

Tecnologias coletivas e participativas para o saneamento rural: uma revisão sistemática de literatura

Philippe Werner Sepúlveda*, Hygor Aristides Victor Rossoni, Emerson Fonseca Silva, Vinícius Costa Guimarães e Summer Cândido Silva

Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências Agrárias. Programa de Pós-graduação em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários. *Campus* Florestal. Rodovia LMG 818, km 6. Florestal-MG, Brasil (CEP 35690-000).

*E-mail: philipe.sepulveda@ufv.br.

Resumo. Devido à significativa falta de infraestrutura das comunidades rurais no Brasil, a utilização de tecnologias sociais, comunitárias e participativas se apresenta como uma das possíveis soluções a fim de garantir a universalização dos serviços básicos de saneamento para as populações mais carentes que vivem em comunidades rurais urbanizadas. Desse modo, o presente trabalho tem por escopo uma revisão sistemática da literatura (RSL), por meio da adaptação do método PRISMA, a respeito do tratamento de águas de abastecimento, de águas residuárias de origem doméstica, bem como o manejo de águas pluviais e do gerenciamento resíduos sólidos. Assim, a partir das bases de dados utilizadas e de critérios de seleção específicos, selecionou-se 38 artigos, dos quais 14 foram selecionados para compor a RSL. Nesse sentido, constatou-se que a utilização de tecnologias como a filtração em múltiplas etapas (FIME) e o tratamento convencional de água são adequadas para garantir um fornecimento seguro de água potável. Do mesmo modo, os reatores UASB e os *wetlands* são satisfatórios na redução da concentração de matéria orgânica presentes nos efluentes a níveis razoáveis. Além disso, a utilização de técnicas, como barraginhas e cisternas de ferrocimento, pode contribuir tanto no armazenamento de água quanto na contenção de processos erosivos e na recarga das águas subterrâneas. Além disso, os pontos de entrega voluntários, os processos de compostagem e de reciclagem apresentam-se como soluções eficientes para o gerenciamento de resíduos sólidos, visto que auxiliam, tanto na redução dos resíduos descartados incorretamente, quanto no aproveitamento para outros fins.

Recebido
06/01/2025

Aceito
21/04/2025

Publicado
30/04/2025



Acesso aberto



ORCID

- 0009-0006-0201-2867
Philippe Werner
Sepúlveda
- 0000-0002-6088-6144
Hygor Aristides Victor
Rossoni
- 0009-0001-6990-0248
Emerson Fonseca Silva

Palavras-chave: FIME; Wetland; UASB; Cisterna; Tecnologias sociais.

Abstract. *Collective and participatory technologies for rural sanitation: A systematic literature review.* Due to the significant lack of infrastructure in rural communities in Brazil, the use of social, community-based, and participatory technologies emerges as one of the possible solutions to ensure the universalization of basic sanitation services for the most disadvantaged populations living in urbanized rural communities. In this context, the present study aims to conduct a systematic literature review (SLR) using an adaptation of the PRISMA method regarding water supply treatment, domestic wastewater treatment, storm water management, and solid waste management. Thus, based on the databases consulted and specific selection criteria, 38 articles were identified, of which 14 were selected to compose the SLR. In this regard, it was found that technologies such as multi-stage filtration (MSF) and conventional water treatment are suitable for ensuring a safe potable water supply. Similarly, UASB reactors and constructed wetlands are effective in reducing the concentration of organic matter in effluents to acceptable levels. Furthermore, techniques such as small earth dams (“barraginhas”) and ferrocement cisterns can contribute both to water storage and to preventing erosion processes and recharging groundwater. Additionally, voluntary drop-off points, composting processes, and recycling have proven to be efficient solutions for solid waste management, as they help reduce improperly discarded waste and facilitate its repurposing for other uses.

Keywords: FIME; Wetland; UASB; Cistern; Social technologies.

0009-0008-2376-5715
Vinícius Costa
Guimarães

0009-0002-3457-1672
Summer Cândido Silva

Introdução

O Brasil enfrenta sérios desafios na implementação do saneamento nas áreas rurais, uma vez que devido à negligência do poder público em relação às políticas específicas, assim como da falta de recursos econômicos e de infraestrutura, essas áreas não possuem acesso aos serviços básicos, o que acarreta no aumento significativo das desigualdades sociais e da pobreza do meio rural, já que as classes de maior poder aquisitivo possuem maior capacidade de acesso às tecnologias de saneamento (Aleixo et al., 2016; Nunes e Queiroz, 2016; Brasil, 2019; Ferreira et al., 2019; Silva et al., 2019; Simonato et al., 2019).

Nesse contexto, devido à falta de infraestrutura, o esgoto oriundo das fossas rudimentares ou absorventes das comunidades rurais é despejado diretamente no solo, acarretando sérios danos ambientais. Dessa forma, o lançamento do esgoto doméstico na natureza ocasiona tanto a contaminação dos solos quanto do lençol freático (Sperling, 2007; Calijuri e Cunha, 2013; Vicq e Leite, 2014; Wright e Boorse, 2017).

Desse modo, em situações de população rural ou dispersa, a disposição de esgoto no solo gera sérios problemas relacionados à contaminação de águas subterrâneas, uma vez que a utilização de fossas rudimentares — dispositivos sanitários sem impermeabilização — permite a infiltração e percolação do efluente no solo, contaminando

as águas com substâncias como o nitrato, além de propiciar o desenvolvimento de microrganismos patogênicos, como a *Escherichia coli* (Calijuri e Cunha, 2013; Macedo et al., 2020; Teramoto et al., 2020).

Ademais, outro problema sanitário consiste no descarte inadequado de resíduos sólidos acarreta problemas ao meio ambiente, visto que estes resíduos não apenas oferecem riscos à saúde humana, mas também causam contaminação das águas subterrâneas e dos cursos d'água devido ao lixiviado gerado, juntamente com a emissão descontrolada de metano na atmosfera (Calijuri e Cunha, 2013; Wright e Boorse, 2017; Almeida et al., 2020; Alghamdi et al., 2021).

Por outro lado, a obtenção de água potável também é um dos desafios enfrentados no contexto do saneamento rural, já que as populações não possuem acesso a sistemas de tratamento de água. Sendo assim, frequentemente se necessita captar água diretamente de poços artesianos, sem que se recorra a qualquer tipo de tratamento ou de monitoramento da qualidade da água (Nunes e Queiroz, 2016; Cavalcante et al., 2022).

De modo semelhante, as práticas antrópicas, como o desmatamento de matas ciliares, ocasionam assoreamento de rios e graves enchentes que afetam a qualidade de vida das comunidades rurais, principalmente durante os períodos de maior incidência de chuva, sendo necessário, portanto, o manejo adequado das águas pluviais (Carmo, 2012; Carneiro e Ribeiro, 2020; Oliveira Filho, 2020).

Políticas públicas de saneamento

Nesse contexto, torna-se importante ressaltar que as políticas públicas de saneamento têm sido influenciadas por um viés neoliberal, no qual o saneamento é considerado como uma espécie de mercadoria, que deve ser submetida a uma lógica de mercado. Assim, a concepção dos serviços de saneamento como um direito social é comprometida em detrimento de um modelo de desenvolvimento capitalista, que é responsável pela exclusão social e a baixa qualidade dos serviços de saneamento (Borja, 2014; Britto e Rezende, 2017; Ferreira et al., 2019; Paz et al., 2021).

Diante disso, as políticas públicas são diretrizes por meio das quais o estado determina a forma de enfrentar um problema público, o qual é a discrepância entre o *status quo* e uma situação pública idealizada. Desse modo, no processo de formulação de tais políticas, os tomadores de decisão (atores políticos) seguem o processo descrito no *policy cycle* (Círculo de Políticas Públicas) (Secchi, 2017).

Nesse sistema (Figura 1), o processo de formulação das políticas públicas se inicia pela delimitação do problema público, na qual se identificam quais as causas, as avaliações, os entes responsáveis, bem como os possíveis obstáculos no processo de resolução. Na segunda etapa, há a formação da agenda de governo, onde há a definição dos problemas que serão destinados à intervenção pública (Secchi, 2017).



Figura 1. Ciclo de políticas públicas. Fonte: Secchi (2017).

Na etapa de formulação de alternativas, os tomadores de decisão analisam quais são as possíveis ações para atuar na resolução do problema, a fim de determinar quais serão as metodologias aplicadas para se alcançar os objetivos propostos. Posteriormente, o processo de elaboração de políticas públicas é direcionado para a fase de tomada de decisão, na qual os responsáveis avaliam quais são os custos e benefícios de cada alternativa, de modo que a medida mais razoável seja escolhida (Secchi, 2017).

Por último, a alternativa selecionada é direcionada para as fases de implementação e de avaliação, onde a eficácia da ação é verificada. Nesse caso, a política elaborada pode ser redefinida para obter melhores resultados ou ser extinta caso o problema político seja solucionado ou perca a relevância. Do mesmo modo, a política pública pode tornar-se permanente caso ainda seja relevante para a sociedade (Secchi, 2017).

Ademais, torna-se importante ressaltar que durante o processo de formulação de uma política pública, há a presença de conflitos de interesse, obstáculos técnicos e legais, deficiências organizativas, assim como fatores econômicos que afetam a forma como a política de estado é elaborada (Secchi, 2017).

Programa Saneamento Brasil Rural

Nesse contexto, devido à carência do meio rural, a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) criou o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), agora denominado Programa de Saneamento Brasil Rural (PSBR), o qual visa a implementar políticas públicas de saneamento para promover equidade, intersetorialidade, sustentabilidade e integralidade dos serviços de saneamento, levando em consideração as condições específicas de cada região rural (Brasil, 2019).

