

TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUAS CINZAS PARA REUSO

MARCELO HENRIQUE ARMOA¹;
¹Fatec Jaboticabal - Gestão Ambiental
marcelo.armoa@fatec.sp.gov.br

Physical Chemical treatment of gray water for reuse

Eixo Tecnológico: Recursos Naturais.

Resumo

Discutida internacionalmente, a crise hídrica global afeta a disponibilidade de água potável, mas ações/preocupações governamentais não atingem a parcela de maior interesse e responsabilidade, que é a população. O reuso de águas cinzas para fins não potáveis é uma tecnologia social que pode amenizar a crise e atenuar a carga nos sistemas de fornecimento de água potável e de coleta e tratamento de esgoto, independente de secas ou chuva, pelo volume de geração constante. Propõe-se neste trabalho construir, instalar e ativar um sistema piloto de coleta e tratamento de águas cinzas em uma residência da cidade de Jaboticabal. O sistema processa águas residuárias de chuveiros, máquina de lavar e três máquinas de ar-condicionado, constando de reservatórios, filtros com diferentes capacidades e bombas de prospecção, atendendo a 400 L dia⁻¹ e volumes mensais entre 8 e 10 m³ de efluente reaproveitado, reduzindo em 30% o consumo mensal de água de abastecimento nesta residência. O funcionamento do sistema foi testado com e sem a adição de agentes floculantes para a sedimentação de particulado. Ensaios preliminares de filtração tangencial com materiais de baixo custo, além de membrana cerâmica de sílica macroporosa foram realizados, mostrando transparência do filtrado de 96 % após a ação dos floculantes (apenas por sedimentação e decantação), 93% para os filtros de baixo custo e 99% para a membrana cerâmica, em comparação a 64% do efluente bruto. São perspectivas o acompanhamento do teor de matéria orgânica no efluente, o uso de zeólitas na construção dos filtros, bem como estudos detalhados de permeação.

Palavras-chave: Reuso de água, Águas cinzas, Tecnologia social, Sustentabilidade, Zeólitas.

Abstract

The reuse of gray water for non-potable purposes is a social technology that can alleviate the crisis and reduce the load on drinking water supply and sewage collection and treatment systems, regardless of drought or rain, due to the constant volume of generation. This work proposes to build, install and activate a pilot system for gray water collection and treatment in a residence in the city of Jaboticabal. The system processes wastewater from showers, washing machines and three air conditioning units, consisting of reservoirs, filters with different capacities and prospecting pumps, serving 400 L day⁻¹ and monthly volumes between 8 and 10 m³ of reused effluent, reducing the monthly water consumption of this residence by 30%. The system operation was tested with and without the addition of flocculating agents for the sedimentation of particulates. Preliminary tangential filtration tests with low-cost materials, in addition to a macroporous silica ceramic membrane, were carried out, showing filtrate transparency of 96% after the action of flocculants (only by sedimentation and decantation), 93% for low-cost filters and 99% for the ceramic membrane, compared to 64% for the raw effluent. Monitoring the organic matter content in the effluent, the use of zeolites in the construction of filters, as well as detailed permeation studies are prospects.

Key-words: Water reuse, Grey water, Social technology, Sustainability, zeolites.

1. Introdução

Crescentes demandas do uso de água para abastecimento humano, agricultura irrigada, indústria, dentre outros, têm sido fontes de conflitos, com mudança nos padrões de produção e consumo da sociedade devido à escassez de água. Neste íterim, busca-se soluções para o uso sustentável do recurso. A escassez mundial, inclusive no Brasil privilegiado quanto a reservas hídricas, termina com a impressão da humanidade de que a água seja recurso inesgotável. Essa percepção permite criar e aplicar tecnologias para a racionalização da água potável [1-4].

