



A CRISE DOS PFAS NA ÁGUA DOS ESTADOS UNIDOS E A IMPORTÂNCIA DE TECNOLOGIAS DOMÉSTICAS AVANÇADAS DE FILTRAÇÃO COMO MEDIDA DE PROTEÇÃO À SAÚDE PÚBLICA

THE PFAS CRISIS IN US WATER AND THE IMPORTANCE OF ADVANCED HOME FILTRATION TECHNOLOGIES AS A PUBLIC HEALTH PROTECTION MEASURE

LA CRISIS DE LOS PFAS EN EL AGUA DE EE. UU. Y LA IMPORTANCIA DE LAS TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE FILTRACIÓN DOMÉSTICA COMO MEDIDA DE PROTECCIÓN DE LA SALUD PÚBLICA



<https://doi.org/10.56238/levv14n32-044>

Data de submissão: 15/12/2023

Data de publicação: 15/01/2024

Fabio Augusto Alves Luiz

RESUMO

A presença de PFAS na água potável dos Estados Unidos configurou um cenário crítico de saúde pública devido à alta persistência desses compostos e à dificuldade dos sistemas convencionais de tratamento em removê-los. O artigo analisa essa crise ao discutir os efeitos toxicológicos associados à exposição prolongada, o histórico industrial que favoreceu a dispersão dos PFAS e a vulnerabilidade de comunidades dependentes de sistemas contaminados. O objetivo central é avaliar o potencial das tecnologias domésticas avançadas de filtração como medida imediata de mitigação, considerando evidências de eficiência na retenção molecular por carvão ativado e membranas densas. A pesquisa utiliza revisão bibliográfica crítica baseada em estudos científicos, relatórios institucionais e análises epidemiológicas. Os resultados indicam associação entre exposição contínua e efeitos imunológicos, endócrinos e possíveis riscos carcinogênicos, ao mesmo tempo em que mostram que filtros domésticos podem reduzir significativamente a ingestão de PFAS. Conclui-se que tais tecnologias representam alternativa de proteção rápida e acessível enquanto soluções estruturais e regulatórias seguem em desenvolvimento.

Palavras-chave: PFAS. Filtração Doméstica. Saúde Pública. Água Potável.

ABSTRACT

The presence of PFAS in U.S. drinking water has created a significant public health concern due to the persistence of these compounds and the limited effectiveness of conventional treatment systems. This article examines the crisis by addressing the toxicological impacts of prolonged exposure, the industrial history behind PFAS dissemination, and the vulnerability of affected communities. The main objective is to assess the potential of advanced domestic filtration technologies as an immediate mitigation measure, supported by evidence of effective molecular retention through activated carbon and dense membrane systems. The study is based on a critical literature review involving scientific research, institutional reports, and epidemiological analyses. Results indicate links between long-term exposure and immunological, endocrine, and potentially carcinogenic effects, while also showing that domestic filters can substantially reduce PFAS intake. The study concludes that these technologies function as a



rapid, accessible protective measure while broader regulatory and infrastructural responses continue to evolve.

Keywords: PFAS. Domestic Filtration. Public Health. Drinking Water.

RESUMEN

La presencia de PFAS en el agua potable de Estados Unidos ha generado un escenario crítico de salud pública debido a la alta persistencia de estos compuestos y la dificultad de los sistemas de tratamiento convencionales para eliminarlos. Este artículo analiza esta crisis analizando los efectos toxicológicos asociados a la exposición prolongada, la historia industrial que favoreció la dispersión de PFAS y la vulnerabilidad de las comunidades que dependen de sistemas contaminados. El objetivo principal es evaluar el potencial de las tecnologías avanzadas de filtración doméstica como medida de mitigación inmediata, considerando la evidencia de eficiencia en la retención molecular mediante carbón activado y membranas densas. La investigación utiliza una revisión crítica de la literatura basada en estudios científicos, informes institucionales y análisis epidemiológicos. Los resultados indican una asociación entre la exposición continua y riesgos inmunológicos, endocrinos y posibles carcinógenos, a la vez que demuestran que los filtros domésticos pueden reducir significativamente la ingesta de PFAS. Se concluye que estas tecnologías representan una alternativa de protección rápida y accesible mientras se desarrollan soluciones estructurales y regulatorias.

Palabras clave: PFAS. Filtración Doméstica. Salud Pública. Agua Potable.

1 INTRODUÇÃO

A discussão científica envolvendo substâncias perfluoroalquiladas ganhou proporções significativas nos últimos anos, pois tais compostos apresentam elevada estabilidade química e forte tendência à persistência ambiental, condição que favorece a presença prolongada em sistemas aquáticos e expõe populações a riscos cumulativos relacionados ao consumo de água contaminada, circunstância que tem motivado análises aprofundadas sobre rotas de exposição, impactos ecotoxicológicos e abordagens de vigilância sanitária aplicáveis ao abastecimento público em diferentes contextos internacionais (Person, 2022).

