

**GESTÃO DESCENTRALIZADA DA ÁGUA POTÁVEL EM PEQUENAS
CIDADES: TECNOLOGIAS APROPRIADAS E EXPERIÊNCIAS
INTERNACIONAIS**

Antônio Cláudio Moura Ferreira de Souza

Pedro Peixoto Gjorup
Vicente Paulo Santos de Oliveira

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo identificar e analisar tecnologias de baixo custo utilizadas para o tratamento e o abastecimento de água potável em pequenas cidades e regiões em desenvolvimento, bem como avaliar os impactos sociais, sanitários e ambientais decorrentes de sua implementação. Por meio de uma revisão sistemática da literatura científica internacional, foram selecionados e analisados dez estudos que abordam soluções como filtros cerâmicos, biosand filters, desinfecção solar, fitorremediação, biochar de bambu, cloração doméstica e plataformas de monitoramento open-source. Os resultados apontam que tais tecnologias se destacam por sua simplicidade, custo reduzido, possibilidade de produção local e alto potencial de aceitação comunitária. A articulação entre soluções técnicas, participação social e estratégias de educação sanitária mostrou-se essencial para a eficácia e sustentabilidade dos projetos analisados. A discussão é especialmente relevante para o município de Tanguá (RJ), onde parte significativa da população rural enfrenta dificuldades no abastecimento hídrico, evidenciando a necessidade de adoção de soluções apropriadas e replicáveis. Este estudo contribui, assim, para a formulação de políticas públicas e iniciativas locais que visem à universalização do direito à água com equidade e eficiência.

Palavras-chave: Tecnologias apropriadas; Abastecimento rural; Tratamento de água.

1 INTRODUÇÃO

O acesso à água potável em regiões rurais e em desenvolvimento permanece como um dos principais desafios globais do século XXI, conforme evidenciado pelas metas da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, em especial o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 6. Em muitas comunidades, sobretudo em pequenas cidades e áreas rurais, a cobertura de serviços de abastecimento de água é parcial, instável ou inexistente, agravando as vulnerabilidades sociais e sanitárias de populações já marcadas pela exclusão territorial e econômica.

Nesse cenário, ganha centralidade a discussão sobre tecnologias de baixo custo, apropriadas ao contexto local, que permitam garantir o direito humano à água potável mesmo diante de limitações financeiras, técnicas e institucionais. Soluções ponto de uso, sistemas descentralizados e o aproveitamento de recursos naturais têm sido explorados em diversas partes do mundo como alternativas eficazes e sustentáveis. Contudo, a adoção dessas tecnologias exige mais do que viabilidade técnica: demanda também aceitabilidade social, simplicidade de operação, gestão comunitária e políticas públicas de apoio.

A literatura científica internacional oferece um conjunto significativo de experiências bem documentadas que reforçam essas premissas. Thompson (2015) e Sombei et al., (2025) destacam filtros cerâmicos, biosand filters e desinfecção solar como soluções eficazes em áreas rurais da África. Chaturvedi e Dave (2012) apontam a combinação de aeração e filtração como alternativa viável para a remoção de ferro da água. Nayar e Patel (2021) e Jungan et al., (2022) demonstram o potencial de plantas aquáticas e biochar de bambu como estratégias naturais de purificação. Wijen et al., (2014), por sua vez, chamam atenção para o papel do monitoramento descentralizado e de baixo custo com uso de tecnologias open source, ampliando o empoderamento comunitário.

No Brasil, o município de Tanguá, localizado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, apresenta um caso emblemático. Embora possua rede pública de abastecimento, diversas localidades rurais e bairros periféricos sofrem com a intermitência e até mesmo a falta de abastecimento de água, contaminação de fontes alternativas e a ausência de soluções públicas eficazes. A realidade local impõe a necessidade de reflexão sobre modelos de abastecimento e tratamento que sejam acessíveis, sustentáveis e adequados às especificidades do território.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo responder à seguinte questão: Quais tecnologias de baixo custo têm sido utilizadas para a gestão e o abastecimento de recursos hídricos em pequenas cidades ou regiões em desenvolvimento, e quais impactos sociais, sanitários e ambientais têm sido relatados em sua implementação? A partir de uma revisão sistemática da literatura internacional e da análise das potencialidades locais, o estudo pretende contribuir para o desenho de estratégias replicáveis que possam apoiar o planejamento hídrico em municípios como Tanguá, com vistas à universalização do direito à água de forma equitativa, participativa e sustentável.

2 METODOLOGIA

A fim de atingir o objetivo desta pesquisa, foi realizada uma revisão sistemática com enfoque na abordagem qualitativa, sendo estruturada conforme o protocolo PRISMA - Preferred Reporting items for Systematic Reviews and Meta-Analysis, que consiste em um conjunto de diretrizes utilizadas para assegurar a transparência; a reprodutibilidade, e a padronização na condução e na apresentação de revisões sistemáticas e meta-análises (Moher *et al.*, 2009). Sua aplicação proporciona maior rigor científico, permitindo uma síntese qualitativa e quantitativa mais robusta.