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJI

A preservação de recursos hídricos é pauta debatida e urgente, dado o cenário de escassez e poluição do recurso essencial [5]. Os recursos hídricos se relacionam com irrigação agrícola, indústria, geração de energia, recreação, entre outros. Em meio urbano se dispõem como água para consumo, pluviais e cinzas. A ingerência nos sistemas de abastecimento e tratamento de águas nos centros urbanos conduz a problemas como a poluição das águas e sua escassez [6].

O meio urbano passa por período de recorrentes crises hídricas, aumento populacional desordenado e dificuldade de captação de água para abastecimento, além de custos em tratamento e distribuição. Percebe-se larga demanda por tecnologias incrementais para solucionar a problemática de disponibilidade de água e a racionalização do uso é primordial, sendo o reaproveitamento opção atrativa frente ao problema [7]. O reuso é uma tendência mundial como forma de amenizar a falta d'água, sendo alternativa para minimizar efeitos antrópicos, direcionando efluentes tratados a atividades que demandam água de qualidade inferior e água potável para usos mais nobres [2]. Em diversos usos, como irrigação de áreas verdes, limpeza de tubulações e lavagem de vias é alternativa de gestão hídrica importante para indicar a ideia da sustentabilidade. Em condomínios residenciais que têm consumo de água significativo, há um grande potencial para o conceito. O reuso de água cinza para uso não potável se consolida, baseado na coleta separada e tratamento do efluente de chuveiros, lavabos, tanques e máquinas de lavar roupa e reinserção no sistema em usos não potáveis [7].

As Tecnologias Sociais são um “conjunto de técnicas e procedimentos, associados a formas de organização coletiva, que representam soluções para a inclusão social e melhoria da qualidade de vida”. São encontradas em áreas como agricultura, saúde, educação e meio ambiente. Em geral são simples, baratas, fáceis de serem replicadas, construídas com recursos locais e baixos custos financeiros, de fácil manutenção e a partir de conhecimentos populares e locais, com grandes impactos na vida das comunidades. São exemplos destas tecnologias o biodigestor anaeróbio, o fogão ecológico, as cisternas de placas e o reúso de águas cinzas, presentes na vida de milhares de famílias agricultoras. Estas tecnologias favorecem uma maior autonomia energética e geração de renda às famílias agricultoras [8, 9].

Mesmo em regiões mais abastadas e urbanizadas, startups têm surgido e proposto avaliações técnicas efetuadas por parâmetros de análise econômica com o Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), concluindo que a implementação de um sistema de reuso de águas cinzas promove, não só benefícios ambientais, mas reduz significativamente o consumo e desperdício de água potável, sendo promissora forma no âmbito técnico-financeiro [7]. O reaproveitamento de água de gotejamento dos aparelhos de ar-condicionado de um prédio comercial é um exemplo de proposta consistente que abrange o tema das águas cinzas [5].

Sistemas combinados e descentralizados de coleta de águas pluviais e reutilização de águas cinzentas podem melhorar a segurança hídrica das zonas urbanas, reduzindo a dependência do abastecimento principal de água, em particular durante períodos críticos, como a seca. Os sistemas de recuperação de água devem se tornar cada vez mais importantes como forma de enfrentar os desafios do abastecimento de água na paisagem urbana, exacerbados pelas alterações climáticas [10]. A Tecnologia social em questão é de extrema importância para diversas regiões do Brasil e do mundo, tanto em áreas urbanas quanto rurais, contribuindo com o desenvolvimento sustentável, a agricultura familiar, reduzindo cargas poluentes emitidas em corpos receptores e a pressão sobre os sistemas de tratamento de águas residuárias, além de contribuir positivamente em relação aos problemas de enchentes.

Diante destas considerações propõe-se neste trabalho construir, instalar e ativar um sistema piloto de coleta e tratamento de águas cinzas em uma residência da cidade de Jaboticabal, de modo a iniciar o desenvolvimento desta tecnologia social em âmbito local e regional. Além dos resultados da montagem do sistema apresentam-se resultados preliminares do tratamento de águas cinzas processadas.

