

## Fluorose Dentária e Consumo de Água Subterrânea Naturalmente Fluoretada no Município de Santana, Oeste da Bahia, Brasil

### Dental Fluorosis and Consumption of Naturally Fluoridated Groundwater in the Municipality of Santana, Western Bahia, Brazil

Manuel Vitor Portugal Gonçalves<sup>1\*</sup>, Manoel Jerônimo Moreira Cruz<sup>1</sup>, Carlos Alberto Machado Coutinho<sup>1</sup>, Olga Maria Fragueiro Otero<sup>1</sup>, Rodrigo Alves Santos<sup>1</sup>, Mônica Pringsheim da Cunha<sup>2</sup>

---

#### RESUMO

Esta pesquisa almeja investigar a possível relação entre a exposição da população infantil ao flúor pela ingestão de águas subterrâneas com níveis naturais de flúor e a prevalência e a severidade da fluorose dentária no município de Santana, no Oeste da Bahia, Brasil. Coletou-se amostras de 32 poços tubulares dispostos nas rochas do Grupo Bambuí, mensurou-se as variáveis físico-químicas *in situ* e no laboratório procedeu-se às leituras de cátions (ICP-OES), ânions, que incluiu o fluoreto (F<sup>-</sup>) (SPADNS). A pesquisa epidemiológica contemplou o estudo transversal de prevalência de fluorose dentária em 159 escolares aos 12 anos de idade (*Índice de Dean*). Observou-se teores do fluoreto de 0,07 a 8,88 mg.L<sup>-1</sup>, onde 53% das amostras excederam o limite ótimo local de potabilidade (0,8 mg.L<sup>-1</sup>). A prevalência da fluorose dentária foi de 54% (18% moderada ou grave). Este perfil da fluorose dentária se mostrou em desacordo com a pesquisa nacional de saúde bucal e foi considerado sugestivo de área endêmica. Esta pesquisa contribuiu para a compreensão da relação entre o perfil da epidemiológico da fluorose dentária e a exposição crônica de crianças (< 6 anos de idade) ao flúor pela ingestão de águas naturalmente fluoretadas do Santana, do Aquífero Bambuí, no Oeste da Bahia, Brasil.

**Palavras-chave:** Flúor e Geoética; Geomedicina; Análise Multivariada; Aquífero Bambuí; Fluorita.

---

#### ABSTRACT

This research aimed to investigate the possible relationship between the exposure of children to fluoride through the ingestion of groundwater with natural levels of fluoride and the prevalence and severity of dental fluorosis in the municipality of Santana, in western Bahia, Brazil. Samples were collected from 32 tubular wells arranged in the rocks of the Bambuí Group, the physicochemical variables were measured *in situ* and in the laboratory the readings of cations (ICP-OES), anions, which included fluoride (F<sup>-</sup>) (SPADNS). The epidemiological research included a cross-sectional study of the prevalence of dental fluorosis in 159 schoolchildren aged 12 years (*Dean Index*). Fluoride contents from 0.07 to 8.88 mg.L<sup>-1</sup> were observed, where 53% of the samples exceeded the local optimum potability limit (of 0.8 mg.L<sup>-1</sup>). The prevalence of dental fluorosis was 54% (18% moderate or severe). This profile of dental fluorosis was in disagreement with the national oral health survey and was considered suggestive of an endemic area. This research contributed to the understanding of the relationship between the epidemiological profile of dental fluorosis and the chronic exposure of children (< 6 years old) to fluoride through indigestion of naturally fluoridated waters of Santana, from the Bambuí Aquifer, in Western Bahia, Brazil.

**Keywords:** Fluoride and Geoethics; Gemedicine; Multivariate Analysis; Bambuí Aquifer; Fluorite.

---

<sup>1</sup> Universidade Federal da Bahia.

E-mail: hidrovitor81@gmail.com

<sup>2</sup> Instituto Federal da Bahia.

## INTRODUÇÃO

A saúde pode ser compreendida como um direito fundamental, que não prescinde da dignidade humana e nas suas relações com as categorias ambiente e sociedade. Selinus (2004) e Mouri *et al.* (2020) descrevem a Geomedicina, ou Geologia Médica, como uma ciência transdisciplinar que estuda a relação entre as geociências, os riscos geológicos e às ameaças à saúde humana e animal e as interações entre a saúde, ambiente e a sociedade.

Neste âmbito, Komati e Figueiredo (2013) e Saeed, Malik e Kamal (2020) destacam que o estudo da relação flúor-saúde dentre os temas mais estudados da Geomedicina, com ênfase no estudo da relação entre a exposição de populações ao flúor pela via da ingestão de água com nível natural e tóxico de flúor e os efeitos sobre a saúde nas áreas endêmicas de fluorose dentária e esquelética, ou da fluorose incapacitante.

Naseem *et al.* (2010) indicam que os minerais constituem as rochas e representam as fontes primárias dos elementos químicos aos ecossistemas e, por isso, o intemperismo químico dos minerais pode alterar a qualidade ambiental e as condições de saúde humana. A fase mineral fluorita representa a fonte de flúor mais comum na natureza, mas o flúor pode ocorrer nos minerais anfibólios, micas, fluorapatita, topázio, lepidolita e na criolita.

Neste sentido, a geoquímica e a qualidade das águas do Aquífero Bambuí, na Bahia e Minas Gerais, Brasil, foram alvos das pesquisas de Costa (2011), Gonçalves *et al.* (2020), Batista *et al.* (2021), Carvalho *et al.* (2022) e Gonçalves *et al.* (2022a), que relacionaram a perda de potabilidade microbiológica e do nitrato às falhas do saneamento.

Além disso, a relação entre a exposição aos níveis naturais do flúor nas águas do Aquífero Bambuí (BA e MG) e a fluorose dentária foi o objeto de estudo de Diniz (2006), Velásquez *et al.* (2006), Costa *et al.* (2013), Cruz *et al.* (2015), Gonçalves *et al.* (2020) e Gonçalves *et al.* (2022b). Propuseram que o intemperismo químico do mineral fluorita nas rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí seria a principal fonte de flúor às águas.

A fluorose dentária representa a hipomineralização do esmalte em resposta a exposição crônica às doses tóxicas de flúor por crianças (< 6 anos de idade), na formação do germe dentário, onde a severidade depende da dose de exposição (GALLARÁ *et al.*, 2011). Assim, destaca-se a relevância sócio-científica do estudo da relação entre a fluorose e a exposição de crianças ao flúor pela ingestão das águas do Aquífero Bambuí, naturalmente fluoretadas, no Oeste da Bahia, Brasil. Esta pesquisa almeja investigar a relação entre a exposição da população infantil ao flúor pela ingestão de água subterrânea naturalmente fluoretadas e a fluorose dentária no município de Santana, na Bahia, Brasil.

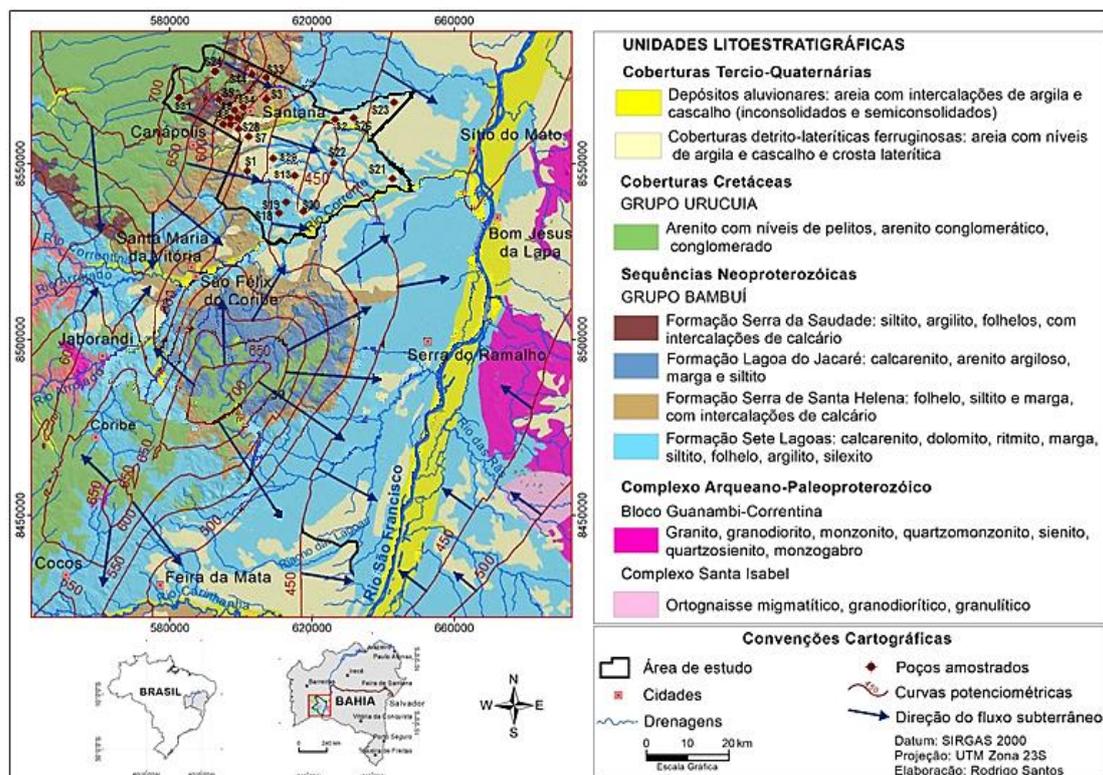
## ÁREA DE ESTUDO, CLIMA E HIDROGEOLOGIA

O município de Santana situa-se no Oeste da Bahia, Brasil, e possui uma área total de 1.820,20 km<sup>2</sup> (Figura 1). Este município continha em 2010, com base no IBGE (2010), uma população de 24.750 habitantes, Produto Interno Bruto (PIB) de 130.550 mil reais e um valor do Índice de Desenvolvimento Humano - Municipal (IDH-M) de 0,608.

Este município insere-se no contexto climático regional que varia de subúmido a semiárido, com valores da temperatura média anual de 24,3 °C e das precipitações médias de 800 a 1.010 mm/ano (INMET, 2016). Além disso, descreve-se uma distribuição das precipitações entre os meses de novembro a abril e a estiagem de maio a setembro.

Na geologia regional afloram as rochas pelíticas e carbonáticas neoproterozóicas do Grupo Bambuí, depositadas sobre as rochas de idade Arqueano-Paleoproterozóico do embasamento gnáissico-migmatítico (MISI *et al.*, 2011) (Figura 1). Silva, Viglio e Quintarelli (2020) propuseram a “Megaprovíncia Geoquímica do Flúor do Médio Rio São Francisco” entre a Bahia e Minas Gerais, Brasil, associadas às rochas do Grupo Bambuí. Neste âmbito, Missi *et al.* (2007) destacam a disposição da fase mineral fluorita disseminada ou hospedada nas litofácies do Grupo Bambuí, no Oeste da Bahia, Brasil.

