

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

THIAGO HENRIQUE DA SILVA

**CONCENTRAÇÕES DE FLÚOR NO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NA
REGIÃO DE LONDRINA/PR E SUA RELEVÂNCIA PARA A SAÚDE HUMANA:
AVALIAÇÃO E CORRELATOS**

LONDRINA

2023

THIAGO HENRIQUE DA SILVA

**CONCENTRAÇÕES DE FLÚOR NO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NA
REGIÃO DE LONDRINA/PR E SUA RELEVÂNCIA PARA A SAÚDE HUMANA:
AVALIAÇÃO E CORRELATOS**

**Fluoride Concentrations in the Serra Geral Aquifer System at Londrina/PR
Region and Their Relevance to Human Health: Evaluation and Correlates**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Pr. Dr. Maurício Moreira dos Santos

LONDRINA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

THIAGO HENRIQUE DA SILVA

**CONCENTRAÇÕES DE FLÚOR NO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NA
REGIÃO DE LONDRINA/PR E SUA RELEVÂNCIA PARA A SAÚDE HUMANA:
AVALIAÇÃO E CORRELATOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 08/Dezembro/2023

Ligia Flávia Antunes Batista
Dra. em Ciências Cartográficas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

André Luis dos Santos Silva
Dr. em Ciências da Reabilitação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Maurício Moreira dos Santos
Dr. em Geociências e Meio Ambiente
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

LONDRINA

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a meu orientador, professor e querido amigo Dr. Maurício Moreira dos Santos, a quem nunca faltou paciência e apoio ao longo não só deste trabalho, mas também, de todo o tempo de convívio acadêmico, por toda parceria

Estendo minha gratidão a professora Dra. Ligia Flávia Antunes Batista pelas sugestões, sua expertise foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo. Agradeço também ao Dr. André Luis dos Santos Silva, sempre com insights inspiradores e sugestões assertivas.

Seria impossível nominar a todos que fizeram e fazem parte dessa jornada e contribuíram para este momento, mas de modo especial agradeço a Rosângela, doce e querida “Tia Fia”, primeira a incentivar e acreditar, e fez tornar o sonho possível. Ao amigo e irmão Weliton Arashi, que não mediu esforços para dar suporte me e apoiar nessa trajetória. Agradeço também a Paula, por toda ajuda, apoio e incentivo nos momentos difíceis.

RESUMO

SILVA T., H. **Concentrações de Flúor no Sistema Aquífero Serra Geral na Região de Londrina/PR e sua Relevância Para a Saúde Humana: Avaliação E Correlatos.** 2023. 72 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária). Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina. 2023.

Águas subterrâneas são amplamente utilizadas para dessedentação humana, em sua grande maioria apresentam uma qualidade química excelente. No entanto, a concentração acima dos níveis recomendados de alguns elementos pode incorrer em riscos à saúde. Um desses é o Flúor, elemento encontrado nas águas em forma de fluoretos. Se consumido em pequenas quantidades traz ganhos à saúde pública, pela prevenção da cárie dentária. A portaria nº 635 de dezembro de 1975 do Ministério da saúde, definiu que os as águas do sistema de abastecimento urbano devem ser acrescidas de flúor, delimitou também valores máximos para consumo humano de acordo com a temperatura máxima diária, sendo o recomendado o valor de 0,8 a 1,7 mg/L. O valor máximo permitido de 1,5 mg/L que é o parâmetro atual, foi definido pela a Portaria de Consolidação nº5 de 28 de setembro de 2017. Algumas morbidades podem estar associadas a contaminação crônica pelo excesso de flúor na água, algumas delas são a fluorose dentária e esquelética, neoplasia nos ossos, disfunções renais, problemas no fígado e tireóide. Sabendo que a maioria dos municípios que compõe a 17ª RS, são abastecidos exclusivamente por água subterrânea, é necessário analisar a distribuição hidroquímica por meio dos compostos iônicos dissolvidos no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). Utilizando o banco de dados Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e do Instituto Água e Terra (IAT) foi possível fazer o balanço iônico e a construção dos diagramas de Stiff e de Piper, classificando então as águas como Bicarbonatadas Cálcicas, Bicarbonatadas Mistas e Bicarbonatadas Sódicas. A espacialização dos dados obtidos permitiu avaliar a concentração de flúor média, sendo Cafeara o município que apresentou a maior concentração, sendo 3,47 (mg/L) por 100 mil habitantes. Correlacionando a espacialização do flúor na área de interesse com as morbidades registradas no - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS), foi possível determinar a taxa de prevalência de neoplasia óssea, sendo Centenário do Sul com uma taxa de 3,16 casos/100 mil habitantes sendo o município mais preocupante. Para transtornos de dentes e estruturas de suporte o valor máximo atingido foi de 0,92 casos/100 mil habitantes por Pitangueiras. Foi avaliado também o índice de riscos à saúde não cancerígenos associados ao flúor em águas subterrâneas, mostrando a vulnerabilidade e riscos à saúde de crianças.

Palavras chaves: Fluorose; Água subterrânea; Geologia Médica; Anomalia hidroquímica,

ABSTRACT

SILVA T., H. **Fluoride Concentrations in the Serra Geral Aquifer System at Londrina/PR Region And Their Relevance to Human Health: Evaluation and Correlates.** 2023. 72 p. Term paper (Bachelor of Environmental and Sanitary Engineering). – Course of Environmental Engineering and Sanitary - Federal Technological University of Parana (UTFPR), Londrina, 2023.

Groundwater is widely used for human consumption, and, for the most part, it exhibits excellent chemical quality. However, concentrations above recommended levels of certain elements can pose health risks. One such element is Fluoride, found in water in the form of fluorides. When consumed in small quantities, it contributes to public health by preventing dental caries. Decree No. 635 of December 1975 from the Ministry of Health defined that urban water supply systems should be fluoridated, also setting maximum values for human consumption based on the maximum daily temperature. The recommended range is 0.8 to 1.7 mg/L. The current maximum allowed value of 1.5 mg/L was defined by Consolidation Ordinance No. 5 of September 28, 2017. Some health issues may be associated with chronic contamination due to excess fluoride in water, including dental and skeletal fluorosis, bone neoplasms, kidney dysfunction, liver and thyroid problems. Considering that most municipalities in the 17th Health Region are exclusively supplied with groundwater, it is necessary to analyze the hydrochemical distribution through the dissolved ionic compounds in the Serra Geral Aquifer System (SASG). Using the Groundwater Information System (SIAGAS) and data from the Water and Land Institute (IAT), it was possible to perform the ionic balance and construct Stiff and Piper diagrams, classifying the waters as Calcic Bicarbonates, Mixed Bicarbonates, and Sodium Bicarbonates. Spatializing the obtained data allowed the evaluation of the average fluoride concentration, with Cafeara being the municipality with the highest concentration at 3.47 (mg/L) per 100 thousand inhabitants. Correlating the spatialization of fluoride in the area of interest with the recorded morbidities in the Unified Health System Hospital Information System (SIH/SUS), it was possible to determine the prevalence rate of bone neoplasms, with Centenário do Sul being the most concerning municipality with a rate of 3.16 cases per 100 thousand inhabitants. For disorders of teeth and supporting structures, the maximum value reached was 0.92 cases per 100 thousand inhabitants in Pitangueiras. The non-cancerous health risk index associated with fluoride in groundwater was also evaluated, showing the vulnerability and health risks for children.

Keywords: Fluorosis; Groundwater; Medical Geology; Hydrochemical Anomaly.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema do comportamento de zonas saturadas e não saturadas no subsolo.....	18
Figura 2 – Esquema representativo do aquífero confinado	19
Figura 3 - Tipos de aquíferos	20
Figura 4 – Extensão do SASG no estado do Paraná.....	22
Figura 5 – Exemplo dos minerais de fluorita (a) e fluorapatita (b).....	23
Figura 6 – Fluorose dentária na forma leve	25
Figura 7 – Fluorose dentária na forma moderada e grave.....	25
Figura 8 – Fluorose sistêmica	26
Figura 9 - Mapa de localização dos municípios pertencentes a 17ª Regional de Saúde	29
Figura 10 - Mapa das unidades geológicas.....	32
Figura 11 - Mapa hidrogeológico	33
Figura 12 - Mapa pedológico	35
Figura 13 - Mapa da classificação climática	36
Figura 14 – Etapas da avaliação da concentração de flúor no SASG	37
Figura 15 – Etapas de obtenção dos dados no TABNET	38
Figura 16 - Desenho esquemático do diagrama Piper	41
Figura 17 - Desenho esquemático exibindo o diagrama de Stiff	42
Figura 18 – Resultado do cross-validation error para a krigagem ordinária	45
Figura 19 - Mapa de localização dos polos tubulares profundos perfurados....	46
Figura 20 – Balanço iônico por meio do programa GDA	47
Figura 21 – Diagrama de Piper	49
Figura 22 – Mapa da distribuição dos diagramas de Stiff.....	50
Figura 23 – Gráfico da concentração de flúor nos poços analisados	51
Figura 24 – Mapa da distribuição espacial da concentração de Flúor	53
Figura 25 – Mapa da distribuição espacial dos poços pela concentração de Flúor	55
Figura 26 – Gráfico da taxa de concentração de flúor	56
Figura 27 – Gráfico de prevalência em patologias apontadas como possíveis efeitos nocivos à exposição ao flúor (Jan/2008 à Set/2023).....	58
Figura 28 – Diagrama de Pareto para as taxas de neoplasia na área de estudo.....	59
Figura 29 – Diagrama de Pareto para as taxas de transtornos de dentes e estruturas de suporte	59
Figura 30 – Mapa de distribuição espacial de índice de riscos à saúde não cancerígenos associados ao flúor em águas subterrâneas (HQ) - Adulto.....	62
Figura 31 – Mapa de distribuição espacial de índice de riscos à saúde não cancerígenos associados ao flúor em águas subterrâneas (HQ) - Criança.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Concentrações médias de fluoreto nos principais ambientes aquáticos.....	23
Tabela 2- Efeitos do flúor dissolvido em água, sobre a saúde humana.....	26
Tabela 3- Limites recomendados para a concentração de íon fluoreto em função das temperaturas máximas diárias	27
Tabela 4- Concentração de fluoreto permitido pela legislação brasileira	27
Tabela 5- Padrões e valores orientados para fluoretos	28
Tabela 6- Características referentes aos municípios da 17 RS.....	29
Tabela 7- Resultado da classificação hidroquímica dos poços amostrados.....	48
Tabela 8- Poços com VMP entre 0,8 a 1,5 mg/L.....	54
Tabela 9 – Número de casos e taxas para neoplasia no osso e transtornos nos dentes.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
m ³ /h	Metros cúbicos por hora
CE	Condutividade elétrica
DATASUS	Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil
DCL	Dose Letal Definitiva
FIT	Ficha de informação Toxicológica
DPT	Nível Provável de Toxicidade
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IAT	Instituto Água e Terra
ITCG	Instituto de Terras, Cartografias e Geografia
μS/cm	Microsiemens por centímetro (medida de condutividade elétrica)
m.a.	Milhões de anos
Mg/L	Miligramas por litro
NO	Direção noroeste
OMS	Organização Mundial de Saúde
Ppm	Partes por milhão
km ²	Quilômetro Quadrado
RS	Regional de Saúde
SASG	Sistema Aquífero Serra Geral
SO	Direção sudoeste
SIG	Sistema de Informação Geográfica
Cfa	Tipo Climático Subtropical Mesotérmico Úmido
SIH/SUS	Sistema de Informações Hospitalares do SUS
SUS	Sistema Único de Saúde
Cfb	Tipo Climático Clima temperado
VMP	Valor Máximo Permitido

