1 x Filtro 2	Filtro 1 x Filtro 3	Filtro 2 x Filtro 3
	0.001	0.005	0.133	0.002	0.012	0.788

Nota: Teste paramétrico "T" pareado (H_0 : Não há diferenças significativas entre as médias das duas variáveis dependentes, p -valor > 0.05). Fonte: Autores (2022).

Parâmetros microbiológicos

Os resultados das análises de coliformes totais e coliformes termotolerantes para a água bruta e para a água tratada em cada um dos filtros estão apresentados na Figura 3. Os valores das análises mensais de coliformes totais variaram de 1.6×10^2 a 8.1×10^3 NMP/100 mL para a água bruta e de 0 a 2.4×10^3 NMP/100 mL para a água tratada nos filtros. Quanto aos coliformes termotolerantes, os valores variaram de 1.6×10^2 a 7.9×10^3 NMP/100 mL na água bruta, enquanto que para os filtros a variação foi de 0 a 2.4×10^3 NMP/100 mL. É possível notar que

todos os filtros apresentaram remoção dos parâmetros, indicando a presença de atividade biológica nos filtros. As eficiências de remoção variaram de 49.38 a 100% para os coliformes totais e de 52.94 a 100% para os coliformes termotolerantes. De forma parecida, Letshwenyo e Lebogang (2019) observaram remoção de coliformes totais e de coliformes termotolerantes de até 100% no seu trabalho com filtro lento com meio filtrante utilizando escória. Assim como no trabalho de Lima (2020), quando se trata dos coliformes totais, o filtro com resíduo cerâmico apresentou a melhor média de remoção (88.35%), seguido pelo Filtro 3 (convencional de areia) (84.75%) e 2 (79.02%). Zhao *et al.* (2019) sugere que a melhor eficiência apresentada pelo Filtro 1 decorre do fato dos tijolos triturados possuírem estrutura porosa favorável à manutenção de comunidades biológicas. Já para os coliformes termotolerantes, a melhor média de remoção foi observada no Filtro 2 (99.53%), seguido pelo Filtro 3 (92.35%) e 1 (86.0%). Verificou-se ainda que o filtro com fibras de coco foi mais estável na remoção de coliformes termotolerantes e, segundo Kumar *et al.* (2019), isso ocorre, pois, a aplicação de resíduos orgânicos como camada filtrante potencializa a remoção de patógenos, devido à elevada área superficial que esses materiais possuem. Desta forma, observa-se que, em média, os filtros com meios filtrantes com materiais não convencionais apresentaram resultados semelhantes aos alcançados pelo filtro convencional.

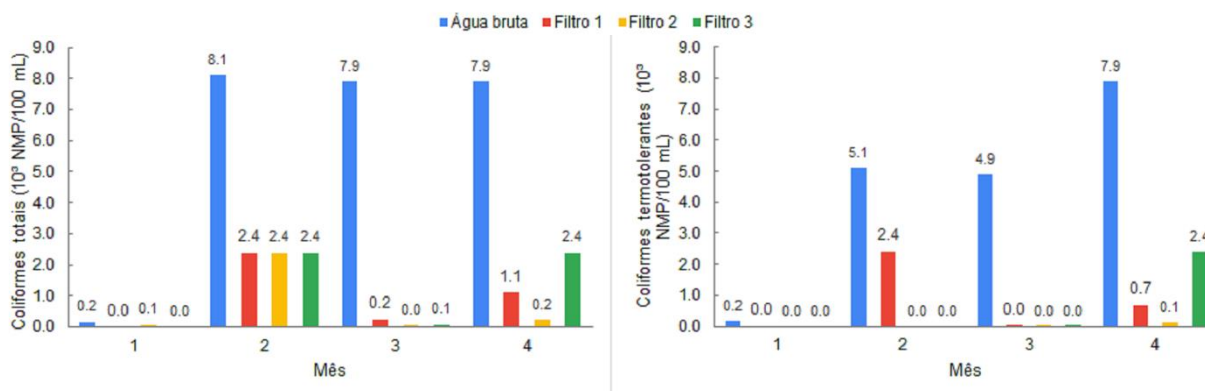


Figura 3. Comportamento temporal dos parâmetros microbiológicos: a) Coliformes totais; b) Coliformes termotolerantes. Nota: NMP/100 mL = Número Mais Provável por 100 mL. Fonte: Autores (2022).

Conclusões

Ao comparar o filtro convencional de areia com os filtros com materiais não convencionais, observou-se que diversos fatores interferem na eficiência de filtros lentos, como as características dos materiais utilizados.

A análise da água bruta propiciou a avaliação dos parâmetros monitorados quanto ao atendimento dos padrões de qualidade da água, tornando possível verificar a eficiência de tratamento alcançada pelos filtros. Já a comparação entre os filtros possibilitou analisar se a alteração de material no meio filtrante ocasiona ou não aumento na eficiência do tratamento. Dessa forma, para o desempenho dos filtros, verificou-se a existência de diferenças significativas entre a água bruta e a tratada para temperatura, sólidos dissolvidos totais, turbidez e cor aparente, indicando que os filtros causaram influencia na água bruta. Já as comparações entre os filtros apresentaram diferenças significativas apenas entre os Filtros 1 e 3 para turbidez e entre o Filtro 1 e os Filtros 2 e 3 para cor aparente. Dessa forma, demonstrando que a substituição da areia pelos materiais não convencionais não provocou perdas de eficiência e assim confirmando seu emprego.