**Figura 1.** Mapa de localização e situação do município de Feira da Mata, Oeste da Bahia, Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na geologia local, afloram, os calcários e os dolomitos da Formação (Fm.) Sete Lagoas, ou da Fm. Lagoa do Jacaré, e os pelitos (siltitos, folhelhos, argilitos, ardósias), com calcários subordinados, da Fm. Serra de Santa Helena ou da Fm. Serra da Saudade que representam níveis estratigráficos do Grupo Bambuí (Figura 1). Ademais, tem-se que as coberturas detríticas e aluviais Tércio-Quaternários e os arenitos cretáceos do Grupo Urucua depositam-se sobre as rochas do Grupo Bambuí ou do embasamento cristalino.

No âmbito hidrogeológico, destaca-se o Sistema Aquífero Bambuí (SAB), hospedado nas rochas do Grupo Bambuí, onde a captação de água por uma rede de poços tubulares dispostos nestas rochas complementa o abastecimento público, em especial nas áreas rurais e periféricas de Santana e de outros municípios do Oeste da Bahia (Figura 1).

Observa-se, no recorte hidrogeológico regional, uma direção preferencial do fluxo da água subterrânea de oeste para leste, na direção do Rio São Francisco (Figura 1). Verifica-se o alto topográfico da Serra do Ramalho, que é um divisor de águas regional, e uma direção secundária de fluxo de oeste para sudeste, na direção do Rio Carinhonha. Registra-se, também, um fluxo da água subterrânea mais local e para sudeste, no entorno de Santana, na direção do Rio Corrente, ou do fluxo de na direção do Rio São Francisco.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Perspectiva em Saúde - Fluorose Dentária**

Os dados da prevalência e severidade da fluorose dentária no município de Santana, Bahia, foram compilados da pesquisa epidemiológica de Coutinho (2014). Esta pesquisa, contemplou uma abordagem descritiva, de corte transversal, a partir de um inquérito epidemiológico com 159 escolares aos 12 anos de idade, de ambos sexos, matriculados em escolas públicas ou particulares no município de Santana. A escolha desta faixa etária no estudo da fluorose dentária explica-se porque as crianças aos 12 anos de idade têm a maioria dos dentes permanentes erupcionados (FEJERSKOV *et al.*, 1994).

Os escolares aos 12 anos de idade foram examinados em 2014 pelo odontólogo Dr. Carlos Alberto Machado Coutinho, respeitando os preceitos da ética em pesquisa na saúde e na compreensão que o acesso à água potável e à saúde representam direitos fundamentais. A natureza da pesquisa, seus objetivos, métodos, benefícios previstos, potenciais riscos e inconvenientes aos participantes e todas as etapas da pesquisa da fluorose foram previamente informadas aos envolvidos no estudo, com o auxílio do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e do Termo de Assentimento

Livre e Esclarecido (TALE), de acordo com o que dispõe a Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (BRASIL, 2012).

Os escolares foram examinados nas escolas, a partir dos seguintes critérios de inclusão e de seleção da amostra: (i) nascidos e residentes no município de Santana até a data do estudo clínico, com base nas informações da Secretaria de Educação Municipal; (ii) a presença do responsável no momento do exame e entrevista; e (iii) a amostra incluiu apenas as crianças que os responsáveis legais assinaram o TCLE e que consentiram.

Obteve-se a amostra a partir de uma população de  $\pm 423$  adolescentes aos 12 anos de idade, de acordo com as informações censitárias do IBGE (2010). Obteve-se uma amostra representativa de 118 indivíduos, onde a estimativa deu-se por amostragem aleatória finita simples, sem repetições, com estimador de prevalência ou incidência, com nível de significância de 0,05% e prevalência de 0,815, aos 12 anos de idade, adotada com base na pesquisa epidemiológica efetuada de Velásquez *et al.* (2006) no Norte de Minas Gerais, onde a fluorose dentária foi associada a exposição de crianças (< 6 anos de idade) ao flúor pelo consumo de águas naturalmente fluoretadas do Aquífero Bambuí.

Os exames orais foram realizados nas escolas com base no Índice de Dean, que é preconizado pela Organização Mundial da Saúde - OMS (OMS, 1997) (Tabela 1). Foram efetuados por um dentista calibrado e treinado, com auxílio de imagens da Pesquisa Nacional de Saúde Bucal do SB Brasil 2010 (BRASIL, 2010), em um ambiente escolar com luz natural, auxiliado por espátula e gaze de madeira. Além disso, na calibração, a concordância dos resultados foi avaliada pela estatística *Kappa* (OMS, 1993), até que se fosse encontrada uma concordância interexaminadores adequada (*Kappa* = 0,85).

**Tabela 1.** Critérios e valores para classificação de dentes com lesões no esmalte dentário associadas a fluorose pelo Índice de Dean (DEAN, 1934), preconizado pela OMS (1997).

Classificação	Valor	Critérios de Diagnóstico
Normal	0	Fluorose ausente. O esmalte dentário tem translucidez usual e estrutura semi-viteliforme, a superfície é lisa, polida, cor creme clara.
Questionável	1	O esmalte possui uma pequena diferença em relação à translucidez normal e manchas esbranquiçadas ocasionais. Aplicável se a classificação "normal" não se justificar.
Muito Leve	2	Ocorrem pequenas manchas esbranquiçadas, opacas, que se espalham irregularmente pelo dente (<25% da superfície). Inclui opacidades claras entre 1 e 2 mm na ponta das cúspides de molares (nevadas).
Leve	3	Ocorrem manchas brancas e a opacidade é mais extensa (< 50% da superfície).
Moderada	4	Ocorrem manchas brancas em mais de 50% da superfície dentária e desgaste observado junto às pequenas manchas castanhas. Todo o esmalte dos dentes é afetado e as áreas sujeitas a atrito aparecem desgastadas. Pode haver manchas marrons ou amareladas, muitas vezes desfigurantes
Grave	5	A hipoplasia é generalizada e a própria forma do dente pode ser afetada. O sinal mais óbvio é a presença de depressões no esmalte, que parece erodido. Manchas marrons generalizadas.

Fonte: Modificado do estudo nacional de saúde bucal do Projeto SB Brasil (BRASIL, 2010).

## Geociências – Geoquímica e Qualidade das Águas

A abordagem metodológica das geociências pautou-se na análise dos dados e das informações hidroquímicas integradas das pesquisas realizadas por Gonçalves (2014) e Coutinho (2014) associadas respectivamente às amostras de 2012 e de 2014 (estiagem), no município de Santana, situado no Oeste da Bahia, Brasil. Compilou-se, para tanto, os dados hidroquímicos de amostras de água de 32 poços tubulares dispostos nas rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí, que hospedam o Aquífero Bambuí (Figura 1).

Mensurou-se *in situ* as variáveis hidroquímicas (CE, STD, pH, ORP, com auxílio de uma sonda multiparâmetros (*Horiba U-50*) e tomou-se alíquotas em recipientes de polietileno (0,5L e 1L) para as análises laboratoriais dos elementos principais e do fluoreto (F<sup>-</sup>). As análises químicas das amostras de água foram efetuadas no Laboratório de Plasma, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

As alíquotas de 0,5 L destinaram-se as análises de cátions (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) e passaram por um filtro de acetato de celulose 0,45 µm e adição de ácido nítrico até o pH < 2,0. No entanto, as alíquotas de 1L foram mantidas *in natura*, a uma temperatura de ± 4°C, e foram destinadas às análises aniônicas (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>- HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, F<sup>-</sup>).

A leitura dos cátions deram-se em duplicata, com um total de 20% de triplicatas, por meio da *Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado* (ICP-OES). Enquanto que as leituras dos ânions deram-se com base nos métodos titrimétrico (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>), espectrofotométrico UV-VIS (*Varian*) (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e a leitura do fluoreto (F<sup>-</sup>) abrangeu a colorimetria (SPADNS) e o apoio do fluorímetro (*LS 4000*).

Obteve-se o limite ótimo local de potabilidade de F<sup>-</sup> (C) (0,8 mg.L<sup>-1</sup>) de Santana, com base na temperatura média do ar regional (T), de acordo com Galagan e Vermillion (1957) (Equações 1 e 2). Mendes e Oliveira (2004) recomendam o cálculo do limite ótimo local de potabilidade de de F<sup>-</sup> (C) com base na temperatura média anual do ar regional.

$$\epsilon(T) = 10,3 + 0,725T \quad \text{(Equação 1)}$$

$$C = 22,2/\epsilon \quad \text{(Equação 2)}$$

Calculou-se o índice de saturação (IS) das amostras com auxílio do programa *Diagrammes 6.52*. Este procedimento permitiu a classificação das amostras nas categorias: i) subsaturada (IS < -0,5); ii) equilíbrio químico entre a fase mineral e a solução (IS: -0,5 e 0,5); e iii) supersaturada (IS > 0,5). Merkel e Planer-Friedrich (2012) sugerem a admissão de valores do IS > 0 ± 0,5 devido às incertezas inerentes ao cálculo do IS, ou da constante de equilíbrio do mineral dissolvido, ou das análises laboratoriais.

## Abordagem Estatística e Geoestatística

A abordagem estatística abrangeu o teste de normalidade (*Shapiro-Wilk*) e os testes de comparações relacionados aos dados paramétricos (*Tukey-Kramer-ANOVA*) ou aos dados não-paramétricos (*Kruskal-Wallis*), com nível de significância de 0,05% e a Análise de Agrupamentos. Escolheu-se, em adição, a distância Euclidiana como medida de similaridade entre os pontos amostrais e a adoção do método de *Ward*. A abordagem geoestatística contemplou a *krigagem ordinária*, com o auxílio do programa *ArcGIS 9.0*.

Além disso, realizou-se o tratamento estatístico descritivo dos dados de flúor de poços selecionados do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS), uma seção do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), para a compreensão, em escala regional, da relação entre a presença do flúor nas águas do Aquífero Bambuí e os riscos à saúde.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Flúor na Água Subterrânea e Fluorose Dentária

Os níveis do flúor, como fluoreto (F<sup>-</sup>), variaram de 0,07 a 8,9 mg.L<sup>-1</sup>, com mediana de 0,83 mg.L<sup>-1</sup> nas águas subterrâneas naturalmente fluoretadas de Santana (Tabela 2), onde houve restrições de potabilidade em 47% das amostras, de acordo ao que dispõem a Portaria nº 888/21 (BRASIL, 2021) e a OMS (2006) (1,5 mg.L<sup>-1</sup> de F<sup>-</sup>). Ademais, verifica-se que 53% das amostras excederam o limite ótimo local de potabilidade do flúor (0,8 mg.L<sup>-1</sup> de F<sup>-</sup>) calculado em função da média anual e regional da temperatura do ar.