Para essa revisão, o protocolo foi adotado para orientar todas as etapas do estudo, que consistiu em um checklist com 27 itens e um fluxograma com quatro etapas: identificação, seleção, elegibilidade e inclusão (Moher *et al.*, 2009).

2.1 Identificação

A etapa da identificação consistiu na formulação strings de busca padronizada, utilizando operadores booleanos e termos controlados, de forma aplicada nas bases de dados Scopus e Web of Science (WoS). As buscas foram realizadas entre abril e junho de 2025, utilizando os seguintes descritores (Quadro 1): (“Low-cost technologies”, “appropriate technologies”, “low cost solutions”), (“water resources management”, “water supply”, “drinking water”), (“small towns”, “small cities”, “developing regions”, “rural areas”), com os operadores booleanos “OR” e “AND”.

As strings de busca utilizadas, foram construídas com base em termos recorrentes da literatura sobre políticas de abastecimento de água e tecnologias de baixo custo, buscando assegurar a especificidade da matéria. Os termos foram extraídos de

revisões anteriores e adaptados à realidade da pesquisa, cujo foco reside na compreensão do papel do abastecimento hídrico e na indução do desenvolvimento regional em localidades não metropolitanas.

Quadro 1: String de busca usadas nas bases.

| Base | Strings de busca |
|--------|--|
| Scopus | ("Low-cost technologies" OR "appropriate technologies" OR "low cost solutions") AND ("water resources management" OR "water supply" OR "drinking water") AND ("small towns" OR "small cities" OR "developing regions" OR "rural areas") |
| WoS | TS=("Low-cost technologies" OR "appropriate technologies" OR "low cost solutions") AND TS= ("water resources management" OR "water supply" OR "drinking water") AND TS= ("small towns" OR "small cities" OR "developing regions" OR "rural areas") |

Fonte: Autoria própria.

A busca inicial resultou na identificação de 36 artigos, os registros foram exportados em csv., e submetidos a uma triagem, correspondente aos critérios de alinhamento temático estabelecidos previamente. As referências identificadas foram armazenadas e organizadas por meio do software de gerenciamento Zotero.

2.2 Seleção

A fase de seleção consistiu em uma triagem preliminar dos 36 artigos levantados, com o objetivo de selecionar apenas aqueles que apresentassem pertinência direta com a questão problema da pesquisa. Para alcançar os resultados esperados, nas bases de dados foram aplicados os filtros automáticos baseados na ocorrência de termos-chaves, bem como filtros referentes ao tipo de documento – artigo; o filtro de idioma para português e inglês; o filtro temporal não foi utilizado. Por fim, foram excluídos os artigos duplicados.

2.3 Elegibilidade

A terceira fase foi conduzida através da leitura dos títulos (topics), resumos (abstracts) e, quando necessário, das palavras-chave (keywords) de cada artigo.

Os critérios de triagem foram definidos a partir da delimitação temática da revisão, considerando-se como potencialmente relevantes os estudos que abordasse pelo menos dois dos seguintes eixos: Tecnologias de baixo custo/Desenvolvimento regional ou local/Aplicações de abastecimento hídrico voltadas para cidades pequenas ou

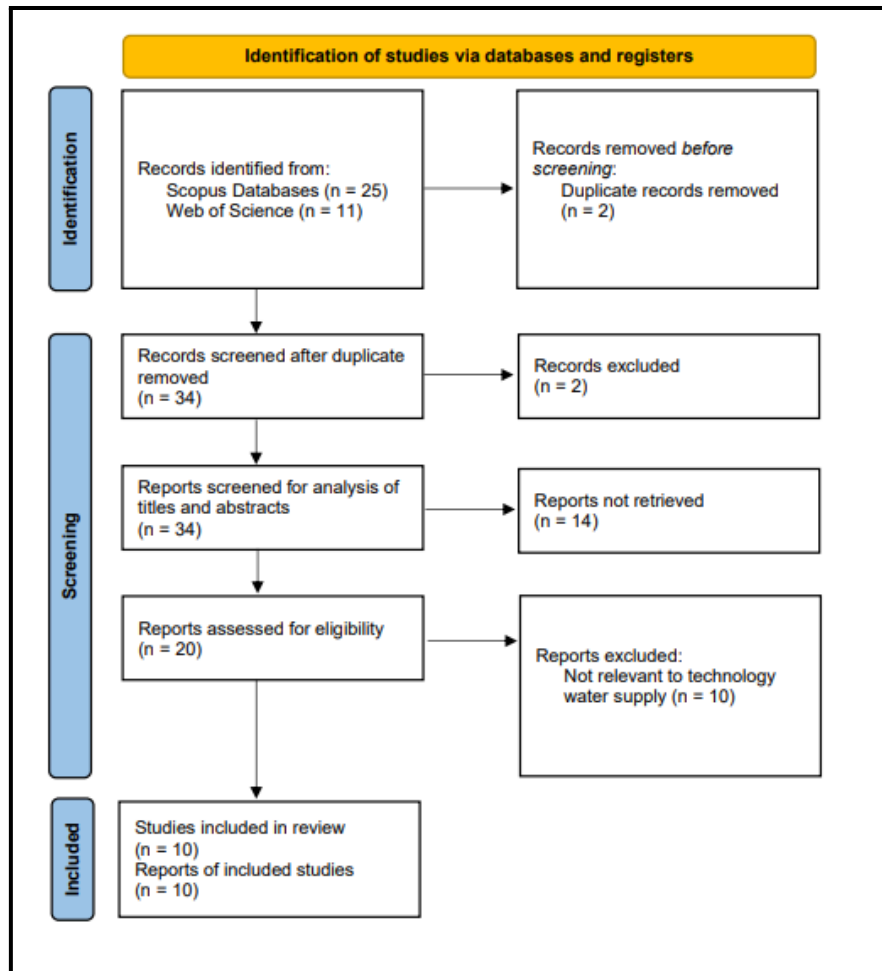
médias, regiões periféricas ou contexto de países emergentes. Com estes critérios, foram identificados os artigos relevantes que se encontraram disponíveis para leitura nas bases de dados.