Desse modo, as tecnologias sociais de saneamento, previstas como política pública no PNSR, podem ser compreendidas como metodologias ou técnicas de baixo custo, cuja finalidade consiste em apresentar soluções de saneamento de caráter sustentável, com potencial de empoderar socialmente as comunidades rurais (Domingos e Ribeiro, 2015; Brasil, 2019; Batista et al., 2021; Ferreira et al., 2023).

Para tanto, é necessário desenvolver métodos que tenham em consideração as características e condições regionais, assim como o envolvimento das próprias comunidades no processo de discussão, elaboração e aprovação de tais tecnologias (Tonetti et al., 2018; Brasil, 2019).

Questão e hipótese de pesquisa e objetivo

Diante do exposto, o presente artigo visa a abordar as tecnologias sociais e coletivas de saneamento rural voltadas às comunidades rurais por meio de uma revisão sistemática das experiências e propostas presentes na literatura.

Nesse contexto, o objetivo do artigo consiste em apresentar uma revisão sistemática sobre as experiências e propostas de tecnologias sociais, comunitárias e participativas de saneamento rural, presentes na literatura científica.

Material e métodos

A revisão sistemática da literatura (RSL) é um método sistematizado para avaliar um conjunto de informações reunidas de vários trabalhos científicos relacionados à um determinado tema. Desse modo, tais informações são organizadas de acordo com critérios de elegibilidades — fator de impacto de revistas, número de citações, além de outras condições — e por métodos de sistematização como o PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*), os quais são definidos previamente (Costa et al., 2021).

No presente trabalho, utilizou-se o método de revisão sistemática PRISMA, de forma adaptada, sem meta-análise, no qual se definiu o protocolo de pesquisa, os critérios

de elegibilidade, as estratégias de busca, a seleção de estudos, os resultados de estudos individuais e a síntese dos resultados (Galvão et al., 2015).

Protocolo da pesquisa

As bases de dados utilizadas no processo de busca por artigos científicos consistem nas plataformas do Periódico CAPES, do Google Acadêmico, do SciELO - *Scientific Electronic Library Online* e do *Science Direct* (Tabela 1).

A pergunta da pesquisa consiste na identificação de quais tecnologias sociais e comunitárias de saneamento rural são relevantes na literatura científica.

Tabela 1. Bases de dados.

Base de dados	Descrição	Sítio eletrônico
Periódico CAPES	Base de dados de pesquisa e de acesso aos principais periódicos nacionais e internacionais.	https://www.periodicos.capes.gov.br
Google Acadêmico	Ferramenta de pesquisa abrangente destinada a localizar artigos científicos e a verificar o número de citações desses trabalhos.	https://scholar.google.com
SciELO - <i>Scientific Electronic Library Online</i>	Biblioteca eletrônica de acesso aberto a diversos periódicos científicos.	https://www.scielo.br
<i>Science Direct</i>	Plataforma de periódicos internacionais de acesso aberto.	https://www.sciencedirect.com

Critérios de elegibilidade

Na análise de seleção das publicações científicas, foram selecionados os artigos com classificação no Qualis/CAPES de no mínimo B4 nas áreas de Ciências Ambientais ou Interdisciplinar.

No entanto, uma vez que as experiências de tecnologias de saneamento rural comunitárias são mais escassas na literatura científica do que as de natureza unifamiliar, foi necessário utilizar artigos publicados a partir de 2010.

Do mesmo modo, considerou-se relevante a seleção de trabalhos científicos publicados em idiomas como português, espanhol e inglês, a fim de que a pesquisa tivesse maior abrangência.

Para analisar a relevância acadêmica das revistas, foi utilizada a plataforma SUCUPIRA, da CAPES, enquanto na avaliação da quantidade de citações dos artigos utilizou-se a plataforma Google Acadêmico. Da mesma forma, a fim de consultar o fator de impacto de cada periódico, foi utilizada a plataforma *Journal Citation Reports* (JCR).

Tabela 2. Linhas de estudo.

Linha de estudo	Tema pesquisado
L1	Tratamento de águas de abastecimento
L2	Tratamento de águas residuárias
L3	Manejo de águas pluviais
L4	Manejo de resíduos sólidos

A fim de auxiliar a inclusão ou exclusão de artigos pesquisados, aplicou-se o teste de relevância (TR) (Muñoz et al., 2002). Assim, o critério utilizado no TR baseou-se em três linhas de estudo, previstas no Programa de Saneamento Brasil Rural (PSBR) (Tabela 2).

Estratégias de busca

No primeiro momento, durante o processo de busca por artigos relevantes, foram utilizadas palavras-chaves mais genéricas, mas que, no decorrer desse procedimento, tornaram-se inefetivas, visto que os artigos encontrados não estavam relacionados ao assunto pesquisado.

Dessa forma, fez-se uso de palavras-chave acompanhadas de boleadores, baseadas nas diretrizes tecnológicas do Programa de Saneamento Brasil Rural (PSBR) e compostas em língua portuguesa, espanhola e inglesa (Tabela 3), com o objetivo de encontrar artigos em idiomas diversos.

Tabela 3. Palavras-chave.

Português	Inglês	Espanhol
“Filtração em Margem”, “Filtração Lenta”, “Tanque Septico e rural”, “Wetland e comunidade rural”, “Cisterna e rural” e “Compostagem rural”.	“Ceramic filters and rural”, “sewage treatment and rural community” e “Drinking water filtration and rural”.	“Tratamiento de aguas residuales en comunidades rurales”, “Saneamiento de aguas residuales en áreas rurales”, “Tecnologías de purificación de agua para áreas rurales”.

Seleção de estudos

Para realizar a seleção dos artigos mais relevantes e relacionados ao tema, entre os vários encontrados durante o processo de pesquisa, foram utilizadas técnicas como a leitura de títulos, de resumos, de introdução, palavras-chave, bem como a leitura prévia dos artigos, baseada na técnica da análise de conteúdo, descritas por Bardin (2016).

Análise de conteúdo

A fim de que o conteúdo fosse analisado de forma crítica e a sua relevância avaliada, foi utilizada a técnica de análise de conteúdo, proposta por Bardin (2016), nos artigos selecionados na etapa de final da revisão sistemática, de modo que os artigos foram lidos na íntegra, possibilitando, assim, a construção de uma análise bem fundamentada a respeito da aplicabilidade das tecnologias de saneamento rural.

Seleção de artigos

Na etapa de seleção de artigos, seguindo a metodologia PRISMA, foram identificadas as características principais de cada artigo, assim como os resultados individuais de cada tecnologia e experiência pesquisada e a síntese dos resultados (Galvão et al., 2015; Bardin, 2016).

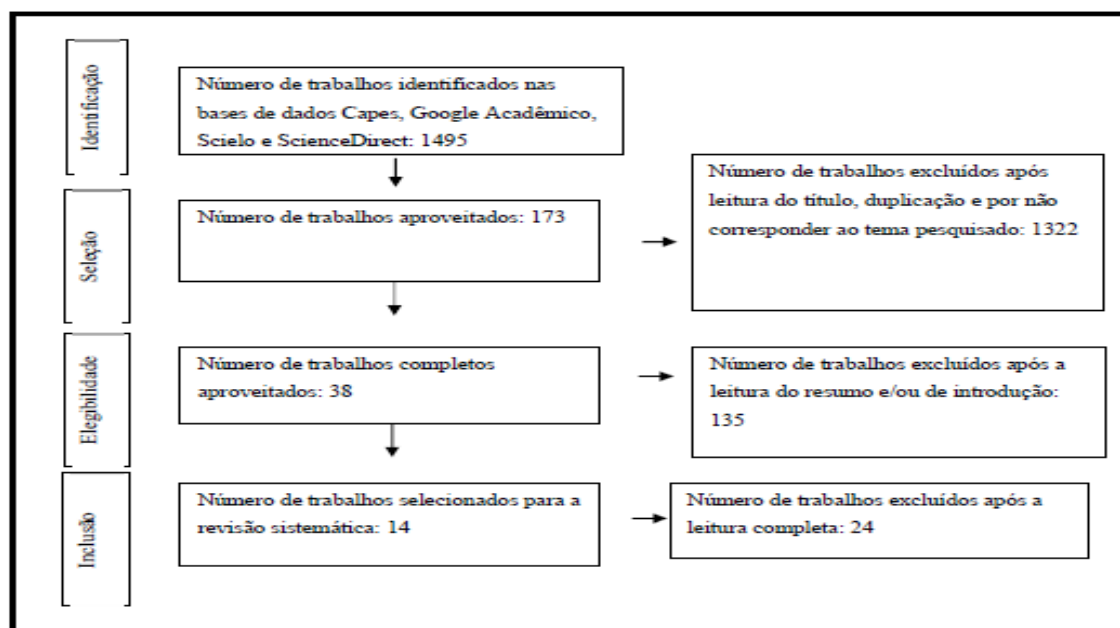
Desse modo, as fases da revisão sistemática estão detalhadas na Tabela 4, no qual há informações como o número de trabalhos identificados na fase inicial, o número de trabalhos aproveitados na fase de seleção, bem como o número de trabalhos selecionados para a análise de conteúdo.

Tabela 4. Descrição dos procedimentos do método PRISMA.