Os níveis do flúor das águas subterrâneas dos municípios limítrofes a Santana, no Oeste da Bahia, excederam, igualmente, o limite ótimo local de potabilidade (Tabela 2), de modo que o consumo crônico destas águas com restrição de potabilidade para o flúor representa um fator de risco de fluorose dentária à população infantil (< 6 anos de idade).

**Tabela 2.** Sumário estatístico comparativo entre os níveis do flúor, como fluoreto, (mg.L<sup>-1</sup>) das águas subterrâneas de Santana (Atual) e dos seus vizinhos municipais, situados no Oeste da Bahia.

Município	Estimador Amostral (Lê-se CV: coeficiente de variação; SW: <i>Shapiro-Wilk</i> )								
	N	Mín.	Máx.	Média	Mediana	Desvio Padrão	Erro Padrão	CV (%)	SW (valor de p)
Santana (Atual)	32	0.07	8.88	1.63	0.83	1.87	0.33	115.47	<i>p</i> <0.0001 <sup>B</sup>
Canápolis <sup>C</sup>	29	0.14	7.00	0.85	0.65	1.10	0.18	129.20	<i>p</i> <0.0001 <sup>B</sup>
Coribe <sup>C</sup>	50	0.01	8.60	0.83	0.50	1.41	0.20	170.32	<i>p</i> <0.0001 <sup>B</sup>
São Félix do Coribe <sup>C</sup>	27	0.10	8.13	1.16	0.62	1.55	0.30	133.72	<i>p</i> <0.0001 <sup>B</sup>
Santa Maria da Vitória <sup>D</sup>	37	0.09	3.50	0.85	0.54	0.74	0.12	88.12	<i>p</i> <0.0001 <sup>B</sup>
Serra Dourada <sup>C</sup>	27	0.17	5.20	1.47	0.97	1.26	0.24	85.36	<i>p</i> <0.0001 <sup>B</sup>
Serra do Ramalho <sup>D</sup>	46	0.02	2.20	0.58	0.40	0.56	0.08	94.98	<i>p</i> <0.0001 <sup>B</sup>
Sítio do Mato <sup>C</sup>	12	0.16	13.89	2.67	0.74	3.98	1.15	148.90	<i>p</i> =0.001 <sup>B</sup>

<sup>A</sup> Distribuição gaussiana; <sup>B</sup> Distribuição não gaussiana; <sup>C</sup> SIAGAS/CPRM; <sup>D</sup> Gonçalves (2014).

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Neste sentido, realizou-se um estudo da fluorose dentária em escolares aos 12 anos de idade no município de Santana, no Oeste da Bahia (Tabela 3). Observa-se que 87% dos examinados residiam neste município na ocasião do exame clínico na zona rural, onde 60% dos examinados pertenciam ao gênero feminino. Os escolares aos 12 anos de idade e do sexo masculino mostraram-se menos afeitos a serem examinados durante o exame clínico ou as entrevistas, o que configurou um relevante viés na obtenção da amostra.

**Tabela 3.** Frequência absoluta e relativa das categorias indicadas pelo índice de Dean em uma amostra de escolares aos 12 anos de idade no município de Santana, Oeste da Bahia.

Fluorose	Homem		Mulher		Total	
	N	%	n	%	n	%
Ausente (0)	35	22.0	38	24.0	73	46.0
Questionável (1)	4	2.5	5	3.0	9	5.5
Muito Leve (2)	11	7.0	17	11.0	28	18.0
Leve (3)	5	3.0	17	11.0	22	14.0
Moderada (4)	5	3.0	10	6.0	15	9.0
Severa (5)	4	2.5	8	5.0	12	7.5
<b>Total</b>	<b>64</b>	<b>40.0</b>	<b>95</b>	<b>60.0</b>	<b>159</b>	<b>100.0</b>

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados disponibilizados por Coutinho (2014).

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

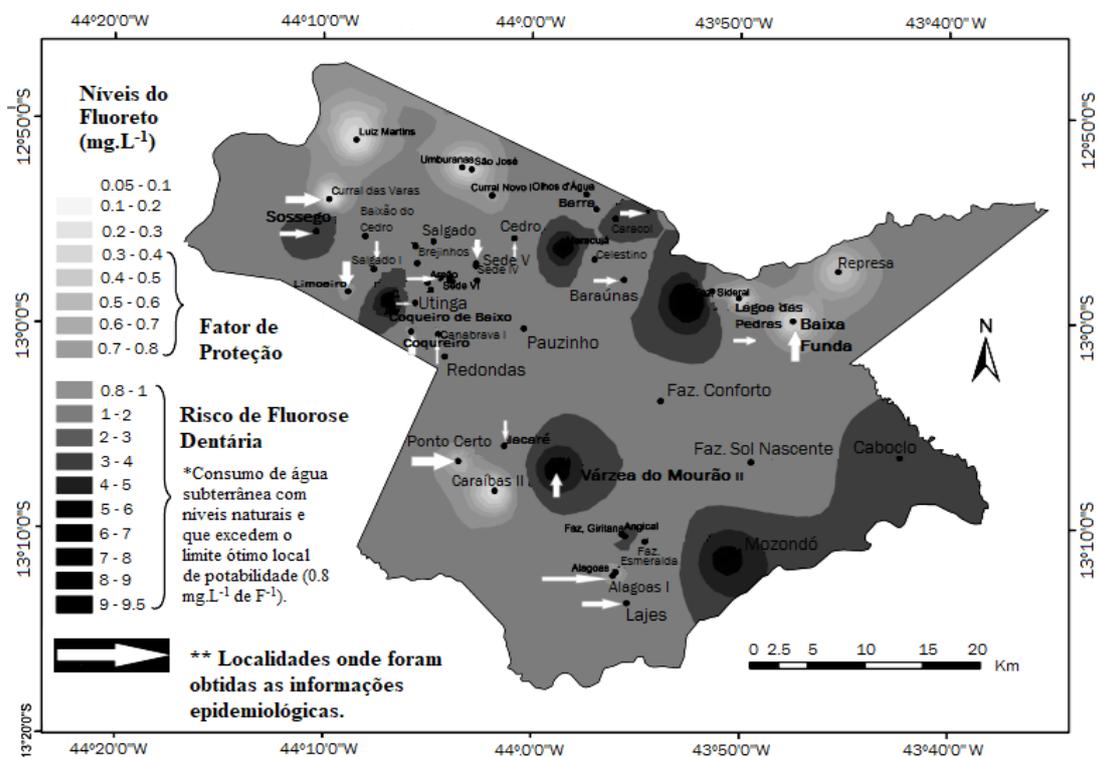
Descreve-se um perfil da prevalência de fluorose dentária de 54% (*Índice de Dean*) dos escolares aos 12 anos de idade do município de Santana, Bahia, onde 17% dos examinados apresentaram os graus de severidade moderado ou grave (severo) (Tabela 3). Explicita-se que o estudo da fluorose dentária pode orientar políticas públicas centradas na garantia dos direitos fundamentais à água potável e à saúde no Oeste da Bahia, e a formação de profissionais que entendam as relações entre a saúde, ambiente e a sociedade.

Velásquez *et al.* (2006), Ferreira *et al.* (2010) e Costa *et al.* (2013) descreveram uma prevalência da fluorose dentária de 57% (35% moderada ou grave) no Norte de Minas Gerais, Brasil. Este perfil da fluorose dentária foi atribuído a exposição de crianças (< 6 anos de idade) ao flúor pela ingestão de águas naturalmente fluoretadas do Aquífero Bambuí. Os gestores públicos e os pesquisadores esperam as mais notáveis prevalência e severidade de fluorose dentária nas áreas endêmicas, onde a fluorose não prescinde da ingestão das águas subterrâneas naturalmente fluoretadas (CANGUSSU *et al.*, 2002).

Destaca-se que os perfis da fluorose dentária aos escolares aos 12 anos de idade do município de Santana, e dos municípios do Norte de Minas Gerais, no Brasil, diferiram do perfil da pesquisa nacional de saúde bucal do *Projeto SB Brasil* (BRASIL, 2010). Este inquérito de saúde bucal descreveu uma prevalência de fluorose dentária de 17% (15% muito leve a leve; 1,5% moderada ou grave) aos 12 anos de idade (*Índice de Dean*).

A Figura 2 apresenta uma proposta de análise sócio-espacial das áreas onde se realizaram os exames clínicos da fluorose dentária e a distribuição do flúor nas águas subterrâneas do município de Santana. Com isso, obteve-se uma convergência entre a distribuição sócio-espacial da prevalência e da severidade de fluorose dentária e os níveis do fluoreto nas águas subterrâneas, a exemplo das localidades de Areão Canabrava, Caracol, Pedra Preta, Sossego, Várzea do Mourão, Tamboril e Tapera. Exige-se o controle dos níveis do fluoreto na água de abastecimento e a desfluoretação quando cabível.

**Figura 2.** Mapa de distribuição dos níveis de fluoreto na água subterrânea e indicação de categorias de fator de proteção (0,4-0,8 mg.L<sup>-1</sup>) e de risco de fluorose dentária (> 0,8 mg.L<sup>-1</sup>).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

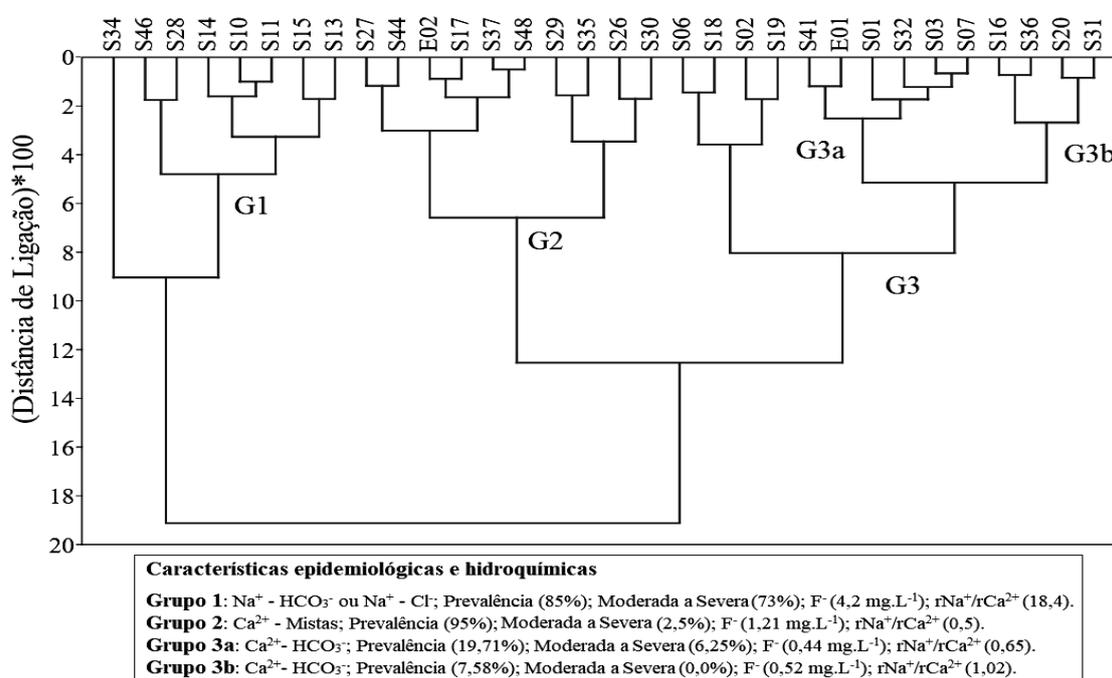
### Análise Multivariada, Hidrogeoquímica e Fluorose Dentária

A análise de agrupamentos permitiu a integração dos resultados das pesquisas da fluorose dentária e hidrogeoquímica e a avaliação da potabilidade das águas subterrâneas, com o auxílio da observação visual do dendrograma (Figura 3). A linha de corte foi marcada no dendrograma a distância de 10, formando-se três **Grupos Integradores (G1, G2, G3a e G3b)**. Os Grupos **G1** e **G2** revelaram as maiores proporções médias da prevalência de fluorose dentária e foram diferenciados pelas proporções dos graus moderado a severo e pelos níveis de fluoreto. Infere-se a relação entre a prevalência e a

severidade da fluorose dentária e a exposição de crianças aos níveis de fluoreto nas águas.