A partir de evidências acumuladas em pesquisas globais, observa-se que a contaminação hídrica por PFAS envolve rotas complexas de degradação, biomagnificação e transporte, realidade verificada em investigações que analisam ambientes tropicais, áreas industriais e ecossistemas oceânicos, cenário que reforça importância de compreender padrões de dispersão e permanência em escala continental, além de aspectos toxicológicos emergentes na saúde humana e animal, o que inclui a expansão de estudos epidemiológicos e análises ambientais voltadas à proteção social (Miranda, 2021).

No caso norte-americano, registros de populações inteiras expostas a concentrações elevadas de PFAS motivaram processos jurídicos, reformas regulatórias e políticas de controle industrial, resultando em medidas emergenciais para contenção do uso dessas substâncias e para mitigação de danos em regiões diretamente afetadas pela produção química, situação que evidencia vulnerabilidade sanitária decorrente do consumo prolongado de compostos persistentes presentes em sistemas de abastecimento público (Dias, 2020).

Levantamentos institucionais norteados pela preocupação ambiental e pela saúde coletiva destacam crescente complexidade envolvendo produção, utilização, resíduos industriais, produtos de consumo e presença de PFAS em matrizes ambientais diversas, o que reforça necessidade de compreender fontes difusas, rotas de exposição e impactos cumulativos relacionados à ingestão de água contaminada, principalmente em localidades vulneráveis e historicamente associadas a processos industriais potencialmente poluentes (Torres, 2020).

Nos Estados Unidos, diversos estados enfrentam contaminação hídrica em escala relevante, situação responsável por debates públicos, ações regulatórias e propostas emergentes para proteção social diante da ligação entre exposição crônica e possíveis danos à saúde, incluindo riscos carcinogênicos, efeitos imunológicos e desregulações endócrinas associadas à bioacumulação em tecidos humanos, condição apontada por estudos que analisam toxicidade e impactos em populações expostas por longos períodos (Carvalho, 2023).

Nesse cenário frente ao problema central sobre a permanência de PFAS na água potável e na incapacidade dos sistemas convencionais de tratamento em removê-los, o objetivo desta pesquisa consiste em analisar a crise dos PFAS na água dos Estados Unidos com foco nos impactos sanitários e

ambientais, investigando potencial de sistemas de purificação domésticas avançadas de filtração como resposta preventiva à ingestão de compostos perfluoroalquilados presentes na água potável, considerando evidências que sugerem limitações das tecnologias convencionais para remoção eficiente de substâncias com elevada estabilidade química.

A justificativa deste trabalho fundamenta-se na necessidade de compreender efeitos ecotoxicológicos e clínicos observados em organismos expostos a concentrações reduzidas de PFAS, tendo em vista resultados experimentais que demonstram alterações comportamentais e fisiológicas relacionadas à toxicidade, realidade que fortalece importância de desenvolver mecanismos preventivos de mitigação com base científica capaz de ampliar proteção sanitária e ambiental (Diogo, 2023).

As evidências descritas em estudos especializados indicam capacidade de acúmulo progressivo de PFAS em organismos vivos e em sistemas hídricos, situação que torna indispensável a adoção de estratégias mitigadoras capazes de conter efeitos persistentes e reduzir a exposição humana, principalmente em contextos nos quais sistemas públicos de abastecimento não dispõem de tecnologias específicas voltadas à remoção desses compostos em escala segura (Person, 2022).

Considerando que a crise norte-americana envolve exposição de longo prazo de substâncias fluoradas pela população, torna-se indispensável discutir tecnologias avançadas de filtragem aplicáveis ao ambiente doméstico, a fim de avaliar desempenho, princípios físico-químicos e potencial de retenção molecular alcançado por sistemas multicamadas e dispositivos de alta densidade utilizados para tratamento de água destinada ao consumo humano (Miranda, 2021).

Os impactos epidemiológicos observados nos Estados Unidos revelam relação significativa entre exposição continuada e presença de condições clínicas específicas, percepção que reforça urgência de soluções tecnológicas voltadas ao consumo individual em nível domiciliar, integrando ciência ambiental, vigilância sanitária, monitoramento de riscos e políticas preventivas capazes de minimizar danos decorrentes da contaminação perfluoroalquilada (Dias, 2020).

Com base nesses dados, tecnologias domésticas avançadas de filtração representam alternativa estratégica para reduzir presença de PFAS em água potável, dado que mecanismos de adsorção, carvão ativado, sistemas multicamadas e membranas seletivas apresentam resultados favoráveis em pesquisas experimentais, configurando importante contribuição científica aplicada diretamente à proteção social (Sales *et al.*, 2019).