No geral, o filtro de areia misturada com resíduos cerâmicos foi mais eficiente que o filtro convencional e que o filtro de areia misturada com fibras de coco na remoção dos parâmetros físico-químicos turbidez e cor aparente. O filtro de areia misturada com fibras de coco apresentou maior eficiência e estabilidade apenas na remoção de coliformes termotolerantes, já o filtro convencional apontou melhor eficiência na remoção de sólidos dissolvidos totais. O filtro com resíduos cerâmicos exibiu maior atendimento ao padrão de potabilidade para turbidez, enquanto que o filtro com fibras de coco obteve maior atendimento para cor aparente. No caso dos sólidos dissolvidos totais, todos os filtros apresentaram atendimento ao padrão de qualidade.

Diante das análises experimentais realizadas, observa-se que a utilização de materiais não convencionais na filtração lenta pode trazer benefícios ao tratamento, garantindo o aproveitamento de materiais que inicialmente seriam descartados. Assim, mais estudos são bem-vindos para avaliar o emprego destes materiais, sejam pautados na alteração dos meios filtrantes, no traço das misturas, ou mesmo nas suas características de funcionamento.

Referencias bibliográficas

- Abdolahnejad, A., Ebrahimi, A., Jafari, N. (2014) Application of Iranian natural zeolite and blast furnace slag as slow sand filters media for water softening. *International Journal of Environmental Health Engineering*, **3**, 58-63. <https://doi.org/10.4103/2277-9183.139742>
- Anjali, M. S., Shrihari, S., Sunil, B. M. (2019) Experimental studies of slag filter for drinking water treatment. *Environmental Technology & Innovation*, **15**, 100418. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100418>
- Arnold, N., Archer, A., Barkdoll, B. (2016) Bacterial adaptation and performance of household biosand water filters in differing temperatures. *Water Science and Technology: Water Supply*, **16**(3), 794–801. <https://doi.org/10.2166/ws.2015.192>
- Azevêdo, L. C., Lima, A. J., Santos, D. G., Mendonça, L. C., Santos, T. R., Michelan, D. C. G. S. (2022) Uso da fibra de coco no tratamento de água para consume humano, *Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe*, São Cristóvão, Brasil.

- Baig, S. A., Mahmood, Q., Nawab, B., Shafqat, M. N., Pervez, A. (2011) Improvement of drinking water quality by using plant biomass through household biosand filter – A decentralized approach. *Ecological Engineering*, **37**, 1842-1848. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.011>
- Bradley, I., Straub, A., Maraccini, P., Markazi, S., Nguyen, T. H. (2011) Iron oxide amended biosand filters for virus removal. *Water Research*, **45**(15), 4501-4510. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.05.045>
- Brasil (2019) Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. – 5.ed. Brasília.
- Brasil (2021) Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Brasília.
- Delgado-Gardea, M. C., Tamez-Guerra, P., Gomez-Flores, R., Garfio-Aguirre, M., Rocha-Gutiérrez, B. A., Romo-sáenz, C. I., Zavala-Díaz de la serna, F. J., Eroza-de la Vega, G., Sánchez-Ramírez, B., González-Horta, M. C., Infante-Ramírez, M. R. (2019) Streptophyta and Acetic Acid Bacteria Succession Promoted by Brass in Slow Sand Filter System Schmutzdeckes. *Scientific Reports*, **9**(7021). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43489-9>
- Di Bernardo, L. (2003) *Tratamento de água para abastecimento por filtração direta*, Rio de Janeiro: ABES, 498 pp.
- Dominguini, L., Menegaro, D. A., Miguel, T. F., Dal Bó, M. (2014) Utilização de resíduos de materiais cerâmicos na adsorção de corante azul de metileno. *Cerâmica*, **60**(354), 218–222. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132014000200009>
- Heller, L. Pádua, V. L. (2010) *Abastecimento de água para consumo humano*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 459 pp.
- Heller, L., Bastos, R. K. X., Vieira, M. B. C. M., Bevilacqua, P. D., Brito, L. L. A. de, Mota, S. M. M., Oliveira, A. A., Machado, P. M., Salvador, Da. P., Cardoso, A. B. (2004) Oocistos de Cryptosporidium e cistos de Giardia: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, **13**(2), 79-92.
- Jayalath, C. P. G., Miguntanna, N. S., Perera, H. A. K. C. (2016) Burnt Clay Bricks as an Alternative Filter Media for Pebble Matrix Filters (PMF) Engineer: *Journal of the Institution of Engineers*, Sri Lanka, **49**(3), 1-9. <http://doi.org/10.4038/engineer.v49i3.7071>
- Kumar, P., Rubio, H. D. P., Hegde, K., Brar, S. K., Cledon, M., Kermanshahi-Pour, A., Sauvé, S., Roy-Lachapelle, A., Galvez-Cloutier, R. (2019) Agro-industrial residues as a unique support in a sand filter to enhance the bioactivity to remove microcystin-Leucine arginine and organics. *Science of The Total Environment*, **670**, 971-981. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.260>
- Letshwenyo, M. W., Lebogang, L. (2019) Assessment of roughing and slow sand filter modified with slag and clinker ash for removal of microorganisms from secondary effluent. *Environmental Technology*, 1–12.
- Lima, A. J. (2020) *Análise comparativa da eficiência de filtros lentos com meios filtrantes convencional e não convencionais*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil, 134 pp.
- Lo Monaco, P. A. V., Matos, A. T. de, Sarmiento, A. P., Lopes Júnior, A. V., Lima, J. T. (2009) Desempenho de Filtros Constituídos por Fibras de Coco no Tratamento de Águas Residuárias de Suinocultura. *Revista Engenharia Na Agricultura - REVENG*, **17**(6), 473–480. <https://doi.org/10.13083/reveng.v17i6.113>
- Machado, K. C., Damm, D. D., Fornari Junior, C. C. M. (2009) Reaproveitamento tecnológico de resíduo orgânico: casca de coco verde na produção de gabinetes ecológicos de computadores, *Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*, Porto Alegre, Brasil.
- Mtavangu, S., Rugaika, A. M., Hilonga, A., Njau, K. N. (2017) Performance of constructed wetland integrated with sand filters for treating high turbid water for drinking. *Water Practice and Technology*, **12**(1), 25–42. <https://doi.org/10.2166/wpt.2017.007>
- Mutemi, S., Hoko, Z., Makurira, H. (2020) Investigating feasibility of use of bio-sand filters for household water treatment in Epworth, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, **117**, 102864. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102864>
- Muter, O., Perkons, I., Svinka, V., Svinka, R. e Bartkevics, V. (2017) Distinguishing the roles of carrier and biofilm in filtering media for the removal of pharmaceutical compounds from wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, **111**, 462–474. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.08.010>