Com isso, destaca-se que o **Grupo Integrador G1 (Grupo G1)** abrange as amostras de maior relevância epidemiológica e ao entendimento do controle geoquímico da distribuição de flúor nas águas subterrâneas de Santana (Aquífero Bambuí) (Tabela 4). Ademais, o **Grupo G1** revelou as mais expressivas proporções da fluorose dentária e dos graus de severidade de moderada a grave (73%) e contemplou as águas sódicas, mais mineralizadas e enriquecidas em  $F^-$  e  $Na^+$ , e os maiores valores das razões geoquímicas, contudo caracterizaram-se pelos mais baixos níveis do  $Ca^{2+}$  e da dureza total (DT).

**Figura 3.** Dendrograma de integração das pesquisas de saúde e hidrogeoquímica e da descrição da prevalência e severidade da fluorose dentária (Índice de Dean) no município de Santana.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Assinala-se, com base no que foi descrito, que a exposição crônica de crianças (< 6 anos de idade) pelo consumo de água subterrânea naturalmente fluoretadas, a julgar pelas águas do **Grupo G1**, representa um fator de risco de fluorose dentária endêmica e uma ameaça a saúde esquelética de crianças e adultos. Nirgude *et al.* (2010) alertam que a exposição crônica aos níveis de flúor superiores a  $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$  nas águas naturalmente fluoretadas representa um fator de risco de fluorose dentária ou de fluorose esquelética.

Propõe-se, com base nos resultados da pesquisa hidrogeoquímica, um modelo conceitual que abrange duas *Zonas Hidrogeoquímicas* (A e B), onde a denominada *Zona Hidrogeoquímicas A* (Zona A) contempla as amostras do **Grupo G1** (Tabela 4; Figura 3).

Estas amostras caracterizam-se pelas águas bicarbonatadas sódicas e cloretadas sódicas, relacionadas às unidades aquíferas carbonáticas (Aquífero Pelítico-Cárstico) e por serem as águas mais mineralizadas, enriquecidas em F<sup>-</sup> e Na<sup>+</sup>, contudo empobrecidas em Ca<sup>2+</sup> e as águas mais macias. Explicita-se, ademais, a relação entre as águas sódicas associadas a *Zona Hidrogeoquímica A*, que são as mais enriquecidas em fluoreto, e as mais relevantes proporções dos graus moderado ou grave de severidade da fluorose dentária.

**Tabela 4.** Grupo obtidos pela aplicação da análise de agrupamento na integração dos resultados das pesquisas da fluorose dentária e hidrogeoquímica no município de Santana, Oeste da Bahia.

Ponto	Graus		pH	mg.L <sup>-1</sup>							rNa/rCa	rHCO <sub>3</sub> /rCa	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /DT
	Prevalência	2 e 3 <sup>A</sup>		4 e 5 <sup>B</sup>	STD	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	DT <sup>-</sup>			
<b>Grupo 1 (G1)</b>													
S34	50.00	50.00	50.00	8.78	1683	4.00	353.6	478.8	8.88	7.21	76.92	30.16	51.04
S28	82.00	35.00	47.00	7.60	650.0	96.00	167.2	68.00	1.88	138.0	1.52	1.35	2.86
S46	50.00	25.00	25.00	8.40	720.8	32.00	107.5	87.50	2.40	133.8	2.92	2.71	1.98
S14	100.00	0.00	100.0	8.27	477.0	22.00	97.40	61.78	3.31	71.46	3.85	3.74	3.51
S10	100.00	0.00	100.0	8.34	590.8	21.47	161.8	121.2	4.03	97.30	6.56	3.74	2.52
S11	100.00	0.00	100.0	7.97	712.8	12.93	136.8	90.03	2.76	51.50	9.21	6.80	5.21
S15	100.00	0.00	100.0	8.57	799.9	5.67	191.7	152.6	4.88	25.87	29.42	14.40	9.63
S13	100.00	40.00	60.00	8.65	670.2	14.01	263.5	71.10	5.22	35.34	16.36	9.37	11.33
<b>Média</b>	<b>85.25</b>	<b>18.75</b>	<b>72.75</b>	<b>8.32</b>	<b>788.1</b>	<b>26.01</b>	<b>184.9</b>	<b>141.4</b>	<b>4.17</b>	<b>70.06</b>	<b>18.35</b>	<b>9.03</b>	<b>11.01</b>
<b>Mediana</b>	<b>100.00</b>	<b>12.50</b>	<b>80.00</b>	<b>8.37</b>	<b>691.5</b>	<b>17.74</b>	<b>164.5</b>	<b>88.77</b>	<b>3.67</b>	<b>61.48</b>	<b>7.88</b>	<b>5.27</b>	<b>4.36</b>
<b>Grupo 2 (G2)</b>													
S27	100.00	100.0	0.00	8.30	460.0	119.0	62.33	98.34	1.25	211.1	0.46	0.63	1.08
S44	100.00	100.0	0.00	8.30	611.0	183.0	45.53	55.00	0.60	289.0	0.22	0.16	0.31
S17	100.00	100.0	0.00	7.72	553.3	99.89	73.33	88.57	1.29	228.2	0.64	1.06	1.41
E02	100.00	100.0	0.00	7.82	619.6	63.21	35.22	91.00	0.54	264.0	0.48	1.48	1.08
S37	100.00	100.0	0.00	7.75	262.0	63.42	75.69	82.30	1.60	265.1	1.04	1.35	0.99
S48	100.00	100.0	0.00	7.75	361.0	60.00	62.33	93.00	1.25	250.8	0.90	1.56	1.14
S35	100.00	100.0	0.00	7.91	559.0	186.0	148.0	58.70	1.82	289.0	0.69	0.73	1.44
S29	100.00	75.00	25.00	7.20	528.5	197.0	63.47	40.52	1.28	261.3	0.28	0.39	0.89
S26	50.00	50.00	0.00	7.10	813.0	290.0	27.59	40.32	0.74	378.6	0.08	0.35	0.82
S30	100.00	100.0	0.00	7.25	812.5	303.0	80.27	48.19	1.72	380.0	0.23	0.42	1.02
<b>Média</b>	<b>95.00</b>	<b>92.50</b>	<b>2.50</b>	<b>7.71</b>	<b>557.9</b>	<b>156.4</b>	<b>67.38</b>	<b>69.59</b>	<b>1.17</b>	<b>281.7</b>	<b>0.50</b>	<b>0.81</b>	<b>1.02</b>
<b>Mediana</b>	<b>100.00</b>	<b>100.0</b>	<b>0.00</b>	<b>7.75</b>	<b>556.2</b>	<b>151.0</b>	<b>62.90</b>	<b>70.50</b>	<b>1.27</b>	<b>264.6</b>	<b>0.47</b>	<b>0.68</b>	<b>1.05</b>
<b>Grupo 3a (G03a)</b>													
S02	0.00	0.00	0.00	7.26	476.5	217.1	22.58	61.66	0.26	514.4	0.09	0.43	0.56
S19	0.00	0.00	0.00	8.08	527.0	249.0	33.95	47.86	0.53	324.7	0.12	0.33	0.77
S06	50.00	50.00	0.00	7.62	741.4	158.0	25.47	125.4	0.46	416.7	0.14	0.55	0.63
S18	100.00	50.00	50.00	7.54	620.5	184.8	48.97	140.5	0.86	414.1	0.23	0.45	0.61
S20	0.00	0.00	0.00	8.19	424.2	92.42	16.14	32.42	0.07	284.7	0.15	0.93	0.92
S31	7.70	7.70	0.00	8.22	500.0	130.0	37.51	46.65	0.57	175.0	0.25	0.74	1.68
E01	0.00	0.00	0.00	7.60	582.2	62.31	33.33	86.30	0.29	260.4	0.47	1.38	1.01
S16	0.00	0.00	0.00	7.77	568.3	7.66	32.93	32.10	0.47	31.57	3.74	14.32	10.60
<b>Média</b>	<b>19.71</b>	<b>13.46</b>	<b>6.25</b>	<b>7.79</b>	<b>555.0</b>	<b>13767</b>	<b>31.36</b>	<b>71.61</b>	<b>0.44</b>	<b>302.7</b>	<b>0.65</b>	<b>2.39</b>	<b>2.10</b>
<b>Mediana</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>7.70</b>	<b>547.7</b>	<b>144.0</b>	<b>33.13</b>	<b>54.76</b>	<b>0.47</b>	<b>304.7</b>	<b>0.19</b>	<b>0.64</b>	<b>0.85</b>
<b>Grupo 3b (G03b)</b>													
S36	12.50	12.50	0.00	7.40	600.0	133.0	45.15	33.82	0.80	393.0	4.79	10.46	0.54
S41	0.00	0.00	0.00	7.10	487.5	125.4	36.37	29.58	0.57	250.7	0.25	0.51	0.77
S01	33.00	33.00	0.00	7.62	557.5	134.5	30.06	95.85	0.51	360.0	0.19	0.59	0.67
S32	0.00	0.00	0.00	7.12	566.0	136.0	70.90	129.0	0.37	220.0	0.45	0.36	0.68
S03	0.00	0.00	0.00	7.42	562.8	125.5	33.73	79.60	0.35	329.3	0.23	0.66	0.76
S07	0.00	0.00	0.00	7.33	728.4	130.5	33.43	119.9	0.51	344.8	0.22	0.55	0.64
<b>Média</b>	<b>7.58</b>	<b>7.58</b>	<b>0.00</b>	<b>7.33</b>	<b>583.7</b>	<b>130.9</b>	<b>41.61</b>	<b>81.30</b>	<b>0.52</b>	<b>316.3</b>	<b>1.02</b>	<b>2.19</b>	<b>0.68</b>
<b>Mediana</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>7.37</b>	<b>564.4</b>	<b>131.8</b>	<b>35.05</b>	<b>87.73</b>	<b>0.51</b>	<b>337.1</b>	<b>0.24</b>	<b>0.57</b>	<b>0.67</b>

<sup>A</sup> Severidade: leve a muito leve; <sup>B</sup> Severidade: moderada a severa (situação mais crítica).