Dessa forma, justifica-se desenvolvimento de investigação científica centrada no contexto norte-americano, abordando emergências sanitárias e analisando potenciais aplicabilidades de tecnologias filtrantes destinadas ao ambiente doméstico, tendo em vista riscos populacionais, lacunas científicas, urgência ambiental e necessidade de apontar caminhos preventivos eficazes diante da magnitude dos impactos sanitários decorrentes da permanência desses compostos no ambiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONTEXTO INTERNACIONAL DOS PFAS E A CRISE HÍDRICA NORTE-AMERICANA

A temática envolvendo substâncias perfluoroalquiladas ganhou atenção internacional devido à elevada persistência desses compostos em matrizes ambientais que abrangem desde a água superficial até reservatórios subterrâneos, realidade que motivou países industrializados a desenvolver normas específicas de vigilância para monitorar impactos sanitários e ambientais gerados pelo descarte histórico dessas substâncias (Person, 2022).

Investigações internacionais revelaram que o perfil químico dos PFAS caracteriza-se por estruturas altamente estáveis, com forte resistência à degradação, permitindo dispersão ampla em ecossistemas aquáticos e consolidando processo de recalcitrância ambiental, tema amplamente discutido em relatórios governamentais e estudos acadêmicos produzidos em escala global (Miranda, 2021).

Em território norte-americano ocorreram episódios de relevância que envolveram contaminações amplas registradas em sistemas de abastecimento público, desencadeando ações civis, investigações políticas e reestruturações regulatórias orientadas a restringir o uso dessas substâncias em determinados setores industriais, situação que ampliou debate sobre responsabilidade social e princípios de precaução aplicáveis ao controle químico (Dias, 2020).

A literatura internacional descreve ocorrências associadas a atividades industriais realizadas há mais de cinco décadas, período no qual a manufatura e a aplicação de compostos fluorados alcançaram escala intensa, fomentando dispersão ambiental de longa duração e expondo comunidades inteiras à ingestão de água potável contaminada, condição ainda presente em várias regiões norte-americanas (Torres, 2020).

Ambientes aquáticos têm sido alvo de estudos que identificam concentrações significativas de PFAS, evidenciando permanência prolongada e acúmulo em regiões historicamente expostas, realidade que instigou centros de pesquisa a examinar interações entre fontes industriais, emissões hídricas e impactos gerados na saúde pública, cuja complexidade motivou adoção de medidas emergenciais no âmbito nacional (Carvalho, 2023).

A crise hídrica nos Estados Unidos se consolidou como marco internacional, pois revelou incapacidade de determinadas estações de tratamento em remover compostos fluorados com eficiência adequada, provocando redefinição de parâmetros regulatórios e implementação de controles industriais direcionados a minimizar carga química depositada em rios, lagos e aquíferos utilizados pela população (Sales *et al.*, 2019).

Foram observadas reações regulatórias consistentes envolvendo agências governamentais que passaram a estabelecer limites progressivamente restritivos para presença desses compostos na água

tratada, em decorrência de sucessivas evidências clínicas e ambientais que apontaram interferências diretas no bem-estar humano e na segurança hídrica de comunidades vulneráveis (Person, 2022).

Essa realidade impulsionou expansão do debate internacional sobre monitoramento ambiental, fortalecendo iniciativas voltadas à construção de metodologias de detecção, avaliação toxicológica e controle da exposição humana, gerando repercussões políticas em âmbito federal e estadual nos Estados Unidos, acompanhadas de revisão das normas de potabilidade que qualificam risco e aceitabilidade sanitária (Miranda, 2021).

O histórico norte-americano passou a ser compreendido como referência mundial para interpretação de riscos e elaboração de diretrizes de proteção sanitária, considerando que impactos decorrentes de décadas de atividade industrial colocaram populações em situação permanente de vulnerabilidade, exigindo abordagens tecnológicas capazes de reduzir exposição domiciliar e ampliar acesso a água segura como medida de defesa coletiva (Dias, 2020).

Os resultados provenientes dessas interpretações demonstram que o fenômeno norte-americano envolve múltiplas dimensões ambientais, sanitárias e tecnológicas, evidenciando complexidade crescente e necessidade de aprofundar mecanismos preventivos capazes de conter ciclos prolongados de contaminação hídrica, sustentando importância da atuação internacional na construção de soluções globais para monitoramento de PFAS em água potável (Torres, 2020).

