

FILTROS LENTOS DOMICILIARES COM MATERIAIS REGIONAIS: EFICIÊNCIA E DESAFIOS NO TRATAMENTO COMPLEMENTAR DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS DO RS

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.IX-004>

Priscilla Both Silva, Janete Alegre Wissmann, Márcia dos Santos Ramos Berreta, Daniel Brinckmann Teixeira, Suzana Frighetto Ferrarini

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS, priscilla-silva@uergs.edu.br

RESUMO

A busca por soluções descentralizadas e de baixo custo para o tratamento de água em áreas rurais motivou o desenvolvimento de filtros lentos em escala domiciliar (FLD) na comunidade de Aratinga, zona rural de São Francisco de Paula/RS. O presente estudo dá continuidade a etapas anteriores e avalia a eficiência de sistemas FLD confeccionados com materiais regionais, como areia, brita, pedregulhos e falhas moídas de *Araucaria angustifolia*, utilizados como camada filtrante superior. Os sistemas foram montados em bombonas reaproveitadas, doadas por comércio locais e fora do prazo de validade, o que limitou a altura das camadas internas, mas favoreceu a viabilidade em contextos de vulnerabilidade social. Os filtros operaram por 52 dias, com monitoramento dos parâmetros físico-químicos (turbidez, pH, condutividade e temperatura) segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021. Adicionalmente, foram realizados testes granulométricos das areias utilizadas, com determinação dos diâmetros característicos d_{10} e d_{60} , e do coeficiente de uniformidade ($CU = d_{60}/d_{10}$), além do cálculo da vazão média dos filtros. Os resultados indicaram desempenho satisfatório na melhoria da qualidade da água, com destaque para a redução de turbidez e estabilidade nos demais parâmetros físico-químicos. A análise granulométrica e as observações operacionais reforçaram a importância do controle dos materiais e da manutenção do sistema para evitar colmatção. O estudo reafirma o potencial dos FLD como tecnologia social em contextos de vulnerabilidade hídrica.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração lenta; água de consumo; comunidades rurais; indicadores de potabilidade.

INTRODUÇÃO

O acesso à água potável ainda representa um desafio em diversas regiões rurais do Brasil, onde a ausência de saneamento básico compromete a saúde pública e intensifica desigualdades socioambientais. No município de São Francisco de Paula/RS, particularmente na comunidade de Aratinga, estudos anteriores apontaram contaminação das fontes de captação por coliformes fecais, ferro, manganês, cor e turbidez elevada, ultrapassando os limites da Portaria GM/MS nº 888/2021 (BIANCHI, 2021; KLEIN et al., 2023). Apesar da implementação de sistemas de cloração em parte das residências, observou-se que, em casos de carga contaminante elevada, a desinfecção química isolada não foi suficiente para garantir a potabilidade da água (SANTOS et al., 2023).

Nesse contexto, tecnologias descentralizadas, de baixo custo e fácil manutenção, como os filtros lentos em escala domiciliar (FLD), têm se mostrado alternativas viáveis para comunidades afastadas dos centros urbanos (FREITAS, 2017; MACIEL, 2018). A filtração lenta, por meio da ação conjunta de mecanismos físicos, químicos e biológicos, destaca-se pela simplicidade operacional e elevada eficiência microbiológica, especialmente quando associada à maturação da camada biológica (*Schmutzdecke*) (HUISMAN; WOOD, 1974).

A utilização de materiais regionais nos meios filtrantes, como as falhas de *Araucaria angustifolia*, confere ao sistema um caráter sustentável, reduzindo custos e promovendo o reaproveitamento de resíduos abundantes na região (CALVETE, 2011; Dos Santos, 2013). No entanto, para garantir o bom desempenho do sistema, aspectos como granulometria dos materiais, taxa de filtração, profundidade do leito filtrante e operação contínua/intermitente precisam ser avaliados com rigor (LIMA, 2020; PIZZOLATTI, 2010).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como foco o aperfeiçoamento dos filtros lentos domiciliares (FLD) desenvolvidos em fases anteriores (MLENEK; SILVA e FERRARINI, 2025), nas quais já se havia comprovado a eficiência físico-química e microbiológica do sistema. No entanto, observaram-se limitações operacionais, como a colmatção precoce, o entupimento na etapa de saída e a demora na formação da camada microbiológica (*Schmutzdecke*), essencial para o bom desempenho do sistema. Para sanar essas dificuldades, foram testadas modificações tanto na estrutura de escoamento, quanto na composição das camadas filtrantes, como, por exemplo, a incorporação de falhas moídas de *Araucaria angustifolia*. Nesta etapa do projeto priorizou-se a análise de variáveis hidráulicas, parâmetros

construtivos e ajustes granulométricos, visando consolidar a tecnologia como estratégia complementar de tratamento para o consumo humano em comunidades rurais em situação de vulnerabilidade hídrica.