2.4 Inclusão

O processo de inclusão requereu a leitura integral dos artigos selecionados, a fim de que se identificasse os trabalhos que se adequavam a temática da revisão. Deste modo, a Figura 1 buscou identificar todos os 10 artigos selecionados através de um fluxograma.

Figura 1. Fluxograma número um de seleção dos artigos da revisão integrativa, adaptado da diretriz PRISMA, segundo Moher e cols. (20

Figura 1: PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of
databases and registers only



Fonte: Page MJ, et al. BMJ 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A revisão sistemática consistiu na consolidação dos estudos elegíveis que atendessem integralmente aos critérios estabelecidos, utilizando-se das strings de busca para alcançar o objeto do trabalho. Deste modo, foram identificados 25 artigos na base de dados da Scopus, bem como, 11 artigos na base da Web of Science (WoS). A pesquisa resultou em um montante de 36 artigos, sendo certo que dentre deles foram excluídos 2 artigos duplicados. O total de artigos, após a exclusão das duplicatas, fora ajustado para 34, dentre estes, apenas 10 se encontravam dentro do escopo do projeto, abordando temas pertinentes com múltiplos enfoques sobre a relação entre tecnologias de baixo custo e o abastecimento hídrico, com destaque para estudos de caso aplicados a cidades de pequeno e médio porte e regiões rurais.

A fim de apresentar a síntese dos dados extraídos, bem como, com o intuito de identificar padrões e ampliar a diversidade metodológica e geográfica dos estudos incluídos, fora realizada a identificação destes, através da Tabela 1. A organização se deu a partir de detalhamento dos seguintes fatores; Título; Periódico; Citação. Após, os artigos foram pormenorizados e seus principais resultados foram elucidados.

Tabela 1: Artigos selecionados.

| Nº | Título | Periódico | Citação |
|----|---|--|----------------------------------|
| 1 | A critical review of water purification technology appropriate for developing countries: Northern Ghana as a case study | Desalination and water treatment | (Thompson, 2015) |
| 2 | Removal of iron for safe drinking water | Desalination and water treatment | (Chaturvedi; Dave, 2012) |
| 3 | Appropriate Technologies for environmental hygiene | Proceedings of the royal society of London. Series B, Biological Science | (McGarry, 1980) |
| 4 | Appropriate sanitation technology for the decade in Africa | The journal of the royal society for the promotion health | (Diamant, 1984) |
| 5 | The EMWater Project – Promoting efficient wastewater management and reuse in mediterranean countries | Desalination and water treatment | (Petta; Kramer; Al Baz, 2007) |
| 6 | Challenges for water supply and sanitation in developing countries: Case studies from Zimbabwe | Understanding and managing urban water in transition | (Nhapi, 2015) |
| 7 | Rural water quality monitoring and exploring low-cost treatment technology with water hyacinth | Edelweiss applied Science and technology | (Nayar; Patel, 2021) |
| 8 | Determination of suitable biochar precursor as alternative for enabling access to clean water supply in rural areas | Journal of sustainability Science and management | (Jungan et al., 2022) |
| 9 | A review of low-cost point-of-use water treatment solutions in resource limited settings | Water | (Sombei et al., 2025) |
| 10 | Open source mobile water quality testing platform | Journal of water, sanitation and hygiene for development | (Wijnen; Anzalone; Pearce, 2014) |

Fonte: Autoria própria.