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Pahuja *et al.* (2019) e Coutinho *et al.* (2022) destacam que as alterações da fluorose no esmalte e promovem manchas ou perda na estrutura dentária, em especial nos graus moderado e grave, podem provocar problemas estéticos, funcionais e psicológicos. Raju (2017), Zuo *et al.* (2018) e Han *et al.* (2021) ressaltam que a exposição aos níveis de flúor acima do limite de potabilidade representam riscos da fluorose (dentária, esquelética, incapacitante), danos renais, gastrointestinais e a inteligência e de neoplasias.

A *Zona Hidroquímica B (Zona B)* contemplou as amostras do **Grupo G3**, que se relacionam as águas bicarbonatadas cálcicas e as unidades aquíferas carbonáticas (Aquífero Carbonático) e por serem as águas de menor mineralização, enriquecidas em  $\text{Ca}^{2+}$  e mais duras, embora empobrecidas em  $\text{F}^-$  e  $\text{Na}^+$  (Tabela 4; Figura 3). O **Grupo G3** apresentou a menor prevalência de fluorose dentária, distribuídas entre os graus muito leve a leve e associados aos níveis do fluoreto que não excedem o limite de potabilidade.

Lima-Arsati *et al.* (2018) entende que as estriações brancas e opacas da fluorose na superfície dentária, nos graus leve a muito leve de severidade, podem ser clinicamente aceitáveis porque não alteram a suscetibilidade do dente afetado à cárie. Fejerskov *et al.* (1990) destacam que as proporções de fluorose dentária nos graus muito leve a leve de severidade têm relevância estética se prejudicarem os incisivos superiores permanentes.

Não obstante, as amostras do **Grupo Integrador G2 (Grupo G2)** definem a *Zona Hidroquímica de Transição (Zona T)*, que é caracterizada pelas águas mistas-cálcicas, associadas, principalmente, às unidades aquíferas carbonáticas (Tabela 4; Figura 3). Este **Grupo** revelou uma alta prevalência de fluorose dentária (100%), porém distribuída entre os graus muito leve a leve de severidade (100%) e que podem ser relacionadas aos níveis do flúor que excedem, no geral, o limite ótimo local de potabilidade, mas os níveis de flúor das amostras do **Grupo G2** foram muito inferiores ao que se observa no **Grupo G1**.

No recorte do modelo conceitual das *Zonas Hidroquímicas*, destaca-se que os valores da razão  $\text{rHCO}_3^-/\text{rCa}^{2+}$  foram inferiores a 1,5 nos **Grupos G2 e G3**, reportando-se a relevância do tempo de trânsito das águas nas unidades aquíferas e da interação água-rocha carbonática na evolução da composição hidroquímica no Aquífero Bambuí (Tabela 4). Contudo, os valores da razão  $\text{rHCO}_3^-/\text{rCa}^{2+} > 1,5$  no **Grupo G1** foram atribuídos a influência do intemperismo químico dos minerais associadas às rochas pelíticas, a julgar pelos plagioclásios sódicos, que adicionaria íons  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Na}^+$  litogênico para as águas.

Roisenberg *et al.* (2003) descrevem que os valores da razão  $\text{rHCO}_3^-/\text{rCa}^{2+} < 1,5$  refletem os papéis da interação água-rocha, da dissolução de minerais calcita e dolomita

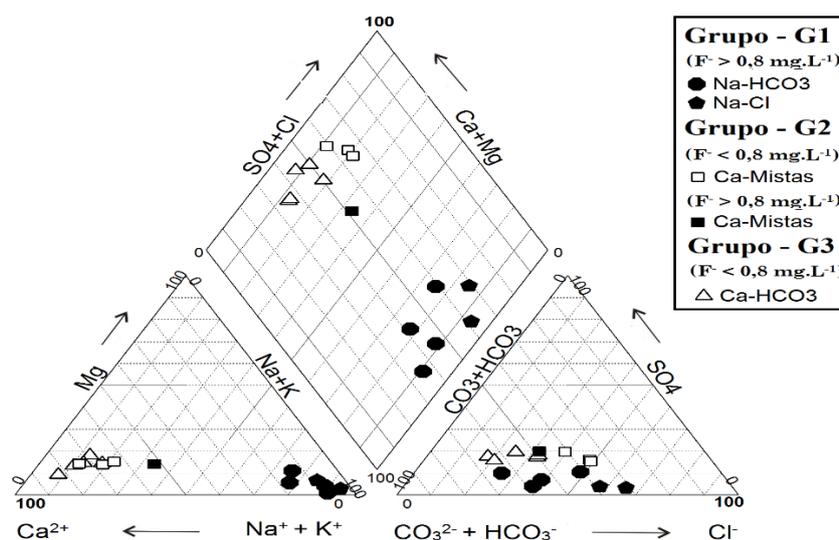
e da subsaturação da solução nestes minerais na hidrogeoquímica. A hidrogeoquímica de aquíferos cársticos depende da dissolução das fases minerais calcita e dolomita, da proporção entre estes minerais, do clima, do tempo de trânsito e da circulação da água no sistema aquífero (FAIRCHILD *et al.*, 2000; SANTOS, 2017; CUNHA *et al.*, 2022).

As amostras dos **Grupos Integradores G2 e G3** caracterizam-se pelas águas cálcicas e pelos mais altos níveis de cálcio e da DT, em especial a DT de carbonatos. Espera-se que os usos domésticos de uma água mais dura sejam mais difíceis, a exemplo do cozimento de alimentos, a lavagem de roupas, banhos, ou consumo humano, e, por isso, tendem a ser evitadas, a depender da existência de condições socioeconômicas individuais e das famílias de buscarem alternativa de acesso à água para os diversos usos.

### Modelamento Hidrogeoquímico

As amostras de água subterrânea foram classificadas nos seguintes tipos hidroquímicos: bicarbonatadas cálcicas ( $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ ) (40%), mistas cálcicas (mistas -  $\text{Ca}^{2+}$ ) (20%), bicarbonatadas sódicas ( $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ ) (27%) e cloretadas sódicas ( $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$ ) (13%) (Figura 4). Além disso, a incerteza do balanço iônica foi de no máximo 20%, com base no propõe Logan (1965) em relação ao erro prático aceitável de uma amostra de água. Destaca-se, novamente, a relação entre os tipos hidroquímicos das águas sódicas e os níveis de fluoreto que excedem o limite ótimo local de potabilidade ( $0,8 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{F}^-$ ).

**Figura 4.** Diagrama de Piper (1944) para a classificação das águas subterrâneas de Santana, Bahia.

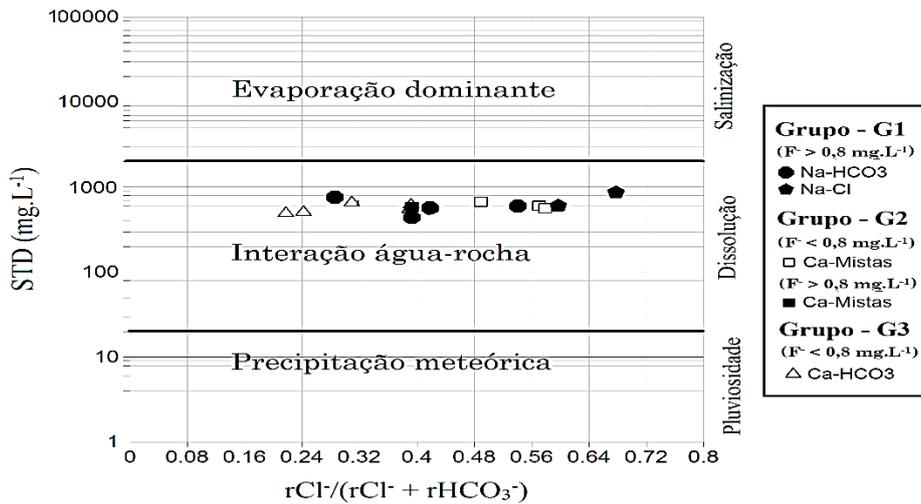


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A Figura 5 apresenta o Diagrama de Gibbs e indica os principais processos que influenciam a hidrogeoquímica, onde se nota a relevância da interação água-rocha para a

composição geoquímica das águas subterrâneas de Santana. Propõe-se que o aumento da razão  $rCl/(rCl + rHCO_3^-)$  acompanha a evolução hidroquímica do fluxo local para o regional ( $Ca^{2+} - HCO_3^- \rightarrow Ca^{2+} - Cl^- - HCO_3^- \rightarrow Na^+ - HCO_3^- \rightarrow Na^+ - Cl^-$ ). Ademais, a transição das águas cálcicas para as sódicas refletem a ação do clima, das trocas de base, que removem  $Ca^{2+}$  e da adição de  $Na^+$  litogênico do intemperismo de minerais nos pelitos.

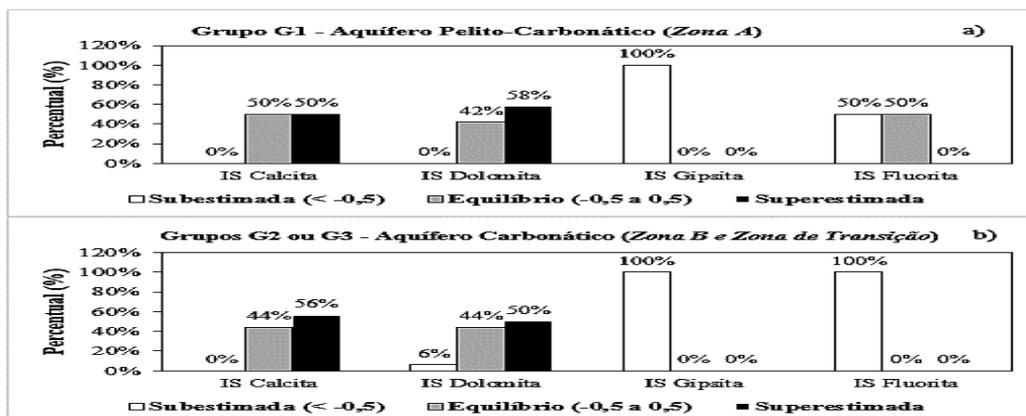
**Figura 5.** Diagrama de Gibbs (1970) indicando os controles da geoquímica das águas subterrâneas do município de Santana, no Oeste da Bahia, Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Em continuidade, discute-se os resultados do modelamento geoquímico, que abrangeu o cálculo do Índice de Saturação (IS) das fases minerais fluorita, calcita, dolomita, gipsita e halita (Figura 6). Destaca-se que os valores do IS da fluorita ( $IS_{fluorita}$ ) diferiram entre as amostras do **Grupo G1**, relacionadas a *Zona A*, e àquelas amostras vinculadas aos **Grupos Integradores G2** (*Zona B*) ou **G3** (*Zona T*) (Tabela 5).