Fase	Etapas	Descrição
I	Protocolo de Pesquisa	Definição das bases de dados: Periódico CAPES, SciELO — <i>Scientific Electronic Library Online</i> , <i>Science Direct</i> e Google Acadêmico.
II	Definição da pergunta de pesquisa e início do procedimento de pesquisa.	Identificação de quais tecnologias sociais e comunitárias de saneamento rural são relevantes na literatura científica. O processo de pesquisa se inicia por meio da utilização, nas bases de dados, das palavras chaves definidas na Tabela 3 .
	Critérios de Elegibilidade	Aplicação de critérios de elegibilidade, como o Quali CAPES, a exclusão de dissertações de mestrado e teses de doutorado, a exclusão de artigos publicados em anais de congresso, bem como fora do tema pesquisado, além da remoção de resultados duplicados.
III	Leitura de resumos e introdução	As técnicas de leitura de resumos e de introdução foram utilizadas para realizar a exclusão de artigos não relevantes para o tema pesquisado.
	Seleção dos artigos	Os artigos selecionados nas etapas anteriores são lidos na íntegra, permitindo a seleção final dos artigos de maior relevância.
IV	Apresentação dos resultados	A técnica da análise de conteúdo foi utilizada nos artigos selecionados, possibilitando a apresentação dos resultados por meio de um quadro que inclui informações como o título dos artigos, o periódico de publicação, a linha de pesquisa trabalhada, o fator de impacto, a classificação dos periódicos da CAPES e a quantidade de citações, com a síntese de cada tecnologia apresentada no decorrer da seção de resultados e discussão.

Fonte: Adaptado de Galvão et al. (2015).

Na Figura 2, encontra-se o fluxograma detalhando as etapas realizadas na revisão sistemática da literatura por meio do método PRISMA.

**Figura 2.** Fases da revisão sistemática da literatura. Fonte: Adaptado de Galvão et al. (2015).

Resultados e discussão

Na Tabela 5, encontram-se descritas as experiências e propostas de saneamento rural, voltadas a países em desenvolvimento e com fragilidades de políticas públicas, que foram selecionadas com base nos artigos mais relevantes para a revisão sistemática da literatura. Das experiências encontradas, foram selecionados cinco artigos sobre tratamento de água (L1), três artigos sobre tratamento de esgoto doméstico (L2), três artigos sobre manejo de águas pluviais (L3) e três artigos sobre manejo de resíduos sólidos (L4).

Tabela 5. Características da relevância dos artigos selecionados.

Título	Periódico	Autoria/ Ano	Classificação	Citação	Fator de impacto	Linha de estudo
The challenge of improving the efficiency of drinking water treatment systems in rural areas facing changes in the raw water quality.	South African Journal of Chemical Engineering	García-Ávila et al. (2023)	A1	25	-	L1
Three staged integrated community-based water filter system for potable water by effective removal of contaminants from ground water.	Journal of Water Process Engineering	Singh et al. (2022)	A2	3	1.233	L1
Development of down-flow hanging sponge: Slow sand filter system as water purification system: Infection risk reduction in an East Africa rural area.	Scientific African	Ishikawa et al. (2023)	B4	-	2.7	L1
Tratamiento de agua potable por filtración inducida em uma laguna costera en el sur de Brasil.	Tecnología en Marcha	Esquivel et al. (2012)	B4	4	-	L1

Tabela 5. Continuação.

Título	Periódico	Autoria/ Ano	Classificação	Citação	Fator de impacto	Linha de estudo
Aplicação da tecnologia de filtração em margem para população difusa no Semiárido Pernambucano.	Revista Brasileira de Recursos Hídricos	Santos et al. (2014)	A3	9	-	L1
Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico.	Revista Ambiente & Água	Reinaldo et al. (2012)	A4	8	-	L2
UASB followed by Sub-Surface Horizontal Flow Phytodepuration for the Treatment of the Sewage Generated by a Small Rural Community.	Sustainability	Raboni et al. (2014)	A2	27	3.3	L2
Constructed wetland for improved wastewater management and increased water use efficiency in resource scarce SAT villages: A case study from Kothapally Village, in India.	International Journal of Phytoremediation	Datta et al. (2021)	A2	20	3.4	L2
Água da chuva para consumo humano: estudo de caso na Amazônia Oriental.	Inclusão Social	Neu et al. (2018)	A3	6	-	L3
Revitalização por barraginha na Bacia Hidrográfica do Rio Urucuia - Minas Gerais	Humboldt	Oliveira Filho (2020)	B4	-	-	L3

Tabela 5. Continuação.

Título	Periódico	Autoria/ Ano	Classificação	Citação	Fator de impacto	Linha de estudo
Considerações sobre a experiência de construção de cisternas em unidades de produção e vida familiares (UPVFs) do Município de Francisco Beltrão-PR.	Revista Nera	Candiotto et al. (2015)	A1	13	-	L3
Proposição de medidas para coleta seletiva na Comunidade Cavalhada, Município de Flores-PE	Revista Práxis: Saberes da Extensão	Silva et al. (2018)	B3	-	-	L4
Processamento de adubo orgânico, a partir de resíduos domésticos, em uma comunidade rural: uma proposta ecológica e viável.	Ensino, Saúde e Ambiente	Dalles e Teixeira (2010)	B1	3	-	L4
Ações em educação ambiental: uma contribuição para o processo de empoderamento da Comunidade de Pedra Branca, Santa Terezinha, BA	Revista Brasileira de Extensão Universitária	Lins et al. (2015)	A3	5	-	L4

Linha de Estudo 1 - Tratamento de águas de abastecimento

O tratamento convencional (ciclo completo) é uma das tecnologias sociais previstas nas diretrizes no PNSR (FUNASA, 2019). Nesse contexto, no Equador, na comunidade rural de Bayas, que possui cerca de 6 mil habitantes, García-Ávila et al. (2021) analisaram um sistema de tratamento de água convencional, uma vez que o antigo sistema de filtração de múltiplas etapas, composto por pré-filtração de cascalho e filtração lenta, foi substituído devido ao aumento considerável dos níveis de turbidez da água tratada.

Assim, a nova solução consistiu na instalação de um sistema convencional, com capacidade de fornecimento de água potável numa vazão de 20 L/s, composto pelas etapas

de coagulação, floculação, sedimentação, filtração rápida e desinfecção (García-Ávila et al., 2021).

O sistema de tratamento (Figura 3) é composto por um misturador rápido, com um tempo de ação de 1 s, para promover a mistura do agente de coagulação, com a velocidade de escoamento da água em torno de 2 m/s. Além disso, há dois floculadores hidráulicos de fluxo vertical com defletores, cada um projetado para uma vazão de 10 L/s, com tempo de detenção de 20 min, velocidade de escoamento de 0,15 m/s e profundidade de 2,6 m (García-Ávila et al., 2021).

No processo de decantação, há dois decantadores, cada um com 1,30 m de largura, 7,0 m de comprimento e 2,60 m de profundidade, construídos com placas de amianto-cimento (García-Ávila et al., 2021).

No processo de filtração, há um conjunto de quatros filtros de taxa decrescente, o qual permite que pelo menos três unidades operem enquanto a quarta está em manutenção. Nesse sistema, cada filtro possui 1,2 m de largura, 1,6 m de comprimento e 4,2 m de profundidade (García-Ávila et al., 2021).

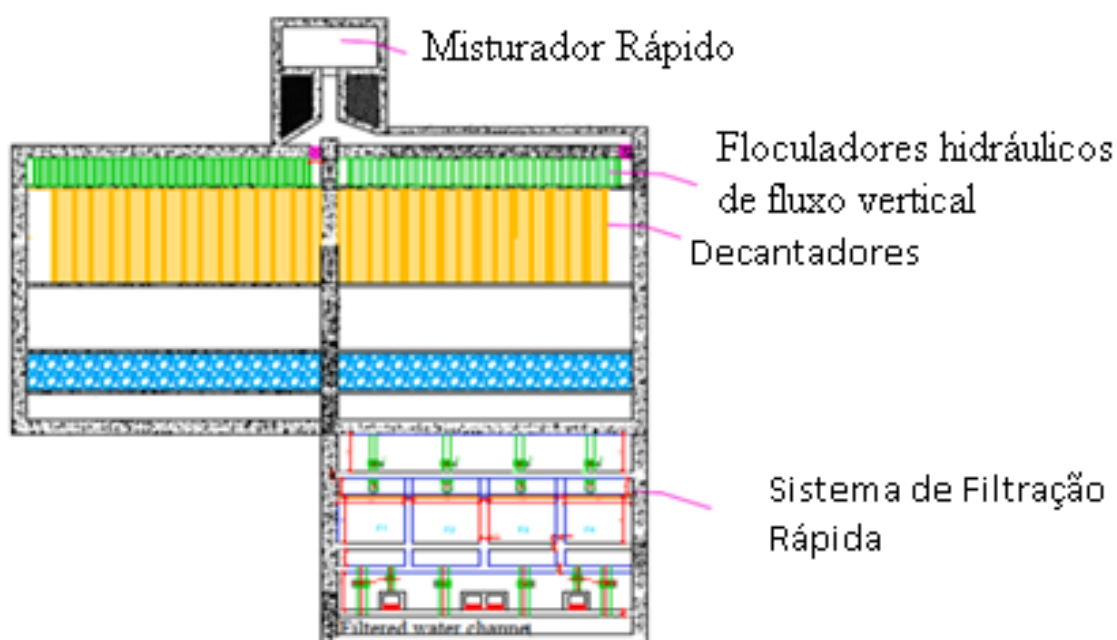


Figura 3. Sistema convencional de tratamento de água. Fonte: Adaptado de García-Ávila et al. (2021).

Dentre os resultados obtidos, o parâmetro da cor foi reduzido de 347,4 para 0,62 CU Pt-Co, apresentando uma taxa de eficiência de 99,82%, enquanto a turbidez decaiu de 36,29 para 0,45 UT. A concentração dos sólidos totais dissolvidos teve a concentração reduzida de 74,22 mg/L para 68,63 mg/L. Além disso, o valor médio do pH da água bruta era de 7,58, ao passo que na água tratada foi de 7,32 (García-Ávila et al., 2021).