1. A CRITICAL REVIEW OF WATER PURIFICATION TECHNOLOGY APPROPRIATE FOR DEVELOPING COUNTRIES: NORTHERN GHANA AS A CASE STUDY

O acesso à água potável permanece um desafio crítico em diversas regiões do mundo, sobretudo em países em desenvolvimento, onde restrições financeiras e déficits de infraestrutura tornam inviável a adoção de tecnologias de tratamento convencionais. Nesse contexto, o estudo de Thompson (2015) se insere como uma contribuição importante ao comparar criticamente diferentes alternativas tecnológicas de baixo custo aplicáveis a comunidades rurais, utilizando o Norte de Gana como cenário representativo de desafios globais.

As principais tecnologias avaliadas no estudo foram; Filtros de areia de fluxo lento: destacados pela robustez e eficiência na remoção de partículas e patógenos, com custo moderado e operação relativamente simples; Desinfecção solar (SODIS), tecnologia extremamente barata e de fácil aplicação, porém condicionada a níveis altos de radiação solar e resistência cultural quanto à percepção de segurança da água tratada; Filtros cerâmicos, reconhecidos pela eficácia contra contaminantes microbiológicos, baixo custo unitário e produção local em algumas regiões, embora apresentem limitações em termos de vazão.

O estudo evidencia que nenhuma solução única atende plenamente aos critérios de eficácia, custo e aceitação em todos os contextos. No entanto, filtros cerâmicos e filtros de areia destacam-se como alternativas prioritárias devido ao equilíbrio entre custo acessível, eficiência microbiológica e operação simples. O artigo forneceu soluções tecnológicas que podem ser adaptadas a um contexto local e de baixo custo para garantir acesso sustentável à água potável em países em desenvolvimento, ou localidades periféricas.

2. REMOVAL OF IRON FOR SAFE SAFE DRINKING WATER

A contaminação por ferro representa um dos problemas mais frequentes na qualidade da água subterrânea destinada ao consumo humano. Além de comprometer características sensoriais como cor, sabor e odor, o excesso de ferro pode provocar entupimento de tubulações e redução da eficiência de sistemas de distribuição. Em regiões rurais e comunidades economicamente vulneráveis, a busca por tecnologias de remoção de ferro de baixo custo e de operação simplificada é essencial para promover acesso seguro e universal à água potável.

Desta forma, os autores avaliaram uma variedade de métodos incluindo; Aeração e sedimentação, processo físico que promove a oxidação do ferro férrico e sua deposição por gravidade e a absorção em carvão ativado e zeólitas, que apresentaram bons resultados em concentrações moderadas de ferro, mas com custos superiores e necessidade de regeneração periódica.

O estudo demonstrou que a aeração combinada com a filtração representa a opção mais prática e economicamente viável para comunidades rurais, sobretudo quando a concentração de ferro não excede limites moderados. Os métodos químicos identificados no estudo demonstram alta eficiência de remoção, mas custos e riscos de dosagem inadequada restringindo sua aplicação em sistemas domésticos e pequenos sistemas comunitários. Por fim, os autores ainda levantam a hipótese da utilização de métodos biológicos, que são vistos como soluções promissoras, porém, ainda requerem estudos aprofundados sobre eficiência e segurança sanitária.

A pesquisa de Chaturvedi e Dave (2012) constitui uma contribuição relevante ao sistematizar conhecimentos sobre tecnologias de remoção de ferro, oferecendo diretrizes práticas para sua seleção. A priorização de métodos como aeração e filtração, de baixo custo e baixa complexidade, é particularmente relevante para regiões em desenvolvimento e áreas rurais.

3. APPROPRIATE TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENTAL HYGIENE

A desigualdade no acesso à água potável e ao saneamento básico continua sendo um dos maiores desafios de saúde pública nos países em desenvolvimento. Em muitas regiões rurais, projetos convencionais de infraestrutura centralizada tornam-se inviáveis devido a custos elevados, complexidade de operação e déficit de recursos humanos qualificados. Nesse contexto, o estudo de McGarry (1980) oferece uma perspectiva pioneira sobre tecnologias apropriadas que aliam simplicidade operacional, uso de materiais locais e participação comunitária.

O estudo analisa diversas soluções tecnológicas apropriadas, entre as quais se destacam; Bombas manuais de baixo custo – modelos desenvolvidos na África e Ásia, com componentes locais (PVC, concreto e madeira impregnada) e Filtração lenta e declining rate filtration – utilização de leitos de areia para remoção de turbidez e bactérias.

Os pesquisadores buscaram ressaltar que tecnologias apropriadas devem ser concebidas e testadas de forma local, a fim de garantir aderência cultural e viabilidade operacional. Essa contribuição evidenciou que os sucessos de projetos de saneamento ambiental dependem não apenas de desing técnico, mas também de fortalecimento institucional local, participação ativa da comunidade e estratégias de educação sanitária continuada.

4. APPROPRIATE SANITATION TECHNOLOGY FOR THE DECADE IN AFRICA

O déficit histórico de acesso a serviços de água potável e saneamento básico em países em desenvolvimento motivou a criação da Década Internacional de Abastecimento de Água e Saneamento (1981-1990), um dos programas mais ambiciosos das Nações Unidas. A África, especialmente a região subsaariana, apresentava os indicadores mais alarmantes, com mais de 80% da população rural sem cobertura adequada. Nesse contexto, Diamant (1984) discute soluções técnicas e apropriadas, que conciliam baixo custo, uso de materiais locais e simplicidade de operação.