LISTA DE SÍMBOLOS

(As)	Arsênio
(B ⁺³)	Boro
(Ba ⁺²)	Bário
(Br)	Brometo
(Ca ⁺²)	Cálcio
(Ca ₅ (PO ₄) ₃)	Fluorapatita
(CaF ₂)	Fluorita
(Cd ⁺²)	Cádmio
(Cl)	Cloreto
(CO ₃)	Carbonato
(Cr)	Cromo
(Cu ⁺)	Cobre
(F)	Fluoreto
(Fe)	Ferro
(HCO ₃)	Bicarbonato
(Hg)	Mercúrio
(K ⁺)	Potássio
(Mg ⁺²)	Magnésio
(MgF ₂)	Sellaíta
(Mn)	Manganês
(Na ⁺)	Sódio
(NO ₃)	Nitrato
(O ₂)	Óxido
(OH)	Hidroxila
(Pb)	Chumbo
(Sb)	Antimônio
(Se)	Selênio
(Si)	Silício
(SO ₄)	Sulfato
(Sr ⁺²)	Estrôncio
(Zn ⁺²)	Zinco
(F)	Flúor
(F ⁻)	Íon fluoreto
kcal	Quilocaloria
°C	Graus Celsius (medida de temperatura)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1	Águas Subterrâneas.....	17
3.2	Classificação dos Aquíferos.....	18
3.2.1	Classificação pela pressão	19
3.2.2	Classificação pela permoporosidade	19
3.3	Flúor	22
3.3.1	Concentrações naturais de flúor no meio ambiente	22
3.3.2	Impactos do flúor na saúde pública	24
3.3.3	Evolução de normas reguladoras no Brasil	27
4	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	28
4.1	Localização	28
4.2	Geologia	30
4.3	Hidrogeologia	32
4.4	Pedologia	34
4.5	Clima.....	35
5	MATERIAIS E METODOS	37
5.1	Coleta de dados.....	37
5.1.1	Seleção dos Poços Tubulares Profundos.....	37
5.1.2	Dados sobre doenças relacionadas ao flúor	38
5.2	Utilização da Ferramenta SIG.....	39
5.3	Análise hidroquímica	39
5.3.1	Balanço iônico	40
5.3.2	Diagrama de Piper.....	40
5.4	Diagrama de Stiff.....	41
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
6.1	Análise Espacial	45
6.2	Espacialização dos poços	45
6.3	Avaliação Hidroquímica.....	47
6.3.1	Cálculo do balanço iônico.....	47

6.3.2	Classificação hidroquímica.....	47
6.3.3	Análise do diagrama de Piper	48
6.3.4	Análise do diagrama de Stiff.....	49
6.4	Avaliação da concentração de flúor	51
6.5	Determinação da concentração média de flúor por habitante	56
6.6	Avaliação dos dados sobre a saúde potencialmente relacionadas a exposição ao flúor.....	57
6.7	Avaliação do risco potencial a saúde humana provocada pela exposição de flúor.....	61
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural presente em todos os aspectos históricos e evolutivos da civilização humana, seja como componente bioquímico dos organismos vivos, meio de vida para espécies animais, como elementos representativos de valores sociais e culturais e também como fatores de produção de diversos bens de consumo finais e intermediários. Seu uso promove o progresso, contribuindo para o crescimento econômico, erradicação da pobreza, promoção da dignidade humana e o bem-estar das populações (HIRATA, *et al.*, 2019).

A qualidade das águas subterrâneas é influenciada por uma complexa interação de fatores naturais, geológicos, climáticos e antropogênicos. Em áreas onde a atividade humana não exerce impacto, a qualidade das águas subterrâneas é resultante da intrincada interação geoquímica entre a água e as rochas presentes no fluxo subterrâneo. Em termos gerais, a concentração total de sólidos dissolvidos na água subterrânea tende a aumentar conforme a duração do contato com os materiais solúveis que compõem a camada aquosa. Esse fenômeno destaca a importância da compreensão dos processos geoquímicos subjacentes para avaliar e monitorar eficazmente a qualidade das águas subterrâneas (SZIKSZAY, 1993).

A qualidade da água é determinada pelos seguintes parâmetros físicos e químicos: Sólidos Totais Dissolvidos (STD), alcalinidade Total, Bicarbonato, Cálcio, Carbonato, Cloreto, Dureza Total, Ferro, Fluoreto, Fosfato, Magnésio, Nitrato, Nitrito, Potássio, Sílica Dissolvida, Sódio e Sulfato (BRASIL, 2014).

Encontrado na natureza o flúor é o 13º elemento mais abundante. Pertencente ao grupo 17 da tabela periódica conhecido como grupo dos halogênios, de coloração amarelo-pálida é o elemento mais eletronegativo da tabela periódica, grande capacidade de reagir com outros elementos químicos e formar compostos orgânicos e inorgânicos (PECKHAN, 2014).

A intoxicação crônica por flúor mais conhecida é a fluorose dentária, caracterizada como um distúrbio do desenvolvimento dos dentes associado a alterações do esmalte que levam ao aumento da porosidade, turvação, descoloração e erosão do esmalte. Além da perda do esmalte dentário causar alterações estéticas, quando aparecem manchas brancas, marrons e até pretas em sua superfície, pode causar deformações anatômicas nos dentes, o que em alguns casos leva à perda dos mesmos. A doença é causada pelo consumo prolongado de flúor acima dos limites,

durante a fase de formação do esmalte, ou seja, desde o nascimento da criança até idade de quatro a cinco anos (FEJERSKOV *et al.*, 1991).

Para além da fluorose dentária, a ingestão em excesso do flúor pode implicar em alterações sistêmicas do organismo humano, como osteoesclerose, calcificações de ligamentos e, muitas vezes, acompanhada de osteoporose, osteomalácia ou osteopenia (MOYSÉS, *et al.*, 2002). Nesse sentido Peckhan (2014) ainda cita outros problemas associados ao flúor como défices cognitivos, hipotireoidismo e alterações enzimáticas e eletrolíticas.

A fluorose dentária é bem conhecida hoje – foi observada e descrita por outros autores, como Morichini em 1805 e Eager em 1901. No entanto, é mérito de McKay perceber que as crianças em certas áreas não havia dentes manchados, mas naquelas áreas, a taxa de cárie dentária é tão alta quanto em outras partes dos Estados Unidos. Ele então levantou a hipótese de que certos elementos químicos presentes na água seriam os responsáveis pela diferença. A formulação desta hipótese levou ao início de estudos de água em vários locais onde as populações tinham dentes manchados (MCKAY, 1928).

No Brasil, desde 1974, por meio da Lei federal 6.050 e decretos a fluoretação da água se tornou obrigatória onde existe uma estação de tratamento de água. O estabelecimento de normas legais sobre o tema foi fundamental para promover o processo de fluoretação em todo o país e facilitar a destinação de recursos (ZILBOVICIUS; FERREIRA; NARVAI, 2018; BRASIL, 1974).

Ezaqui (2014) percebeu anomalias da concentração de flúor no estado de São Paulo. O mesmo foi observado por Santiago (2010), encontrando ocorrências anômalas de fluoreto em águas subterrâneas na região de Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul, corroborando com Nanni (2008), que fez uma análise profunda da origem do flúor no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) e observou os padrões de distribuição geoquímica dos fluoretos no estado.

A Pesquisa Nacional de Saúde Bucal de 2010 apontou que 16,7% das crianças brasileiras de 12 anos apresentavam fluorose, sendo 15,1% com doença muito leve (10,8%) e leve (3%). A fluorose moderada foi encontrada em apenas 1,5% das crianças, e os resultados de fluorose grave foram contabilizados como zero em todo o país. Na região Sul, 1,8% das crianças analisadas apresentaram alguma fluorose, sendo 10,1% muito leve, 6,9% leve e 2,1% moderada (BRASIL, 2012).

A necessidade de efetivação de uma gestão integrada de dados informacionais e espaciais, é imprescindível para gestão da saúde. Os SIGs se mostram ferramentas que possibilitam a sobreposição de informações pertinentes ao assunto, dando a possibilidade de uma nova visão sobre os dados existentes (GUIMARÃES, 2020).

Câmara (2011) define o termo geoprocessamento como área de habilidade que utiliza técnicas computacionais e matemáticas para processar, armazenar e manipular dados geográficos para fins definidos pelo usuário. Para este autor, o principal objetivo é fornecer ferramentas informáticas “possibilitando a construção temporal, espacial e geográfico e sua relação com diferentes fenômenos”. Barcellos, (1996) já previa a necessidade do uso de ferramentas geoespaciais para compreender os fenômenos relacionados a saúde humana.

“O geoprocessamento de informações ambientais e de saúde permite, antes de mais nada, a identificação de variáveis que revelem a estrutura social, econômica e ambiental, onde riscos à saúde estão presentes.” (BARCELLOS e BASTOS, 1996, p. 396).

Ante as novas tecnologias de análises espaciais, realizar a gestão integrada de informações e dados é essencial para a compreensão das informações relacionadas a saúde. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) é uma ferramenta poderosa, que podem armazenar, processar e interpretar melhor esses dados, permitindo a sobreposição de informações relacionadas.

Com recentes estudos identificando anomalias nas concentrações de flúor em águas utilizadas para o abastecimento urbano advindas do SASG, avaliar e compreender esse comportamento atípico se torna necessário (SANTOS, 2019).

A partir das premissas apresentadas, o presente estudo visa avaliar, por meio de análises espaciais, a distribuição de flúor no SASG em território geográfico formado pelos municípios da 17^o regional de saúde, buscando identificar a existência ou não de regiões anômalas de concentração e possíveis riscos à saúde humana.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar as concentrações de flúor em poços tubulares profundos no SASG encontrados nos 21 municípios que compõe a 17 regional de saúde – Londrina, correlacionando as classificações hidroquímicas a possíveis riscos à saúde humana.

2.2 Objetivos específicos

- Estruturar um banco de dados georreferenciado de poços tubulares inseridos no SASG na área de estudo contendo análises químicas;
- Identificar e analisar possíveis intercâmbios entre aquíferos por meio da espacialização dos dados hidroquímicos;
- Verificar a ocorrência de anomalias espaciais de concentrações de flúor que superam os limites previstos na legislação e possíveis riscos à saúde;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas são aquelas com ocorrência no subsolo, preenchendo os espaços vazios (poros) principalmente dos materiais intergranulares. Já os aquíferos podem ser definidos como camadas de solo ou formações rochosas com capacidade de armazenar e transmitir a água em volume suficiente, inclusive, para possível extração destinado a atender a demanda por recursos hídricos da sociedade, como por exemplo o abastecimento urbano (FILHO et al., 2011).