A concentração de nitrato antes da instalação do novo sistema de tratamento estava em torno de 4,18 mg/L, enquanto observou-se uma queda na concentração deste parâmetro para 0,79 mg/L. Do mesmo modo, a concentração média do fostato foi reduzida para 0,08 mg/L (García-Ávila et al., 2021).

Dessa forma, o sistema convencional (ciclo completo) mostrou-se eficiente na remoção desses poluentes, visto que, anteriormente, tais componentes químicos não eram removidos com eficiência (García-Ávila et al., 2021).

Desse modo, o novo sistema foi capaz de substituir o antigo com eficiência, visto que os parâmetros de qualidade, como a cor e a turbidez foram satisfatórios, indicando que o sistema antigo tinha menor eficiência no tratamento da turbidez, uma vez que tal parâmetro foi reduzido em 98,75% (García-Ávila et al., 2021).

Além disso, houve uma inativação de 98,91% dos coliformes fecais no sistema de filtração rápida e de 99,09% no sistema de filtração lenta (García-Ávila et al., 2021). No entanto, há o maior custo com medidas estruturantes, uma vez que o novo sistema possui um gasto de 1.845 dólares por mês, enquanto o sistema antigo tinha um custo de 769 dólares mensais. Além disso, a participação social e o suporte do poder público também se apresentam como desafios nesse processo de implementação de uma nova tecnologia (García-Ávila et al., 2021).

Os sistemas menos dispendiosos, como a filtração lenta e a filtração em múltiplas etapas (FIME), são soluções factíveis de serem implantadas em comunidades rurais (FUNASA, 2019). Nesse sentido, Singh et al. (2022) desenvolveram um projeto piloto na Índia, **em uma comunidade rural em Kanppur**, o qual consiste em uma tecnologia de tratamento de água comunitária, para atender 80 pessoas, baseada em um sistema de filtração em três estágios, com capacidade de fornecimento de água potável na vazão de 120 L/h (Figura 4).

Nesse sistema de filtração (Figura 3), no primeiro estágio, há camadas de rochas, carvão vegetal e cascalho que são responsáveis por estabilizar o fluxo de água, assim como melhorar a qualidade do sabor e do odor. O segundo estágio é composto por areia de magnetita e óxido de ferro, cuja finalidade consiste em remover microrganismos e metais contaminantes da água. Por fim, no último estágio, há filtros de cerâmica a fim de eliminar os contaminantes restantes (Singh et al., 2022).



Figura 4. Projeto piloto. Fonte: Singh et al. (2022).

Dentre os resultados obtidos, no protótipo de laboratório, o sistema apresentou eficiência no processo de remoção da *Escherichia coli* durante o segundo e terceiro estágios do tratamento, visto que esses microrganismos não foram encontrados na água tratada após a terceira etapa de filtração. Do mesmo modo, a turbidez obtida em todos os testes do projeto piloto foi de 0,4 UT, enquanto da água bruta testada era de 0,6 UT (Singh et al., 2022).

Além disso, no protótipo instalado na comunidade rural, o pH manteve-se aproximadamente neutro tanto na água bruta quanto na tratada, durante os ensaios realizados. No entanto, a redução da concentração dos sólidos totais dissolvidos, em todos os testes, não foi tão significativa, visto que esse **parâmetro** variou de 200 para 150 mg/L (Singh et al., 2022).

Ademais, no protótipo de laboratório, observou-se uma redução de aproximadamente 95% no nível de arsênio (As), enquanto o nível de cromo (Cr) diminuiu em 95%. De maneira semelhante, no protótipo instalado na comunidade, houve uma redução significativa de 98% no nível de arsênio, além de o cromo apresentar-se abaixo do limite mínimo de detecção (Singh et al., 2022).

Nesse sentido, tal projeto tem potencial para atender comunidades que encontram dificuldades para ter acesso ao tratamento de água, principalmente nas regiões onde não há suporte financeiro para a implementação de tratamentos mais dispendiosos (Singh et al., 2022).

Nessa linha tecnológica de filtração de múltiplas etapas, Ishikawa et al. (2023) desenvolveram um sistema de filtração (Figura 5), composto por um tanque de sedimentação, um reator de fluxo descendente de leito fluidizado (DHS) e por um filtro de areia de filtração lenta (SSF). Desse modo, o objetivo da pesquisa consistiu em avaliar a eficiência desse protótipo de tratamento em uma área com 100 domicílios, os quais não possuíam acesso à água potável.

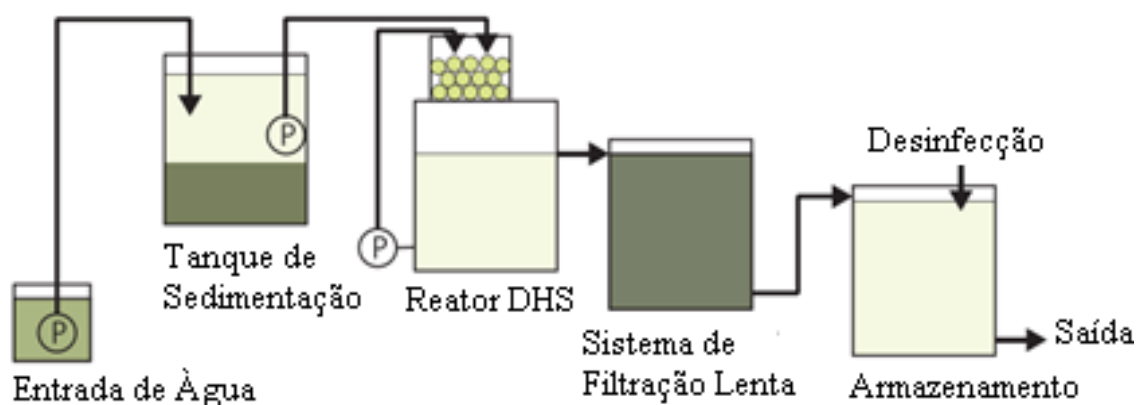


Figura 5. Sistema de filtração DHF-SSF. Fonte: Adaptado de Ishikawa et al. (2023).

O reator de leito fluidizado (DHS) é um sistema de filtro percolador que possui suportes internos nos quais os microrganismos patogênicos são retidos por meio da adsorção às estruturas do sistema de filtração, sendo que esses reatores possuem uma vida útil em torno de cinco anos (Ishikawa et al., 2023).

Desse modo, um experimento piloto foi conduzido no Moyo Children Care Center, no Quênia, no qual o sistema utilizava um tanque de sedimentação de 3,5 m³, em conjunto com um reator de esponja com capacidade de 20 L, que operava numa vazão de 1.000 L/h. Por fim, a água era direcionada para um sistema de filtração lenta com capacidade de

3,5 m³ e armazenada em um tanque, no qual se aplicava cloro para realizar a desinfecção (Ishikawa et al., 2023).

Dentre os resultados obtidos, o sistema de tratamento apresentou uma eficiência de 80% na redução da turbidez, diminuindo de 75 para 6 UT, sendo necessário ressaltar que, no Quênia, o padrão exigido é de 5 UT. Da mesma forma, a carga total de matéria orgânica presente na água (TOC) foi reduzida de 21 para 3,9 mg/L (Ishikawa et al., 2023).

Do mesmo modo, observou-se uma redução do parâmetro da cor, o qual variou de 220 para 18 TCU (Ishikawa et al., 2023).

Contudo, o sistema ainda precisa ser aprimorado na redução de matéria orgânica, turbidez e cor, fim de termar maior eficiência no processo de eliminação da *E. coli*, visto que a taxa de remoção apresentada variou de 300 a 5 UFC/100 mL (Ishikawa et al., 2023).

Desse modo, essa quantidade residual de microrganismos é decorrente de uma redução imprevista da concentração de cloro residual, resultante da ação de reações químicas entre esse composto e outros materiais orgânicos que não deveriam ter permanecido no tanque de armazenamento (Ishikawa et al., 2023).

Nesse sentido, à medida que os microrganismos se estabilizam no sistema de filtração, a eficiência de eliminação de matéria orgânica vai sendo aprimorada. Porém, como os testes foram realizados com apenas duas semanas de operação, os melhores resultados ainda não tinham sido obtidos (Ishikawa et al., 2023).

Por fim, o sistema de filtração de múltiplas etapas é viável para tratar água com turbidez de até 50 UT, com uma demanda diária de até 1.800 L (Ishikawa et al., 2023).

Outra técnica prevista nas diretrizes do PNSR é a filtração em margem (FM), que consiste na instalação de poços próximos a um manancial superficial, como rios e lagos e na indução hidráulica da passagem de água desses mananciais para os poços de produção (Freitas et al., 2018; Brasil, 2019).

Nesse sistema de filtração, o bombeamento da água contida em um poço freático instalado próximo ao manancial superficial induz o fluxo de água, por meio da diferença de carga hidráulica, para o próprio poço, fazendo com que este sofra um processo de recarga. Desse modo, o próprio solo atua como meio filtrante durante o escoamento de água do manancial para o poço de produção (Tyagi et al., 2013; Freitas et al., 2018; Oliveira et al., 2021).

Nesse contexto, em Pernambuco, Santos et al. (2014) aplicaram a técnica da filtração em margem na Cidade de Garanhuns, construindo poços próximos à barragem do Reservatório Mandaú. Desse modo, um poço freático foi construído a uma distância de 38 m do reservatório para obter uma carga hidráulica adequada para induzir o fluxo de água.

O poço possuía 1 m de diâmetro e 2,5 m de profundidade, com borda de 1 m acima do solo, sendo estruturado com tubos de concreto. Ademais, o poço após o processo de recarga oferecia uma vazão de 5,7 m³/dia (Santos et al., 2014).