2. Materiais e métodos

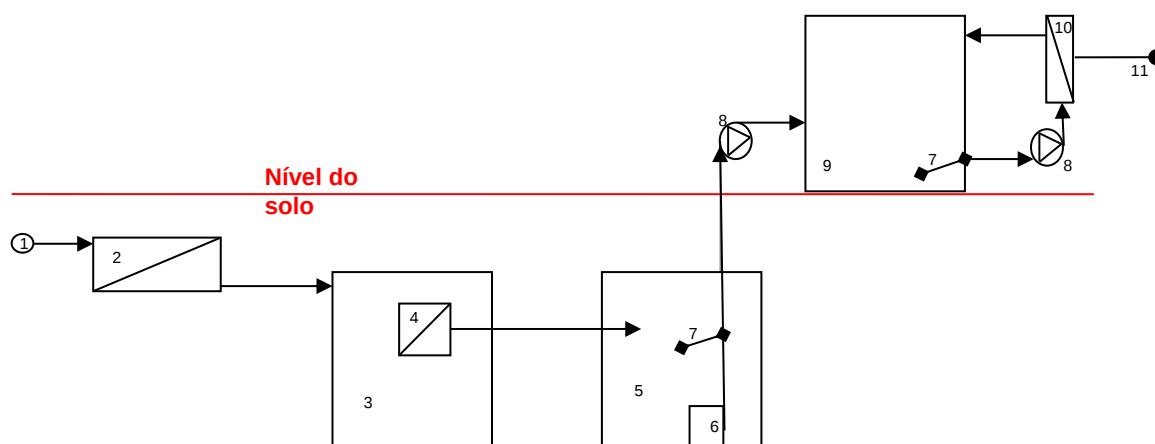
2.1. Materiais e equipamentos

- Três caixas d'água; tubos e conexões em PVC; bóias eletrônicas; válvulas de retenção; duas bombas centrífugas de 0,5 cv; mangueiras para transporte de efluente.
- Filtro primário: caixa plástica com volume aproximado de 7 L; mantas filtrantes F550 Scotch-Brite.
- Filtros decantadores: baldes de 30 L reutilizados; flanges em PVC; mangueiras de 1"; manta Bedin (jardinagem); manta filtrante F550 Scotch-Brite; mídias filtrantes (sílica expandida; pedras com tamanho selecionado).
- Filtro tangencial BABD: 200 metros de linha barbante; manta Bedin; tubo PVC de 0,5"; tubo PVC de 1"3/4; CAPs; niples de 0,5".
- Filtro tangencial PAPFIL: tubo PVC de 0,5"; tubo PVC de 1"3/4; CAPs; niples de 0,5"; papel de filtro qualitativo (80 g m⁻² e diâmetro médio de poros de 14 µm).
- Membrana cerâmica (SiO₂ macroporosa com diâmetro médio de poros de 1µm) [11-13].
- Espectrofotômetro UV/VIS Novainstruments série 1600;
- Hidrômetro Unijato Ecoflux Dn 20 Q3 2.5 – Hidroreader.

2.3. Metodologia

O piloto consta de três reservatórios, interligados por filtros com diferentes capacidades e bombas para prospecção, conforme Fig. 1. A residência foi construída com tubulação de esgoto separada para a coleta de águas cinzas (chuveiros, máquina de lavar roupas e drenos das máquinas de ar-condicionado), coletando o efluente a um ponto abaixo do nível do solo em um compartimento similar a uma casa de máquinas para piscinas.

Fig. 1 - Esquema do tratamento Físico-Químico de águas cinzas: 1) esgoto da residência (excetuando águas negras); 2) filtro primário; 3) reservatório primário; 4) filtro decantador; 5) reservatório secundário; 6) válvula de retenção; 7) bóia eletrônica; 8) bomba centrífuga; 9) reservatório terciário; 10) filtro tangencial; 11) filtrado.



Fonte: (Autor, 2025).