A pesquisa realizada descreveu soluções técnicas e estratégicas de implantação de latrinas ventiladas de fossa melhoradas (VIP) e fossas permanentes (PIP) – sistemas com ventilação e vedação para reduzir odores e proliferação de vetores. Entretanto, Diamant critica a priorização exclusiva de projetos de abastecimento de água, sem o planejamento paralelo de saneamento, deste modo, aconselhou que seria eficaz a viabilização de programas de conscientização e treinamento para uso correto e consciente das instalações.

O trabalho representa uma contribuição valiosa para o debate sobre saneamento rural e abastecimento de água em regiões rurais, antecipando preocupações que se mantêm atuais, destacando a importância de modelos de baixo custo que permitam a produção e implantação em massa, bem como a necessidade de planejar simultaneamente o abastecimento e saneamento, evitando assim, a contaminação de fontes de água.

5. THE EMWATER PROJECT – PROMOTING EFFICIENT WASTEWATER MANAGEMENT AND REUSE IN MEDITERRANEAN COUNTRIES

O crescente déficit hídrico em regiões do Mediterrâneo e do Oriente Médio motivou o desenvolvimento de estratégias integradas para o gerenciamento racional dos recursos hídricos. O projeto EMWater, financiado pelo programa MEDA da União Europeia, visou ampliar o acesso à água por meio da modernização de sistemas de tratamento de esgoto e da promoção do reuso seguro das águas residuais. O estudo de Petta et al., (2007) descreve a implementação de pilotos tecnológicos, a criação de redes regionais de cooperação e a formulação de diretrizes políticas para estimular adoção de soluções apropriadas.

O projeto EMWater procurou avaliar a escassez hídrica, a contaminação de fontes e a baixa cobertura de esgoto, bem como a identificação de barreiras normativas e técnicas de reuso agrícola. As unidades-piloto Líbano e Jordânia utilizaram sistemas de lodo ativado com processos terciários (filtração e desinfecção por UV/cloração) – Palestina e Turquia utilizaram sistemas integrados anaeróbicos (ABR ou UASB) combinados com tratamento aeróbico (RBC ou wetlands. A utilização desses sistemas por unidades agrícolas só foi possível através da demonstração da viabilidade das tecnologias de baixo custo adaptadas as zonas rurais, bem como, a produção de conhecimento local e o fortalecimento das capacidades técnicas e administrativas locais.

A pesquisa demonstrou que a EMWater representa uma iniciativa relevante ao propor soluções de gestão e reuso de efluentes em regiões com alto estresse hídrico. A experiência reforça que as tecnologias de baixo custo e a operação simplificada são essenciais para contextos rurais e periurbanos. O reuso agrícola requer estratégias de sensibilização e regulamentação adaptadas ao contexto sociocultural.

6. CHALLENGES FOR WATER SUPPLY AND SANITATION IN DEVELOPING COUNTRIES: CASE STUDIES FROM ZIMBABWE

O acesso limitado à água potável e ao saneamento básico figura entre os principais desafios sanitários e de desenvolvimento na África Subsaariana. No Zimbábue, o colapso econômico e a deterioração das infraestruturas públicas, a partir do ano 2000, culminaram em uma crise sanitária severa, evidenciada pelo surto de cólera que afetou quase 100 mil pessoas. O capítulo de Nhapi (2015) analisa, de maneira ampla, os fatores históricos, institucionais e técnicos que levaram a essa crise e os esforços de recuperação posteriores.

O estudo identificou fatores críticos que impactaram negativamente o setor de água e saneamento no Zimbábue, como por exemplo: A urbanização acelerada (4% ao ano) resultou na expansão de assentamentos informais sem serviços básicos; A crise econômica que ocorrera entre 2000 e 2008, hiperinflação, retração do PIB e redução drástica de investimentos que comprometeram a infraestrutura de abastecimento e o êxodo de profissionais qualificados.

Deste modo, Nhapi (2015) evidenciou que a crise humanitária que ocorreu nos Zimbábue, decorreu de fatores econômicos, institucionais e técnicos, destacando a necessidade de políticas públicas integradas que combinem saneamento e abastecimento de água, bem como a implementação de tecnologias apropriadas de baixo custo. Esse estudo reforça a importância de estratégias de resiliência que garantam a sustentabilidade financeira e capacidade institucional em cenários de desenvolvimento urbano e expansão populacional.

7. RURAL WATER QUALITY MONITORING AND EXPLORING LOW-COST TREATMENT TECHNOLOGY WITH WATER HYACINTH

A contaminação de fontes de água por efluentes domésticos e industriais representa um desafio crítico para regiões rurais em países em desenvolvimento. O aumento da urbanização e o uso intensivo de fertilizantes agravam a degradação da qualidade da água, tornando urgente o desenvolvimento de soluções de tratamento economicamente viáveis. O estudo revisado propõe o uso do jacinto-d'água como ferramenta de biorremediação, dada sua reconhecida capacidade de absorver nutrientes e metais pesados.