Ainda Filho, et al., (2011), complementa citando como a precipitação de água se infiltra e percola no solo, tal mecanismo está invariavelmente associado com alguns fatores como, porosidade do subsolo, cobertura vegetal, declividade do terreno e a intensidade da chuva precipitada.

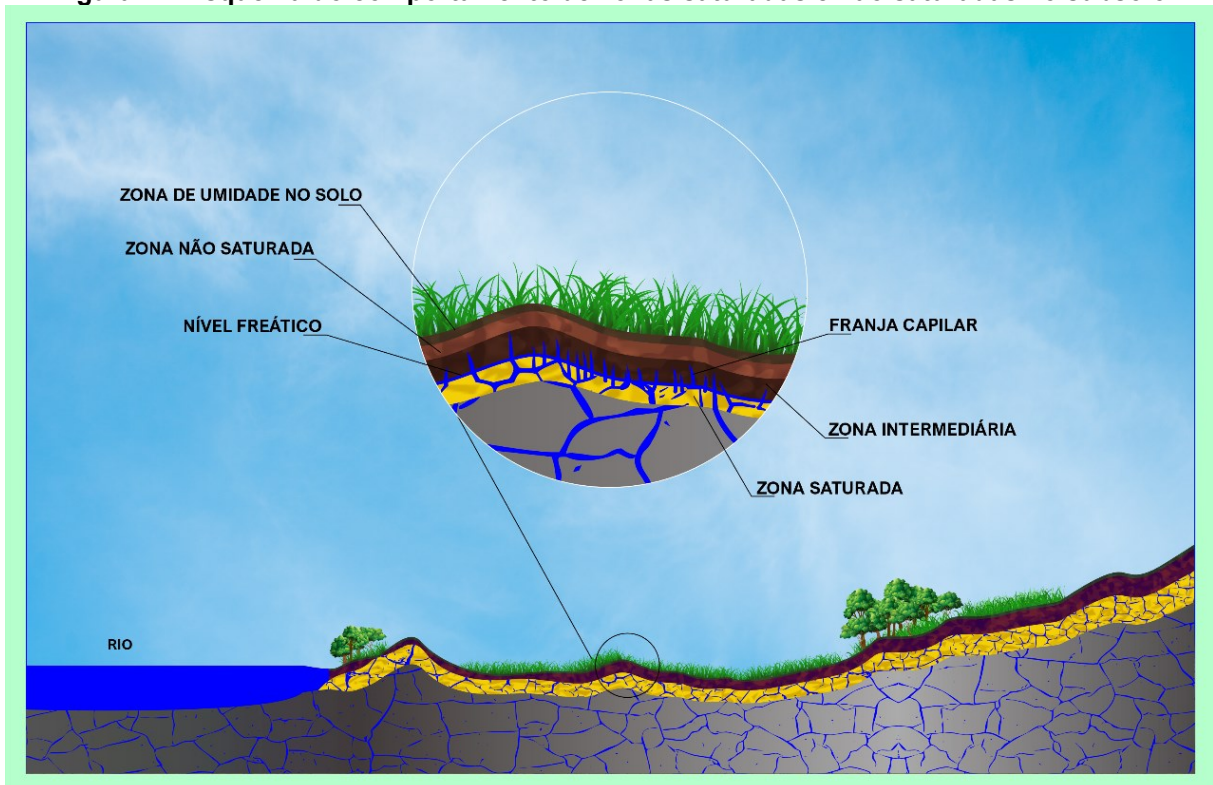
Durante o processo de infiltração, parte da água é retida nas regiões superficiais do solo devido à força de adesão ou capilaridade, formando a zona não saturada, tendo como característica a distribuição homogênea de moléculas de H₂O aderida a partículas de solo. Simultaneamente, outra porção, influenciada pela gravidade, alcança as camadas mais profundas do subsolo, dando origem à zona saturada, já essa tem como característica o total preenchimentos dos poros e/ou fraturas. Sendo esse mecanismo o principal formador dos fluxos de água subterrâneos, formação de olhos d'água, e também sendo fonte de abastecimento em períodos de estiagens para rios (BOSCARDIN; BORGHETTI.; DA ROSA FILHO, 2011).

Ainda nesse contexto pode-se analisar as seguintes zonas de umidade presentes no solo, ilustrados pela Figura 1:

- Zona de umidade no solo: por estar próximo a superfície acaba perdendo água para a atmosfera, por conta desse processo, acaba por cristalizar sais na superfície do solo. Essa zona é importante para a vida vegetal, pois é onde as plantas obtêm água e nutrientes;
- Zona intermediária: A umidade nessa zona é menor do que na zona superficial, podendo sofrer forte influência do nível freático, uma vez que ele seja aflorante essa zona não existe;

- Franja capilar: por estar próximo à superfície freática a umidade presente é maior que as anteriores, devido à ação da água realizado pelas plantas presentes no solo;
- Zona Saturada: os poros ou fraturas das rochas são totalmente preenchidos por água nessa zona, o excedente de água da origem ao manancial subterrâneo;
- Zona não saturada: denominada também como zona de aeração, apresenta um preenchimento parcial por água, local onde ocorre a transpiração pelas raízes das plantas e a filtração por autodepuração;
- Nível freático: corresponde ao topo da zona saturada, atua como separador entre a zona saturada e a zona de aeração.

Figura 1 – Esquema do comportamento de zonas saturadas e não saturadas no subsolo



Fonte: Autoria Própria, 2023

3.2 Classificação dos Aquíferos

Fraga (1992) define hidrogeologicamente que um aquífero é baseado nas características do conjunto de fluxos de águas subterrâneos hidrodinamicamente semelhantes, interconectados, com presença de áreas de fluxo, carga e descarga.

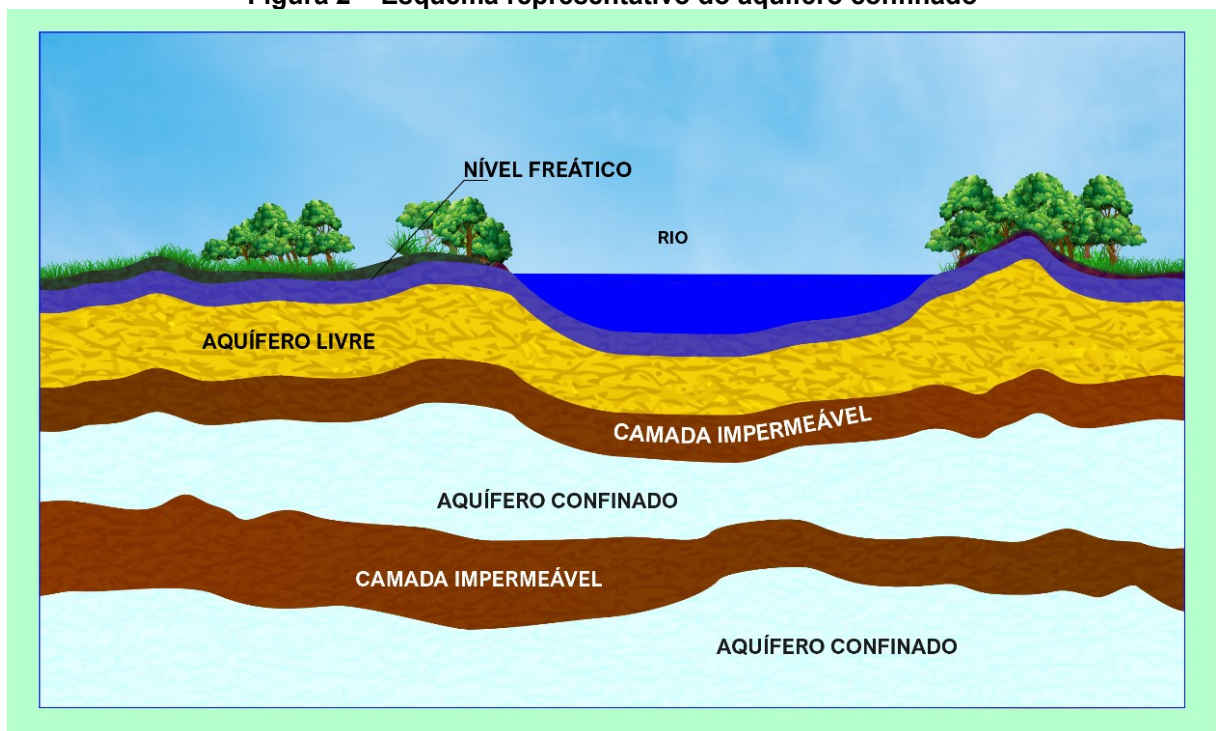
Sendo considerado para sua classificação também a pressão de água no sistema, conhecidos como aquíferos confinados ou livres (HASUI et al. 2012).

3.2.1 Classificação pela pressão

Para distinguir os aquíferos de acordo com a pressão, tem-se que observar as suas superfícies limítrofes, inferior (base) e superior (topo). Os aquíferos confinados possuem pressão no seu topo maiores que a pressão atmosférica, possuindo duas características, podendo ser não drenantes, isto é, as camadas limítrofes são impermeáveis ou então podendo ser drenantes, onde umas das camadas limítrofes é semipermeável (FEITOSA et al., 2009).

Feitosa (2009), ainda descreve que o aquífero livre, tem sua pressão igual a atmosférica, quando ocorre precipitação a água da chuva o alimenta e seu limite superior é a superfície freática ou de saturação.

