ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

FLUORETO NA ÁGUA DE CONSUMO COMO POTENCIAL MARCADOR DE VULNERABILIDADE HÍDRICA EM COMUNIDADES RURAIS DO SEMIÁRIDO PARAIBANO: REVISÃO INTEGRATIVA

FLUORIDE IN DRINKING WATER AS A POTENTIAL MARKER OF WATER VULNERABILITY IN RURAL COMMUNITIES OF THE SEMI-ARID REGION OF PARAÍBA: AN INTEGRATIVE REVIEW

Elaine Apolinario dos Santos[1]

Albero Ferreira de Morais França[2]

1 Médica pela Universidade Federal do Cariri (UFCA). Residente em Estratégia Saúde da Família.

2 Médico de Família e Comunidade pela Escola de Saúde Pública da Paraíba (ESP/PB); Especialização em Preceptoria em Medicina de Família e Comunidade pela Faculdade de Ciências da Saúde Moinhos de Vento (FACSMV) (em andamento); Pós-Graduação em Aperfeiçoamento em Formação de Avaliadores de Programas de Residência Médica pelo Hospital Sírio-Libanês (HSL) (em andamento); Preceptor do Programa de Residência Médica em Medicina de Família e Comunidade pela Escola de Saúde Pública da Paraíba (ESP/PB).

RESUMO

Introdução: A dependência de fontes subterrâneas expõe comunidades rurais do semiárido a riscos geoquímicos frequentemente invisíveis à vigilância sanitária. **Objetivo:** analisar a ocorrência de fluoreto na água rural, suas repercussões sanitárias e sua utilidade como marcador sentinela de vulnerabilidade hídrica no semiárido paraibano. **Método:** revisão integrativa conduzida conforme etapas sistematizadas e apresentada segundo o PRISMA 2020. Realizaram-se buscas nas bases PubMed/MEDLINE, LILACS e SciELO, com descritores DeCS/MeSH sobre fluoretos, fluorose dentária, água potável, abastecimento de água e população rural. Incluíram-se estudos originais de 2021 a 2026, em português, inglês ou espanhol, que investigaram concentração de fluoreto, exposição humana, desfechos clínicos ou vigilância aplicável a pequenos sistemas e fontes alternativas. **Resultados:** identificaram-se 21 registros; após remoção de duas duplicatas e aplicação dos critérios de elegibilidade, 11 estudos compuseram a síntese. As evidências abrangeram Brasil, China, Índia, Argélia e Irã. Verificou-se variabilidade espacial e sazonal do fluoreto em águas subterrâneas, com localidades acima de 1,5 mg/L. Crianças apresentaram maior razão de perigo e maior prevalência de fluorose dentária sob exposição elevada. Estudos brasileiros demonstraram ocorrência geoquímica no semiárido paraibano, inconformidades em propriedades rurais e lacunas na cobertura dos dados de vigilância. **Conclusão**: o fluoreto pode atuar como marcador sentinela, desde que integrado a indicadores microbiológicos, químicos, assistenciais e sociais. Na Atenção Primária à Saúde, sua aplicação requer mapeamento territorial detalhado das fontes, amostragem laboratorial periódica, vigilância infantil, comunicação de risco e articulação intersetorial para assegurar oferta de água segura, sem que a concentração isolada seja interpretada como prova de potabilidade ou doença.

Palavras-chave: Fluoretos; Água Potável; População Rural; Fluorose Dentária; Abastecimento de Água.

ABSTRACT

Introduction: *Dependence on groundwater sources exposes rural semi-arid communities to geochemical hazards that often remain invisible to health surveillance.* ***Objective:*** *to analyze*

ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

fluoride occurrence in rural drinking water, its health repercussions, and its utility as a sentinel marker of water vulnerability in semi-arid Paraíba. ***Method:*** *an integrative review conducted through systematized stages and reported according to PRISMA 2020. PubMed/MEDLINE, LILACS, and SciELO were systematically searched using DeCS/MeSH terms related to fluorides, dental fluorosis, drinking water, water supply, and rural population. Original studies published in 2021–2026 in Portuguese, English, or Spanish were included when they investigated fluoride concentrations, human exposure, clinical outcomes, or surveillance applicable to small systems and alternative sources.* ***Results:*** *twenty-one records were identified; after removing two duplicates and applying the eligibility criteria, 11 studies were included in the synthesis. Evidence came from Brazil, China, India, Algeria, and Iran. Spatial and seasonal variability in groundwater fluoride was observed, with sites above 1.5 mg/L. Children showed higher hazard quotients and greater prevalence of dental fluorosis under elevated exposure. Brazilian studies documented geogenic occurrence in the semi-arid region of Paraíba, non-compliance in rural properties, and substantial gaps in surveillance-data coverage.* ***Conclusion:*** *fluoride may serve as a sentinel marker when integrated with microbiological, chemical, health-care, and social indicators. In Primary Health Care, its application requires comprehensive territorial mapping of water sources, periodic laboratory sampling, child surveillance, risk communication, and intersectoral coordination to ensure a continuous supply of safe water, without interpreting an isolated concentration as proof of water safety or disease.*
Keywords*: Fluorides; Drinking Water; Rural Population; Dental Fluorosis; Water Supply.*

INTRODUÇÃO

A segurança hídrica constitui determinante estrutural da saúde e não se restringe à disponibilidade volumétrica, pois pressupõe acesso regular, proximidade, aceitabilidade e qualidade compatível com o consumo humano (OMS, 2024). No Brasil, a desigualdade territorial permanece expressiva: em 2024, 93,4% dos domicílios urbanos utilizavam a rede geral como principal forma de abastecimento, enquanto essa proporção alcançava apenas 31,7% nas áreas rurais (IBGE, 2025a). Essa diferença não significa que toda fonte alternativa seja imprópria, mas evidência maior dependência de poços, nascentes, cisternas, carros-pipa e arranjos comunitários, cujas condições operacionais e de vigilância laboratorial podem apresentar maior fragilidade (Brasil, 2024; OMS, 2024).