O estudo reportou reduções significativas em todos os parâmetros contaminantes, conforme aponta a tabela 1:

Tabela 01: Resultados dos parâmetros

| Parâmetro | Amostra 1 (100% Água de Torneira) | Amostra 2 (100% Água de Poço Artesiano) | Amostra 3 (Água + Jacinto-d'água) |
|---|--|--|--|
| pH | 7,92 → 7,44 | 8,78 → 7,43 | – |
| Condutividade Elétrica (EC) | - | 1218 µmho/cm → 943 µmho/cm | 1046 µmho/cm → 441 µmho/cm |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (BOD) | - | 44,6 mg/L → 22,8 mg/L | 39,8 mg/L → 18,3 mg/L |

| | | | |
|---------------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------|
| Oxigênio Dissolvido (DO) | 4,68 mg/L → 6,4 mg/L | – | 9,2 mg/L (máximo) |
| Turbidez | | 5,26 NTU → 2,36 NTU (mínima) | – |

Fonte: Autoria própria.

O trabalho destaca que o sistema radicular do jacinto d'água funciona como superfície de adesão e digestão de partículas suspensas e coloidais, enquanto a fotossíntese promove aumento do oxigênio dissolvido. A investigação realizada por Nayar e Patel (2021), contribui para o entendimento do potencial do jacinto-d'água como tecnologias de purificação de baixo custo. Os resultados demonstraram reduções significativas em indicadores críticos de poluição, reforçando seu uso em contextos rurais.

8. DETERMINATION OF SUITABLE BIOCHAR PRECURSORS AS ALTERNATIVE FOR ENABLING ACCESS TO CLEAN WATER SUPPLY IN RURAL AREAS

O acesso à água potável em áreas rurais continua sendo um estrutural em diversas regiões do mundo. Na Malásia, comunidades remotas dependem frequentemente de água de montanha não tratada, cuja qualidade oscila em função das chuvas e da erosão do solo. O estudo buscou investigar o biochar como uma solução econômica e acessível, dada sua reconhecida capacidade de absorção de contaminantes e sua produção a partir de resíduos agroflorestais.

Os resultados apontaram que o bambu foi o precursor mais adequado, pois apresentou: Rendimento de biochar de 32,8%, considerado economicamente viável; Área superficial BET elevada (317 m²/g), comparável ao carvão ativado; Alta capacidade de absorção de azul de metileno (0,99 mg/g); Integridade estrutural em água, sem liberação de finos ou turvação; pH alcalino (9,7), favorecendo absorção de cátions.

Em comparação, outros precursores apresentaram restrições (tabela 02);

Tabela 02: Comparação entre precursores

| Precursor | Rendimento >30% | Integridade em água | Remoção >90% de MB | Equilíbrio em 2h |
|------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|
|------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|

| | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|
| Bambu | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Casca de arroz | Sim | Sim | Sim | Não |
| Folhas secas | Não | Sim | Sim | Não |
| Serragem | Não | Não | Sim | Sim |
| Galhos/Lascas | Não | Não | Não | Sim |

Fonte: autoria própria.

O estudo de Jungan et al., (2022) demonstra que o biochar de bambu apresenta características físico-químicas e de absorção promissoras para uso com material filtrante em sistemas descentralizados. As principais vantagens incluem; produção local com baixo custo; segurança do material (ausência de contaminantes sintéticos); alta capacidade de remoção de compostos orgânicos.

9. A REVIEW OF LOW-COST POINT-OF-USE WATER TREATMENT SOLUTIONS IN RESOURCE-LIMITED SETTINGS

Em contextos rurais e periurbanos, onde sistemas centralizados de tratamento de água são financeiramente e tecnicamente inviáveis, as tecnologias ponto de uso emergem como solução pragmáticas para ampliar o acesso à água potável. O trabalho de Sombei et al., (2025) reúne evidências atualizadas sobre soluções acessíveis e adaptáveis a comunidades vulneráveis, sendo altamente pertinente ao debate contemporâneo sobre ODS 6 e direito humano à água.

Desta forma, o estudo identificou que: Filtros cerâmicos e biosand possuem o melhor equilíbrio entre eficácia e aceitabilidade; A desinfecção solar apresenta potencial massivo de escala, mas enfrenta limitações climáticas e culturais; Cloração doméstica permanece a estratégia mais custo-efetiva, embora precisa de programas educativos; Absorventes naturais emergem como alternativas promissoras, sobretudo quando combinados com filtração mecânica.

O trabalho de Sombei et al., (2025) representa uma síntese robusta e atualizada sobre tecnologias de baixo custo ponto de uso, oferecendo subsídios essenciais para programas públicos de abastecimento descentralizado, projetos de organizações não governamentais e iniciativas de empreendedorismo social.