3. Resultados e Discussão

3.1. Construção do sistema de tratamento de águas cinzas

A capacidade de tratamento do sistema atende a uma residência familiar com quatro integrantes em média, recebendo e processando águas residuárias de chuveiros, máquina de lavar e ar-condicionado, com dimensões de volume e fluxo do efluente de 400 L dia^{-1} e até $12 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$. Conectou-se um hidrômetro à entrada do reservatório terciário, para mensuração do volume de água reaproveitado neste sistema. O volume mensal foi estimado entre 8 e 10 m^3 , frente ao consumo mensal de água de abastecimento urbano neste domicílio com média entre 15 e 20 m^3 , segundo valores de contas d'água contabilizados mês a mês. Ou seja, sem a utilização do sistema de águas cinzas o consumo mensal nesta mesma família seria entre 25 e 30 m^3 de água tratada mensais, aumentando em 50% a sua parcela no sistema de abastecimento público e desperdiçando o recurso indispensável e de fácil reaproveitamento, as águas cinzas.

O filtro primário montado pela colocação das mantas filtrantes F550 Scotch-Brite no interior da caixa receptora proporcionou tempo de saturação superior a quinze dias (não detectado até o momento), prazo de manutenção do sistema por completo. Verifica-se em Fig. 2c o aspecto da manta com uma semana de utilização, e em Fig. 2d após quinze dias de uso.

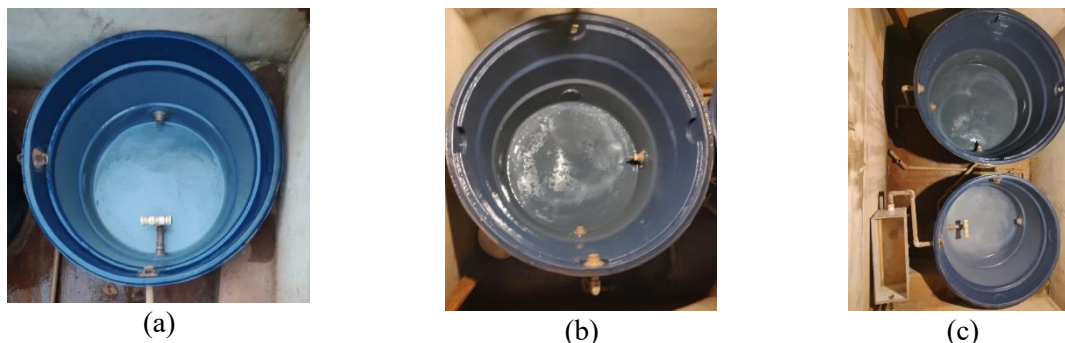
Fig. 2 - Filtro primário, montagem e uso diário: a) reservatório de recepção do esgoto cinza; b) colocação mantas (Scotch-Brite F550); c) uma semana de uso; d) duas semanas de uso.



Fonte: (Autor, 2025).

Após o filtro primário, têm-se dois reservatórios, como ilustrado em Fig. 3. No reservatório primário (Fig. 3a), de 300 L, ocorre a sedimentação de particulado coloidal e suspenso que tenha permeado pelo filtro primário. O reservatório secundário (Fig. 3b), cuja finalidade é o armazenamento progressivo de volume de águas cinzas purificadas apenas por sedimentação/decantação, tem capacidade para 500 L.

Fig. 3 - Conjunto de reservatórios: a) primário ou de sedimentação; b) secundário (acúmulo de volume); c) conjunto completo com filtro primário e reservatórios.