OBJETIVOS

Aperfeiçoar o sistema de filtros lentos em escala domiciliar (FLD) desenvolvido em etapas anteriores, avaliando o desempenho hidráulico e os ajustes operacionais necessários à sua estabilidade, com ênfase na análise da granulometria dos materiais filtrantes, no controle da colmatção e na formação da camada microbiológica. O estudo buscou, ainda, incorporar materiais regionais de baixo custo, como as falhas moídas de *Araucaria angustifolia*, e monitorar os principais parâmetros de qualidade da água segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021.

METODOLOGIA

O sistema experimental foi montado em bancada, utilizando quatro bombonas de polietileno interligadas, com capacidade de 20 litros cada. As unidades filtrantes foram preenchidas com camadas de materiais filtrantes e suporte, compostas por areia (fina, média e grossa), britas de diferentes granulometrias, pedregulhos e falhas moídas de *Araucaria angustifolia*, inseridas na camada superior com o objetivo de acelerar a formação da *Schmutzdecke* (Figura 1). Todos os materiais foram submetidos a procedimentos de lavagem com água potável, desinfecção com solução de hipoclorito de sódio e peneiramento. As exigências técnicas foram aplicadas conforme as normas vigentes no período experimental (NBR 11799:2016¹; NBR 12216:1992; NBR EB-2097:1990).

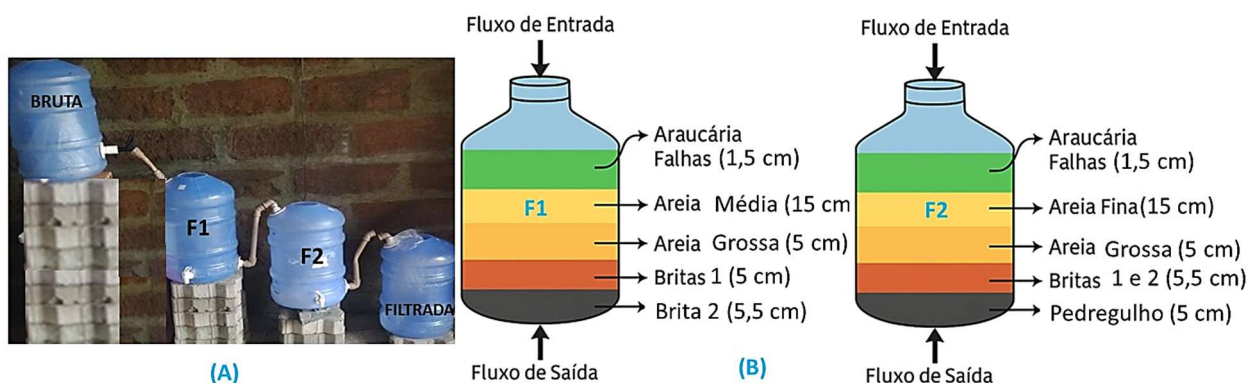


Figura 1: Sistema de Filtros Lentos: (A) Bancada Experimental; (B) Esquema em Corte. Fonte: Autor do trabalho.

Foram realizados ensaios granulométricos nas três classes de areia utilizadas, com determinação dos diâmetros efetivos (d10 e d60) e cálculo do Coeficiente de Uniformidade (CU) (NBR 11799:2016¹). A vazão do sistema foi estimada a partir da cronometragem do tempo de escoamento da água, com base em volumes fixos. O monitoramento físico-químico foi conduzido ao longo de 52 dias, com avaliação dos parâmetros turbidez, pH, condutividade elétrica e temperatura da água filtrada, conforme os padrões de potabilidade (PORTARIA GM/MS nº 888/21).