Figura 2 – Esquema representativo do aquífero confinado



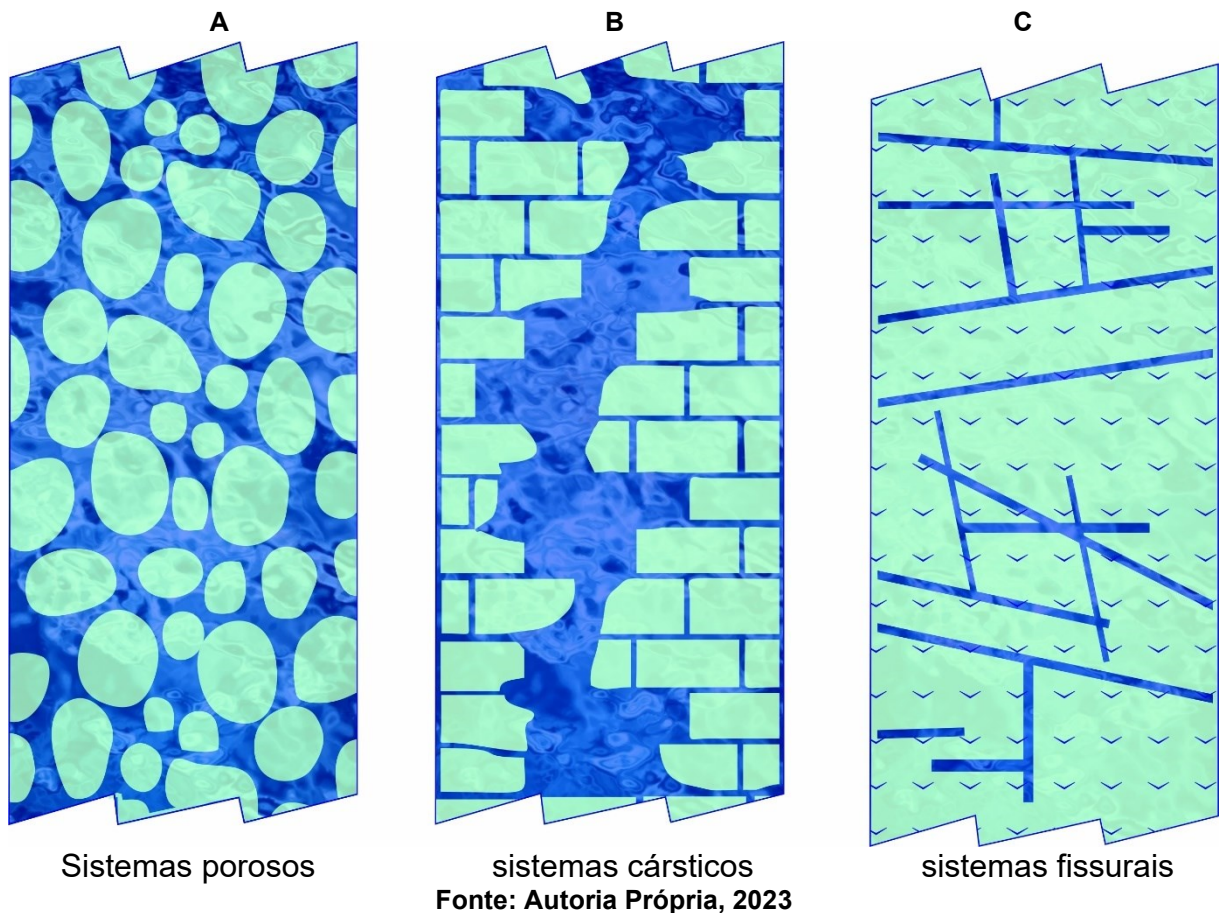
Fonte: Autoria Própria, 2023

3.2.2 Classificação pela permoporosidade

As águas subterrâneas do Brasil têm uma variedade de bacias, desde fendas no leito rochoso cristalino até depósitos sedimentares do Cenozoico. Essa

diversificação deu origem a sistemas hídricos que podem ser agrupados quanto ao seu comportamento em: a) sistemas porosos (rochas sedimentares); b) sistemas cársticos (rochas cársticas com fraturas ou descontínuas, suscetíveis aos processos de dissolução cárstica); c) sistemas fissurais (rochas cristalinas e cristalofilianas). Na Figura 3 é possível verificar os três tipos de aquífero quanto à porosidade (LIMA, 2001).

Figura 3 - Tipos de aquíferos



4.3 Sistema Aquífero Serra Geral (SASG)

Leiz (1949) caracterizou que as rochas da Formação Serra Geral apresentam textura microcristalina, tal estrutura está diretamente ligada à sua gênese de formação, marcada pela característica de derrames intermitentes de lava.

Já Rosa Filho (1987 apud BITTENCOURT, 2003) concorda que os fluxos de derrames formaram unidades sobrepostas com continuidade lateral e vertical e sendo limitadas pelo movimento de lava, resfriamento e conteúdo de gás. A estrutura dos

derrames pode ser caracterizada por uma zona basal, zona intermediária e uma zona superior de derrame vesicular e/ou amigdalóide bem característica.

Aquíferos fraturados se formam como resultado de processos tectônicos. Aqui, o processo de falha cria um sistema de fratura que normalmente é fechado devido à espessura da camada de basalto. As aberturas causadas pelas fraturas permitem a intrusão de água nas fissuras, e devido a expansão da rocha pelo relaxamento das tensões litoestáticas causadas pelo desgaste (erosão) das rochas das camadas externas, possibilitam o surgimento de mais fraturas (FRAGA, 1986).

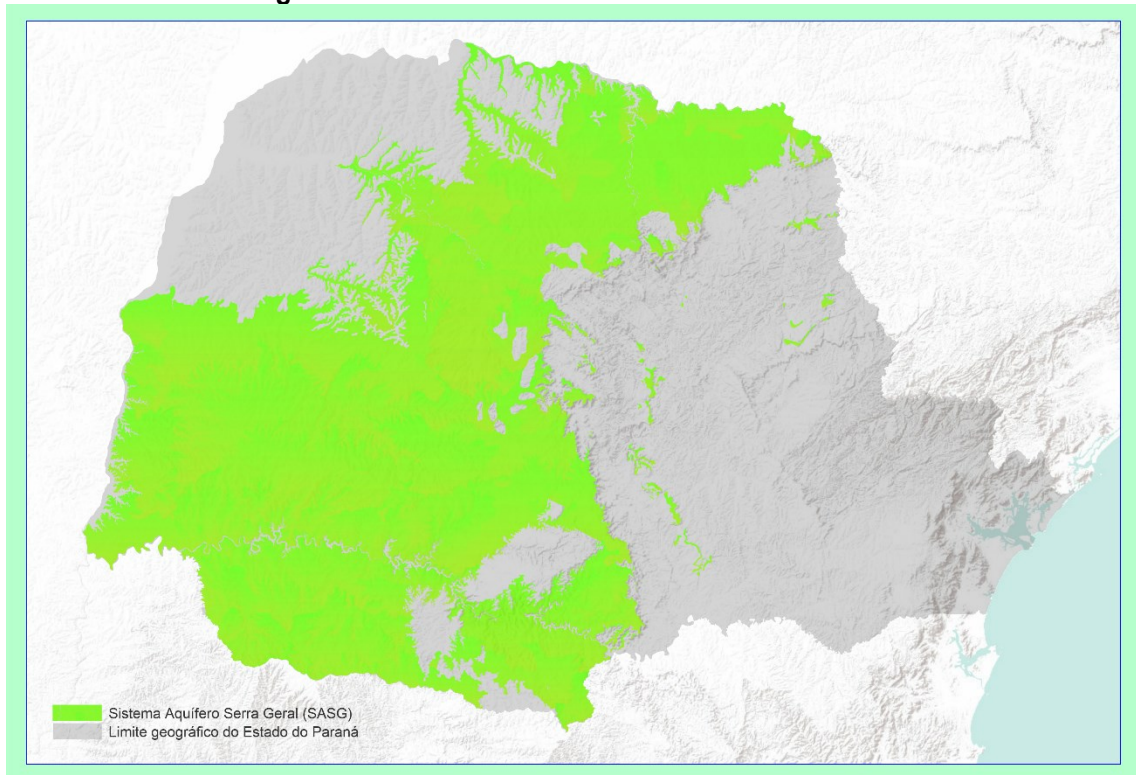
O fluxo de água é criado quando ocorre um sistema conectado de fraturas. A tectônica frágil é um pré-requisito importante para as propriedades hidrogeológicas e hidroquímicas, como mostram os estudos do sistema aquífero Serra Geral (MACHADO, 2005).

A maioria das substâncias dissolvidas nas águas subterrâneas encontram-se em estado iônico. A sílica ocorre sob a forma de partículas coloidais (SiO_4^{4-}). Os íons mais frequentes observados são os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ e os ânions HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- e SO_4^{2-} . As diferentes concentrações de espécies naturais dissolvidas nas águas estão diretamente ligadas ao grau de intemperismo e dissolução de minerais, principalmente os carbonatos e silicatos.

As interações geoquímicas entre água e as rochas que compõem os aquíferos ao longo das zonas de recarga e escoamento são os fatores decisivos que definem sua característica química. Portanto, quanto mais tempo a água estiver em contato com os materiais solúveis que compõem o aquífero, maior será o seu total de sólidos dissolvidos.

As tipologias de água também podem ser afetadas pela mistura de água de diferentes aquíferos. Sabe-se que a água bicarbonatada calcítica é principal classe de água do aquífero Serra Geral (ROSA FILHO, 2006).

Figura 4 – Extensão do SASG no estado do Paraná



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020); (INDE, 2010)

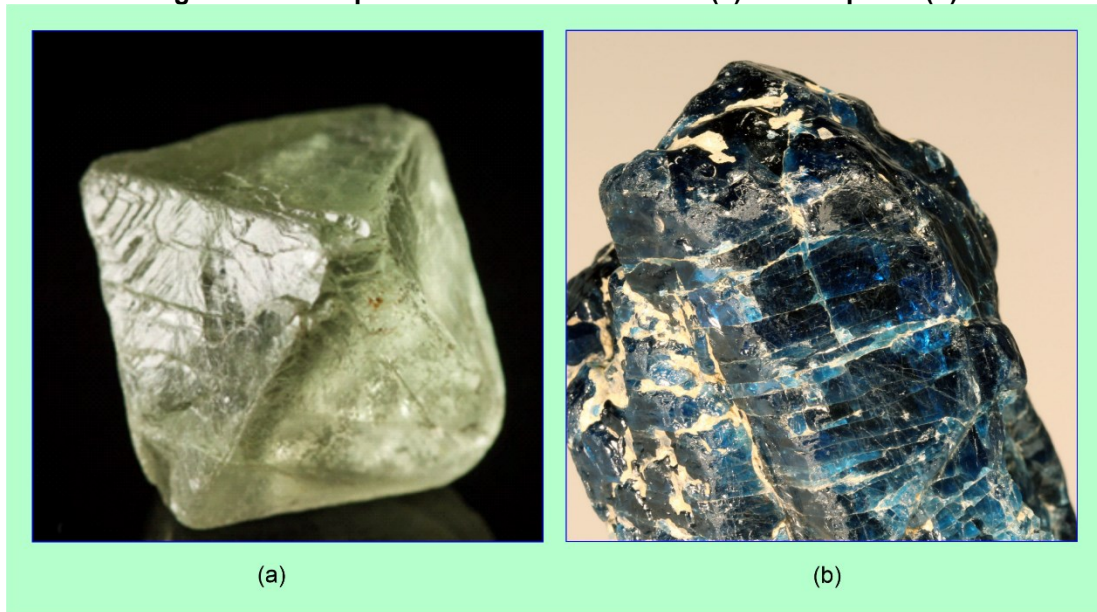
3.3 Flúor

3.3.1 Concentrações naturais de flúor no meio ambiente

O íon fluoreto pode ocorrer em soluções e retículos minerais, substituindo os íons negativos na forma de óxido (O^{2-}) e hidroxila (OH^-). Essa substituição se dá pela similaridade dos raios iônicos do F^- com o O^{2-} e com o OH^- . Em minerais, como a fluorita (CaF_2), a fluorapatita ($Ca_5(PO_4)_3F$) conforme apresentados na Figura 5. O flúor pode trocar com a hidroxila, essa troca pode ocorrer na estrutura cristalina na fase de cristalização.

No processo da cristalização magmática, assim o flúor tende a se concentrar. Além disso, durante o percurso das águas, novos minerais acabam se precipitando, como o caso da sellaita (MgF_2), da fluorita (CaF_2) e da criolita (Na_3AlF_6) (ALVES, J.; CALIXTO, M.; BALTAR, C. M., 2005).