2.2 IMPACTOS SANITÁRIOS E RISCOS EPIDEMIOLÓGICOS EM POPULAÇÕES EXPOSTAS

Os impactos sanitários decorrentes da exposição prolongada a PFAS assumem posição central na literatura internacional, pois diferentes estudos associaram ingestão diária de água contaminada a alterações clínicas que envolvem efeitos imunológicos, endocrinológicos e possíveis manifestações carcinogênicas, condição que intensifica debates sobre a necessidade de ampliar vigilância sanitária em localidades expostas à contaminação ambiental de longa duração (Carvalho, 2023).

Experimentos conduzidos nos Estados Unidos sugerem que a ingestão de água contaminada representa um vetor de risco sanitário permanente, pois compostos fluorados tendem a acumular-se em tecidos biológicos, originando processos de bioacumulação que podem desencadear efeitos sistêmicos e requerer acompanhamento epidemiológico contínuo das populações impactadas (Person, 2022).

Pesquisas laboratoriais identificaram que determinadas concentrações de PFAS podem alterar mecanismos fisiológicos importantes, situação que amplia necessidade de estudos toxicológicos destinados a compreender respostas celulares, metabólicas e imunológicas desencadeadas pela exposição contínua, contribuindo para análise epidemiológica de grupos vulneráveis em localidades norte-americanas (Miranda, 2021).

Informações clínicas provenientes de comunidades expostas indicam que efeitos cumulativos podem resultar em alterações relevantes para saúde pública, situação que exige desenvolvimento de

respostas preventivas sustentadas por políticas regulatórias e investimentos em tecnologias capazes de reduzir ingestão domiciliar desses compostos presentes em água potável de distribuição pública (Dias, 2020).

Análises epidemiológicas demonstram que a exposição crônica pode estar associada a manifestações clínicas de evolução lenta, contribuindo para aumento de incidência de efeitos que afetam sistemas orgânicos fundamentais e exigem investigação científica contínua, com vistas a identificar vínculos entre exposição prolongada e surgimento de condições clínicas específicas (Torres, 2020).

As pesquisas internacionais apontam que crianças, gestantes e indivíduos com predisposições fisiológicas constituem grupos sensíveis aos efeitos resultantes do contato reiterado com contaminantes, realidade que justifica interesse crescente na formulação de estratégias preventivas sustentadas por soluções tecnológicas direcionadas ao ambiente doméstico, contribuindo para proteção imediata da saúde humana (Carvalho, 2023).

Estudos laboratoriais demonstraram efeitos ecotoxicológicos significativos inclusive em organismos aquáticos expostos em ambientes controlados, indicando possibilidade de impactos equivalentes em seres humanos mediante ingestão continuada de água contaminada, situação que reforça necessidade de ampliar medidas de mitigação adotadas em regiões de maior vulnerabilidade industrial (Person, 2022).

O conjunto dessas evidências apontam a compreensão de que exposição ambiental requer análise integrada entre ciência, tecnologia e saúde pública, considerando que a permanência de PFAS na água potável pode gerar implicações epidemiológicas complexas, cujo estudo é indispensável para decisões regulatórias e estratégias políticas voltadas à defesa sanitária (Miranda, 2021).

As pesquisas analisadas indicam que a permanência de PFAS em sistemas de abastecimento compromete segurança hídrica populacional, motivando órgãos de saúde pública nos Estados Unidos a orientar uso de dispositivos domésticos capazes de reduzir ingestão voluntária desses compostos, sugerindo barreiras tecnológicas de proteção imediata em comunidades expostas (Dias, 2020).

O panorama epidemiológico observado em território norte-americano indica que a exposição a PFAS constitui tema crítico de saúde pública, cuja complexidade exige articulação entre estudos clínicos, análises ambientais, fiscalização industrial e mecanismos tecnológicos direcionados à proteção das populações residentes em áreas vulneráveis que convivem historicamente com contaminação química em água potável (Torres, 2020).

2.3 TECNOLOGIAS AVANÇADAS DE FILTRAÇÃO DOMÉSTICA COMO MEDIDA DE PROTEÇÃO

A literatura internacional dedicada aos PFAS tem enfatizado mecanismos de mitigação que envolvem instrumentos tecnológicos capazes de reduzir exposição humana a substâncias persistentes, especialmente nos Estados Unidos, onde comunidades e órgãos de saúde pública passaram a recomendar o uso de sistemas de filtragem doméstica como estratégia preventiva diante da contaminação hídrica, situação que evidencia relevância das pesquisas dedicadas ao desenvolvimento de tecnologias aplicáveis ao cotidiano familiar, alinhadas às recomendações sanitárias atuais e sustentadas por análises experimentais que demonstram eficiência de remoção em diferentes condições ambientais (Person, 2022).