10. OPEN-SOURCE MOBILE WATER QUALITY TESTING PLATFORM

A qualidade de água é determinante para a saúde pública e deve ser acompanhada com frequência, especialmente em sistemas descentralizados e comunidades vulneráveis. No entanto, kits comerciais de testes laboratoriais são caros e inacessíveis para muitas regiões rurais. O estudo de Wijen et al., propõe uma solução inovadora: a construção de um kit portátil, open-source e de baixo custo, baseado em componentes impressos em 3D e sensores reutilizáveis, que pode ser operado por usuários com pouca capacitação técnica.

Inicialmente, de acordo com a pesquisa de Wijen, o custo estimado do aparelho estaria na casa dos US\$55 dólares (em contraste com kits do mercado que estão acima dos US\$300 dólares); O dispositivo tem uma precisão de medição equivalente aos equipamentos encontrados no mercado – Turbidez $R^2 > 0,99$ e pH > condutividade com variação <5% em testes repetidos. Operabilidade básica, com sistemas compatíveis com smartphones e tablets, captação de energia via USB.

Este estudo representa uma contribuição inovadora ao campo da tecnologia social e ambiental. A proposta de um kit portátil e replicável, com custo drasticamente reduzido, abre possibilidades concretas para projetos comunitários de gestão de água, monitoramento escolar, por comitês de bacia ou cooperativas, e avaliações rápidas em emergência e zonas rurais sem acesso a laboratórios.

3.4 Discussão dos artigos

A presente revisão sistemática analisou um conjunto diversificado de estudos que abordam tecnologias de baixo custo aplicadas à gestão da água em contextos de vulnerabilidade socioeconômicas, buscando compreender quais soluções têm sido implementadas e quais impactos têm sido relatados. De maneira geral, os trabalhos convergem quanto à necessidade de alternativas adaptadas ao contexto local, com fácil manutenção, baixo custo de implantação e alto potencial de aceitação comunitária.

Thompson (2015) destaca, a partir do estudo de caso do norte de Gana, a eficiência de filtros cerâmicos, filtros de areia e da desinfecção solar como tecnologias que, apesar das limitações operacionais, apresentam forte aderência às condições locais. Essa constatação é reforçada por Chaturvedi e Dave (2012), que analisam a remoção de

ferro da água potável em regiões rurais, apontando que a combinação de aeração e filtração lenta pode ser eficiente e economicamente viável.

Na mesma direção, McGarry (1980) e Diamant (1984) resgatam experiências pioneiras com tecnologias apropriadas na África Subsaariana e na Ásia, como bombas manuais de baixo custo, latrinas compostáveis e integração entre saneamento e produção de alimentos. Ambos reforçam a importância da produção local, da capacitação comunitária e da educação sanitária como condições de sucesso.

A preocupação com a sustentabilidade institucional também está presente no estudo de Petta, Kramer e Al Baz (2007), que relatam o projeto EMWater como um exemplo de integração entre soluções técnicas e formação de redes locais. A implantação de unidades-piloto de tratamento de efluentes em países mediterrâneos mostra a viabilidade de tecnologias descentralizadas, embora com desafios na manutenção e resistência cultural ao reuso.

No caso do Zimbábue, Nhapi (2015) oferece um diagnóstico dos impactos do colapso institucional sobre a qualidade da água, ressaltando a importância de sistemas comunitários de gestão e tecnologias como bombas manuais e latrinas ventiladas. Essa experiência reforça o papel da governança local e da resiliência técnica em contextos de crise.

A utilização de recursos naturais locais como elementos de tratamento ganha destaque no estudo de Nayar e Patel (2021), que demonstram o potencial do jacinto-d'água na redução de contaminantes físicos-químicos da água. A fitorremediação se apresenta como uma opção promissora, de baixo custo e com mínima dependência de insumos externos.

Jungan, Lim e Tan (2022) exploram essa mesma lógica de aproveitamento de materiais acessíveis ao avaliar diferentes biomassas para produção de biochar. O estudo conclui que o bambu apresenta melhor desempenho adsorptivo e estabilidade para uso em sistemas comunitários.

Sombie et al., (2025) consolidam uma visão ampla sobre as tecnologias ponto de uso mais aplicadas em regiões de baixa renda. Filtros cerâmicos, biosand e cloração doméstica se destacam pela eficácia e relativa simplicidade, mas também pela necessidade de programas de educação sanitária e monitoramento.

Complemento a perspectiva técnica, Wijen, Anzalone e Pearce (2014) introduzem o debate sobre o monitoramento comunitário da qualidade de água, por meio de plataformas open-source e impressoras em 3D. A inovação tecnológica, quando

acoplada à autogestão local, amplia a capacidade de vigilância e resposta rápida a contaminações.

A articulação entre esses estudos permite identificar pontos de consenso relevantes (i) a importância do contexto local como base para a escolha tecnológica; (ii) a relação entre tecnologia, educação e participação comunitária; (iii) o papel das soluções descentralizadas e modulares para regiões com infraestrutura precária; e (iv) o potencial de materiais naturais e de tecnologias de baixo custo no tratamento e monitoramento da água.