Figura 5 – Exemplo dos minerais de fluorita (a) e fluorapatita (b)



Fonte: (a) Instituto de Geociências – USP, 2023; (b) MM Gerdau Tainacan, 2023

Frazão (2011) explica que quantidade de íons fluoreto na água apresenta variações dependendo da origem da fonte hídrica. Em corpos d'água superficiais, a concentração de flúor geralmente é reduzida devido à sua adsorção em partículas de argila e outros materiais. Já em águas subterrâneas, a concentração de flúor pode ser mais elevada, uma vez que esse elemento pode se concentrar durante o processo de cristalização magmática ou por meio da precipitação de minerais contendo flúor, conforme descrito.

Nesse sentido Nanni, (2008) demonstra as concentrações médias de fluoretos em ambiente aquático na Tabela 1 e ainda complementa apontando que atividades de origem humana, como a agricultura com a aplicação de fertilizantes, bem como fontes industriais, incluindo a indústria de alumínio e a fabricação de fertilizantes, têm o potencial de significativamente elevar os níveis de fluoreto.

Tabela 1- Concentrações médias de fluoreto nos principais ambientes aquáticos

Águas não poluídas	Concentrações médias – mg/L
Águas subterrâneas	0,1 – 3,0
Águas superficiais	0,1 - 0,4
Maioria dos rios do mundo	0,01 – 0,02
Oceanos	0.3 - 1.3

Fonte: Modificado de NANNI (2008)

3.3.2 Impactos do flúor na saúde pública

O flúor é um importante elemento para a saúde humana, especialmente para a saúde bucal. A fluoretação das águas de abastecimento público é um método efetivo e de baixo custo para a prevenção de cáries dentárias (VIEGAS, 1989). A sua utilização no abastecimento público teve o início em 1945 nos Estados Unidos e Canadá e, atentando-se ao resultado de sua eficácia no controle da cárie dentária, esta medida foi expandida para diversas regiões do planeta.

Ainda que o flúor traga benefícios a saúde bucal da população, devemos nos atentar aos seus efeitos negativos, especialmente aos grupos de risco, como crianças, grávidas, idosos (KRUL *et al.*, 2017). Os efeitos tóxicos do flúor dependem de vários fatores e podem ser agudos ou crônicos. A toxicidade aguda pode ocorrer após a ingestão acidental de grandes quantidades de flúor de uma só vez e geralmente possui sintomas de náuseas e vômitos (DANTAS e DOMINGUES, 1996).

Não obstante, a ingestão de grandes concentrações pode ocasionar óbito (WHITFORD, 2008) devido ao bloqueio do metabolismo celular, interferindo diretamente nos processos vitais do organismo. A quantidade de flúor necessária para produzir sintomas agudos está relacionada a massa corporal. O nível provável de toxicidade (DPT) foi estimado em 5,0 mg/kg e a dose letal definitiva (DCL) em 32-36 mg/kg (DANTAS e DOMINGUES, 1996).

Um outro tipo de contaminação é a toxicidade crônica, está associada à ingestão de altos níveis de flúor por um longo período de tempo, sendo a fluorose dentária o sintoma mais comum da intoxicação crônica por flúor no órgão do esmalte durante sua formação (DANTAS e DOMINGUES, 1996), também podendo ocasionar distúrbios gástricos e fluorose esquelética (WHITFORD, 1996).

A fluorose dentária, resultante do excesso de ingestão de fluoretos durante a formação do esmalte dentário, é a forma mais comum de contaminação. Essa condição ocasiona efeitos adversos durante o processo de mineralização do esmalte, sendo provocada pela ingestão prolongada de substâncias fluoradas. (CANGUSSU *et al.*, 2002).

A fluorose dentária de forma leve (Figura 6) causa apenas alterações estéticas identificadas pela pigmentação branca do esmalte. A fluorose moderada (Figura 7) e grave, determinada por manchas amarelas ou marrons, além de defeitos

estruturais do esmalte, tem implicações estéticas, morfológicas e funcionais (MOYSÉS *et al.*, 2002).

Figura 6 – Fluorose dentária na forma leve



Fonte: Projeto SBBrasil 2010: Pesquisa Nacional de Saúde Bucal, 2012

Figura 7 – Fluorose dentária na forma moderada e grave



Fonte: Projeto SBBrasil 2010: Pesquisa Nacional de Saúde Bucal, 2012

A fluorose sistêmica (Figura 8) pode causar alterações esqueléticas, retardo do crescimento ósseo, deformidades ósseas e problemas nas articulações. Em adultos, a fluorose sistêmica pode causar alterações neurológicas, como dor de cabeça, dificuldade de concentração, problemas de memória e tremores. Também pode causar alterações nefrológicas, como aumento da pressão arterial, insuficiência renal e pedras nos rins., dentre outras (MOYSÉS *et al.*, 2002).

Figura 8 – Fluorose sistêmica



Fonte: INREM foundation,2023

Sabe-se que a depender da concentração e a relação de peso do indivíduo em contato com o flúor, se tem os benefícios ou então os danos causados pelo seu acúmulo. Cortecchi (2005 apud GUIMARÊS, 2007) apresentam na Tabela 2 a concentração de flúor e sua ação no organismo humano.

Tabela 2- Efeitos do flúor dissolvido em água, sobre a saúde humana

Concentração em mg/l	Efeitos sobre a saúde
0	Limitações do crescimento
0,0-0,5	Não evita cárie dental
0,5-1,5	Evita enfraquecimento dos dentes, com feitos benéficos sobre a saúde
1,5-4,0	Fluorose dental (manchas nos dentes)
4,0-10,0	Fluorose dental e Fluorose esquelética (dores nas costas e ossos do pescoço)
Acima de 10,0	Fluorose deformante

Fonte: Modificado de Guimarães (2007)

A avaliação da concentração de flúor, portanto, emerge como um parâmetro crucial na análise da qualidade da água potável. Isso se deve ao fato de que, independentemente do grau de severidade, as modificações funcionais e estéticas resultantes podem impactar o bem-estar dos indivíduos. Em situações mais críticas, tais alterações podem demandar intervenções odontológicas de alta complexidade, elevando a questão para o âmbito da saúde pública.

3.3.3 Evolução de normas reguladoras no Brasil

No Brasil, a fluoretação da água iniciou-se no ano de 1953. Em 1974 se tornou Lei federal de nº 6050, devendo ocorrer em estações de tratamento de água (BRASIL, 1974). Em 1975, foi criada a Portaria 635/75, no qual estabeleceu padrões e normas de fluoretação das águas, introduzindo os limites recomendados para concentrações de flúor em razão à temperatura média diária (Tabela 3).

Na década de 80 houve uma intensa disseminação do método e em 2006 mais de 100 milhões de pessoas tinham sido beneficiadas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2009).

Tabela 3- Limites recomendados para a concentração de íon fluoreto em função das temperaturas máximas diárias

Média das temperaturas máximas diárias do ar em °C	Concentração do íon fluoreto em mg/L		
	Mínimo	Máximo	Ótima
10,0 - 12,1	0,9	1,7	1,2
12,2 - 14,6	0,8	1,5	1,1
14,7 - 17,7	0,8	1,5	1,0
17,8 - 21,4	0,7	1,2	0,9
21,5 - 26,3	0,7	1,0	0,8
26,4 - 32,5	0,6	0,8	0,6

Fonte: Ministério da Saúde (1975)

A Portaria de Consolidação N°5, de 28 de setembro de 2017, definiu as normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde, normas e padrões sobre fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento destinada ao consumo humano e estipulou um valor máximo permitido (VMP) para o consumo humano de 1,5 mg/L (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017). A Tabela 4 o padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde

Tabela 4- Concentração de fluoreto permitido pela legislação brasileira

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido
Fluoreto	mg/L	1,5

Fonte: Ministério da Saúde (2017)

Já em 4 de maio de 2021, foi aprovada a Portaria GM/MS N° 888, alterou alguns itens da Portaria de Consolidação N°5, no entanto, no que tange os parâmetros de flúor se manteve como pode se ver no artigo abaixo:

Art. 37. A água potável deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco à saúde e cianotoxinas, expressos nos Anexos 7 e 8 do Anexo XX e demais disposições deste Anexo. (Origem: PRT MS/GM 2914/2011, Art. 37)

§ 1º No caso de adição de flúor (fluoretação), os valores recomendados para concentração de íon fluoreto devem observar a Portaria nº 635/GM/MS de 26 de dezembro de 1975, não podendo ultrapassar o VMP expresso na Tabela do Anexo 7 do Anexo XX (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021).

Outras resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), ainda complementam os parâmetros apresentados, é o que aponta a Ficha de Informação Toxicológica – FIT elaborada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que apresenta os valores máximos permitidos para ambientes aquáticos, apresentado na Tabela 5.

Tabela 5- Padrões e valores orientados para fluoretos

Meio	Concentração	Comentário	Referência
Água potável	1,5 mg/L	VMP (Padrão de Potabilidade)	Portaria GM/MS 888/2021
Água potável	0,7 mg/L 0,6 – 0,8 mg/L 0,8 – 1,0 mg/L*	Concentração ideal de íon fluoreto na água consumo humano	Resolução SS250/1995
Água subterrânea	1500 µg/L 2000 µg/L 1000 µg/L	VMP (consumo humano) ⁴ VMP (dessedentação) ⁴ VMP (irrigação) ⁴	CONAMA 396/2008
Águas doces	1,4 mg/L	VM (classes 1, 2 e 3)	CONAMA 357/2005
Águas salinas	1,4 mg/L	VM (classe 1 e 2)	CONAMA 357/2005
Águas salobras	1,4 mg/L	VM (classe 1 e 2)	CONAMA 357/2005
Efluentes	10,0 mg/L	VM (Padrão de lançamento)	CONAMA 430/2011

Fonte: Modificado de CETESB (2014)