O Semiárido brasileiro reúne 1.477 municípios e aproximadamente 28 milhões de habitantes, dos quais 38% residem em áreas rurais (IBGE, 2025b). A irregularidade pluviométrica, a elevada evapotranspiração e os recorrentes períodos de estiagem condicionam a utilização de reservas subterrâneas como alternativa de abastecimento (INSA, [s.*d*.]). Embora indispensável à manutenção da vida nesses territórios, essa

ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

estratégia amplia o contato das populações com a composição hidrogeoquímica dos aquíferos (Adimalla, 2021). Em formações geológicas portadoras de minerais fluoretados, o tempo de residência da água, o pH, a alcalinidade, a composição iônica e a evaporação intensa podem favorecer a dissolução e a concentração do fluoreto. Trata-se de exposição predominantemente geogênica, incolor e desprovida de sabor característico, o que impossibilita seu reconhecimento por percepção sensorial (Arya *et al*., 2021; OMS, 2026).

A relação entre fluoreto e saúde depende da dose, do período biológico, da duração da exposição e do volume de água ingerido. Em concentrações adequadas e sob controle, sua presença na água contribui para a prevenção da cárie dentária. A ingestão excessiva e crônica durante a amelogênese pode ocasionar fluorose dentária, cuja expressão clínica varia de estrias e opacidades discretas a manchas, porosidade e perda estrutural nos quadros graves. Exposições substancialmente superiores e prolongadas também estão associadas à fluorose esquelética (Dou *et al*., 2026; OMS, 2026).

A Organização Mundial da Saúde mantém o valor-guia de 1,5 mg/L e recomenda que o clima, o consumo hídrico e outras fontes de ingestão sejam considerados na definição de parâmetros locais (OMS, 2026). No Brasil, a Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece 1,5 mg/L como valor máximo permitido para fluoreto e abrange sistemas públicos, soluções alternativas coletivas e individuais e abastecimento por carro-pipa (Brasil, 2021; Brasil, 2024).

Esse enquadramento exige distinguir a fluoretação controlada dos sistemas de abastecimento, reconhecida como tecnologia coletiva de prevenção da cárie, do excesso natural e não controlado de fluoreto nas águas subterrâneas (Freitas *et al*., 2021). A fluorose dentária constitui o sinal sentinela mais compatível com a ingestão excessiva durante a formação do esmalte; entretanto, seu diagnóstico clínico requer diferenciação de hipomineralização molar-incisivo, opacidades não fluoróticas, lesões incipientes de cárie, sequelas traumáticas e outros defeitos do desenvolvimento do esmalte (Alzahrani; Alamoudi; El Meligy, 2023).

A noção de marcador de vulnerabilidade hídrica adotada neste estudo é operacional e não corresponde a um biomarcador validado. Concentrações elevadas de fluoreto podem indicar dependência de fontes subterrâneas, risco geoquímico, ausência de tratamento específico e falhas na vigilância. Por ser mensurável e relativamente estável em determinadas condições hidrogeológicas, o parâmetro pode desencadear uma investigação sanitária ampliada (Oliveira *et al*., 2025; Brasil, 2024). Contudo, não substitui a avaliação integral da potabilidade nem permite presumir que toda comunidade abastecida por poços esteja exposta a concentrações excessivas (Brasil, 2024; OMS, 2024).

Na Estratégia Saúde da Família, a territorialização e a proximidade com as comunidades possibilitam integrar informações sobre fontes de abastecimento, história de exposição, manifestações bucais e condições sociais. As equipes da Atenção Primária à Saúde podem identificar famílias dependentes de fontes não cadastradas, reconhecer agrupamentos de alterações do esmalte, articular a coleta de amostras com a Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e acompanhar as medidas de mitigação (Brasil, 2017; Brasil, 2024).

ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

Essa atuação mostra-se particularmente relevante em municípios de pequeno porte, nos quais a escassez de dados publicados não representa ausência de risco. Diante disso, formulou-se a seguinte questão: como as evidências recentes caracterizam a ocorrência e os efeitos do fluoreto na água consumida por populações rurais, e quais implicações sustentam sua utilização como marcador sentinela de vulnerabilidade hídrica no semiárido paraibano? O objetivo foi analisar evidências contemporâneas sobre sua ocorrência, repercussões sanitárias e respostas de vigilância, com ênfase na atuação da Atenção Primária à Saúde.

METODOLOGIA

Trata-se de revisão integrativa, método que admite a reunião de delineamentos clínicos, epidemiológicos e ambientais para responder a problemas complexos de saúde coletiva. O percurso seguiu seis etapas: delimitação da questão; definição dos critérios e da busca; seleção; extração; avaliação crítica; e síntese interpretativa (Mendes; Silveira; Galvão, 2008). A transparência do processo de identificação e seleção foi orientada pelo PRISMA 2020 (Page *et al*., 2021).