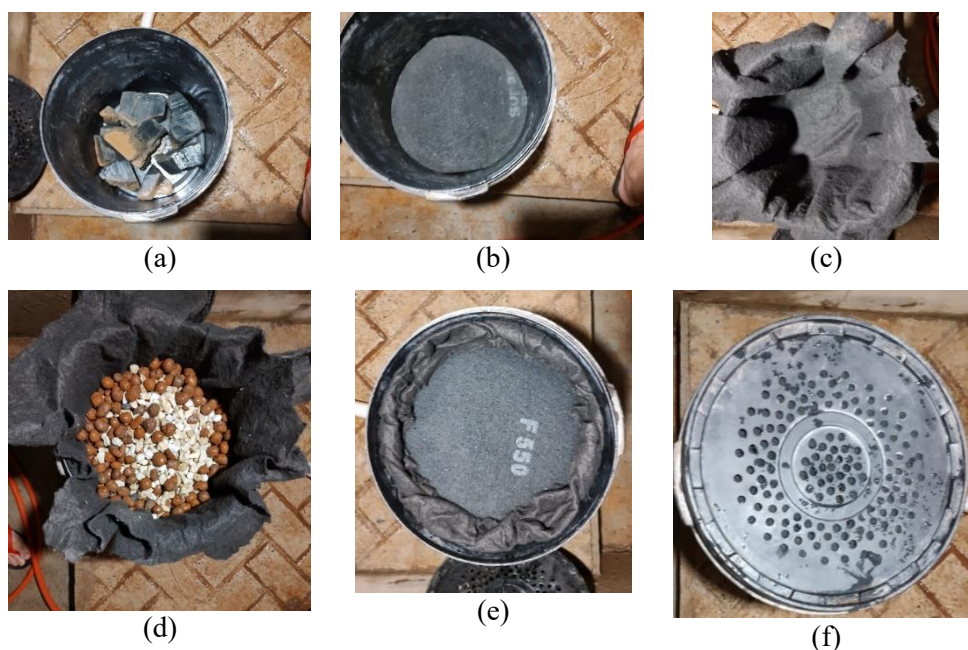


Fonte: (Autor, 2025).

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJI

No interior do reservatório primário está o filtro decantador, montado a partir de baldes com tampa de 30 L, conforme a Fig. 4, para conduzir o decantado ao reservatório secundário. Pedras (Fig. 4a) no fundo protegem a saída e evitam a obstrução causada pela manta na saída e redução da área de filtração, mantendo a vazão. Mantas F550 foram adicionadas na sequência, conforme Fig. 4b e em seguida manta Bedin (Fig. 4c). Utilizou-se pedrisco e sílica expandida como mídia filtrante (Fig. 4d) e por final placas de F550 (Fig. 4e), travadas pela tampa dos baldes (Fig. 4f).

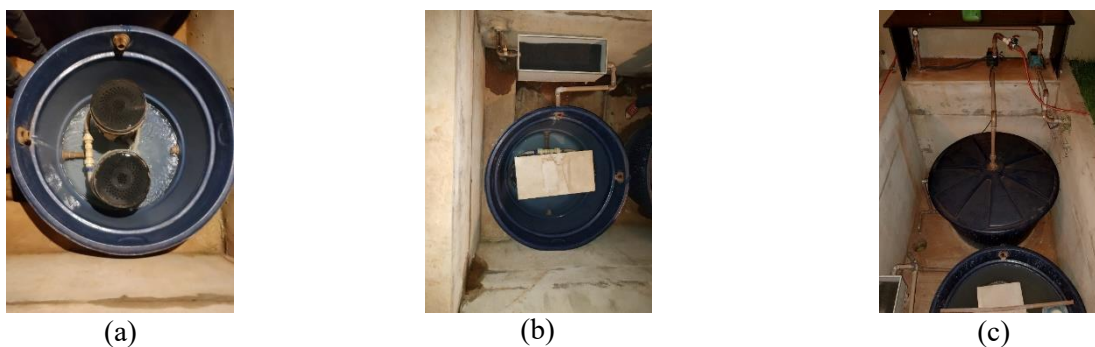
Fig. 4 - filtro secundário (decantador de particulado coloidal): a) pedras ao fundo; b) manta F550; c) manta Bedin; d) mídia filtrante; e) manta F550; f) fechamento.



Fonte: (Autor, 2025).

Os filtros decantadores foram conectados à entrada do reservatório secundário, no interior do reservatório primário, conforme Fig. 5a. Em Fig. 5c tem-se o reservatório secundário fechado e conectado por válvula de retenção à bomba centrífuga, já acima do nível do solo.