**Figura 6.** Diagrama de Distribuição dos percentuais dos índices de saturação das fases minerais calcita, dolomita, gipsita e fluorita nas amostras de água subterrânea.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Observou-se que as medianas do IS<sub>fluorita</sub> nas amostras do **Grupo G1** aproximam-se da condição de equilíbrio entre a fase mineral e a solução, contudo as medianas das amostras dos **Grupos G2 ou G3** referem-se a condição de subsaturação da fluorita (Tabela 5). As amostras dos **Grupos G2 ou G3** mostram-se subsaturadas nos minerais anidrita, gipsita e halita, contudo notam-se as variações entre as condições de equilíbrio entre o mineral e a solução e de supersaturação para as fases minerais calcita e dolomita. Estes resultados apoiaram, além disso, a proposição do modelo das *Zonas Hidroquímicas*.

**Tabela 5.** Sumário estatístico dos valores dos índices de saturação das fases minerais calcita, dolomita, anidrita, gipsita, halita e fluorita nas amostras de água subterrânea, diferenciadas, com base no modelo conceitual, nas categorias que abrangem a *Zona Hidroquímica A (Zona A)* (**Grupo 1**), a *Zona Hidroquímica B (Zona B)* e a *Zona de Transição (Zona T)* (**Grupos 2 e 3**).

a) Amostras do **Grupo G1** - Aquífero Pelito-Carbonático (*Zona A*).

Índices de Saturação	Estimador Amostral (Lê-se CV: coeficiente de variação; SW: Shapiro-Wilk)							
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão	Erro Padrão	CV (%)	SW (Valor de p)
IS Calcita	0,07	1,02	0,55	0,46	0,34	0,10	62,02	$p=0,25^A$
IS Dolomita	-0,16	2,12	0,94	1,02	0,75	0,22	79,83	$p=0,59^A$
IS Fluorita	-0,91	-0,06	-0,53	-0,51	0,30	0,09	56,99	$p=0,36^A$
IS Gipsita	-4,76	-2,48	-3,17	-3,06	0,60	0,17	19,04	$p=0,24^A$
IS Anidrita	-3,79	-2,74	-3,19	-3,19	0,32	0,09	10,16	$p=0,51^A$
IS Halita	-8,39	-5,73	-6,43	-6,30	0,65	0,17	10,06	$p=0,002^B$

<sup>A</sup> Distribuição gaussiana; <sup>B</sup> Distribuição não gaussiana.

b) Amostras dos **Grupos G2 ou G3** - Aquífero Carbonático (*Zona B* ou *Zona de Transição*).

Índices de Saturação	Estimador Amostral (Lê-se CV: coeficiente de variação; SW: Shapiro-Wilk)							
	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão	Erro Padrão	CV (%)	SW (Valor de p)
IS Calcita	0,19	1,01	0,54	0,56	0,21	0,05	39,85	$p=0,60^A$
IS Dolomita	-0,06	1,47	0,54	0,48	0,44	0,10	81,83	$p=0,19^A$
IS Fluorita	-2,23	-0,91	-1,69	-1,81	0,36	0,09	21,50	$p=0,38^A$
IS Gipsita	-2,02	-1,44	-1,71	-1,70	0,17	0,04	9,81	$p=0,82^A$
IS Anidrita	-2,28	-1,71	-1,98	-1,97	0,04	0,03	-8,70	$p<0,60^A$
IS Halita	-7,89	-4,46	-7,09	-7,10	0,71	0,16	10,05	$p<0,0001^B$

<sup>A</sup> Distribuição gaussiana; <sup>B</sup> Distribuição não gaussiana.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Com isso, propõem-se que o intemperismo químico da fluorita associada às rochas do Grupo Bambuí liberaria o flúor para as águas subterrâneas do município de Santana, e de forma ampliada e regional das águas do Aquífero Bambuí. Miranda (1976), Misi *et al.* (2000), Conceição Filho *et al.* (2003), Martins (2001) e Gomes (2005) descreveram os depósitos minerais de fluorita roxa nas rochas do Grupo Bambuí, no Oeste da Bahia.

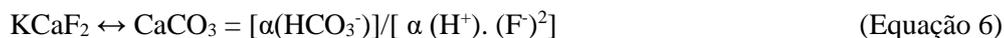
Desta forma, infere-se que a composição geoquímica das águas subterrâneas do município de Santana, no âmbito do Aquífero Bambuí, no Oeste da Bahia, depende da dissolução das fases minerais calcita e dolomita das rochas do Grupo Bambuí. Ressalta-se que o intemperismo químico das fases minerais calcita e dolomita fornece os íons Ca<sup>2+</sup>

e  $Mg^{2+}$  à solução e influenciam na solubilidade da fase mineral fluorita (Equações 3 a 5).



Observa-se, igualmente, uma correlação inversa entre as atividades iônicas do fluoreto e cálcio nas amostras de água subterrânea de Santana, que indica que a saturação da solução na fase mineral calcita controla a dissolução da fluorita. Rafique *et al.* (2015) assinalam que a atividade do íon fluoreto na água subterrânea depende, no geral, da solubilidade da fase mineral fluorita, e, por isso, quando a solução atinge o limite de solubilidade da fluorita ocorre uma relação inversa entre as atividades dos íons  $F^-$  e  $Ca^{2+}$ .

Handa (1975) propôs um modelo conceitual hidrogeoquímico para o enriquecimento da água em flúor. Este modelo elucidou a correlação entre as atividades dos íons  $F^-$ ,  $Ca^{2+}$  e  $HCO_3^-$ , sob condições de pH passíveis de serem considerados relativamente constantes, onde **K** e **a** são denominados respectivamente a constante de solubilidade e a atividade iônica (Equação 6). Este modelo pode ser aplicado no estudo do flúor no Aquífero Bambuí, após adaptado, como descreveram Gonçalves *et al.* (2018).



Edmunds e Smedley (2005) e Jha *et al.* (2011) destacam que a saturação da água na fase mineral calcita controla a solubilidade da fluorita ( $CaF_2$ ) devido ao efeito de íon comum e pela maior abundância da calcita nas águas naturais. Rao (2011) ressalta que se deve considerar a interdependência das atividades dos íons  $Ca^{2+}$ ,  $F^-$  e  $HCO_3^-$  nas águas subterrâneas. Este autor considerou que a dissolução da fluorita poderia ocorrer ainda sob condições de subsaturação da solução em calcita e dolomita, nas águas mais alcalinas, sob alta temperatura do ar, onde pode ocorrer a co-precipitação dos íons  $Ca^{2+}$  e  $HCO_3^-$ .

Além disso, ressalta-se os processos de interação água - argilominerais (M), o intemperismo químico de carbonatos impuros e dos pelitos e as reações de troca de bases removem  $Ca^{2+}$ , reduzem a DT e adicionam  $Na^+$  às águas subterrâneas do município de Santana, no âmbito do Aquífero Bambuí (Equações 7-9). A atividade de  $Na^+$  aumenta a alcalinidade da água e influência nas condições de saturação, na precipitação da calcita e na solubilidade da fluorita (APAMBIRE *et al.*, 1997; HOSSAIN; PATRA, 2020).



As análises da razão  $r\text{Na}^+/r\text{Ca}^{2+}$  e dos valores do IS dos minerais calcita e dolomita indicaram que a atividade iônica do  $\text{Na}^+$  nas amostras do **Grupo G1**, que caracterizam a *Zona A*, pode ter favorecido o acréscimo na alcalinidade das águas e a dissolução da mineral fluorita e/ou podem vir a refletir uma anomalia geoquímica do flúor relacionada aos argilominerais e as rochas pelito-carbonáticas no município de Santana (Tabela 4).

Costa (2011) propôs que o intemperismo químico de plagioclásios pode fornecer íons de  $\text{Na}^+$  litogênico e o enriquecimento das águas do Aquífero Bambuí em  $\text{Na}^+$ , em Minas Gerais, Brasil. Obteve-se níveis do flúor nos pelitos (120 a 620  $\text{mg.L}^{-1}$ ) e nas rochas carbonáticas (320 a 508  $\text{mg.L}^{-1}$ ) do Grupo Bambuí, em Minas Gerais, onde os níveis do flúor nestes materiais excederam a média do flúor nas rochas carbonáticas (300,0  $\text{mg.L}^{-1}$ ) e apresentados por Krauskopf e Bird (1995) e Mendes e Oliveira (2004).

Os altos níveis de flúor vinculados aos pelitos do Grupo Bambuí requerem estudos da história geológica regional, da geoquímica de rochas ígneas e do intemperismo destes materiais no Oeste da Bahia, Brasil. Dehbandi *et al.* (2018) e Singh *et al.* (2018) apontam que os estudos anteriores dos altos níveis do flúor na água subterrânea refletem, no geral, o intemperismo químico de minerais relacionados às rochas ígneas e aos argilominerais.

Por sua vez, o modelo conceitual da geoquímica do flúor no Aquífero Bambuí permite que se possa explicar as relações entre as atividades dos íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e a solubilidade da fluorita na água. Demonstram-se a relação entre os níveis de flúor nos **Grupos G1, G2 e G3** e os tipos hidroquímicos nas amostras de água: **G1** ( $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$  ou  $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$ ) > **G2** ( $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+}$ ) > **G3** ( $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ ). Neste contexto, infere-se sobre a existência de um controle geoquímico do flúor nas águas subterrâneas de Santana.

## CONCLUSÕES

As águas subterrâneas do município de Santana foram classificadas nos tipos geoquímicos das águas bicarbonatadas cálcicas ( $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ ) (40%), mistas cálcicas (mistas -  $\text{Ca}^{2+}$ ) (20%), bicarbonatadas sódicas ( $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+$ ) (27%) e cloretadas sódicas ( $\text{Cl}^- - \text{Na}^+$ ) (13%). Houve uma relação entre os tipos hidroquímicos das águas sódicas e os níveis de fluoreto que excedem o limite ótimo local de potabilidade (0,8  $\text{mg.L}^{-1}$  de  $\text{F}^-$ ).