A questão foi estruturada pela estratégia PICo. A população correspondeu a residentes de áreas rurais, com ênfase em crianças; o fenômeno de interesse foi a presença de fluoreto na água de consumo e seus efeitos ou mecanismos de vigilância; o contexto compreendeu pequenos sistemas, soluções alternativas e territórios semiáridos ou socialmente vulneráveis. Foram consultados os Descritores em Ciências da Saúde e seus equivalentes MeSH. Os termos preferidos empregados foram “Fluoretos/Fluorides”, “Fluorose Dentária/Fluorosis, Dental”, “Água Potável/Drinking Water”, “Abastecimento de Água/Water Supply” e “População Rural/Rural Population”.

As buscas ocorreram nas bases PubMed/MEDLINE, LILACS e SciELO. Escolheram-se essas fontes pela complementaridade entre literatura médica internacional, produção latino-americana e periódicos de acesso aberto relevantes à saúde coletiva. O intervalo temporal foi de 1º de janeiro de 2021 a 8 de agosto de 2026.

Foram recuperados 21 registros: 8 (oito) na PubMed/MEDLINE, 7 (sete) na LILACS e 6 (seis) na SciELO. Após a retirada de duas duplicatas, 19 títulos e resumos foram examinados; cinco registros foram excluídos nessa etapa. Quatorze textos completos foram avaliados e três não atenderam aos critérios. As estratégias e os resultados brutos estão apresentados no Quadro 1.

ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

Quadro 1 - Estratégias de busca, resultados brutos e estudos incluídos por base.

Base	Estratégia	Registros	Incluídos*
PubMed/MEDLINE	("Fluorides"[MeSH] OR "Fluorosis, Dental"[MeSH]) AND ("Drinking Water"[MeSH] OR "Water Supply"[MeSH]) AND ("Rural Population"[MeSH] OR "Rural Health"[MeSH]) AND 2021:2026[pdat] AND (english[lang] OR portuguese[lang] OR spanish[lang])	8	8
LILACS/BVS	(mh:("Fluoretos") OR mh:("Fluorose Dentária")) AND (mh:("Água Potável") OR mh:("Abastecimento de Água") OR mh:("Água Subterrânea")) AND (year_cluster:[2021 TO 2026]); filtro de base: LILACS	7	2
SciELO	(fluoretos OR "fluorose dentária") AND ("água potável" OR "abastecimento de água" OR "água subterrânea"); anos disponíveis no resultado: 2021, 2023, 2024 e 2026	6	1
			TOTAL: 11

Fonte: elaboração própria (2026). *Após deduplicação e aplicação dos critérios de elegibilidade; o total incluído foi de 11 estudos.

Foram elegíveis artigos originais, em português, inglês ou espanhol, que: a) mensuraram fluoreto em água utilizada por populações rurais ou em fontes com aplicabilidade a pequenos abastecimentos; b) estimaram exposição ou risco à saúde; c) investigaram fluorose dentária, cárie ou outro desfecho explicitamente relacionado à exposição hídrica; d) avaliaram cobertura e qualidade de dados de vigilância com relevância para municípios pequenos e territórios rurais. Excluíram-se revisões, editoriais, estudos exclusivamente econômicos, duplicatas, análises de produtos sem nexo com a fonte territorial, trabalhos em que o fluoreto não era exposição central e estudos sem desfecho compatível.

A triagem foi realizada por título e resumo, seguida da leitura integral. Em planilha padronizada, extraíram-se autoria, ano, país, delineamento, amostra, fonte hídrica, método analítico, magnitude da exposição, desfechos, principais resultados e limitações. A avaliação crítica considerou domínios predefinidos: clareza da população e do cenário, validade da mensuração da exposição e do desfecho, tratamento de confundidores, adequação analítica e correspondência entre dados e conclusões. Nenhum estudo foi excluído exclusivamente por qualidade; fragilidades foram incorporadas à interpretação.