Fig. 5 - Filtro secundário no reservatório de sedimentação: a) acomodação em perspectiva; b) placa cerâmica sobre os filtros decantadores em conjunto filtro primário (particulado grosseiro); c) reservatório secundário e bombas acima do solo.

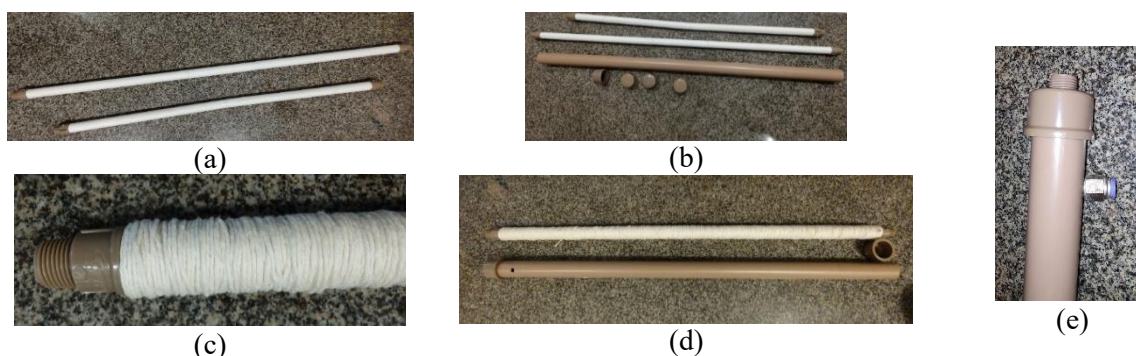


Fonte: (Autor, 2025).

3.2. Construção de filtros tangenciais de baixo custo

Filtros tangenciais foram construídos, também de baixo custo, para serem acoplados após o reservatório terciário, a fim de melhorar a qualidade do filtrado ao máximo e a constância da referida qualidade. Assim, vemos em Fig. 6 o detalhamento da construção de filtros tangenciais. A construção dos filtros PAPFIL se deu pelo enrolamento do papel de filtro qualitativo por sobre canos de PVC perfurados e colagem, conforme Fig. 6a, a fim de proporcionar sustentação ao papel. Em outra versão de filtro tangencial de baixo custo, aqui denominados por filtro “BARBED”, utilizou-se uma camada de manta bedin sobre o cano perfurado, e enrolou-se o conjunto com 200 metros lineares de barbante, inspirando-se nos consagrados “MOPS” e em sua elevada capacidade de limpeza, conforme ilustrada em Fig. 6c. Os filtros aqui construídos e a membrana cerâmica [11] foram conectados ao reservatório terciário por bomba centrífuga, conforme Fig. 7a, proporcionando seu funcionamento.

Fig. 6 - Filtros tangenciais: a) PAPFIL montados; b) PAPFIL e tubo externo; c) enrolamento de filtro BARBED; d) BARBED e tubo externo; e) aspecto final de todos os filtros.

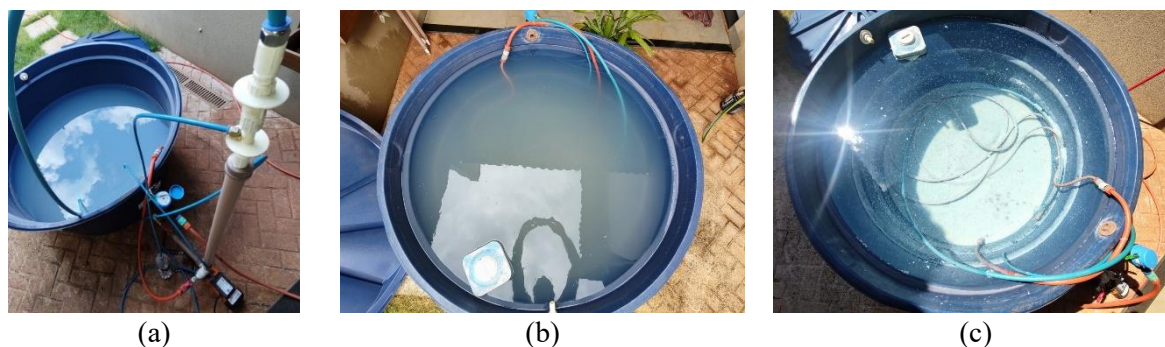


Fonte: (Autor, 2025).