Revelou-se que um total de 42% das amostras de água subterrânea do município de Santana excederam o limite ótimo local de potabilidade do fluoreto, onde o consumo dessas águas *in natura* representa um fator de risco de fluorose dentária. Neste município, descreveu-se uma prevalência de fluorose dentária em escolares aos 12 anos de idade de

54%, onde 17% espalharam-se entre os graus moderado a grave de severidade. Este perfil epidemiológico da fluorose dentária de Santana diverge do perfil da fluorose dentária não endêmica do levantamento nacional de saúde bucal em escolares aos 12 anos de idade.

A análise multivariada permitiu a integração dos resultados das pesquisas de saúde e das geociências e a proposição do modelo conceitual das *Zonas Hidroquímicas*, onde se agrupou as amostras nos **Grupos Integradores**. As amostras de água do **Grupo G1** vinculam-se a *Zona Hidroquímica A* e caracterizam-se pela presença de águas sódicas, enriquecidas em flúor de sódio e menos duras do que às amostras do **Grupos G2 e G3**, que abrangem a *Zona Hidroquímica B* e a *Zona Hidroquímica de Transição*, nesta ordem,

Ademais, a análise multivariada demonstrou as relações entre os níveis de fluoreto nos **Grupos G1, G2 e G3** e os tipos hidroquímicos, cujas amostras foram discriminadas por tipos hidroquímicos e hierarquizadas em relação aos níveis do fluoreto: **G1** ( $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+; \text{Cl}^- - \text{Na}^+$ ) > **G2** ( $\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+}$ ) > **G3** ( $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ ). Inferiu-se a relevância do intemperismo químico da fase mineral fluorita nas rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí e a existência do controle geoquímico da distribuição do flúor nestas águas.

Conclui-se que a presente pesquisa interdisciplinar contribuiu para a compreensão da relação entre o perfil da epidemiológico da fluorose dentária no município de Santana e a exposição crônica de crianças (< 6 anos de idade) ao flúor pela via da ingestão de água subterrânea naturalmente fluoretadas. Demanda-se por monitoramento do flúor nas águas naturais, pelo heterocontrole e pela desfluoretação quando cabíveis das águas com altos níveis de flúor e que são usadas no consumo humano nas áreas periféricas e rurais do município de Santana, onde o consumo humano destas águas *in natura* deve ser evitado.

## AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas disponibilidades de bolsas de doutorado e pelo financiamento do Projeto de Pesquisa *Hidrogeoquímica dos Aquíferos Cársticos de Irecê e Serra do Ramalho, Bahia*, Edital Universal (CNPq nº 14/2011).

## REFERÊNCIAS

APAMBIRE, W. B.; BOYLE, D.R.; MICHEL, F. A. Geochemistry, genesis, and health implications of fluoriferous groundwaters in the upper Regions of Ghana. *Environmental Geology*, v.33, p.13-24, 1997. <https://doi.org/10.1007/s002540050221>

BATISTA, F. S.; RAMOS JR., A. B. D. S.; CRUZ, M. J. M.; SANTOS, R. A. Condições sociais de saúde, saneamento e qualidade da água subterrânea de municípios do Oeste da Bahia (BR). **Geoiंगा: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE/UEM)**, v. 13, n. 1, p. 202-224, 2021. <https://doi.org/10.4025/geoiंगा.v13i1.56385>

BRASIL. Secretaria de Atenção à Saúde. **Projeto SB Brasil 2010 – Condições de saúde bucal da população brasileira 2010: resultados principais**. Brasília: Ministério da Saúde (MS) - Coordenação Nacional de Saúde Bucal (CNSB), 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde, Conselho Nacional de Saúde (CNS). Resolução n. 466, de 12 de dezembro de 2012. Aprova diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. **Diário Oficial da União**, 12 dez. 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação GM/MS nº. 888/21, de 4 de Maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, 07 de maio de 2021.

CANGUSSU, M. C. T.; NARVAI, P. C.; FERNANDEZ, R. C.; DJEHIZIAN, V. A fluorose no Brasil: uma revisão crítica. **Cad. Saúde Pública**, v.1: p.7-15, 2002.

CARVALHO, J. V.; GONÇALVES, M. V. P.; CRUZ, M. J.; DE MORAIS NASCIMENTO, S. A. Hidrogeoquímica das águas subterrâneas dos domínios Santa Maria da Vitória/Cocos, (NE Bahia, Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, v.36, 2022. <https://doi.org/10.21715/GB2358-2812.202236006>

CONCEIÇÃO FILHO, V. M.; MONTEIRO, D. M.; RANGEL, P. D. A.; GARRIDO, I. D. A. Bacia do São Francisco entre Santa Maria da Vitória e Iuiú, Bahia: geologia e potencialidade econômica. **Salvador, CBPM**, 2003.

COSTA, D. A. **Controle lito-estrutural e estratigráfico na hidrogeoquímica e nas concentrações de fluoreto no Sistema Aquífero Cárstico - Fissural do Grupo Bambuí, norte de Minas Gerais**. 2011. 131 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

COSTA, S. M.; ABREU, M. H. N. G.; VARGAS, A. M. D.; VASCONCELOS, M.; FERREIRA, E.; CASTILHO, L. S. Cárie dentária e fluorose endêmica em distritos rurais de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v.16, p.1021-28, 2013.

COUTINHO, C. A. M. **A fluorose dentária na região cárstica do município de Santana-BA**: definição de áreas de risco para consumo humano das águas subterrâneas com base nos dados hidroquímicos e epidemiológicos. 106 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

COUTINHO, C. A. M.; OLIVEIRA, E. A. S.; GONÇALVES, M. V. P.; CRUZ, M. J. M.; ALENCAR, C. M. M.; Porciúncula, D. C. L.; SILVA, A. C. M.; BATISTA, F. S. Fluoride in groundwater and dental fluorosis in the municipality of Lauro de Freitas, located in the Metropolitan Region of Salvador, Bahia (BR). **International Journal of Health Science**, v.2, n.27, p.1-26, 2022. <https://doi.org/10.22533/at.ed.1592272205069>

CRUZ, M. J. M.; COUTINHO, C. A. M.; GONÇALVES, M.V.P. The Dental fluorosis on Santana karst region, Bahia State, Brazil. **Journal of Geography**, v.3, n. 2, p. 51-67, 2015. <http://dx.doi.org/10.15640/jges.v3n2a3>

CUNHA, M. P.; CRUZ, M. J. M.; SANTOS, R. A.; RAMOS JUNIOR, A. B. S.; GONÇALVES, M. V. P. Modelamento Experimental da Interação Água-Rocha Mineralizada (Fe, Pb, Zn, F, Ba) e Hidrogeoquímica do Aquífero Salitre, Bahia (BR). **Concilium**, v. 22, n. 6, p. 786-810, 2022. <https://doi.org/10.53660/CLM-560-642>

DEAN, H. T. Classification of mottled enamel diagnosis. **The Journal of the American Dental Association** (1922), v.21, n.8, p. 1421-1426, 1934. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1934.0220>

DEHBANDI, R.; MOORE, F.; KESHAVARZI, B. Geochemical sources, hydrogeochemical behavior, and health risk assessment of fluoride in an endemic fluorosis area, central Iran. **Chemosphere**, v. 193, p. 763-776, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.021>

DINIZ, L. G. **O Flúor nas águas subterrâneas do Estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

EDMUNDS, W.M.; SMEDLEY, P.L. Fluoride in natural waters. *In*: Selinus, O. (Ed.). **Essentials of Medical Geology**. Elsevier Academic Press, London, 2005. p. 301-329.

FAIRCHILD, I. J.; BORSATO, A.; TOOTH, A. F.; FRISIA, S.; HAWKESWORTH, C. J.; HUANG, Y.; MCDERMOTT, F.; SPIRO, B. Controls on trace element (Sr–Mg) compositions of carbonate cave waters: implications for speleothem climatic records. **Chemical geology**, v.166, n.3-4, p.255-269, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(99\)00216-8](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(99)00216-8)

FEJERSKOV, O.; MANJI, F.; BAELUM, V. The nature and mechanisms of dental fluorosis in man. **Journal of Dental Research**; v. 69, n.2, p.692-700, 1990. <https://doi.org/10.1177/00220345900690S135>

FEJERSKOV, O.; MANJI, F.; BÆLUM, V.; MØLLER, I. J. **Fluorose dentária: um manual para profissionais da saúde**. São Paulo: Editora Santos, 1994.

FERREIRA, E.F.; VARGAS, A.M.D.; CASTILHO, L.S.; VELÁSQUEZ, L.N.M.; FANTINEL, L.M.; ABREU, M.H.N.G. Factors Associated to Endemic Dental Fluorosis in Brazilian Rural Communities. **Int. J. Environ. Res. Public Health, Basel**, v.7, n.8, p. 3115-3128, 2010. <https://doi.org/10.3390/ijerph7083115>

GALLARÁ, R. V.; PIAZZA, L.; PIÑAS, M.; EUGENIA, M. Fluorosis endémica en zonas rurales del norte y noreste de la provincia de Cordoba, Argentina. **Revista de Salud Pública**, v. XV, n. 1, p. 40-48, 2011. <http://dx.doi.org/10.31052/1853.1180.v15.n1.7010>

GALAGAN, D. J.; VERMILION, J. R. Determining optimum fluoride concentrations. **Pulic health reports**, v.72, n.6, p. 491, 1957. <http://dx.doi.org/10.2307/4589807>

GIBBS, R. J. Mechanisms controlling world water chemistry. **Science**, v. 170, n. 3962, p. 1088-1090, 1970. <https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088>

GOMES, A. S. R. **Modelagem metalogenética das mineralizações de Pb-Zn Hospedadas em carbonatos Neoproterozóicos de Irecê (BA), Serra do Ramalho (BA) e Montalvânia (MG)**. 2005. 200 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

GONÇALVES, M. V. P. **Flúor no Aquífero Bambuí no Oeste da Bahia (Brasil)**. Tese (Doutorado), Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2014.

GONÇALVES, M. V. P.; CRUZ, M. J. M.; SANTOS, R. A.; JUNIOR, A. B. D. S. R.; COUTINHO, C. A. M. Flúor na água do aquífero Bambuí no oeste da Bahia (Brasil). **Brazilian Journal of aquatic Science and technology**, v.22, n.1, p.10-21, 2018.