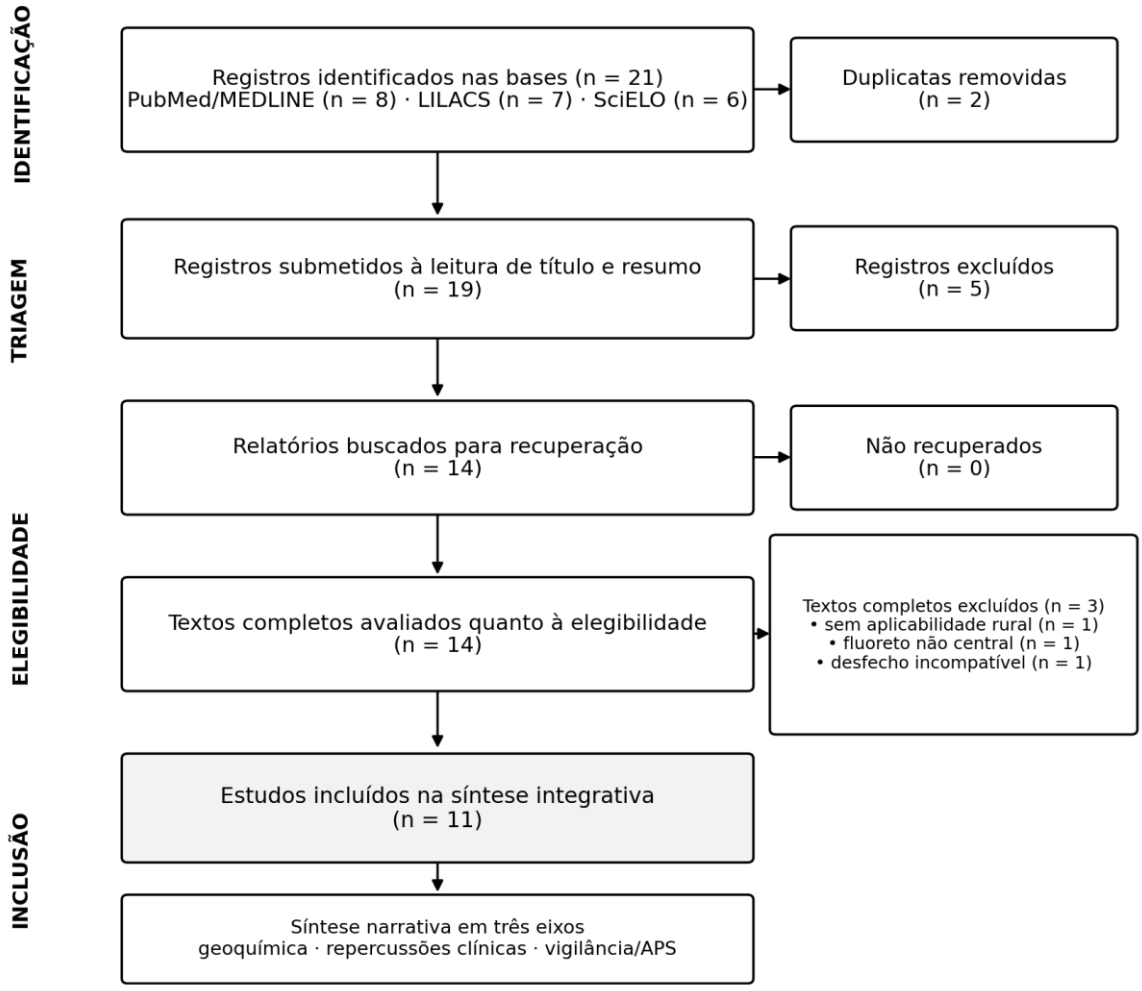
ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

Realizou-se síntese narrativa em três eixos: determinantes geoquímicos e distribuição do fluoreto; repercussões clínicas e grupos suscetíveis; e vigilância, mitigação e aplicabilidade na Atenção Primária.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos foram publicados entre 2021 e 2026 e distribuíram-se por cinco países: Brasil (n = 4), China (n = 3), Índia (n = 2), Argélia (n = 1) e Irã (n = 1). Predominaram levantamentos transversais, monitoramentos ambientais e análises de risco não carcinogênico. Não foram identificados ensaios de intervenção populacional com seguimento clínico no semiárido paraibano. A diversidade metodológica foi informativa para o modelo de vulnerabilidade, mas limitou comparações diretas e impede estimar uma prevalência combinada.

Figura 1 – Fluxograma de seleção dos estudos segundo o PRISMA 2020.



Fonte: autoria própria (2026).

ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

Após a apresentação do percurso de seleção, os 11 estudos incluídos foram organizados no Quadro 2 segundo autoria, país, delineamento, características da amostra, principais achados e contribuição para o objeto investigado. Essa sistematização possibilitou comparar evidências ambientais, epidemiológicas e clínicas, bem como identificar limitações relevantes para a interpretação da exposição ao fluoreto em populações rurais.

Quadro 2 - Características, achados e contribuição dos estudos incluídos, 2026.

Autor/Ano País	Delineamento/ amostra	Principais achados	Contribuição e cautelas
Adimalla (2021) Índia	Estudo ambiental em área rural semiárida; índices EWQI e PIG para água subterrânea.	Cerca de 40% das amostras foram classificadas como impróprias pelo EWQI e 37% pelo PIG; o fluoreto integrou o perfil de inconformidade.	Índices compostos mostram que o fluoreto deve ser lido no conjunto da qualidade química, e não como parâmetro isolado.
Arya *et al*. (2021) Índia	Amostras de poços no inverno (n = 60) e na monção (n = 58); modelagem hidrogeoquímica e razão de perigo.	Variação sazonal e controle mineralógico. Razão de perigo média de 1,07 em adultos e 1,44 em crianças, com maior proporção de risco infantil.	Confirma suscetibilidade pediátrica e necessidade de amostragem sazonal.
Freitas *et al*. (2021) Brasil/PE	Estudo descritivo com dados secundários de mananciais e redes de municípios pernambucanos.	Foram observados teores naturais relevantes nos mananciais e instabilidade/heterogeneidade na rede de distribuição.	A concentração na fonte não substitui o monitoramento ao longo do sistema e no ponto de consumo.
Kerdoun *et al*. (2022) Argélia	Avaliação de 42 amostras e risco por ingestão em contexto urbano-rural árido.	Média de 1,07 ± 0,38 mg/L, com valores superiores na zona rural; razão de perigo abaixo de 1 em adultos e acima de 1 em lactentes e crianças.	Demonstra que concentração moderada pode representar dose proporcionalmente maior na infância.
Paulino *et al*. (2022) Brasil	Análise de aproximadamente 134 mil registros do Sisagua; cobertura e qualidade dos dados municipais.	Apenas 39% dos municípios possuíam dados; 1.810 (32,5%) mantiveram informação válida. Cobertura de 83,6% no Sul e 0,7% no Norte.	Ausência de informação é componente mensurável da vulnerabilidade e compromete a decisão local.
Faqui *et al*. (2024) Brasil/RS	Avaliação de água em 101 propriedades rurais e teste de filtração com carvão de osso em dez unidades.	Inconformidades de potabilidade em 58,4%; excesso de fluoreto em 39,6%. A filtração reduziu concentrações para níveis aceitáveis nas unidades testadas.	Aponta solução descentralizada promissora, condicionada a projeto, manutenção e verificação laboratorial.
Asgari *et al*. (2025) Irã	Estudo transversal com 26 poços, solos e hortaliças; simulação de exposição alimentar.	Água com 3,5 ± 0,5 mg/L nas áreas de alta exposição versus 0,3 ± 0,1 mg/L nas de baixa exposição; água foi a principal fonte e HQ > 1.	Reforça que a avaliação deve considerar água de beber e preparo de alimentos.

ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

Oliveira *et al*. (2025) Brasil/PB	Mapeamento de 24 localidades rurais de Poço de José de Moura; eletrodo íon-seletivo em triplicata.	Ampla variação espacial, de 0,04 a 6,81 mg/L, e diversas localidades acima de 1,5 mg/L; associação plausível com formações geológicas.	Evidência diretamente aplicável ao semiárido paraibano; ausência de avaliação clínica e inconsistência tipográfica de unidade no resumo exigem cautela.
Xia *et al*. (2025a) China	Estudo transversal com 711 crianças rurais de 8–12 anos; fluoreto e iodo urinários, água e teste de Raven.	Concentrações urinárias elevadas de fluoreto e iodo associaram-se a menores escores de QI; houve interação entre exposições.	Sinaliza coexposições, mas o desenho transversal e confundimento residual não permitem inferência causal.
Xia *et al*. (2025b) China	Estudo transversal com 582 crianças de 8–12 anos em três cenários de fluoreto/iodo.	Fluorose em 52,5% no grupo com ambos elevados, 33,5% no grupo com fluoreto elevado e 4,1% no controle; OR = 9,62 para combinação urinária elevada.	Sustenta vigilância clínica infantil e investigação de modificadores da exposição.
Dou *et al*. (2026) China	Estudo transversal com 12.163 crianças em 934 vilas após intervenções de água segura.	Fluorose de 3,2% e cárie de 27,0%; menor risco de cárie em 0,70–0,73 mg/L e OR ajustada de 1,71 para fluorose acima de 0,85 mg/L.	Evidencia relação não linear; limiares locais não devem ser transpostos sem considerar clima, dieta e histórico de exposição.

Fonte: autoria propria (2026). EWQI: entropy-weighted water quality index; PIG: pollution index of groundwater; HQ: hazard quotient; OR: odds ratio; QI: quociente de inteligência.

A leitura integrada do Quadro 2 evidencia predominância de estudos transversais, monitoramentos ambientais e avaliações de risco, com expressiva heterogeneidade entre fontes hídricas e maior suscetibilidade infantil. Os achados brasileiros acrescentam pertinência territorial ao demonstrarem variação entre poços, inconformidades de potabilidade e insuficiência dos dados de vigilância. Em conjunto, as evidências sustentam o fluoreto como indicador sentinela, mas não autorizam inferências causais isoladas nem sua utilização como parâmetro único de segurança da água.

3.1 Heterogeneidade geoquímica e exposição territorial

O achado mais consistente foi a heterogeneidade do fluoreto entre fontes próximas. Essa característica é central para o semiárido: médias municipais ou resultados de um único poço podem ocultar microterritórios com exposições contrastantes. Oliveira *et al*. (2025) detectaram intervalo de 0,04 a 6,81 mg/L em 24 localidades rurais de Poço de José de Moura, na Paraíba, com vários pontos acima do valor-guia de 1,5 mg/L.

Os estudos indianos e iraniano acrescentam mecanismos. Arya *et al*. (2021) observaram variação entre períodos climáticos e relacionaram enriquecimento a processos de interação água-rocha; Asgari *et al*. (2025) verificaram que, mesmo na

ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

presença de exposição alimentar, a água de consumo permaneceu a principal contribuição. Adimalla (2021) mostrou que o fluoreto coexistia com outras alterações que deterioravam índices globais de qualidade. Logo, usar o fluoreto como marcador não significa elegê-lo como único perigo. Seu valor reside em sinalizar a necessidade de investigar a fonte, o aquífero, a sazonalidade e os demais parâmetros de potabilidade.

O clima modifica a dose. Em ambientes quentes, maior ingestão hídrica pode aumentar a exposição diária mesmo quando a concentração não é extrema. A OMS (2026) recomenda que autoridades considerem consumo local e outras fontes de fluoreto ao definir metas operacionais. Esse princípio é mais protetivo do que a leitura binária “abaixo/acima de 1,5 mg/L”. O valor máximo permitido é indispensável para conformidade legal, mas a avaliação de risco requer estimar concentração, volume ingerido, peso corporal, duração, idade de início e contribuição de alimentos, bebidas e dentifrícios utilizados.