4 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

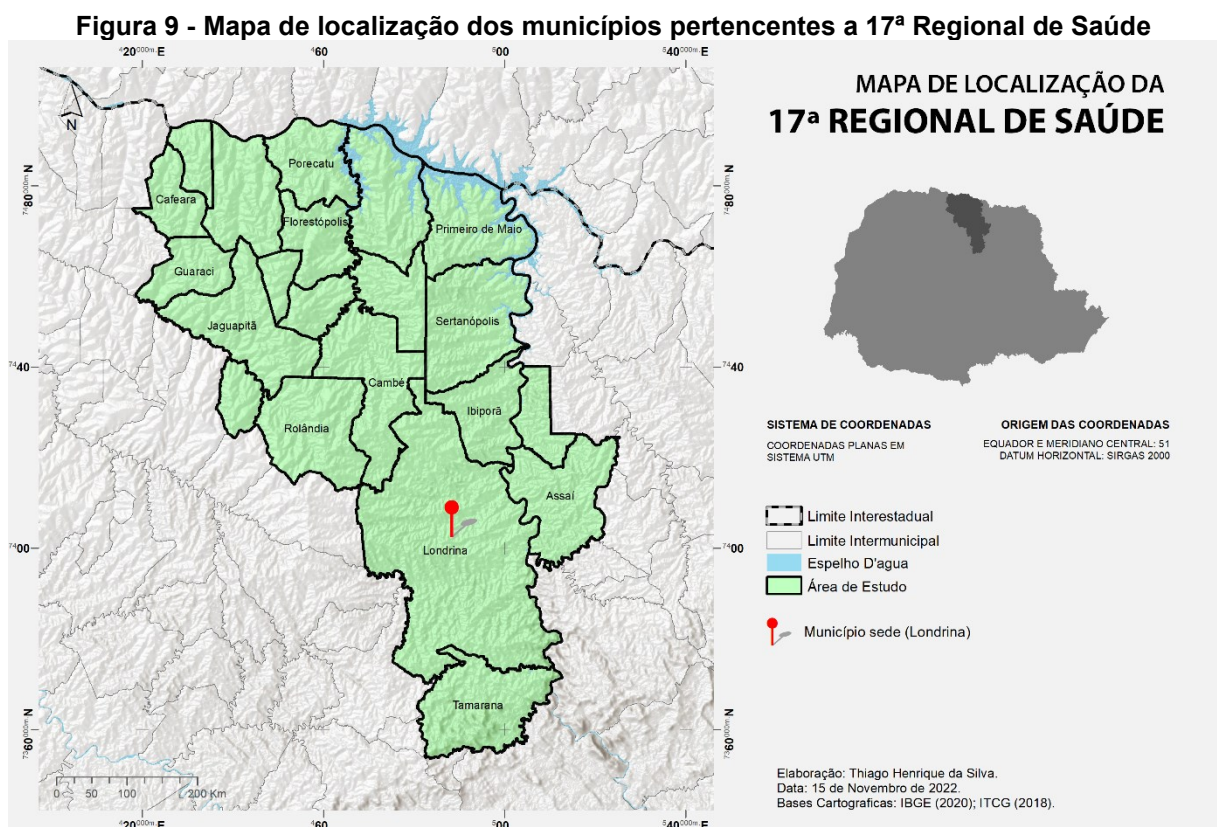
4.1 Localização

Londrina-PR está na modalidade de Gestão Plena do Sistema, conforme a Norma Operacional da Assistência à Saúde nº 1/ NOAS-SUS 2001, que amplia as responsabilidades dos municípios na Atenção Básica, definindo o processo de regionalização da assistência e cria mecanismos para o fortalecimento da capacidade

de gestão do Sistema Único de Saúde e procede à atualização dos critérios de habilitação de estados e municípios (BRASIL, 2001).

Com isso se tem uma flexibilidade na gestão dos recursos do Fundo Municipal de Saúde, executando diretamente ações de saúde na atenção básica, programas prioritários, vigilâncias epidemiológica e sanitária, entre outras, e através de prestadores de serviços de saúde filantrópicos e privados principalmente nas ações de média e alta complexidade ambulatorial e hospitalar.

Londrina é sede da 17 regional de saúde, composta por 21 municípios, abrangendo uma área de 7.834 km², apresentando uma população de 876.708 habitantes (Figura 9).



Fonte: Limites municipais: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020)

Na Tabela 6 apresenta-se as características demográficas e territoriais dos 21 municípios que compõe a 17 Regional de Saúde (RS).

Tabela 6- Características referentes aos municípios da 17 RS

Cidades	População (hab.)	Área territorial (km ²)
Alvorada do Sul	11.503	424,250

Cidades	População (hab.)	Área territorial (km²)
Assaí	14.954	440,347
Bela Vista do Paraíso	15.399	242,689
Cafeara	2.695	185,800
Cambé	107.341	495,375
Centenário do Sul	10.764	371,834
Florestópolis	10.453	246,331
Guaraci	5.530	211,680
Ibiporã	55.131	297,742
Jaguapitã	13.742	475,004
Jataizinho	12.638	159,178
Londrina	575.377	1652,569
Lupionópolis	4.945	121,066
Miraselva	1.796	90,294
Pitangueiras	3.262	123,229
Porecatu	12.748	291,663
Prado Ferreira	3.780	153,390
Primeiro de Maio	11.130	414,442
Rolândia	67.383	459,024
Sertanópolis	16.413	505,532
Tamarana	15.040	472,155

Fonte: (IBGE, 2022).

A cidade sede, Londrina possui uma população de 575.377 habitantes, e uma área territorial de aproximadamente 1652,6 km². Sendo referência para diversas especialidades médicas.

4.2 Geologia

A principal unidade geológica encontrada na área de estudo é o Serra Geral (Figura 10), essa formação corresponde a uma sequência vulcânica formada principalmente por derrames basálticos toleíticos e secundariamente por riolitos, dacitos e riodacitos (MELFI *et al.*, 1988).

A área de tais manifestações vulcânicas é de cerca de 1.200.000 km² e sua espessura varia de 350 metros nas bordas da bacia a 1.500 metros na parte central dos derrames, com um volume lávico estimado em cerca de 790.000 km³ (ALMEIDA, 1981). Destaca-se também a presença de arenitos trapezoidais entre os derrames

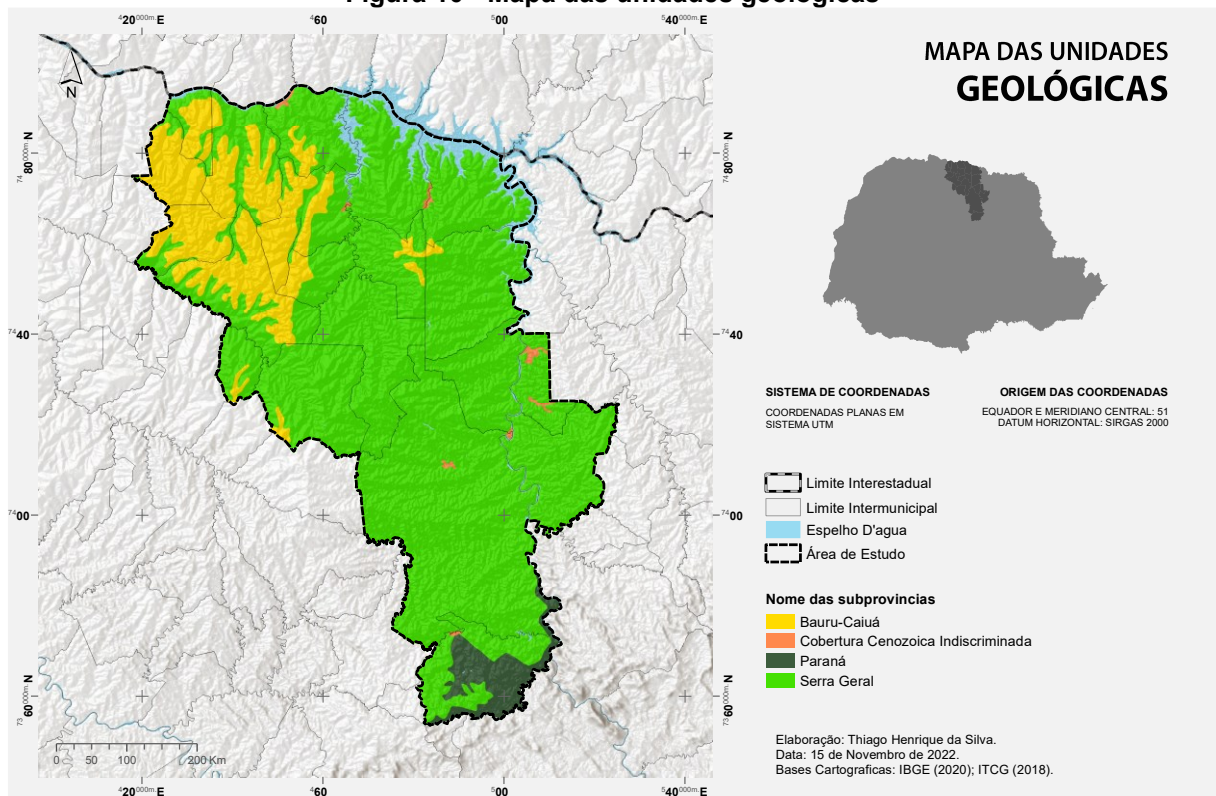
sucessivos, que podem ser relacionados às formações Botucatu e Pirambóia por suas características litológicas (PETRI e FÚLFARO, 1983).

Estruturalmente destacam-se fissuras de orientação NE-SW e NW-SE e/ou falhas regionais, que podem ser falhas simples ou extensas zonas de falha ZALÁN *et al.* (1987), estes dois grupos de elementos tectônicos são antigas zonas de fraqueza que foram repetidamente ativas durante o desenvolvimento da bacia. O mesmo autor também confirma a presença de importantes lineamentos orientados E-W. Tais alinhamentos são pouco compreendidos na Bacia do Paraná. Seu desenvolvimento começou no período Triássico. Esta idade, juntamente com o extraordinário paralelismo com zonas de rifte oceânico, sugere alguma ligação com o desenvolvimento do Atlântico Sul.

Segundo PINESE (1989), as rochas intrusivas são corpos tabulares bidimensionais localizados tanto nas rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino quanto nas rochas sedimentares paleozoicas e mesozoicas da Bacia do Paraná, e têm orientação principalmente 0°N. e 60° W. O autor também observa que essas rochas são principalmente alcalinas (basalto andino, basalto holeítico, basalto latítico e basalto de transição) e toleíticas. Eles têm uma estrutura de grão médio ou uma estrutura intragranular de grão fino.

Esta unidade é abrangida por diversas formações que compõem o Grupo Bauru, a saber: as formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina, formações cretáceas geralmente bem mascaradas e com contatos conformes transicionais entre si. A Formação Marília, principal unidade do Grupo Bauru, não ocorre nessa área (PETRI e FÚLFARO, 1983).

Figura 10 - Mapa das unidades geológicas



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), (INDE, 2010).

4.3 Hidrogeologia

Na área estudada existem duas formas principais de ocorrência de água subterrânea: o aquífero freático e o sistema aquíferos Serra Geral (Figura 11).