Dentre os resultados obtidos, a turbidez foi reduzida para valores em torno de 10 UT, porém ainda permaneceu acima dos limites máximos permitido pela Portaria MS nº 2.914/2011 (Brasil, 2011), para água potável, de 5 UT, relativo a qualquer ponto do sistema de distribuição, e de 0,5 UT, relacionado ao pós-tratamento (Santos et al., 2014).

O oxigênio dissolvido permaneceu dentro do enquadramento exigido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005), de 2 mg/L. Ademais, o processo foi eficiente na eliminação de cianobactérias, visto que elas não foram encontradas (Santos et al., 2014).

Ademais, o processo de filtração em margem também foi utilizado por Esquivel et al. (2012), que empregaram essa técnica em um projeto piloto na Lagoa do Peri, em Santa Catarina. Dentre os resultados obtidos, o processo de filtração reduziu em torno de 90% da turbidez e da cor aparente. No entanto, na água obtida foram encontradas condições

anóxicas em razão da degradação da matéria orgânica, sendo recomendados tratamentos posteriores, como a filtração e a desinfecção (Esquivel et al., 2012).

Nesse sentido, em razão de algumas deficiências relacionadas à turbidez e o nível de oxigênio dissolvido na água, o sistema de filtração em margem é mais adequado ao pré-tratamento da água, sendo necessário realizar tratamentos posteriores para garantir a qualidade de água potável (Esquivel et al., 2012; Tyagi et al., 2013; Santos et al., 2014).

Linha de Estudo 2 - Tratamento de Efluentes

Dentre as tecnologias de tratamento de esgoto, o PNSR prevê a utilização do *Wetland* ou sistema alagado construído (SAC) e do tanque séptico (Brasil, 2019).

O sistema de tratamento de efluente *wetland* consiste na criação de um ecossistema artificial, semelhante aos pântanos, terras úmidas e outras regiões alagadas, onde ocorrem processos químicos, físicos e bioquímicos em razão da vegetação e dos microrganismos presentes no ecossistema (Sperling, 2007; Reinaldo et al., 2012).

Nesse contexto, outra experiência relacionada com tratamento de efluentes, utilizando tanque séptico, filtro anaeróbio, *wetland* e radiação solar, foi desenvolvida por Reinaldo et al. (2012), no Assentamento Rural Milagres, no Município de Apodi, no Rio Grande do Norte, para atender 60 pessoas, para o tratamento de 20 m³/dia de efluente doméstico.

Desse modo, o sistema utilizava um tanque impermeabilizado, em conjunto com um filtro anaeróbio, com 4 m de largura, 1 m de comprimento e 1,80 m de profundidade, no qual a finalidade consiste em realizar o tratamento preliminar e primário do efluente. Assim, o espaço interno foi dividido com um tanque séptico de 21 m³, uma grade para tratamento preliminar e por dois filtros anaeróbios de fluxo descendente totalizando uma capacidade de 16 m³ (Reinaldo et al., 2012).

O sistema alagado construído (SAC) (Figura 6) foi elaborado visando a um fluxo subsuperficial, para realizar o tratamento secundário e terciário. Para tanto, foi escavado e construído um tanque impermeabilizado com 2 m de largura, 4 m de comprimento e 0,5 m de profundidade. Na composição do meio filtrante, foi utilizada brita para atuar como suporte, tanto da vegetação quanto dos microrganismos, que formam biofilme responsável pela degradação da matéria orgânica. Ademais, foram utilizados colmos de capim elefante (*Pennisetum purpureum*) para formar a vegetação responsável pela absorção de nutrientes (Reinaldo et al., 2012).

Por último, há um reator solar (Figura 6) destinado ao tratamento terciário, cuja finalidade é atuar na inativação dos coliformes termotolerantes. Desse modo, utilizou-se de um cilindro de fibra de vidro com diâmetro de 1,30 m e profundidade de 0,40 m, com volume de 0,53 m³. Esse dispositivo era operado durante um período de exposição solar de 12 h (Reinaldo et al., 2012).

Dos resultados obtidos no ponto final de coleta, a demanda química de oxigênio (DQO) apresentou uma faixa de variação entre 121,15 e 160,20 mgO₂/L, enquanto na demanda bioquímica de oxigênio (DBO) foi observada uma variação entre 78,30 e 68,90 mgO₂/L (Reinaldo et al., 2012).

Assim, o sistema conseguiu obter uma redução da DBO entre 57% e 65%, sendo que os valores da DBO foram inferiores ao limite máximo de 120 mgO₂/L, determinado na atual legislação do Estado do Ceará. Do mesmo modo, a DQO apresentou uma redução entre 64% e 74% (Reinaldo et al., 2012; Ceará, 2017).

No que tange à turbidez, os valores oscilaram dentro de uma faixa de 45 a 47,8 UT, apresentando uma taxa de remoção entre 84% e 98% (Reinaldo et al., 2012).

A remoção dos sólidos suspensos oscilou entre 6 e 68 mg/L, de modo que foram constatadas taxas de remoção entre 89% e 99%. Da mesma forma, as remoções de fósforo apresentaram taxa de 41% a 60%, com as concentrações variando de 6,90 até 16,29 mg/L (Reinaldo et al., 2012).



Figura 6. Sistema alagado construído e reator solar. Fonte: Reinaldo et al. (2012).

A remoção dos coliformes totais apresentou variações entre 99,36% e 99,99%, enquanto a taxa de remoção dos coliformes termotolerantes variou entre 99,91% e 99,99%. Ambos os parâmetros se encontram dentro dos limites legais estabelecidos pelo Estado do Ceará (Reinaldo et al., 2012).

Dessa forma, o sistema elaborado para pequenas comunidades rurais, de 60 habitantes, apresentou taxas de remoção significativas dos parâmetros apresentados. Contudo, algumas deficiências foram encontradas, tornando necessário um maior aprofundamento do funcionamento desse sistema (Reinaldo et al., 2012).

Nesse contexto, a utilização do reator UASB em conjunto com o sistema de tratamento de escoamento subsuperficial ou *wetland* (Figura 7) foi desenvolvida por Raboni et al. (2012), em uma comunidade rural no Nordeste do Brasil, com 1.650 habitantes, cuja finalidade consistia em tratar 220 m³/dia de esgoto.

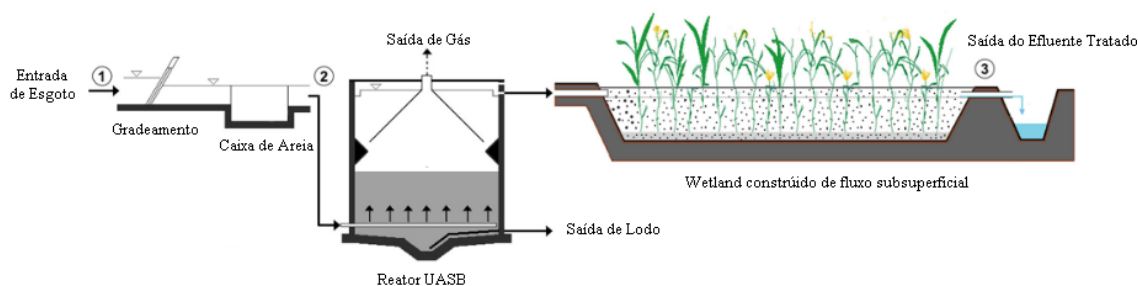


Figura 7. Sistema UASB-SSHFP. Fonte: Adaptado de Raboni et al. (2014).

Para tanto, um reator UASB foi construído com diâmetro de 5,6 metros e volume total de 125 m³, sendo dividido por uma zona anaeróbica de 57 m³, uma zona de sedimentação de 52 m³ e por uma zona de transição de 16 m³ (Raboni et al., 2014).

O sistema de fotodepuração possuía uma superfície total de 2.200 m², duas linhas horizontais, utilizando pedras como meio filtrante e suporte para a camada de vegetação formada por taboas (*Typha domingensis*). Além disso, este sistema operava com uma lâmina de água de 0,65 m de profundidade (Raboni et al., 2014).

A partir dos resultados obtidos, observou-se que o pH do efluente bruto estava por volta de 7,45, enquanto o sistema UASB operava com um pH de 8 e o *wetland* mantinha pH de 7,5. O aumento do pH no reator é devido ao acréscimo da atividade de metanogênese,

ao passo que o decréscimo ocorrido no tratamento subsequente está relacionado com a produção de gás carbônico por meio de reações aeróbias (Raboni et al., 2014).

No reator UASB, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) apresentou uma redução de 74%, na qual a concentração diminuiu de 418,5 para 108,8 mgO₂/L. Da mesma forma, a concentração da demanda química de oxigênio (DQO) foi reduzida de 875 para 253 mgO₂/L, resultando em uma taxa de remoção de 71% (Raboni et al., 2014).

O sistema *wetland* também demonstrou uma eficiência significativa no tratamento do efluente, visto que houve redução de 18,9% na DBO, cuja concentração reduziu para 29,9 mgO₂/L, enquanto na DQO observou-se uma concentração de 182,2 mgO₂/L, apresentando uma remoção de 8,1% (Raboni et al., 2014).

O reator UASB apresentou taxas de redução de 65% para sólidos suspensos e de 83,2% para sólidos sedimentáveis, enquanto o *wetland* demonstrou eficiência de 29% e 15,8% para a remoção desses **parâmetros**, respectivamente (Raboni et al., 2014).

Além disso, observou-se no reator UASB uma taxa de remoção de 67,4% para coliformes fecais e de 65,2% para enterococos fecais, enquanto o *wetland* apresentou, respectivamente, reduções de 31,4% e 32,7% para esses mesmos indicadores microbiológicos (Raboni et al., 2014).