3.2 Repercussões clínicas e grupos suscetíveis

Crianças constituíram o grupo mais vulnerável. Kerdoun *et al*. (2022) e Arya *et al*. (2021) encontraram razões de perigo superiores a 1 na infância, mesmo quando o risco estimado para adultos era menor. O resultado decorre, em parte, da maior dose por quilograma de peso corporal e coincide com a janela de formação dentária. A fluorose registra exposição pretérita durante a amelogênese; por isso, a fonte atual nem sempre é a fonte causal. Mudanças de domicílio, água da escola, preparo de fórmulas, períodos de abastecimento por carro-pipa e alternância entre poços devem integrar a anamnese.

Xia *et al*. (2025b) observaram gradiente expressivo de fluorose em crianças expostas a fluoreto elevado, intensificado pela coexistência de iodo elevado. Dou *et al*. (2026), em grande amostra rural, encontraram associação não linear: concentrações ao redor de 0,70 mg/L equilibraram menor ocorrência de cárie e fluorose naquela população, ao passo que níveis superiores a 0,85 mg/L aumentaram a chance de fluorose. Esses valores não substituem o padrão brasileiro nem podem ser universalizados, mas ilustram que benefício e dano pertencem ao mesmo contínuo dose-resposta.

A associação entre exposição combinada e desempenho cognitivo descrita por Xia *et al*. (2025a) merece interpretação cautelosa. O delineamento transversal não estabelece temporalidade, e estado nutricional, escolaridade familiar, condições socioeconômicas e coexposições podem produzir confundimento. A evidência não justifica afirmar que o fluoreto presente em qualquer água rural cause déficit cognitivo. Ela reforça a necessidade de estudos prospectivos, avaliação integrada de múltiplos elementos e comunicação pública proporcional à certeza científica.

Na prática clínica, opacidades simétricas e difusas em dentes homólogos favorecem fluorose, enquanto defeitos demarcados ou restritos a molares e incisivos podem apontar para hipomineralização molar-incisivo. Índices de Dean ou de Thylstrup-Fejerskov devem ser aplicados por examinadores calibrados, com registro

ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

fotográfico quando autorizado. Queilite e inflamação gengival demandam investigação de fatores irritativos, infecções, hábitos, deficiências nutricionais, doenças sistêmicas e higiene oral. Da mesma forma, sintomas dispépticos requerem abordagem clínica própria; não constituem marcadores específicos de exposição ao fluoreto.

3.3 Fluoreto como marcador sentinela de vulnerabilidade hídrica

A evidência de vigilância brasileira demonstra que as lacunas de governança não são meramente teóricas. Paulino *et al*. (2022) verificaram informação válida de fluoreto em apenas 32,5% dos municípios após crítica dos registros, com diferença entre 83,6% no Sul e 0,7% no Norte. Municípios pequenos apresentaram desempenho inferior. O dado ausente, nesse contexto, não deve ser interpretado como conformidade; ele é indicador de incapacidade de observar o risco. Freitas *et al*. (2021) também demonstraram que concentrações no manancial e na rede podem divergir, o que exige desenho de amostragem representativo.

Com base nas evidências analisadas, propõe-se que o marcador seja estruturado como painel multidimensional, e não interpretado como valor isolado. O núcleo ambiental contempla a concentração de fluoreto, a identificação e o georreferenciamento da fonte, a sazonalidade e o histórico analítico (Oliveira *et al*., 2025; Brasil, 2024; OMS, 2024). O núcleo assistencial compreende a identificação de crianças expostas desde o nascimento, a suspeita clínica de fluorose dentária, a experiência de cárie e as barreiras de acesso ao cuidado odontológico (Alzahrani; Alamoudi; El Meligy, 2023; Dou *et al*., 2026; Brasil, 2026).

O núcleo social incorpora a continuidade do abastecimento, a distância percorrida, o custo de obtenção da água, a possibilidade de substituição da fonte e a percepção comunitária sobre sua qualidade (OMS, 2024; Brasil, 2024). Por sua vez, o núcleo de governança registra o cadastramento da forma de abastecimento no Sisagua, a periodicidade das coletas, a comunicação dos resultados à comunidade e a execução de medidas corretivas (Paulino *et al*., 2022; Brasil, 2024).

Essa abordagem reduz dois equívocos interpretativos. O primeiro consiste em classificar a água como segura exclusivamente porque a concentração de fluoreto se encontra dentro do limite estabelecido, desconsiderando a possível presença de microrganismos patogênicos, nitrato, metais e agrotóxicos (Brasil, 2021; Brasil, 2024; OMS, 2024). O segundo corresponde a presumir a ocorrência de doença com base em uma única amostra com concentração elevada, sem confirmação analítica, reconstrução da exposição individual e correlação clínico-epidemiológica (Brasil, 2024; OMS, 2026). Nesse modelo, o fluoreto atua como sinal de alerta capaz de desencadear vigilância ampliada e subsidiar a priorização de territórios vulneráveis.

ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

3.4 Implicações para a Atenção Primária e mitigação

A operacionalização pode iniciar com um cadastro territorial de todas as fontes usadas para beber e cozinhar, incluindo poços particulares e comunitários, cisternas, chafarizes, água transportada e pontos escolares. Agentes comunitários de saúde podem registrar fonte principal, alternância sazonal, tempo de uso e presença de crianças menores de oito anos. A equipe de saúde bucal, por sua vez, pode realizar busca ativa de alterações compatíveis com fluorose e organizar calibração diagnóstica. Esses dados devem orientar, e nunca substituir, a coleta laboratorial pela vigilância ambiental.

A Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece que soluções alternativas individuais também estão sujeitas à vigilância. Resultados acima de 1,5 mg/L requerem confirmação, comunicação imediata e plano de resposta. A comunicação deve explicar que ferver a água não remove fluoreto e pode concentrá-lo pela evaporação; filtros comuns de carvão ativado tampouco garantem remoção. Alternativas incluem substituição da fonte, mistura controlada com água de baixo teor, osmose reversa, alumina ativada e adsorventes específicos. A escolha exige análise de vazão, custo, descarte do rejeito, aceitabilidade e manutenção. Água de chuva pode integrar estratégias locais, desde que captação, descarte da primeira água, armazenamento, desinfecção e monitoramento sejam adequados.

Faqui *et al*. (2024) demonstraram redução do fluoreto com filtro de carvão de osso; contudo, a adoção exige validação local, análises antes e depois da instalação, manutenção programada e responsável definido pela operação.

A OMS (2024) recomenda gestão preventiva do risco em pequenos abastecimentos, por planos de segurança da água e inspeções sanitárias. Para a Estratégia Saúde da Família, isso se traduz em fluxo intersetorial: comunidade e equipe identificam a fonte; Vigilância Ambiental e laboratório confirmam o perigo; gestão municipal assegura água alternativa; saúde bucal avalia e acompanha expostos; e assistência social participa quando o custo da água segura aprofunda a privação. A devolutiva deve apresentar resultado, incerteza, conduta e prazo para nova amostragem (OMS, 2024).

Um protocolo sentinela mínimo pode combinar: resultado laboratorial de fluoreto; presença de crianças em janela de susceptibilidade; suspeita clínica de fluorose; dependência exclusiva da fonte; e ausência de monitoramento regular. Territórios com concentração elevada, crianças expostas e nenhuma alternativa devem receber prioridade máxima. Concentrações baixas também exigem orientação sobre prevenção de cárie, inclusive uso correto de dentifrício fluoretado, de modo a preservar benefícios tópicos sem ampliar ingestão indevida (Brasil, 2026).

ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

CONCLUSÃO

Esta pesquisa demonstrou que a concentração de fluoreto na água de consumo apresenta expressiva heterogeneidade espacial e sazonal, podendo exceder 1,5 mg/L em localidades rurais e representar exposição proporcionalmente maior na infância. No semiárido paraibano, a variação identificada entre diferentes poços fundamenta a necessidade de vigilância territorial direcionada. Entretanto, os resultados não permitem generalizar a exposição para todas as comunidades rurais nem atribuir manifestações clínicas inespecíficas ao fluoreto sem confirmação laboratorial, reconstrução da história de consumo e avaliação clínica individualizada.

O fluoreto pode ser empregado como marcador sentinela de vulnerabilidade hídrica quando integrado a um painel que contemple perigo geoquímico, dependência da fonte, suscetibilidade infantil, continuidade do abastecimento e capacidade municipal de monitoramento. Na Atenção Primária à Saúde, sua utilização requer mapeamento das fontes, amostragem periódica, vigilância de alterações dentárias na infância, anamnese de exposição, comunicação de risco proporcional às evidências e articulação intersetorial para assegurar acesso contínuo à água segura.

Para a Paraíba, permanece como lacuna prioritária a ausência de investigações longitudinais que relacionem as características dos poços, a história individual de consumo e o exame clínico padronizado. Recomenda-se que pesquisas futuras articulem uma fase ambiental, com mapeamento das fontes, amostragens nos períodos seco e chuvoso e análise de parâmetros químicos e microbiológicos, a uma fase epidemiológica destinada a estimar fluorose e cárie em crianças e reconstruir a exposição desde a gestação. Dieta, uso de dentifrício, escolaridade, renda e mobilidade residencial devem ser considerados como potenciais confundidores.

REFERÊNCIAS

ADIMALLA, N. Application of the entropy weighted water quality index (EWQI) and the pollution index of groundwater (PIG) to assess groundwater quality for drinking purposes: a case study in a rural area of Telangana State, India. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 80, n. 1, p. 31-40, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s00244-020-00800-4.

ALZAHRANI, A. Y.; ALAMOUDI, N. M. H.; EL MELIGY, O. A. E. S. Contemporary understanding of the etiology and management of molar incisor hypomineralization: a literature review. **Dentistry Journal**, v. 11, n. 7, art. 157, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/dj11070157.

ARYA, S.; SUBRAMANI, T.; VENNILA, G.; KARUNANIDHI, D. Health risks associated with fluoride intake from rural drinking water supply and inverse mass balance modeling to decipher hydrogeochemical processes in Vattamalaikarai River basin,

ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

South India. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 43, n. 2, p. 705-716, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s10653-019-00489-y.