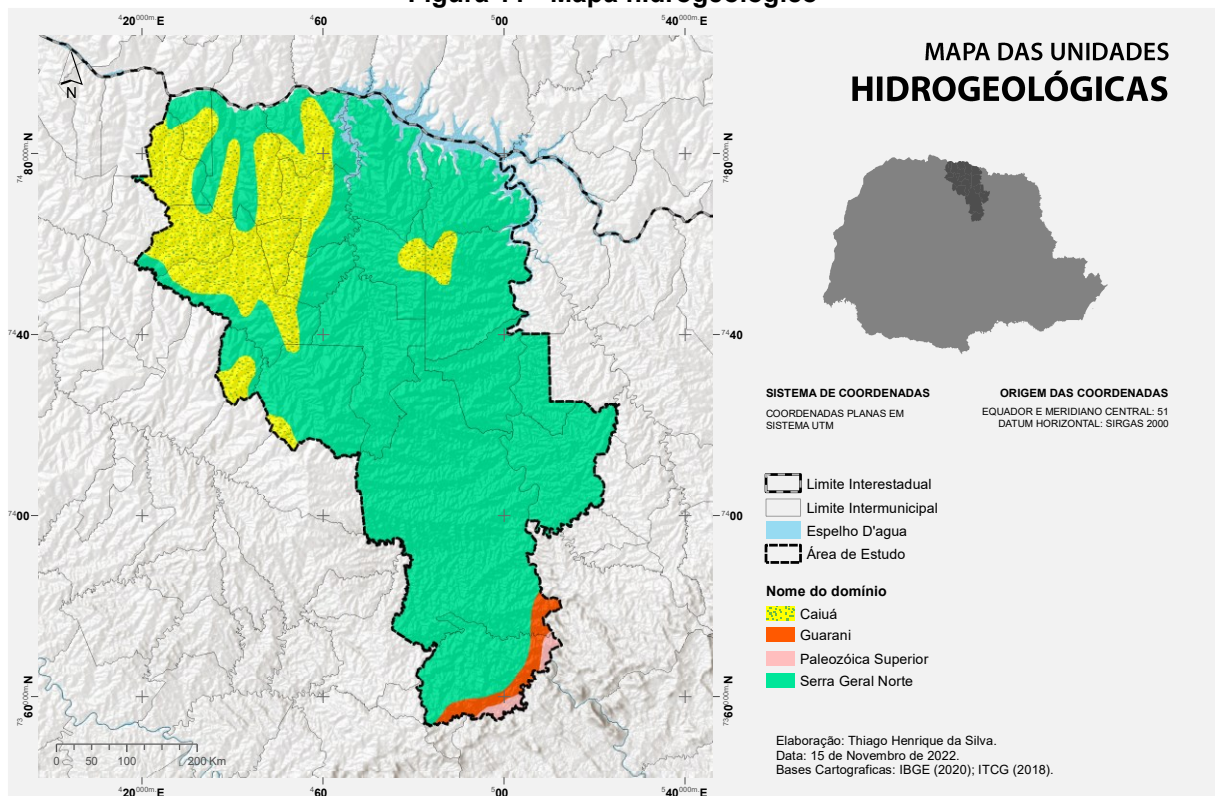
O aquífero freático, é representado pela camada de solo e material rochoso alterado e pelas características geológicas de seus depósitos de sedimentos argilosos, forma um meio poroso, pouco espesso, que se divide em parte superficial do relevo e parte inferior de cursos hídricos. Possui características básicas de aquífero livre ou não confinado. A recarga ocorre em áreas topograficamente mais altas diretamente da água da chuva (CELLIGOI, A.; DIAS, V.K. N., 2003)

Ao contrário dos sistemas aquíferos sedimentares apresentam certa homogeneidade física, o sistema Serra Geral forma águas com condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas devido às características litológicas das rochas cristalinas. Assim, o modo de ocorrência das águas subterrâneas é limitado a zonas de descontinuidade rochosa, que são formadas em sua maioria por estruturas tectônicas do tipo fissura e/ou fratura (CELLIGOI, A.; DUARTE, U., 1996).

Ainda Celligoi, Kiang e Santos (2007), descrevem também que mesmo que frequentemente as partes vulcânicas da Formação Serra Geral sejam consideradas rochas indiscriminadamente cristalinas, elas possuem diversas propriedades litológico-estruturais que as distinguem hidrogeologicamente de outras rochas magmáticas plutônicas e materiais metamórficos. A água que flui ao longo de fissuras verticais alimenta as diaclases horizontais a partir do fundo do fluxo. No entanto, muitas vezes eles não têm circulação de água muito eficiente porque há material de alteração próximo às superfícies de fratura.

O autor ainda afirma que o sistema de fluxo no SASG pode ser significativamente modificado por estruturas tectônicas frágeis regionais, como falhas e fraturas, bem como por intrusões magmáticas - diques e limiões que podem alterar as condições hidrogeológicas originais.

Figura 11 - Mapa hidrogeológico



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020); (INDE, 2010)

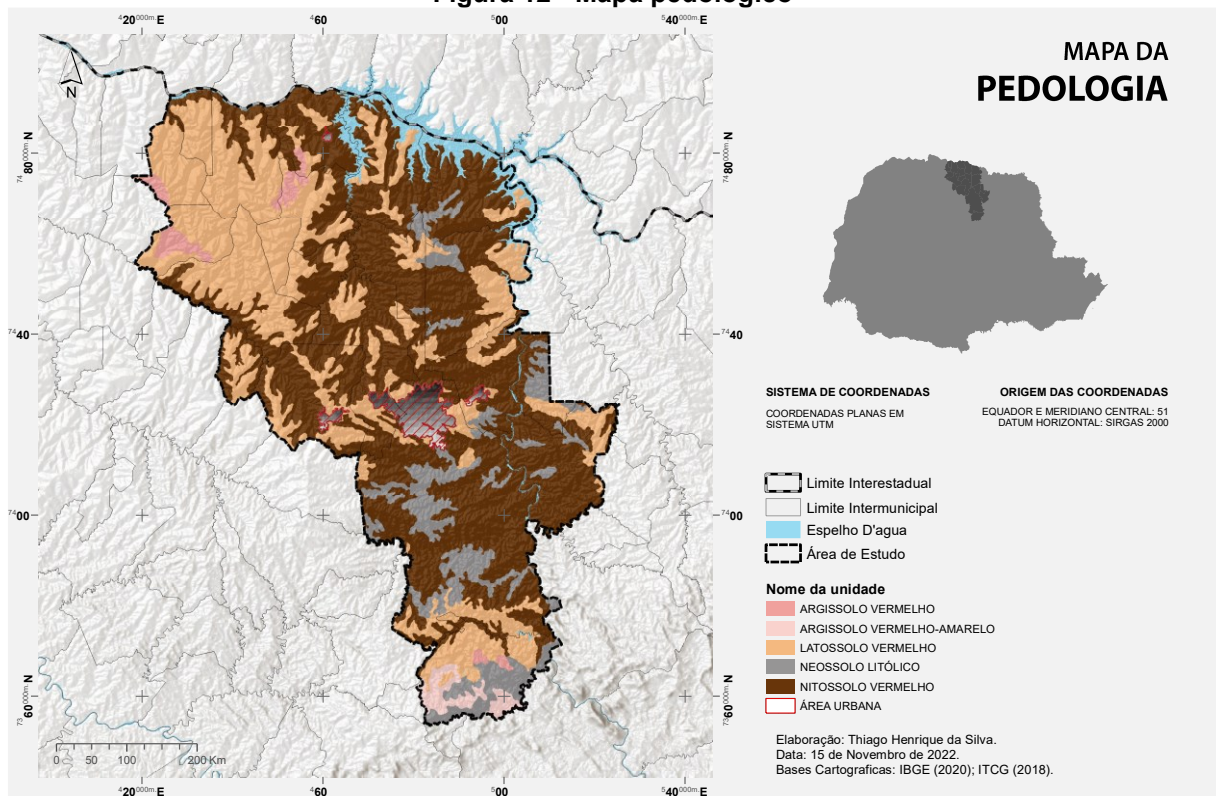
4.4 Pedologia

Na área de estudos há uma predominância de solos do tipo latossolo e nitossolo conforme observado na Figura 14.

Associados a um relevo suavemente ondulado de colinas amplas, com vertentes convexas e retilíneas homogêneas, ocupadas quase sempre com as atividades agrícolas, com destaque para as culturas anuais, os solos predominantes são latossolos e nitossolos (SANTOS, H. G, 2018):

- O Latossolo possui alto potencial agrícola, apresentando teores de micronutrientes relativamente elevados, assim como uma reserva equilibrada de nutrientes para as plantas. São solos profundos, mas, se não adotadas técnicas conservacionistas, podem sofrer erosão, pois são suscetíveis a este processo. Podem aparecer tanto em áreas altas como em baixas, e em terrenos suave e fortemente ondulados. Possuem textura argilosa (presente na área de estudo), apresenta sequência de horizontes A-Bw-C, coloração uniforme ao longo do perfil, geralmente bruno-avermelhado-escuro nos horizontes A e vermelho-escuro no horizonte B. São solos bastante permeáveis com teor de ferro geralmente superior a 18% e teores de argila elevados;
- Os Nitossolos apresentam sequência de horizontes A-B nítico-C, coloração vermelho-escuro-acinzentada ou bruno-avermelhada no horizonte A e avermelhado-escuro no horizonte B nítico. Às vezes, pode ocorrer abaixo do horizonte Bnítico um horizonte Bw. São argilosos com horizonte B apresentando teores superiores a 70%.

Figura 12 - Mapa pedológico



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020); (INDE, 2010)

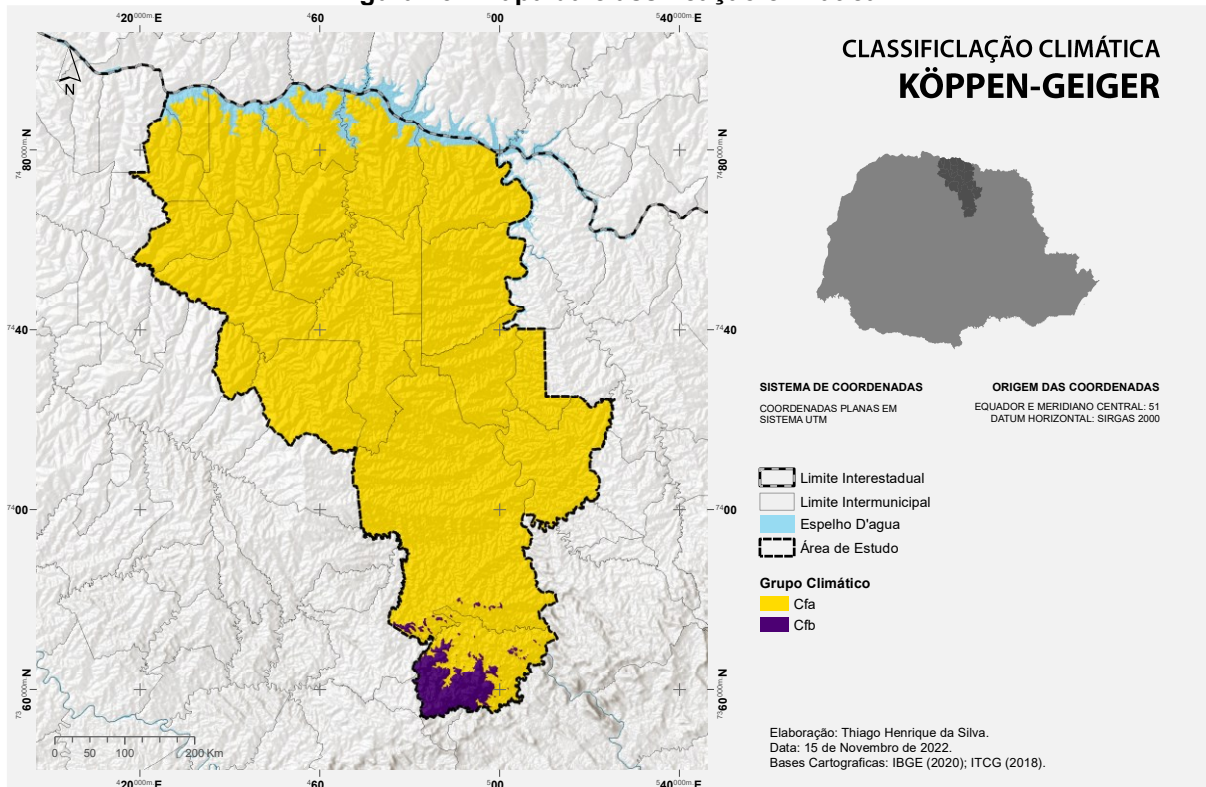
4.5 Clima

De acordo com a classificação climática proposta por Köppen, W.; Geiger, R. (1901), baseada nas variáveis, vegetação, temperatura e pluviosidade, o estado do Paraná (Figura 5.4), junto a Rio Grande do Sul, Santa Catarina e parte dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, tem a maior parte de seu território inserido no clima Subtropical Úmido Mesotérmico (temperaturas médias), sendo este, subdividido em Cfa (úmido em todas as estações com verão quente) e Cfb (úmido em todas as estações com verão moderadamente quente). A área de estudo, localizada na região oeste do estado, encontra-se em uma zona com predominância climática do tipo Cfa (Figura 13).