Desse modo, o sistema como um todo atingiu uma eficiência, na qual a taxa de remoção foi de 98,8% para os coliformes fecais e de 97,9% para os enterococos fecais (Raboni et al., 2014).

Por fim, o sistema composto por um reator UASB e um *wetland* demonstrou-se eficiente na redução de **parâmetros**, como DBO, DQO, sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis. Ademais, observou-se, também, uma efetiva remoção de microrganismos patogênicos, ressaltando que o sistema não gerou odores desagradáveis e não atraiu insetos transmissores de doenças (Raboni et al., 2014).

Nessa linha de tratamento de esgoto doméstico, Datta et al. (2021) construíram um protótipo de *wetland*, visando a atender a uma demanda de 100 residências rurais no vilarejo Kothapally, de Telangana, na Índia.

Esse sistema de tratamento foi dimensionado para suportar uma demanda de 20 m³/dia de efluente doméstico. Para tanto, o sistema de fluxo horizontal e subsuperficial foi edificado, utilizando-se de tijolos de alvenaria e revestimento de cimento, a fim de construir uma vala de 20 m de comprimento, 4 m de largura e 1,5 m de profundidade (Datta et al., 2021).

O leito da zona filtrante é composto por três camadas horizontais de substratos com 30 cm de espessuras, as quais atuam em conjunto com uma camada de areia grossa de 15 cm de espessura. Na superfície do sistema, há plantas das espécies tábua-larga (*Typha latifolia*) e cana-da-india (*Canna indica*) a fim de auxiliar no processo de estabilização da matéria orgânica presente no efluente (Datta et al., 2021).

Dentre os resultados obtidos, o total de sólidos suspensos foi reduzido de 52 para 7,2 mg/L, caracterizando uma redução de 86,15%. Do mesmo modo, a demanda química de oxigênio (DQO) foi reduzida em torno de 61,54%, de modo que houve uma queda na concentração de 240 para 92,3 mg/L (Datta et al., 2021).

Ademais, a concentração de nitrato-nitrogênio foi reduzida de 5,4 para 1,22 mg/L, apresentando uma eficiência de 77,41%. Quanto aos coliformes totais, obteve-se uma taxa de redução em torno de 92,7% (Datta et al., 2021).

Por fim, a eficiência da remoção de sólidos suspensos, bem como de coliformes totais, demonstra que o sistema de *wetland* é confiável para atender às demandas de pequenas comunidades rurais, uma vez que a operação é menos dispendiosa, pois não demanda a utilização de máquinas elétricas nem de produtos químicos (Datta et al., 2021).

Linha de Estudo 3 - Manejo de Águas Pluviais

Dentre as diretrizes abordadas pelo PNSR, encontra-se o manejo de águas pluviais, sendo a construção de cisternas uma das recomendações do programa nacional de saneamento rural (Brasil, 2019). Nesse contexto, a experiência de aproveitamento de água de chuva foi realizada por Neu et al. (2018), cujo projeto consistiu na construção de um sistema de captação e armazenamento de água de chuva (Figura 8), na Comunidade Ribeirinha de Ilha das Onças, no Município de Barcarena, no Estado do Pará, para atender 77 pessoas.

Para tanto, foi desenvolvido um sistema composto por caixa d'água de 1.000 L, tubulações de PVC e calhas, além de um sistema semiautomático para realizar o descarte da água inicial proveniente da chuva, conectado a uma serpentina para armazenar resíduos provenientes das calhas e dos telhados. Além disso, a água armazenada sofre um processo de desinfecção por meio da aplicação de hipoclorito de sódio (Neu et al., 2018).



Figura 8. Sistema de captação de água de chuva. Fonte: Neu et al. (2018).

Dos resultados obtidos, o pH da água armazenada nas caixas d'água apresentou o valor de 5,34 no período mais chuvoso e 5,6 nos períodos de menor incidência de chuva (Neu et al., 2018).

Nesse sentido, o pH médio de regiões com baixa atividade antrópica está em torno 5,6, de forma que a leve acidez é decorrente do equilíbrio entre a água e a concentração de gás carbônico atmosférico (Neu et al., 2018).

Além disso, a análise microbiológica encontrou contaminação por coliformes totais e *Escherichia coli* nas caixas d'água, indicando que os usuários não estavam realizando a manutenção e operação do sistema corretamente (Neu et al., 2018).

Outra experiência relacionada ao manejo de águas pluviais foi realizada por Oliveira Filho (2020), na qual foi analisado o processo de revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio Urucuia, em Minas Gerais, por meio da técnica das barraginhas. Para tanto, foi realizado uma pesquisa de campo nos municípios que receberam o projeto barraginhas de revitalização da Bacia do Rio São Francisco.



Figura 9. Barraginha. Fonte: Oliveira Filho (2020).

A construção de pequenos reservatórios de água de chuva (barraginhas) é uma técnica simples (Figura 9), que consiste na escavação de um reservatório em locais, como beira de estradas, pastagens e lavouras, de modo que as águas provenientes das enxurradas sejam retidas, ao invés de provocar efeitos indesejáveis, como erosões e assoreamentos (Oliveira Filho, 2020).

Dentre os resultados, foram construídas 11.430 barraginhas, distribuídas entre os Municípios de Chapada Gaúcha, Formoso, Riachinho, Urucuia, Buritis, Arinos e Bonfinópolis de Minas. Da mesma forma, no Município de Arinos, foram construídas 2.205 barraginhas visando à revitalização dos rios locais. Enquanto isso, no Município de Chapada Gaúcha, foram erguidas 1.810 barraginhas para promover a revitalização das nascentes municipais. Por fim, 1.440 barraginhas foram construídas em Urucuia, juntamente com 1.480 no Município de Formoso (Oliveira Filho, 2020).



Figura 10. Sistema de ferrocimento. Fonte: Candotto et al. (2016).

Nesse sentido, o projeto de revitalização de rios e de nascentes conseguiu atender a 3.780 famílias, proporcionando benefícios, tais como o processo de conscientização social a respeito do meio ambiente, a qualificação de técnicos na tecnologia das barraginhas, o aumento da taxa de infiltração de água de chuva no solo, bem como a recarga do lençol freático (Oliveira Filho, 2020).

Nessa mesma linha de pesquisa, Candiotto et al. (2015) conduziram uma experiência de construção de cisternas no Município de Francisco Beltrão, no Estado do Paraná, por meio do projeto de conservação e uso sustentável de recursos hídricos como instrumento de gestão ambiental em unidades rurais familiares com produção agroecológica no Município de Francisco Beltrão-PR.

Desse modo, optou-se pela construção de duas cisternas de ferrocimento (Figura 10), cujo modelo foi desenvolvido pelo Centro de Tecnologias Alternativas Populares (CETAP). Essas cisternas são construídas com materiais como ferro, cimento, telas e areia, além de possuir capacidade de armazenamento de 30 mil litros (Candiotto et al., 2016).

Dentre os resultados obtidos, a qualidade microbiológica da água da cisterna foi monitorada, de modo que os resultados não indicaram contaminação por coliformes termotolerantes e por *Escherichia coli*, sendo a água considerada potável (Candiotto et al., 2016).

Embora a água da cisterna tenha apresentado bons resultados, os procedimentos de manutenção, como a limpeza anual da cisterna, a limpeza de calhas e telhados, bem como a abertura da tampa para o descarte da água de chuva inicial, são necessários para garantir a segurança da água armazenada nas cisternas (Candiotto et al., 2016).

Linha de Estudo 4 - Manejo de Resíduos Sólidos

No que se refere ao manejo de resíduos sólidos, Silva et al. (2018) desenvolveram uma proposta para a instalação de Pontos de Entrega Voluntários (PEVs), na Comunidade Rural de Cavahada, no Município de Flores, no Estado de Pernambuco, visando a atender uma população de 165 habitantes.

Desse modo, foi realizada a estimativa da quantidade de resíduos sólidos produzida, bem como do tipo de resíduo que deveria ser separado. Para tanto, realizou-se visitas em 10 casas da comunidade, repetindo esse processo por quatro ciclos. Por fim, calculou-se uma média aritmética dos resultados encontrados (Silva et al., 2018).

Dessa forma, a quantidade média de resíduos sólidos gerados pela comunidade foi de 44,54 kg/dia, de forma que ao considerar a totalidade da comunidade, o volume total gerado é de 364,74 L. Ademais, cabe ressaltar que a destinação dos resíduos domésticos na comunidade ainda é feita pelo processo de incineração (Silva et al., 2018).

Nesse sentido, a fim de solucionar a destinação desses resíduos, a proposta elaborada estimou a utilização de três contêineres de 1.000 L para serem instalados nos PEVs, de tal modo que durante sete dias, esses pontos de coleta de resíduos receberiam um volume de 2.553,16 L (Silva et al., 2018).

Os PEVs seriam instalados em pontos estratégicos da comunidade, onde haveria a coleta seletiva, na qual se separa os resíduos secos dos molhados, considerando tal processo como o mais simplificado possível. Dessa forma, a comunidade iria separar os resíduos compostos por restos de alimentos e materiais não recicláveis (resíduos inorgânicos), dos resíduos recicláveis, como metais, vidros, papéis e plásticos. Ademais, a prefeitura iria recolher os resíduos armazenados nos PEVs de forma semanal (Silva et al., 2018).

A técnica de compostagem é importante no manejo de resíduos sólidos nas comunidades rurais, constituindo-se como uma das diretrizes do PNSR (Brasil, 2019). Desse modo, Dalles e Teixeira (2018) desenvolveram um projeto de tratamento de resíduos orgânicos por meio das leiras de compostagem, na unidade de compostagem e

reciclagem de lixo orgânico da Fazenda Nobre, na qual residem oito famílias, no Município de Mococa, no Estado de São Paulo.