3.3. Funcionamento do sistema sem uso de flocculantes

O aspecto visual das águas cinzas sem o uso de flocculantes é mostrado no reservatório terciário (Fig. 7b), denotando uma água bastante turva mesmo após retenção de particulado grosseiro no filtro primário e passagem pelo filtro decantador (Fig. 4).

Fig. 7 - Reservatório terciário: a) conjunto com bomba centrífuga e filtros tangenciais; b) aspecto da água cinza sem agentes flocculantes; c) 12 horas após uso de agentes flocculantes.



Fonte: (Autor, 2025).

3.4. Funcionamento do sistema com uso de floculantes

Além do funcionamento do sistema sem o uso de agentes floculantes realizaram-se testes do funcionamento com uso diário de BaOH_2 e Al_2SO_4 , agentes floculantes costumeiramente utilizados em tratamento de piscinas. Soluções nas concentrações de 20 g L^{-1} , foram adicionadas na proporção de $7 \times 10^{-3} \text{ L}_{\text{Floculante}} / \text{L}_{\text{Efluente}}$ aos reservatórios primário e terciário (Fig. 7c), no início da madrugada a fim de garantir tempo suficiente de repouso para a eficiente floculação, sedimentação e posterior decantação do reservatório primário ao secundário e do reservatório terciário para a filtração tangencial.

3.5. Medidas de transparência por espectrofotometria UV/VIS

Os valores mais expressivos de transmitância a 620 nm para a filtração tangencial são mostrados em Tab. 1, substituindo medidas de turbidez neste trabalho. Os valores indicam o aumento da transparência do filtrado do reservatório primário para o secundário (de 64 para 84%), mas ainda mais substancialmente com o uso de agentes floculantes (97,8%). Dentre os filtros tangenciais construídos o filtro BARBED (92,1%) se mostrou superior ao filtro com papel filtrante (89,4%) para o funcionamento sem floculante. Porém, com o uso de floculante as eficiências se inverteram, com transparência de 99,3% para o filtro PAPFIL. Não foi possível atingir a eficiência da filtração das membranas cerâmicas, com uma transparência do filtrado de 99,6% com floculante, provendo água residual de elevada transparência. Embora preliminares os resultados confrontam os valores de efluente apenas decantado com valores pós-filtração, e ainda, valores de filtração em materiais corriqueiros com valores pós-filtração em membrana cerâmica desenvolvida cientificamente.

Tab. 1 - Espectrofotometria UV/VIS a 620 nm: valores de transmitância para os diversos filtros tangenciais.

Amostra	TRANSMITÂNCIA / %		
	Bruto	Sem floculante	Com floculante
Reservatório 1º	64,2	-	97,3
Reservatório 2º	83,9	-	97,8
Filtro PAPFIL	86,3	89,4	99,3
Filtro BARBED	88,6	92,1	94,4
Membrana cerâmica	86,3	94,1	99,6

Fonte: (Autor, 2025).

4. Considerações finais

O trabalho se baseia em uma tecnologia social, alternativa relativamente acessível à população para a amenização do problema mundial da escassez de água. Desenvolvido junto ao curso de tecnologia em Gestão Ambiental da Fatec de Jaboicabal a Tecnologia Social denominada “reuso de águas cinzas”, insere a IES na rota das discussões deste tema central para o mundo globalizado e propõe opções para a população urbana e/ou rural buscar desenvolvimento sustentável como um ideal. Este trabalho mostrou a economia de aproximadamente 33% do consumo de água de abastecimento para uma residência, atingindo-se qualidade do efluente tratado satisfatória para reuso em fins não potáveis. O projeto poderá ser refinado, vindo a ser incorporados conceitos químicos mais elaborados, como por exemplo processos de adsorção ou de degradação de matéria orgânica e sua quantificação, porém estas etapas são perspectivas para outros trabalhos.