Neste sentido, os resultados desta revisão se alinham à realidade de pequenas cidades brasileiras como Tanguá (RJ), onde há registros de falhas no abastecimento hídrico em áreas periurbanas e falta do abastecimento nas zonas rurais. O estudo de caso realizado no município mostra que soluções centralizadas tem dificuldade de cobertura universal, tornando urgente a discussão sobre tecnologias apropriadas, de fácil manutenção e com possibilidade de gestão comunitária. A partir da experiência internacional, torna-se possível pensar em propostas viáveis e replicáveis, como o uso de biochar, filtros cerâmicos, fitorremediação com plantas aquáticas e plataformas comunitárias de monitoramento, adaptadas às condições de Tanguá.

4 CONCLUSÃO

A partir da análise sistemática dos estudos revisados, é possível responder de maneira fundamentada à questão ora abordada na presente pesquisa – diversas tecnologias de baixo custo têm sido aplicadas com sucesso em pequenas cidades e regiões em desenvolvimento para o tratamento e abastecimento de água potável, incluindo filtros cerâmicos (Thompson, 2015; Sombei et al., 2025), biosand filters (Sombei et al., 2025), desinfecção solar (Thompson, 2015), cloração doméstica (Chaturvedi e Dave, 2012; Sombei et al., 2025), biochar de bambu (Jungan et al., 2022), fitorremediação com jacinto-d'água (Naya e Patel, 2021) e dispositivos de monitoramento open source (Wijen et al., 2014).

Os impactos relatados nos estudos vão além dos aspectos sanitários, como a redução de contaminantes e de surtos de doenças hídricas (Nhapi, 2015), abrangendo também aspectos sociais, como a participação comunitária (McGarry, 1980; Diamant, 1984), e ambientais, com aproveitamento de materiais locais e redução da pegada ecológica (Jungan et al., 2022; Nayar e Patel, 2021).

A presente pesquisa reveste-se de especial relevância para o município de Tanguá (RJ), onde a população rural enfrenta dificuldades recorrentes de abastecimento de água em zonas rurais. A síntese das evidências internacionais permite fundamentar a proposição de soluções adequadas ao contexto local, reforçando a necessidade de políticas públicas voltadas à implantação de tecnologias apropriadas e à capacitação de atores comunitários para garantir a sustentabilidade dos sistemas. Em suma, a revisão sistemática aqui realizada contribui para a construção de um modelo replicável e socialmente justo de acesso à água potável em regiões de vulnerabilidade hídrica.

REFERÊNCIAS

- CHATURVEDI, S.; DAVE, P. N. *Removal of iron for safe drinking water*. Desalination, v. 303, p. 1–11, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.07.003>.
- DIAMANT, B. Z. *Appropriate sanitation technology for the decade in Africa*. The Journal of the Royal Society of Health, v. 104, n. 3, p. 85–90, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1177/146642408410400303>.
- JUNGAN, K.; LIM, L. L. P.; TAN, I. A. W. *Determination of suitable biochar precursor as alternative for enabling access to clean water supply in rural areas*. Journal of Sustainability Science and Management, v. 17, n. 6, p. 66–78, 2022. DOI: <https://doi.org/10.46754/jssm.2022.06.006>.
- MCGARRY, M. G. *Appropriate technologies for environmental hygiene*. Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences, v. 209, n. 1174, p. 37–46, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.1980.0061>.
- MOHER, D. et al. *Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement*. PLoS Med, v. 6, n. 7, e1000097, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.
- NAYAR, R.; PATEL, R. *Rural water quality monitoring and exploring low-cost treatment technology with water hyacinth*. Edelweiss Applied Science and Technology, v. 5, n. 1, p. 9–13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33805/2576-8484.188>.
- NHAPI, I. *Challenges for water supply and sanitation in developing countries: case studies from Zimbabwe*. In: GRAFTON, R. Q. et al. (Org.). *Understanding and managing urban water in transition*. Dordrecht: Springer, 2015. p. 91–119. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-017-9801-3_4.
- PETTA, L.; KRAMER, A.; AL BAZ, I. *The EMWater Project — Promoting efficient wastewater management and reuse in Mediterranean countries*. Desalination, v. 215, p. 56–63, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.10.027>.
- SOMBEI, D. C. et al. *A review of low-cost point-of-use water treatment solutions in resource-limited settings*. Water, v. 17, n. 12, p. 1827, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/w17121827>.
- THOMPSON, M. *A critical review of water purification technology appropriate for developing countries: Northern Ghana as a case study*. Desalination and Water Treatment, v. 54, n. 13, p. 3487–3493, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.922309>.

WIJNEN, B.; ANZALONE, G. C.; PEARCE, J. M. *Open-source mobile water quality testing platform*. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development, v. 4, n. 3, p. 532–537, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2166/washdev.2014.137>.