Estudos recentes demonstraram que dispositivos domésticos apresentam capacidade considerável de retenção molecular quando estruturados em carvão ativado granular ou membranas densas, condição que fortalece o objetivo dessas tecnologias como recurso de proteção direta do consumidor e amplia a perspectiva de defesa sanitária em áreas onde sistemas públicos de abastecimento não garantem remoção adequada de PFAS, realidade observada em diversas regiões norte-americanas submetidas a décadas de atividade industrial e uso continuado de compostos fluorados em escala ampliada (Miranda, 2021).

As pesquisas relacionadas à adsorção revelaram que carvão ativado possui afinidade elevada por compostos perfluoroalquilados de cadeias longas, permitindo retenção expressiva em sistemas domésticos corretamente instalados, resultado que motivou especialistas a recomendar utilização contínua de filtros em residências localizadas em áreas vulneráveis, destacando necessidade de substituição periódica e manutenção técnica adequada, aspectos essenciais para garantir desempenho sanitário apropriado ao longo de toda a vida útil do dispositivo (Dias, 2020).

Laboratórios norte-americanos têm realizado ensaios comparativos envolvendo diferentes tecnologias filtrantes, avaliando desempenho relativo, velocidade de filtragem, seletividade molecular e resistência a concentrações variáveis, análise que demonstra superioridade de determinadas membranas avançadas, sobretudo quando associadas a sistemas multicamadas, justificando investimentos em pesquisa aplicada voltada ao desenvolvimento de soluções acessíveis para consumidores, considerando contexto de risco sanitário elevado identificado em diversas localidades norte-americanas (Torres, 2020).

Sistemas de filtração por membranas vêm sendo aprimorados por meio de estratégias que integram processos físico-químicos e mecanismos estruturais de elevada densidade, possibilitando retenção satisfatória de PFAS em água para consumo familiar, tecnologia que amplia possibilidades de atuação preventiva em regiões industriais e estimula o desenvolvimento de dispositivos compactos

direcionados ao uso residencial, cenário que tem sido adotado como alternativa viável em regiões onde contaminação ambiental atingiu patamares historicamente elevados (Carvalho, 2023).

Os sistemas domésticos baseados em adsorção por carvão ativado granular destacam-se em experimentos laboratoriais que demonstram redução significativa de contaminantes emergentes, incluindo substâncias perfluoroalquiladas, o que reforça importância dessa tecnologia no processo de mitigação sanitária em escala familiar, principalmente em áreas onde sistemas convencionais de tratamento não conseguem atingir padrões de segurança recomendados em documentos institucionais e análises governamentais (Sales *et al.*, 2019).

A literatura especializada ressalta que a adsorção pode ser aprimorada mediante combinação de camadas filtrantes e uso de granulometrias específicas capazes de ampliar contato molecular entre carvão ativado e solução contaminada, permitindo desempenho ampliado em condições de uso prolongado, desde que adotadas práticas de manutenção, substituição periódica e acompanhamento técnico, situação que torna o uso doméstico uma ferramenta complementar de proteção sanitária, sobretudo diante da limitada capacidade de tratamento público para substâncias persistentes de origem industrial (Person, 2022).

Relatórios norte-americanos sobre contaminação por PFAS demonstram que tecnologias de filtração doméstica vêm sendo recomendadas por órgãos de saúde e agências ambientais como recurso preventivo imediato, sobretudo nas regiões onde sistemas hídricos apresentam histórico de contaminação extensivo, condição que se tornou mais evidente após investigações ambientais que confirmaram presença de compostos fluorados em concentrações superiores às referências regulatórias propostas nos últimos anos (Miranda, 2021).

Análises comparativas entre tecnologias convencionais e sistemas avançados revelam que filtros domésticos voltados à retenção de PFAS apresentam desempenho superior à filtração simples, devido à presença de mecanismos específicos de adsorção e barreiras moleculares que dificultam passagem de compostos de elevada persistência, justificando ampliação de estudos dedicados a explorar combinações entre diferentes substratos filtrantes e direcionar pesquisa científica para o aperfeiçoamento tecnológico contínuo (Dias, 2020).

A intensificação de pesquisas em universidades norte-americanas evidencia preocupação com custo, acessibilidade e durabilidade dos filtros domésticos, considerando que efetividade tecnológica depende de fatores como pressão hidráulica, velocidade de passagem, capacidade de adsorção e substituição periódica, parâmetros que determinam desempenho sanitário adequado para proteção familiar, sobretudo em regiões que apresentam histórico de contaminação prolongada (Torres, 2020).

Diversos estudos experimentais analisaram nanotecnologias aplicadas à filtração doméstica com foco em retenção molecular de substâncias com estrutura fluorada, metodologia que resulta em desenvolvimento de novas alternativas destinadas à proteção da saúde coletiva, ampliando

desempenho de membranas densas e potencializando capacidade de filtração seletiva, de modo que abordagens nanotecnológicas ampliam caminho preventivo em comunidades vulneráveis e possibilitam intervenções rápidas no fornecimento doméstico de água potável (Carvalho, 2023).