RESULTADOS

Durante o período de monitoramento de 52 dias, os filtros lentos domiciliares apresentaram desempenho progressivo na melhoria da qualidade da água. A turbidez média da água bruta foi reduzida de 22,6 NTU para 11,0 NTU, com eficiência de remoção de 51%. Nos primeiros dias, observou-se coloração marrom na água filtrada, associada à liberação de compostos orgânicos pelas falhas moídas de *Araucaria angustifolia*. Essa alteração visual e a turbidez residual mais elevada foram gradualmente eliminadas com a estabilização do sistema e a formação da camada microbiológica. Após esse período, os valores de turbidez passaram a atender aos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 ($\leq 5,0$ NTU). O pH manteve-se estável, variando de 7,29 para 7,16, e a condutividade elétrica apresentou discreta redução, passando de 73,5 para 68,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A temperatura oscilou minimamente entre 19,5 °C e 19,1 °C. O ensaio granulométrico demonstrou que a areia fina apresentou boa uniformidade (CU entre 1,17 e 1,73), enquanto a areia média foi classificada

¹ A análise granulométrica seguiu os procedimentos estabelecidos pela ABNT NBR 11799:2016, versão vigente na condução experimental. A norma foi revisada em dezembro de 2024, mas os ensaios foram executados conforme os requisitos da edição anterior.

como pouco uniforme (CU até 2,98) e a grossa como pouco uniforme e estável (CU ~2,8) (Figura 2). Esses dados reforçam a importância do controle granulométrico para a eficiência hidráulica e a prevenção da colmatção precoce. A vazão média dos filtros, obtida por cronometragem direta, esteve dentro da faixa recomendada para sistemas de filtração lenta.

Cabe destacar que os filtros foram construídos em bombonas reaproveitadas, doadas por comércio locais, originalmente destinadas à água mineral e fora do prazo de validade, o que limitou a profundidade do leito filtrante (~32 cm) e a lâmina de água (7 cm), valores inferiores aos recomendados pela literatura (60 cm e 30–40 cm, respectivamente). Essa limitação física pode ter influenciado problemas operacionais observados, como colmatção precoce e entupimento na saída dos filtros, ainda que não tenha comprometido a estabilidade dos parâmetros analisados.

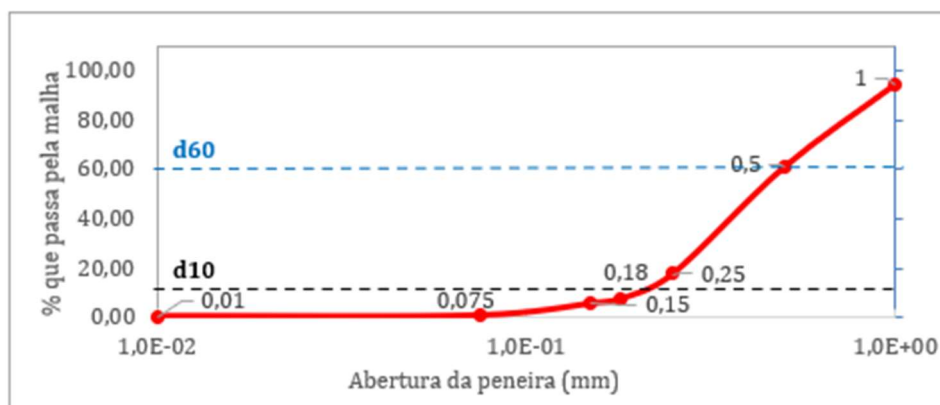


Figura 2 - Curva granulométrica da areia média (replicata 2), com destaque para os diâmetros característicos d_{10} e d_{60} e coeficiente de uniformidade (CU = 2,49). Fonte: Autor do trabalho.