O projeto constitui na formação de leiras de compostagem em terrenos nivelados e com boa disponibilidade de luz solar. Para tanto, foram desenvolvidas oficinas de educação ambiental relacionadas com a coleta e seleção de lixo doméstico, assim como do processo de compostagem e formação do adubo orgânico (Dalles e Teixeira, 2010).

Desse modo, o material orgânico selecionado foi organizado em camadas sucessivas até atingir uma altura de 1,30 metros, sendo as camadas preenchidas por restos vegetais, resíduos orgânicos e por esterco de curral. Após os primeiros cinco dias de descanso, a matéria orgânica foi transferida para uma estrutura de madeira para o processo de aeração (Dalles e Teixeira, 2010).

O processo de compostagem foi eficaz, uma vez que se obteve partículas menores que 5 centímetros, as quais são ideais para o processo de degradação realizado pelos microrganismos. Além disso, o processo de aeração manteve um nível de umidade em torno de 60%, o que é ideal para a atividade microbiológica (Dalles e Teixeira, 2010).

Ademais, o valor da porcentagem de nitrogênio, em torno de 1,2%, bem como a porcentagem de potássio, de 0,90%, e o pH de 6,8, indicam que a qualidade do adubo orgânico é adequada para fins agrícolas (Dalles e Teixeira, 2010).

Nesse contexto, outra experiência importante foi a reutilização de material reciclável para a produção de artesanato, conduzida por Lins et al. (2015), na Comunidade Rural de Pedra Branca, no Município de Santa Terezinha, na Bahia.

O projeto foi realizado numa comunidade aonde residiam 410 pessoas, sendo necessária, na primeira fase de execução, a elaboração de um questionário para identificar quais eram a visão e a destinação da comunidade em relação aos resíduos sólidos (Lins et al., 2015).

Dentre os resultados obtidos na primeira fase, observou-se que a comunidade não tinha noção a respeito de conceitos mais elaborados como a compostagem e as práticas de reciclagem. Do mesmo modo, os moradores afirmavam que a destinação consistia apenas no caminhão que realizava a coleta dos resíduos (Lins et al., 2015).

Na segunda fase do projeto, promoveram-se oficinas de educação ambiental na escola da comunidade e na associação de moradores. Durante essas sessões, foram abordados temas, como armazenamento e disposição de resíduos sólidos, além de técnicas de reciclagem, de reutilização de materiais e de artesanato (Lins et al., 2015).

Desse modo, a comunidade, durante as oficinas, aprendeu a produzir peças de artesanato como bonecas, carteiras, brinquedos, sendo todos estes confeccionados com materiais reciclados. Ademais, essas oficinas de educação ambiental foram importantes para conscientizar a comunidade rural a respeito da reutilização de materiais provenientes dos resíduos domésticos. Assim, tais oficinas auxiliaram a fomentar o consumo consciente, além de estimular o processo de mobilização social (Lins et al., 2015).

Conclusão

Dessa forma, as tecnologias de filtração de múltiplas etapas (FIME) e de filtração em margem são soluções eficazes para o tratamento de água, de forma que esses processos de filtração são adequados para atender as demandas de água potável de comunidades isoladas, que não possuem possibilidade de construir um tratamento de ciclo completo convencional, pois atingem taxas de redução entre 80% e 98% em **parâmetros** como cor, turbidez e carga orgânica total, de acordo com a tecnologia utilizada.

Além disso, a técnica de filtração em margem é adequada para ser utilizada como forma de tratamento anterior a filtração e desinfecção, possibilitando o aproveitamento de mananciais superficiais como córregos, rios e represas.

No entanto, o tratamento de ciclo completo (convencional) ainda é o mais adequado em razão de sua boa eficiência. Porém, possui valores mais dispendiosos, tanto no processo de construção, quanto de operação.

Por outro lado, no contexto do tratamento de efluentes domésticos, a utilização do tanque séptico, do reator UASB e do *wetland*, de forma singular ou combinada, pode potencializar o tratamento de efluentes das comunidades rurais.

Dessa forma, a combinação de *wetland* com o reator UASB ou com o tanque séptico produziu resultados satisfatórios, como a redução da turbidez dos efluentes em torno de 80%, além do decréscimo da DBO e DQO, em taxas que variam entre 65% e 95%, bem como na inativação de coliformes totais e termotolerantes numa taxa de, aproximadamente, 99%.

No que se refere ao manejo de águas pluviais, a utilização de cisternas de ferrocimento, combinadas com sistemas de calhas, pode auxiliar no processo de obtenção e armazenamento de água potável em comunidades rurais que não dispõem de acesso aos mananciais de abastecimento de água de forma contínua. Além disso, a utilização de barraginhas pode conter os processos de erosão, assim como de inundações de vias e de residências localizadas em pontos nos quais há acúmulo de água.

Ademais, no que concerne ao gerenciamento de resíduos sólidos, a utilização dos pontos de entrega voluntária (PEV) em conjunto com oficinas de educação ambiental a respeito de coleta seletiva e reciclagem, pode ser uma solução que contribua com o fim da queima e da destinação ao ar livre de resíduos domésticos nas comunidades rurais.

Do mesmo modo, o incentivo das técnicas de compostagem apresenta-se como uma solução adequada para a destinação dos resíduos sólidos orgânicos, visto que eles podem ser direcionados para a produção de adubo, o qual pode ser direcionado em benefício das populações do meio rural.

Por fim, as experiências desenvolvidas no presente artigo estão relacionadas ao escopo previsto pelo PSBR, uma vez que são tentativas de desenvolver tecnologias comunitárias e de baixo custo que foram realizadas em países em desenvolvimentos localizados em continentes de maior vulnerabilidade social como a África, a Ásia e a América Latina, os quais, na maioria das vezes, são carentes de recursos financeiros e de políticas públicas para universalizar o acesso ao saneamento básico.

No entanto, torna-se necessário ressaltar que a literatura científica ainda carece de experiências desenvolvidas, principalmente, de tecnologias de tratamento de água e de efluentes domésticos, que sejam capazes de atender a maiores demandas, como aquela dos distritos urbanizados que possuem populações acima de 300 habitantes.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte proporcionado por meio da concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor, bem como aos demais autores, pelos esforços e contribuições que tornaram possível a elaboração deste artigo.

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há interesses financeiros concorrentes ou relações pessoais conhecidas que possam ter influenciado as inferências relatadas neste artigo.

Referências

- Aleixo, B.; Rezende, S.; Pena, J. L.; Zapata, G.; Heller, L. Direito humano em perspectiva: desigualdades no acesso à água em uma comunidade rural do Nordeste brasileiro. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, p. 63-84, 2016. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC150125R1V1912016>
- Alghamdi, A. G.; Aly, A. A.; Ibrahim, H. M. Assessing the environmental impacts of municipal solid waste landfill leachate on groundwater and soil contamination in Western Saudi Arabia. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 5, 350, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06583-9>
- Almeida, L. S.; Cota, A. L. S.; Rodrigues, D. F. Saneamento, arboviroses e determinantes ambientais: impactos na saúde urbana. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 25, n. 10, p. 3857-3868, 2020. <https://doi.org/10.1590/1413-812320202510.30712018>
- Bardin, L. **Análise de conteúdo**. 6. ed. Lisboa: Edições 70, 2016.
- Batista, V. D. A.; Bichara, C. N. C.; Carneiro, C. R. D. O.; Furtado, L. G.; Botelho, M. G. L.; Silva, D. F. D.; Pontes, A. N. Tecnologias sociais voltadas para o saneamento básico de comunidades ribeirinhas na Amazônia. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 19, p. 909-920, 2021. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2021\)081918](https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)081918)
- Borja, P. C. Política pública de saneamento básico: uma análise da recente experiência brasileira. **Saúde e Sociedade**, v. 23, n. 2, p. 432-447, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902014000200007>
- Brasil. **Programa Nacional de Saneamento Rural**. Brasília: FUNASA, 2019. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.
- Britto, A. L.; Rezende, S. C. A política pública para os serviços urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil: financeirização, mercantilização e perspectivas de resistência. **Cadernos Metrópole**, v. 19, n. 39, p. 557-581, 2017. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2017-3909>
- Calijuri, M. C.; Cunha, D. G. F. **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2013.
- Candiotto, L. Z. P.; Grisa, F. F.; Schimitz, L. A. Considerações sobre a experiência de construção de cisternas em Unidades de Produção e Vida Familiares (UPVFs) do Município de Francisco Beltrão - Paraná. **Revista Nera**, n. 29, p. 174-193, 2016. <https://doi.org/10.47946/rnera.v0i29.3119>
- Carmo, S. R. S. Degradação e recuperação de matas ciliares na Amazônia Oriental paraense (Bacia Hidrográfica do Rio Irituia no Município de Irituia, Pará). **Revista Geonorte**, v. 3, n. 4, p. 803-813, 2012.
- Carneiro, K. K. C.; Ribeiro, P. A. Situações de desastres, enchente dos rios e assistência social: reflexões sobre a realidade de um município amazônico. **REH - Revista Educação e Humanidades**, v. 1, n. 2, p. 255-279, 2020.
- Cavalcante, I. M.; Souza, C. R. R. R.; Abreu, C. M. W. S. Educação em saneamento e filtração de água em área rural do semi-árido: uma experiência em Campina Grande, Paraíba. **Extensio: Revista Eletrônica de Extensão**, v. 19, n. 43, p. 144-155, 2022. <https://doi.org/10.5007/1807-0221.2022.e82944>

Ceará. **Resolução COEMA nº 2, de 2 de fevereiro de 2017**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002, e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 25 de novembro de 2002. Disponível em: <<https://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/46/2019/09/COEMA-02-2017.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2023.