Compreender potencial e limitações das tecnologias disponíveis contribui para construção de estratégias sanitárias que reforçam proteção individual e familiar diante da crise norte-americana, permitindo identificar sistemas com maior desempenho, tempo de uso adequado, capacidade de retenção e viabilidade econômica, resultando em discussão ampliada sobre melhores alternativas filtrantes para enfrentar exposição prolongada, sustentando modelo preventivo de mitigação alinhado às evidências científicas atuais e às necessidades urgentes da saúde pública internacional.

3 METODOLOGIA

A construção desta pesquisa se baseia em revisão bibliográfica, estruturado a partir da análise crítica de publicações científicas nacionais e internacionais, priorizando documentos que discutem presença, efeitos sanitários e abordagens tecnológicas envolvendo PFAS em água potável, com ênfase em estudos que tratam da situação norte-americana e das possibilidades de mitigação por meio de tecnologias avançadas de filtração doméstica, aplicando-se critérios de seleção que privilegiam evidências científicas atualizadas em rigor acadêmico, conforme diretrizes de investigação qualitativa.

Optou-se por abordagem de natureza exploratória, cuja finalidade consistiu em aprofundar conhecimento sobre impactos sanitários decorrentes da exposição prolongada a PFAS, bem como reunir informações sobre riscos epidemiológicos, rotas de contaminação, vulnerabilidades populacionais e mecanismos de proteção domiciliar, realizando interpretação teórica dos achados por meio de análise integrativa que considera especificidades ambientais, tecnológicas e sanitárias presentes na literatura especializada.

A pesquisa foi conduzida em formato de revisão do conhecimento disponível, adotando princípios metodológicos descritos na investigação científica em ciências humanas e aplicadas, com foco na identificação dos elementos conceituais, normativos e tecnológicos utilizados por diferentes autores, possibilitando examinar criticamente as relações entre contaminação hidrológica, efeitos clínicos e soluções mitigadoras propostas em instrumentos acadêmicos, governamentais e institucionais ao longo dos últimos anos, valorizando interpretação analítica dos estudos selecionados.

O procedimento metodológico baseou-se em leitura, seleção e categorização de referências com abordagem ambiental, sanitária e tecnológica, seguindo orientação científica que recomenda uso de categorias analíticas capazes de organizar informações de maneira coerente com objetivos da pesquisa, possibilitando a identificação de padrões conceituais e recorrências nas discussões relacionadas aos efeitos da exposição humana a PFAS e aos recursos tecnológicos desenvolvidos para reduzir impactos sanitários em populações vulneráveis.

Em todas as etapas adotou-se como orientação metodológica a análise sistemática de obras acadêmicas, priorizando autores e documentos que apresentam relevância na área, permitindo estabelecer fundamentação teórica consistente para compreender panorama sanitário decorrente da presença de PFAS em água potável nos Estados Unidos, articulando referências científicas, relatórios institucionais, achados experimentais e estudos epidemiológicos que subsidiam reconstrução crítica do objeto investigado (Lakatos; Marconi, 2003).

A revisão bibliográfica foi estruturada a partir das contribuições metodológicas que defendem investigação fundamentada em rigor científico, assegurando que análise qualitativa seja baseada em interpretação criteriosa das fontes selecionadas, considerando amplitude dos aspectos técnicos e conceituais presentes nos estudos recentes, articulando elementos que compõem quadro analítico referente à contaminação, saúde pública e possibilidades tecnológicas de mitigação (Gil, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A investigação realizada permitiu identificar que a crise envolvendo PFAS nos Estados Unidos consolidou um cenário sanitário crítico, caracterizado pela presença contínua de compostos fluorados em sistemas de abastecimento público, realidade que contribuiu para adoção de medidas emergenciais e fortalecimento de políticas de vigilância ambiental voltadas ao controle de substâncias persistentes, reforçando sentido preventivo atribuído às tecnologias domésticas de filtração apresentadas em pesquisas científicas dedicadas ao tema (Person, 2022).

As análises disponíveis demonstram que o problema possui origem histórica relacionada à ampla utilização industrial de PFAS, situação que expôs populações residentes próximas a instalações químicas a riscos epidemiológicos associados ao consumo diário de água contaminada, resultando em repercussões clínicas que despertaram atenção de centros de saúde pública, laboratórios e órgãos reguladores, cenário que motivou expansão de estudos toxicológicos e ambientais, ampliando conhecimento sobre efeitos cumulativos associados à ingestão contínua (Miranda, 2021).