ASGARI, G.; SALARI, M.; SEIDMOHAMMADI, A.; AKBARI-ADERGANI, B.; MAHVI, A. H.; KAMARI, N.; RASTEGAR, K. E.; FARAJI, H. Investigation and risk assessment of fluoride concentration in drinking water, soil and food products in Hamedan rural areas. **Scientific Reports**, v. 15, art. 18458, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-025-99462-2.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Guia para implementação da norma de qualidade da água para consumo humano**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/guias-e-manuais/2024/guia-para-implementacao-da-norma-de-qualidade-da-agua-para-consumo-humano.pdf. Acesso em: 15 jul.2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 maio 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.436, de 21 de setembro de 2017. Aprova a Política Nacional de Atenção Básica, estabelecendo a revisão de diretrizes para a organização da Atenção Básica no âmbito do Sistema Único de Saúde**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 22 set. 2017. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prt2436_22_09_2017.html. Acesso em: 2 ago. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção Primária à Saúde. Departamento de Saúde da Família. **Guia de recomendações para o uso de fluoretos no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2026. 99 p. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_recomendacoes_uso_fluoretos_Brasil_2ed.pdf. Acesso em: 15 jul. 2026.

DOU, X.; LIU, X.; LIU, S.; GE, C.; YAN, S.; WU, D.; MENG, X.; LI, X.; PEI, J.; JI, F. Optimal fluoride concentration in drinking water for preventing dental fluorosis and caries in 8-12-year-old children in Qingdao, China: a restricted cubic spline and spatial epidemiological analysis following rural safe drinking water interventions in endemic fluorosis region. **Biological Trace Element Research**, v. 204, n. 3, p. 1591-1602, 2026. DOI: https://doi.org/10.1007/s12011-025-04768-x.

FAQUI, D. P.; TEICHMANN, A.; SCHMITT, E.; BARTZ, F. R.; GUTERRES, M. R.; LOBO, E. A.; COSTA, A. B. Water quality and sustainable solutions for drinking water supply in the Taquari-Antas watershed, RS, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v. 19, e2961, 2024. DOI: https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2961.

ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

FREITAS, C. M. O.; MARTELLI, P. J. L.; FIGUEIREDO, N.; FERNANDES, G. F.; BRASIL, M. L. Teores de flúor em mananciais e na rede de abastecimento público de municípios de Pernambuco, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 26, supl. 2, p. 3647-3655, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1413-81232021269.2.03272019.

IBGE. **Características gerais dos domicílios e dos moradores 2024**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2025a. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/15ec1d59965a24b0bb2817eaf9b6f490.pdf. Acesso em: 8 ago. 2026.

IBGE. **Semiárido brasileiro: recorte 2024**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2025b. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html. Acesso em: 8 ago. 2026.

INSA. **O Semiárido brasileiro**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, [*s.d.*]. Disponível em: https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro. Acesso em: 8 ago. 2026.

KERDOUN, M. A.; MEKHLOUFI, S.; ADJAINE, O. E. K.; BECHKI, Z.; GANA, M.; BELKHALFA, H. Fluoride concentrations in drinking water and health risk assessment in the south of Algeria. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 128, art. 105086, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2021.105086.

MENDES, K. D. S.; SILVEIRA, R. C. C. P.; GALVÃO, C. M. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. **Texto & Contexto – Enfermagem**, v. 17, n. 4, p. 758-764, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-07072008000400018.

OLIVEIRA, M. A. C. de; ALMEIDA JÚNIOR, A.; SANTANA, I. H. G. de; LIMA, C. B. V. de; SOUSA, R. V. de; DAMASCENO, M. B.; SOUZA, R. F. de; DRUMOND, C. L.; SAMPAIO, F. C. Mapping residual water fluoride levels and geological patterns in a rural semi-arid area of Brazil. **Scientific Reports**, v. 15, art. 37083, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-025-21121-3.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Guidelines for drinking-water quality: small water supplies**. Genebra: OMS, 2024. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789240088740. Acesso em: 8 ago. 2026.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first, second and third addenda**. Genebra: OMS, 2026. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789240121225. Acesso em: 8 ago. 2026.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D.; SHAMSEER, L.; TETZLAFF, J. M.; AKL, E. A.; BRENNAN, S. E.;

ISSN: 2358-7490
DOI: 10.35621/23587490.v13.n1.p1766-1780

CHOU, R.; GLANVILLE, J.; GRIMSHAW, J. M.; HRÓBJARTSSON, A.; LALU, M. M.; LI, T.; LODER, E. W.; MAYO-WILSON, E.; MCDONALD, S.; MCGUINNESS, L. A.; STEWART, L. A.; THOMAS, J.; TRICCO, A. C.; WELCH, V. A.; WHITING, P.; MOHER, D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, art. n71, 2021. DOI: https://doi.org/10.1136/bmj.n71.

PAULINO, C. M.; BELOTTI, L.; AZEVEDO, M. K. Z.; FRAZÃO, P. Coverage of fluoride data in water supply systems using the R software. **Revista de Saúde Pública**, v. 56, art. 18, 2022. DOI: https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2022056003709.

XIA, Y.; YE, Y.; LIU, M.; WANG, Y.; SHANG, L.; WANG, P.; DING, Z. Effect of combined high iodine-fluorine water exposure on the occurrence of dental fluorosis in school-age children: a cross-sectional study from rural Jiangsu, China. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 47, n. 9, art. 369, 2025b. DOI: https://doi.org/10.1007/s10653-025-02685-5.

XIA, Y.; YE, Y.; LIU, M.; WANG, Y.; SHANG, L.; WANG, P.; SUN, H. Impact of high iodine and fluoride intake on children's IQ in rural China. **European Journal of Nutrition**, v. 64, n. 2, art. 104, 2025a. DOI: https://doi.org/10.1007/s00394-025-03617-w.