CONCLUSÕES

O presente estudo cumpriu seu objetivo de aperfeiçoar o sistema de filtros lentos domiciliares (FLD), avaliando o desempenho hidráulico e os ajustes operacionais necessários à sua estabilidade. Os filtros lentos demonstraram viabilidade técnica ao utilizar materiais acessíveis e de origem regional, como as folhas moídas de *Araucaria angustifolia*. As estruturas foram montadas em bombonas plásticas reaproveitadas, doadas pelo comércio local e fora do prazo de validade para uso com água potável, o que contribuiu para a redução de custos e reforçou o caráter social da tecnologia, embora tenha limitado as alturas internas das camadas. Apesar de desafios iniciais, como entupimentos pontuais e a coloração marrom da água nos primeiros dias, os sistemas apresentaram desempenho físico-químico satisfatório ao longo do monitoramento, com redução significativa da turbidez e estabilidade dos demais parâmetros. O ensaio granulométrico fundamentou a escolha dos materiais filtrantes, evidenciando a relevância do controle da uniformidade das areias para prevenir colmatção precoce e garantir eficiência hidráulica. Recomenda-se, em etapas futuras, o aprimoramento da composição granulométrica das camadas filtrantes e o acompanhamento contínuo de variáveis operacionais, como vazão e taxa de filtração. A aplicação desta tecnologia em comunidades rurais configura-se como uma alternativa promissora e de baixo custo, reforçando o potencial dos filtros lentos domiciliares como tecnologia social descentralizada, alinhada à promoção do ODS 6 – Água Potável e Saneamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BIANCHI, A.F. Diagnóstico da qualidade da água de poços localizados na via Aratinga, São Francisco de Paula/RS. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Bacharelado em Gestão Ambiental) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS, São Francisco de Paula, 2021.
2. CALVETE, T. Casca de pinhão – in natura e carvão ativo – adsorventes para remoção de corantes em efluentes aquosos. 2011. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
3. DOS SANTOS, F. A. Desempenho e conformidade de biossorventes produzidos a partir de resíduos florestais e sua aplicação no tratamento de cromo de efluente industrial de galvanoplastia. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
4. FREITAS, B. L. S. Filtros lentos em escala domiciliar como alternativa de tratamento de águas com risco microbiológico em comunidades isoladas. 2017. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.
5. HUISMAN, L.; WOOD, W. E. Slow sand filtration. Geneva: World Health Organization, 1974.
6. KLEIN, I.J.; SANTOS, S. S. C.; BIANCHI, A. F.; OLIVEIRA, V. P. C.; FERRARINI, S.F.; BERRETA, M. S. R. Qualidade de águas de consumo humano na zona rural do município de São Francisco de Paula/RS comunidade Aratinga – Instalação e Monitoramento de Sistema alternativo de tratamento. In: XVI Seminário Internacional de

Desenvolvimento Rural Sustentável, Cooperativismo e Economia Solidária (XVI SICOOPES) e VII Feira de Ciência, Tecnologia e Inovação Social (VII FECITIS), 2023, Castanhal, Pará. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA Campus Castanhal, 2023. v. 1. p. 1-19.

7. LIMA, A. DE J. Análise comparativa da eficiência de filtros lentos com meios filtrantes convencionais e não convencionais. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020.
8. MACIEL, P. M. F. Filtração lenta domiciliar como alternativa de tratamento de água em comunidades isoladas: eficiências com e sem controle de nível da água e estímulo do amadurecimento. 2018. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.
9. MLENEK, E.; SILVA, P. B.; FERRARINI, S. F. Filtros lentos domiciliares para tratamento de água em comunidades rurais: estudo piloto em Aratinga/RS. In: FERRARINI, S. F.; BERRETA, M. S. R.; CASTRO, I. S. (Orgs.). Caminhos para a sustentabilidade: estudos da Especialização em Práticas Sustentáveis. Ponta Grossa: Atena, 2025. p. 85-104. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.44325060606>.
10. NBR 12216:1992 — Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público; NBR EB-2097:1990 — Procedimentos de desinfecção de sistemas de filtração; NBR 11799:2016 — Material filtrante: areia, antracito e pedregulho: especificação. Rio de Janeiro: ABNT.
11. PIZZOLATTI, B. S. Estudos de limpeza de filtro lento por raspagem e retrolavagem. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
12. SANTOS, S. S. C.; WISSMANN, J. A.; SILVA, P. B.; OLIVEIRA, V. P. C.; FERRARINI, S.; VICENZI, T. M.; SCHUCH DE CASTRO, I. Monitoramento de Sistema de tratamento de águas de consumo humano na comunidade Aratinga, Distrito de Tainhas, São Francisco de Paula/RS. In: 5º Simpósio de Gestão Ambiental, 2023, São Francisco de Paula. Anais do 5º Simpósio de Gestão Ambiental: resumos expandidos v. 1. São Francisco de Paula: Uergs, 2023. v. 1. p. 134-138.