As evidências apontam que comunidades inteiras foram submetidas à exposição continuada, intensificando debates sobre responsabilidade industrial e transparência no monitoramento da qualidade da água, resultado que incentivou adoção de processos jurídicos e regulatórios em diferentes estados norte-americanos, com vistas a reduzir emissões, excluir determinadas substâncias do mercado e aprimorar tratamento público capaz de mitigar danos ambientais e sanitários decorrentes da presença recorrente de compostos fluorados (Dias, 2020).

Os resultados encontrados nas pesquisas analisadas revelam que a bioacumulação de PFAS constitui um dos fatores mais preocupantes do ponto de vista sanitário, pois interfere em processos fisiológicos e clínicos relevantes, fortalecendo vínculo entre exposição prolongada e condições de saúde que exigem acompanhamento contínuo de populações impactadas, evidenciando necessidade de

desenvolver instrumentos preventivos, tecnológicos e regulatórios capazes de limitar ingestão de contaminantes perfluoroalquilados presentes em água destinada ao consumo diário (Torres, 2020).

Os estudos que discutem medidas protetivas demonstram que dispositivos domésticos baseados em adsorção e membranas densas apresentam desempenho favorável, representando alternativa estratégica para reduzir exposição a PFAS enquanto políticas estruturais e regulatórias seguem em processo de aprimoramento, permitindo ao consumidor final acesso imediato a mecanismos preventivos voltados à proteção sanitária e respaldados por experimentações científicas conduzidas em diferentes regiões norte-americanas (Carvalho, 2023).

A literatura indica que filtros domésticos estruturados em carvão ativado granular e sistemas multicamadas contribuem para redução significativa de substâncias persistentes em água potável, permitindo reter frações moleculares associadas à contaminação industrial e possibilitando proteção direta do consumidor, especialmente em áreas que apresentam histórico ambiental marcado por utilização prolongada de compostos fluorados, situação recorrente em municípios norte-americanos investigados nos últimos anos (Sales *et al.*, 2019).

As análises desenvolvidas revelaram que a capacidade de remoção de PFAS em sistemas domésticos depende de variáveis como granulometria, pressão hidráulica, manutenção periódica e substituição programada de elementos filtrantes, fatores que determinam eficiência e desempenho sanitário dos dispositivos, exigindo aprofundamento de estudos experimentais capazes de avaliar parâmetros técnicos e estabelecer protocolos que orientem uso adequado e garantam efetividade tecnológica em circunstâncias específicas (Person, 2022).

O monitoramento da qualidade da água em áreas afetadas pela contaminação fluorada permanece como desafio, pois requer integração entre laboratórios, agências de fiscalização e sistemas públicos de abastecimento, condição que reforça importância das tecnologias domésticas como instrumento adicional de defesa sanitária, especialmente em regiões onde políticas regulatórias ainda estão em processo de implementação e não possuem capacidade institucional de eliminar concentrações de PFAS em níveis de segurança demandados pela saúde pública internacional (Miranda, 2021).

A consolidação de dados provenientes de pesquisas epidemiológicas evidencia relação entre exposição prolongada e manifestações clínicas que envolvem alterações imunológicas e possíveis efeitos carcinogênicos, elementos que intensificam necessidade de desenvolver soluções tecnológicas capazes de minimizar ingestão de PFAS em água potável, assegurando mecanismos de proteção para usuários residenciais e evitando agravamento de quadros clínicos relacionados a exposição contínua em regiões de maior vulnerabilidade socioambiental (Dias, 2020).

O desenvolvimento contínuo de tecnologias domésticas vem sendo acompanhado por centros de pesquisa dedicados a aprimorar eficiência de retenção molecular, de modo que abordagens

nanotecnológicas, membranas densas e sistemas multicamadas se apresentam como alternativas gradualmente acessíveis, ampliando possibilidade de garantir segurança hídrica familiar em contextos marcados por exposição química, realizando intervenção imediata enquanto soluções estruturais seguem em desenvolvimento institucional no âmbito nacional norte-americano (Torres, 2020).

A análise detalhada dos estudos disponíveis demonstra que iniciativas de proteção sanitária baseadas em filtração doméstica tendem a se consolidar como estratégias complementares às políticas públicas de controle ambiental, considerando que desempenho satisfatório de determinados sistemas domésticos contribui para reduzir presença de PFAS em água filtrada, resultando em alternativas diretas e efetivas diante de cenários de contaminação ampliada relacionados a processos industriais e limitações tecnológicas no âmbito das estações de tratamento público (Carvalho, 2023).