- Nascimento, A. P., Pelegrini, R. T., Brito, N. N. (2012) Filtração lenta para o tratamento de águas para pequenas comunidades rurais. REEC - *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, **4**(2), 54-58. <https://doi.org/10.5216/reec.v4i2.19705>
- Pádua, V. L. (2010) Soluções alternativas desprovidas de rede. In: Heller, L.; Pádua, V. L. *Abastecimento de água para consumo humano*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 428 pp.
- Paterniani, J. E. S., Silva, M. J. M., Ribeiro, T. A. P., Barbosa, M. (2011) Pré- filtração em pedregulho e filtração lenta com areia, manta não tecida e carvão ativado para polimento de efluentes domésticos tratados em leitos cultivados. *Engenharia Agrícola*, **31**(4), 803-812.
- Richter, C. A. (2009) *Água: métodos e tecnologia de tratamento*. São Paulo, SP: Blucher, 352 pp.
- Santos Júnior, J. L., Santos, L. A. R., Lima, A. J., Michelan, D. C. G. S. (2020) Tratamento de água por filtração lenta com meio filtrante composto de areia e resíduo sustentável de maravalha, *Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe*, São Cristóvão, Brasil.
- Santos, S. T., Lima, A. J., Michelan, D. C. G. S. (2021) Perspectivas sobre o uso de materiais alternativos no tratamento de água: revisão sistemática desenvolvida em filtros lentos. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, **9**, 121-139. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5550931>
- Silva, K. M. S., Rezende, L. C. S. H., Silva, C. A., Bergamasco, R., Gonçalves, D. S. (2013) Caracterização físico-química da fibra de coco verde para a adsorção de metais pesados em efluente de indústria de tintas. *ENGEVISTA*, **15**(1) 43-50.
- Śmiech, K. M., Tolsma, A., Kovács, T., Dalbosco, V., Yasadi, K., Groendijk, L., Agostinho, L. L. F. (2018) Comparing mixed-media and conventional slow-sand filters for arsenic removal from groundwater. *Water (Switzerland)*, **10**(119), 1-14. <https://doi.org/10.3390/w10020119>
- Souza, F. H., Toscano, B., Carneiro, C. G., Sens, M. L. (2017) Diagnóstico e discussão sobre uso da Filtração Lenta para abastecimento público em Santa Catarina, Brasil. *Revista DAE*, **209**(66), 37-50. <https://doi.org/10.4322/dae.2017.013>
- Wesler, S., Brida, I. C., Geremias, R., Menezes, C. T. B., Pineda-Vasquez, T. (2021) Estudo do potencial de adsorção de íons de ferro de água contaminada com drenagem ácida de mina utilizando geopolímero à base de cinza de casca de arroz e resíduo cerâmico. *Eng Sanit Ambient*. **26**(6), 1123-1133. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200123>
- Zhao, Y., Wang, X., Liu, C., Wang, S., Wang, X., Hou, H., Wang, J., Li, H. (2019) Purification of harvested rainwater using slow sand filters with low-cost materials: Bacterial community structure and purifying effect. *Science of the Total Environment*, **674**, 344-354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.474>