GONÇALVES, M. P.; SANTOS, R. A.; RAMOS JUNIOR, A. B. D. S. R.; BATISTA, F. S.; SILVA, A. C. M.; CRUZ, M. J. M.; COSTA, A. B. Caracterização isotópica e qualidade das águas subterrâneas no município de Serra do Ramalho, Bahia (Brasil). **Geochimica Brasiliensis**, v.34, n.1, p.38-58, 2020a. <https://doi.org/10.21715/GB2358-2812.2020341038>

GONÇALVES, M.V.P.; SANTOS, R. A.; COUTINHO, C.A.M; CRUZ, M. J. M. **Fluoride levels in the groundwater and prevalence of dental fluorosis in the municipality of Santana, um region karstic of West Bahia, Brazil**. In Groundwater Hydrology. IntechOpen. 2020b. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.85007>

GONÇALVES, M. V. P.; CRUZ, M. J. M.; NASCIMENTO, S. A. M.; SANTOS, R. A.; PORCIÚNCULA, D. C.L.; BATISTA, F. S. Nitrato, qualidade microbiológica das águas subterrâneas e falhas no esgotamento sanitário de municípios do Oeste da Bahia, Brasil. **Conjecturas**, v. 22, n. 13, p. 323-348, 2022a. <https://doi.org/10.53660/CONJ-1669-2G16>

GONÇALVES, M. V. P.; COUTINHO, C. A. M.; CRUZ, M. J. M.; SANTOS, R. A.; PORCIÚNCULA, D.C.L.; RAMOS JÚNIOR, A. B. S. Geosciences, distribution of fluoride in groundwater and prevalence of endemic dental fluorosis in the municipality of Santana, Bahia (BR). **International Journal of Health Science**, v. 2, n. 22, p.1-23, 2022b. <http://doi.org/10.22533/at.ed.1592222230041>

HAN, J.; KISS, L.; MEI, H.; REMETE, A. M.; PONIKVAR-SVET, M.; SEDGWICK, D. M.; ANDREW TOMKIN; SOLOSHONOK, V. A. Chemical aspects of human and environmental overload with fluorine. **Chemical Reviews**, v.121, n.8, p.4678-4742, 2021. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c01263>

HANDA, B. K. Geochemistry and genesis of Fluoride-Containing ground waters in india. **Groundwater**, v.13, n.3, p. 275-281, 1975. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1975.tb03086.x>

HOSSAIN, M.; PATRA, P. K. Hydrogeochemical characterisation and health hazards of fluoride enriched groundwater in diverse aquifer types. **Environmental Pollution**, v.

258, p. 113646, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113646>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Dados do Censo demográfico**. Diário Oficial da União de 24/11/2010, Brasília. 2010.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). *Balanço hídrico e dados climatológicos. Mapa Climatológico de Precipitação Pluviométrica Acumulada Anual (1931-1990), 2011 e 2012*. Disponível em: < [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br) >. Acesso em: 10 mar. 2016.

JHA, S.K.; MISHRA, V.K.; SHARMA, D.K.; DAMODARAN, T. Fluoride in the environment and its metabolism in humans. **Rev. Environ. Contam. Toxicol.**, v.211, p.121-142, 2011 [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8011-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8011-3_4).

KOMATI, S. H.; FIGUEIREDO, B. R. Flúor em água e prevalência de fluorose em Amparo (SP). **Geociências (São Paulo)**, v.32, n.3, p. 547-559, 2013.

KRAUSKOPF, K.; BIRD, D. **Introduction to geochemistry**. 3ed. New York: Mc Graw-Hill, 1995.

LIMA-ARSATI, Y. B. D. O.; GOMES, A. R. L. F.; SANTOS, H. K. A.; ARSATI, F.; OLIVEIRA, M. C.; FREITAS, V. S. Exposição a fluoreto por crianças na faixa etária crítica para fluorose dentária, residentes no semiárido brasileiro. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.23, n.4, p.1045-1054, 2018. <http://10.1590/1413-81232018234.07952016>

LOGAN, J. **Interpretação de Análises Químicas da Água**. U.S. Agency for International Development, Recife, 1965.

MARTINS, V. S. **Estudos de inclusões fluidas e de isótopos de estrôncio dos depósitos de fluorita da Serra do Ramalho (Bahia) e Montalvânia (Minas Gerais)**. 2001. 89 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001.

MERKEL, B. J., PLANER-FRIEDRICH, B. **Geoquímica de águas subterrâneas: um guia prática de modelagem de sistemas aquáticos naturais e contaminados**. Campinas (SP): Unicamp; 2012. 244 p.

MENDES, B.; OLIVEIRA, J.F.S. **Qualidade da água para o consumo humano**. Lisboa: Lidel, Edições Técnicas, 2004.

MIRANDA, L. D.; MONTEIRO, M. D.; CAVALCANTI, J. C. C.; VALLE, C. R. O.; SILVA, J. C. Projeto Fluorita da Serra do Ramalho. **Salvador-Ba, SME/CBPM**, 1976.

MISI, A.; IYER, S. S., COELHO, C. E. S.; TASSINARI, C. C. G.; FRANCA-ROCHA, W. J. S.; GOMES, A. S.; CUNHA, I.A.; TOULKERIDIS, T.; SANCHES, A. L. A metalogenic evolution model for the lead-zinc deposits of the Meso and Neoproterozoic sedimentary basins of the São Francisco Cráton, Bahia and Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.30, n.2, p.302-305, 2000. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000302302305>

MISI, A.; KAUFMAN, A. J.; VEIZER, J.; POWIS, K.; AZMY, K.; BOGGIANI, P. C.;

CLAUDIO, G.; TEIXEIRA, J. B. G.; SANCHES, A. L.; IYER, S. S. Chemostratigraphic Correlation of Neoproterozoic successions in South America. **Chemical Geology**, v.237, n.1-2, p.161-185, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.06.019>

MISI, A.; KAUFMAN, A. J.; AZMY, K.; DARDENNE, M. A.; SIAL, A. N.; DE OLIVEIRA, T. F. Neoproterozoic successions of the Sao Francisco Craton, Brazil: the Bambui, Una, Vazante and Vaza Barris/Miaba groups and their glaciogenic deposits. **Geological Society. Memoirs (London)**, v.36, n.1, p.509-522, 2011. <https://doi.org/https://doi.org/10.1144/M36.48>

MOURI, Hassina. Medical Geology and its relevance in Africa. **South African Journal of Science**, v. 116, n. 5-6, p. 1-2, 2020. <https://doi.org/10.17159/sajs.2020/7699>

NASEEM, S.; RAFIQUE, T.; BASHIR, E.; BHANGER, M. I.; LAGHARI, A.; USMANI, T. H. Lithological influences on occurrence of high-fluoride groundwater in Nagar Parkar Area, Thar Desert, Pakistan. **Chemosphere**, v.78, n.11, p. 1313–1321, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.01.010>

NIRGUDE, A. S.; SAIPRASAD, G.S.; NAIK, P.R.; MOHANTY, S. An epidemiological study on fluorosis in an urban slum area of Nalgonda, Andhra Pradesh, India. **Indian Journal of Public Health**, v.54, n.4, p.194-196, 2010. <https://doi.org/10.4103/0019-557X.77259>

OMS - Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization*). **Calibration of examiners for oral health epidemiological surveys**. Geneva: ORH/EIS/EPID, 1993.

OMS - Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization*). **Oral health surveys: basic methods**. 4 ed. Geneva: Word Health Organization: ORH/EPID, 1997.

OMS - Organização Mundial da Saúde (*World Health Organization*). **Guidelines for drinking-water quality**. Geneva: World Health Organization, 2006.

PAHUJA, M.; PRADHAN, S.; NAGAR, V. Knowledge, attitude, and esthetic perceptions about dental fluorosis amongst the rural population in Meerut District, Uttar Pradesh. **Indian Journal of Dental Sciences**, v. 11, n. 1, p. 12, 2019. [https://doi.org/10.4103/IJDS.IJDS\\_65\\_18](https://doi.org/10.4103/IJDS.IJDS_65_18)

PIPER, A. M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 25, n. 6, p. 914-928, 1944. <https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>

RAFIQUE, T.; NASEEM, S.; OZSVATH, D.; HUSSAIN, R.; BHANGER, M. I.; USMANI, T. Geochemical controls of high fluoride groundwater in Umarmkot sub-district, Thar Desert, Pakistan. **Science of the Total Environment**, v. 530, p. 271-278, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.038>

RAJU, N. J. Prevalence of fluorosis in the fluoride enriched groundwater in semi-arid parts of eastern India: Geochemistry and health implications. **Quaternary International**, v.443, p.265-278, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.05.028>

RAO, S. N. High-fluoride groundwater. **Environmental monitoring and assessment**, v. 176, n. 1, p. 637-645, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1609-y>

ROISENBERG, C.; VIERO, A. P.; ROISENBERG, A.; SCHWARZBACH, M. S.; MORANTE, I. C. Caracterização geoquímica e gênese dos principais íons das águas Subterrâneas de Porto Alegre, RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.4, p.137-147, 2003.

SAEED, M.; MALIK, R. N.; KAMAL, A. Fluorosis and cognitive development among children (6–14 years of age) in the endemic areas of the world: A review and critical analysis. **Environmental Science and Pollution Research**, v.27, p.2566-79, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06938-6>

SANTOS, R. A. **Hidrogeoquímica dos Domínios Cársticos de Irecê, Bahia-Brasil**. 2017. 82 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

SELINUS, O. Medical Geology: an emerging speciality. **Terrae**, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2004. Disponível em: [https://people.wou.edu/~taylors/g473/med\\_geo/selinus\\_2004.pdf](https://people.wou.edu/~taylors/g473/med_geo/selinus_2004.pdf). Acesso em: 03.06.2022.

SINGH, S.; SAHA, S.; SINGH, S.; SHUKLA, N.; REDDY, V. K. Oral health-related quality of life among 12–15-year children suffering from dental fluorosis residing at endemic fluoride belt of Uttar Pradesh, India. **Journal of Indian Association of Public Health Dentistry**, v.16, p.54-57, 2018. [https://doi.org/10.4103/jiaphd.jiaphd\\_139\\_16](https://doi.org/10.4103/jiaphd.jiaphd_139_16)

SILVA, C. R.; VIGLIO, E.; QUINTARELLI, J. M. Geochemical megaprovince of fluorine and endemic fluorosis in the middle São Francisco river, Minas Gerais-Bahia, Brazil. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, v.3, p. 211-224, 2020. <http://dx.doi.org/10.29396/jgsb.2020.v3.n3.5>

VELÁSQUEZ, L.N.M.; FANTINEL, L. M.; FERREIRA, E.F.; CASTILHO, L.S.; UHLEIN, A.; VARGAS, A. M.D.; ARANHA, P. R. A. Fluorose dentária e anomalias de flúor na água subterrânea no município de São Francisco, Minas Gerais. In: SILVA, C.R.; FIGUEIREDO, B.R.; DE CAPITANI, E. M.; CUNHA, F. G. (Org). **Geologia Médica no Brasil: efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, p.110-117, 2006.

ZUO, H.; CHEN, L.; KONG, M., QIU, L.; LU, P.; WU, P. Toxic effects of fluoride on organisms. **Life Sciences**, v.198, p.18–24, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.02.001>

*Recebido em: 01/12/2023*

*Aprovado em: 21/12/2022*

*Publicado em: 06/02/2023*