Diante de evidências científicas analisadas torna-se possível afirmar que tecnologias domésticas de filtração configuram medida protetiva básica frente à crise ambiental e sanitária instalada nos Estados Unidos, representando instrumento imediato de mitigação à exposição prolongada e consolidando função importante na defesa da saúde pública, sobretudo em regiões vulneráveis que enfrentam efeitos cumulativos resultantes do uso continuado de PFAS, justificando necessidade de aprofundar estudos e ampliar políticas de incentivo ao desenvolvimento tecnológico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crise envolvendo compostos perfluoroalquilados em território norte-americano evidencia a gravidade de uma problemática ambiental de escala internacional, marcada pela presença de substâncias persistentes em sistemas de abastecimento e pela necessidade de desenvolver mecanismos preventivos de proteção sanitária que atendam exigências imediatas da população.

Os resultados discutidos demonstraram que a exposição prolongada aos PFAS constitui um problema epidemiológico relevante, já que o consumo contínuo de água contaminada pode desencadear alterações clínicas que demandam vigilância sanitária ampliada, justificando adoção de soluções tecnológicas capazes de mitigar impactos enquanto políticas regulatórias evoluem em âmbito nacional e regional.

O conjunto de evidências indica que as tecnologias domésticas de filtração desempenham atributo importante no enfrentamento das limitações encontradas pelos sistemas públicos de tratamento, fortalecendo compreensão de que alternativas aplicáveis ao ambiente familiar podem oferecer resultados imediatos na redução da exposição humana e na proteção de comunidades vulneráveis.

A complexidade da permanência de PFAS no ambiente reforça importância de investimentos em pesquisa científica para ampliar domínio tecnológico sobre mecanismos de retenção, eficiência

filtrante, custos operacionais e acessibilidade, permitindo construir diretrizes capazes de orientar o uso adequado dessas tecnologias e fomentar políticas públicas integradas à defesa sanitária.

Considerando as implicações sanitárias resultantes da contaminação de longo prazo, torna-se evidente a necessidade de intensificar esforços acadêmicos, institucionais e tecnológicos voltados à produção de dispositivos domésticos com desempenho satisfatório, integrando saúde ambiental, inovação científica e proteção social diante dos riscos observados em localidades norte-americanas fortemente afetadas.

Os resultados analisados contribuem para compreensão ampliada da crise hídrica decorrente da presença de PFAS, destacando o potencial de sistemas filtrantes avançados como recurso emergente de proteção direta, especialmente em regiões onde políticas estruturais não alcançam padrão de segurança necessário para garantir qualidade adequada da água destinada ao consumo diário.

A perspectiva apresentada nesta pesquisa aponta que o enfrentamento da crise sanitária norte-americana requer articulação entre ciência, políticas públicas, proteção individual e desenvolvimento tecnológico, considerando que soluções domésticas de filtração podem oferecer respostas imediatas diante de situações críticas em que a contaminação se encontra amplamente disseminada e os sistemas de tratamento convencionais revelam limitações estruturais.

Diante desse panorama, conclui-se que tecnologias domésticas representam instrumento valioso de mitigação à exposição prolongada aos PFAS, constituindo alternativa imediata de proteção e afirmando relevância estratégica da inovação científica aplicada ao cuidado com a água consumida pela população, reforçando importância de ampliar investimentos, estudos e políticas dedicadas à defesa da saúde pública internacional.



REFERÊNCIAS

- CARVALHO, Gabriela. PFAS: Substâncias perfluoroalquiladas, impactos na saúde e meio ambiente. São Paulo: *Grupo Educacional Oswaldo Cruz*, 2023.
- DIAS, Glenda Machado. Poluentes emergentes: cenário atual e desafios com ênfase na aplicação da modelagem matemática. São Paulo: *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*, 2020.
- DIOGO, Vanessa Sena. Análise ecotoxicológica do ácido perfluorooctanóico (PFOA) e venlafaxina em organismos aquáticos. Petrolina: *Universidade Federal do Vale do São Francisco*, 2023.
- GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: *Atlas*, 2008.
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed. São Paulo: *Atlas*, 2003.
- MIRANDA, Daniele de Almeida. Compostos per- e polifluoroalquilados em ambientes tropicais, degradação, dispersão e biomagnificação. Salvador: *Universidade Federal da Bahia*, 2021.
- PERSON, Ana Laura. Compostos per e polifluoroalquil, uma síntese do conhecimento atual. São Paulo: *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*, 2022.
- SALES, Késsia Raiane Bezerra *et al.* Filtro para remoção de contaminantes emergentes e microrganismos para água potável. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, *ABES*, 2019.
- TORRES, Fábio Barbosa Machado. Inventário de ácido perfluorooctanóico, seus sais e compostos relacionados ao PFOA no Brasil. Rio de Janeiro: FECD; PNUMA; *Ministério do Meio Ambiente*, 2020.