Referências

- [1] FIRMINO, L. de Q. *et. al.* Tratamento e reúso de água para fins agrícolas em comunidade rural localizada no sertão Paraibano. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, [S. l.], v. 21, n. 9, p. 10991–11011, 2023. DOI: 10.55905/oelv21n9-028. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/1034>. Acesso em: 5 maio. 2025.
- [2] DA CONCEIÇÃO, W. M.; CABRAL, F. V. SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA RESIDENCIAL . **REVISTA FOCO**, [S. l.], v. 16, n. 6, p. e2240, 2023. DOI: 10.54751/revistafoco.v16n6-066. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/2240>. Acesso em: 5 maio. 2025.
- [3] Maccarini, M. G.; Cauduro, F. **Estudos da viabilidade de implantação de sistema de reúso de águas cinzas para fins não potáveis em um edifício multifamiliar – estudo de caso**. 2017. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil, Criciúma, 2017. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5568/1/MariaGabrielaCoralMacarini.pdf>. Acesso em: 5 maio 2025.
- [4] MARES, L. R. F. **Métodos alternativos de tratamento de efluentes domésticos e reutilização de águas cinzas, uma revisão bibliográfica sistemática**. 2023. Trabalho de conclusão de curso – Instituto Federal de Goiás, Goiás, 2023. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/1671/5/tcc_Lucas%20Rafael.pdf. Acesso em: 5 maio 2025.
- [5] BARBOTTI, G. J. *et. al.* **Comportamento do sistema de racionalização de água cinza do ar condicionado e a viabilidade em edificações comerciais**. 2023. Trabalho de conclusão de curso – PUC Goiás, Goiás, 2023. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/6165>. Acesso em: 5 maio 2025.
- [6] KUNEN, A. *et. al.* Sistemas inteligentes de água urbana: uma abordagem da literatura. In: XX ENANPUR, 2023, Belém. Disponível em: <https://anpur.org.br/wp-content/uploads/2023/05/st04-44.pdf>. Acesso em: 5 maio 2025.
- [7] MALDONADO, A. P.; MOHEDANO, R. A. Implementação de sistemas de reúso de águas cinzas em uma edificação de médio porte: estudo de caso em um edifício em Florianópolis/SC. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/245093?show=full>. Acesso em: 5 maio 2025.
- [8] SILVA JUNIOR, F. S. *et. al.* “Olho d’água cinza”: tecnologia inovadora de reúso de água cinza domiciliar em quintais agroecológicos no semiárido nordestino. **Revista observatório de la economia latino-americana**, v. 23, n. 3, p. 01 – 23, 2025. doi: 10.55905/oelv23n3-030. Disponível em: file:///C:/Users/mharm/Downloads/Olho_dagua_cinza_tecnologia_inovadora_de_reuso_de.pdf. Acesso em: 5 maio 2025.
- [9] FERNANDES, L. E. S. *et. al.* Cartilha tecnologia social: reúso de águas cinzas. 2023. Disponível em: <https://bibliotecasemiarios.ufv.br/handle/123456789/440> . Acesso em: 28 fev 2025.
- [10] RODRIGUES, A. M. *et. al.* Integrated systems for rainwater harvesting and greywater reuse: a systematic review of urban water management strategies. **Water Supply** 1, v. 23, n. 10, p. 4112–4125, out. 2023. doi: 10.2166/ws.2023.240. Disponível em: <https://iwaponline.com/ws/article/23/10/4112/97584/Integrated-systems-for-rainwater-harvesting-and>. Acesso em: 5 maio 2025.
- [11] ARMOA, M. H. **Otimização das condições hidrotérmicas no preparo de filtros macroporosos de sílica**. 2003. 111 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2002.