Costa, C.; Arita, E. S.; Munhoz, L.; Moreira, L. M. Y. A.; Bandeira, A. M. B. **Revisão sistemática**: da ideia à publicação. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP, 2021.

Dalles, R.; Teixeira, I. Processamento de adubo orgânico, a partir de resíduos domésticos, em uma comunidade rural: uma proposta ecológica e viável. **Ensino, Saude e Ambiente**, v. 3, n. 3, p. 137-150, 2010. <https://doi.org/10.22409/resa2010.v3i3.a21131>

Datta, A.; Singh, H. O.; Raja, S. K.; Dixit, S. Constructed wetland for improved wastewater management and increased water use efficiency in resource scarce SAT villages: A case study from Kothapally Village, in India. **International Journal of Phytoremediation**, v. 23, n. 10, p. 1067-1076, 2021. <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1876627>

Domingos, B. S. M.; Ribeiro, R. B. Geração de renda informal e desenvolvimento econômico: tecnologias sociais como uma alternativa à precarização. **Quanta Comunicação e Cultura**, v. 1, n. 1, p. 78-83, 2015.

Esquivel, L. G. R.; Pizzolatti, B. S.; Sens, M. L. Tratamiento de agua potable por filtración inducida en una laguna costera en el sur de Brasil. **Revista Tecnología en Marcha**, v. 25, n. 4, 23, 2012. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i4.616>

Ferreira, L. A. F.; Ribeiro, P. S. D. C.; Andrade, I. C. D. M.; Guides, R. M.; Santos, L. D. O. L.; Cruz, L. M. D. O.; Santos, M. R. R. D.; Rezende, S. Saneamento rural no planejamento municipal: lições a partir do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR). **Revista DAE**, v. 67, n. 220, p. 36-51, 2019. <https://doi.org/10.4322/dae.2019.054>

Ferreira, T. R.; Santos, M. S.; Corrêa, L. R. S.; Pinheiro, L. O.; Costa, V. C.; Lopes, A. R. B. The promotion of environmental education related to rural basic sanitation in agricultural family schools in the Vale do Mucuri Region. **International Journal of Geoscience, Engineering and Technology**, v. 7, n. 1, p. 64-69, 2023.

Freitas, J. B. A.; Cabral, J. J. S. P.; Paiva, A. L. R.; Santos, S. N.; Silva, N. B. N. A técnica de filtração em margem: histórico de aplicação no Mundo e experiências brasileiras. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 4, n. 1, p. 165-175, 2018.

Galvão, T. F.; Pansani, T. S. A.; Harrad, D. Principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises: a recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, p. 335-342, 2015. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742015000200017>

García-Ávila, F.; Avilés-Añazco, A.; Sánchez-Cordero, E.; Valdiviezo-Gonzáles, L.; Ordoñez, M. D. T. The challenge of improving the efficiency of drinking water treatment systems in rural areas facing changes in the raw water quality. **South African Journal of Chemical Engineering**, v. 37, p. 141-149, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.05.010>

Ishikawa, C.; Watari, T.; Kawakami, S.; Hatamoto, M.; Murakami, Y.; Yamaguchi, T. Development of down-flow hanging sponge - slow sand filter system as water purification system: Infection risk reduction in an East Africa rural area. **Scientific African**, v. 19, e01500, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01500>

- Lins, B. M.; Bonfim, I. G.; Costa Neto, E. M.; Paixão, M. F. M. Ações em educação ambiental: uma contribuição para o processo de empoderamento da Comunidade de Pedra Branca, Santa Terezinha, BA. **Revista Brasileira de Extensão Universitária**, v. 6, n. 1, p. 33-41, 2015. <https://doi.org/10.36661/2358-0399.2015v6i1.1939>
- Macedo, K. H.; Silva, C. R. D.; Lopes Dambrozio, A. M.; Klein, A. L.; Oliveira, W. D. D.; Sanches, M. S.; Rocha, S. P. D. D.; Navarro, A.; Pelayo, J. S. Caracterização de *Escherichia coli* diarreiogênica isolada de água subterrânea para consumo humano em um assentamento rural. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 41, n. 2, p. 263-272, 2020. <https://doi.org/10.5433/1679-0367.2020v41n2p263>
- Muñoz, S. I. S.; Takayanagui, A. M. M.; Santos, C. B.; Sanchez-Sweatman, O. Revisão sistemática de literatura e metanálise: noções básicas sobre seu desenho, interpretação e aplicação na área da saúde. Proceedings of the 8^o Brazilian Nursing Communication Symposium, 2002. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/sibracen/n8v2/v2a074.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2023.
- Neu, V.; Guedes, V. M.; Araújo, M. G. S.; Meyer, L. F. F. M.; Brito, I. R.; Batista, L. M. Água da chuva para consumo humano: estudo de caso na Amazônia Oriental. **Inclusão Social**, v. 12, n. 1, p. 183-198, 2018.
- Nunes, M. S. F.; Queiroz, A. F. Estudo de caso do saneamento básico no Sítio Paul, Riacho de Santana-RN. **Geotemas**, v. 6, n. 2, p. 96-111, 2016.
- Oliveira Filho, E. R. Revitalização por barraginha na Bacia Hidrográfica do Rio Urucuia. **Humboldt**, v. 1, n. 1, e52457, 2020.
- Oliveira, E. M. D.; Boaventura, M. G. B.; Kashiwagi, H. M. Poços freáticos em ambientes insulares. **Divers@!**, v. 14, n. 1, p. 66-78, 2021. <https://doi.org/10.5380/diver.v14i1.76946>
- Paz, M. G. A. D.; Fracalanza, A. P.; Alves, E. M.; Silva, F. J. R. D. Os conflitos das políticas da água e do esgotamento sanitário: que universalização buscamos? **Estudos Avançados**, v. 35, n. 102, p. 193-208, 2021. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.012>
- Raboni, M.; Gavasci, R.; Urbini, G. UASB followed by sub-surface horizontal flow phytodepuration for the treatment of the sewage generated by a small rural community. **Sustainability**, v. 6, n. 10, p. 6998-7012, 2014. <https://doi.org/10.3390/su6106998>
- Reinaldo, G. P. B.; Batista, R. O.; Silva, P. C. M.; Lemos Filho, L. C. D. A.; Ferreira Neto, M.; Santos, D. B. Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. **Ambiente e Água**, v. 7, n. 2, p. 62-74, 2012. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.723>
- Santos, L.; Cabral, J.; Cirilo, J.; Freitas, D.; Sens, M.; Aragão, R.; Barros, T. Aplicação da tecnologia de filtração em margem para população difusa no Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 49-58, 2014. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n4.p49-58>
- Secchi, L. **Análise de políticas públicas**: diagnóstico de problemas, recomendação de soluções. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.
- Silva, A. M. V. D.; Ismael, F. C. M.; Silva, E. B. D.; Silva, H. N. D.; Ismael, D. A. M.; Sousa, T. M. I. D. Proposição de medidas para coleta seletiva na Comunidade Cavallhada, Município de Flores-PE. **Revista Práxis: Saberes da Extensão**, v. 6, n. 13, p. 77-86, 2018. <https://doi.org/10.18265/2318-23692018v6n13p77-86>

- Silva, B. B.; Nogueira, C. D.; Andrade, M.; Silveira, R. B.; Rezende, S. Evidenciando experiências positivas em saneamento básico: visões do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR). **Revista DAE**, v. 67, n. 220, p. 69-86, 2019. <https://doi.org/10.4322/dae.2019.056>
- Simonato, D. C.; Figueiredo, R. A. D.; Dornfeld, C. B.; Esquerdo, V. F. D. S.; Bergamasco, S. M. P. P. Saneamento rural e percepção ambiental em um assentamento rural - São Paulo - Brasil. **Retratos de Assentamentos**, v. 22, n. 2, p. 264-280, 2019. <https://doi.org/10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/2019.v22i2.336>
- Singh, P.; Andrabi, S. M.; Raina, D. B.; Kumar, A. Three staged integrated community-based water filter system for potable water by effective removal of contaminants from ground water. **Journal of Water Process Engineering**, v. 49, 103044, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103044>
- Sperling, M. **Wastewater characteristics, treatment and disposal**. 1. ed. London: IWA Publishing, 2007. (Biological Wastewater Treatment Series, 1).
- Teramoto, E.; Stradioto, M.; Chang, H. Avaliação geoquímica da influência de fossas rudimentares na água subterrânea da região rural de Paulínia/SP. **Geochimica Brasiliensis**, v. 34, n. 2, p. 203-219, 2020. <https://doi.org/10.21715/gb2358-2812.2020342203>
- Tonetti, A. L.; Brasil, A. L.; Duarte, N. C.; Figueiredo, I. C. S.; Schneider, J. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas**. Campinas: Biblioteca UNICAMP, 2018.
- Tyagi, S.; Dobhal, R.; Kimothi, P. C.; Adlakha, L. K.; Singh, P.; Uniyal, D. P. Studies of river water quality using river bank filtration in Uttarakhand, India. **Water Quality, Exposure and Health**, v. 5, n. 3, p. 139-148, 2013. <https://doi.org/10.1007/s12403-013-0097-z>
- Vicq, R. D.; Leite, M. G. P. Avaliação da implantação de fossas sépticas na melhoria na qualidade de águas superficiais em comunidades rurais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 411-416, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000395>
- Wright, R. T.; Boorse, D. **Environmental science: Toward a sustainable future**. Boston: Pearson, 2017.



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.