Alvares (2013), propõe uma distribuição geográfica dos termos definidos por Köppen e Geiger. (1901), para o Brasil, assim temos para a área de estudo os seguintes grupos climáticos:

- Cfb: Clima temperado, com verão ameno. Chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca e a temperatura média do mês mais quente não chega a 22°C. Precipitação de 1.100 a 2.000 mm. Geadas severas e frequentes, num período médio de ocorrência de dez a 25 dias anualmente;
- Cfa: Clima subtropical; temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida.

Figura 13 - Mapa da classificação climática



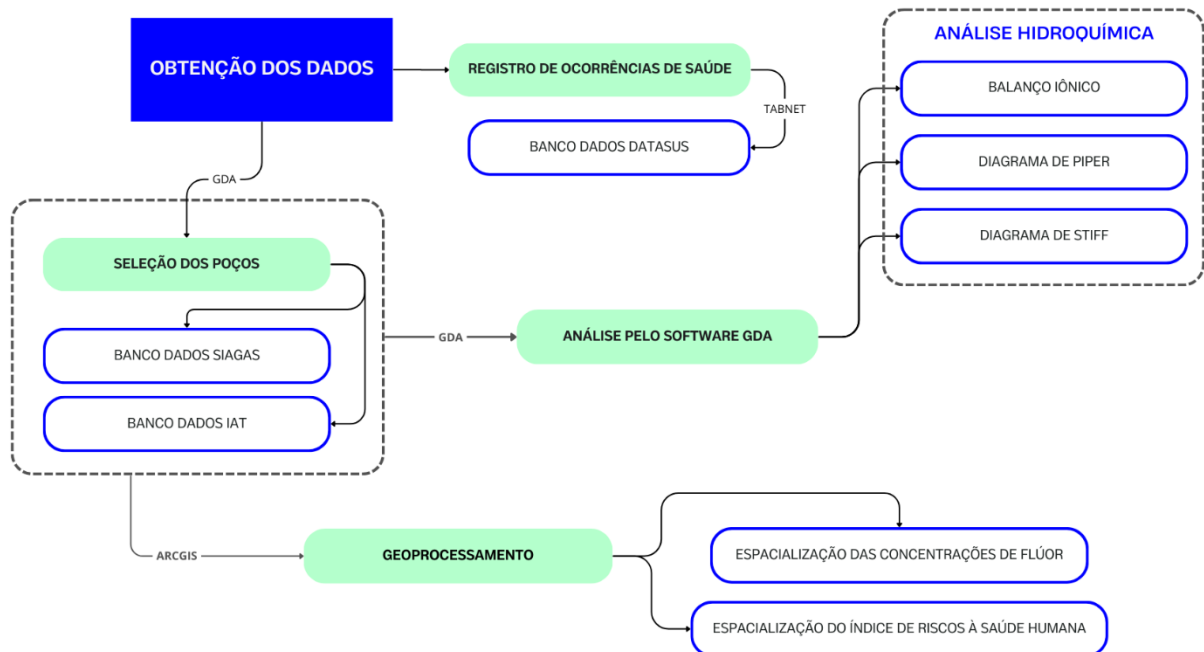
Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020); Alvares (2013)

5 MATERIAIS E METODOS

5.1 Coleta de dados

A construção do presente estudo se dará conforme o fluxograma apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Etapas da avaliação da concentração de flúor no SASG



Fonte: Autoria própria, 2023

5.1.1 Seleção dos Poços Tubulares Profundos

A coleta de dados seguiu o fluxograma apresentado, sendo utilizados dois parâmetros, dados de poços outorgados e dados sobre registro de ocorrência de enfermidades relacionadas ao flúor.

Desenvolvido e mantido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB), o Sistema de Informações de águas Subterrâneas (SIAGAS), desde 1997 de coleta, armazena e disponibiliza dados e informações georreferenciadas, a partir do mapeamento e pesquisa hidrogeológico, possibilitando a construção de um banco de dados atualizado de poços perfurados.

No estado do Paraná a solicitação de outorga de perfuração de poços é realizada pelo Sistema de Informação para Gestão Ambiental e de Recursos Hídricos (SIGARH), estando sob administração do Instituto Ambiental do Paraná (IAT),

possuindo assim um banco de dados primários mais recentes e detalhados dos poços perfurados no estado.

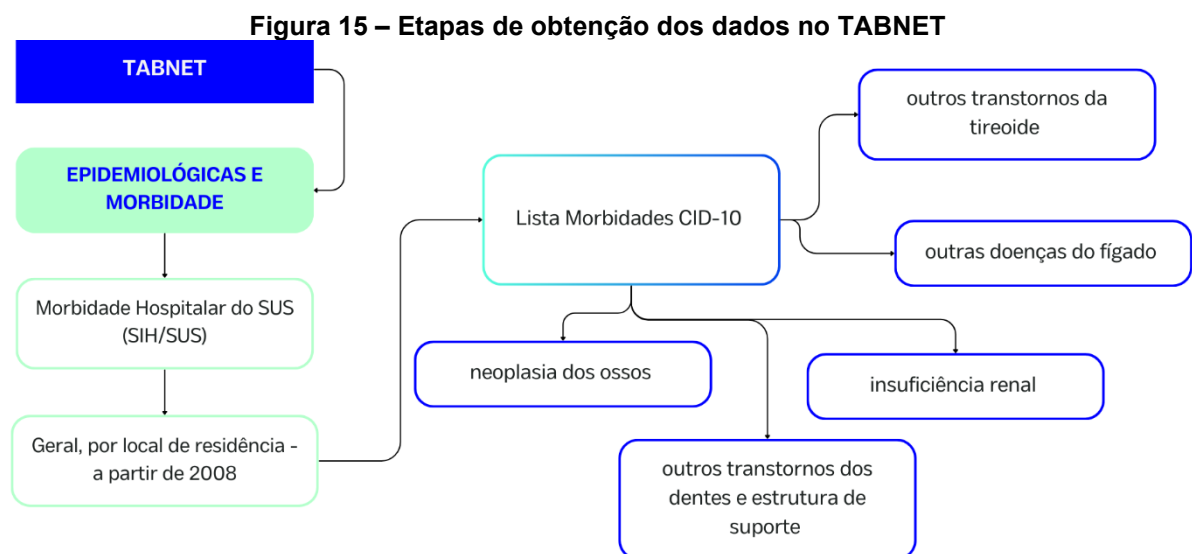
5.1.2 Dados sobre doenças relacionadas ao flúor

As informações relacionadas a doenças provocadas pelo flúor foram obtidas por meio do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), foi criado em 1991, por meio de decreto. Sua função era de controlar e processar contas referentes à saúde era da DATAPREV, a Empresa de Tecnologia e Informações da Previdência Social (BRASIL, 2023).

Atualmente o DATASUS tem como responsabilidade de dar suporte ao Sistema Único de Saúde (SUS), planejando a operação e o controle das informações do sistema, para isso já foram desenvolvidas mais de 200 plataformas que auxiliam diretamente o Ministério da Saúde no fortalecimento do SUS.

Os dados de saúde estão agrupados e disponíveis no aplicativo TABNET, é um tabulador domínio público que permite organizar e consultar de forma os dados referentes à saúde de todo Brasil.

No presente estudos foram utilizados os dados de 5 modalidades de morbidades presentes na Lista Morbidades CID-10, disponível no TABNET, o intervalo de tempo dos dados é de Janeiro de 2008 a Setembro de 2023. Os dados podem ser acessados conforme fluxograma apresentado na Figura 15.



Fonte: Autoria própria, 2023

5.2 Utilização da Ferramenta SIG

Para a construção dos mapas temáticos e o cruzamento das informações hidroquímicas com as respectivas áreas de estudo, foi utilizado o *software* ArcGIS for Desktop.

Os métodos de interpolação mais comuns utilizados são a triangulação, inverso da distância e vizinho mais próximo, entretanto, possuem limitações na representação da variabilidade espacial. Isso ocorre porque eles são baseados em métodos de estatística clássica, assumindo a independência espacial entre as amostras ou distribuição espacial aleatória. Ademais, esses métodos não consideram a anisotropia e a continuidade do fenômeno observado (FERREIRA; SANTOS; RODRIGUES, 2013).

Com isso a variabilidade espacial dos dados amostrados presentes nesse estudo sofrerá limitações dada as funções matemáticas utilizadas. Para contornar as limitações apresentadas utilizou-se o método geoestatístico conhecido como Krigagem. A diferença deste método para os demais é como a ponderação é atribuída, sendo eles determinados pela análise espacial baseada no semivariograma (VIEIRA, 2000).

A seguir são apresentadas as principais fórmulas associadas à Krigagem Ordinária:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} (Z(x_i + h) - Z(x_i))^2 \quad (1)$$

Os resultados interpolados permitem a construção de mapas de distribuição espacial, representado visualmente por isolinhas as concentrações de F. Essa metodologia proporciona uma abordagem completa e confiável para a análise espacial, contribuindo significativamente para o entendimento da dinâmica hidroquímica na área de estudo.

5.3 Análise hidroquímica

Para a caracterização hidroquímica da água, o cálculo balanço iônico e a geração dos diagramas de Piper e Stiff foi utilizado o *software* GDA. O *software* permite agrupar instrumentos para a análise hidroquímica de forma a facilitar o uso destas ferramentas (MIGUEZ, 2020).

O autor ainda explica que os dados podem ser importados como tabela com dados hidroquímicos ou utilizando o código do SIAGAS. Ao importar o poço é automaticamente classificado, tendo seus dados convertidos de mg/L para mEq/L. O processo de classificação hidroquímica leva em conta os três grupos de cátions ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{+2} e Ca^{+2}) e ânions (SO_4^{-2} , Cl^- e $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2}$).

5.3.1 Balanço iônico

Na análise hidroquímica, a concentração total de íons positivos (cátions), expressa em meq/l, deve ser relativa à concentração de íons negativos (ânions). O desvio desta equação é expresso em percentual pelo fator de erro analítico (Equação 2) (FEITOSA, 2008).

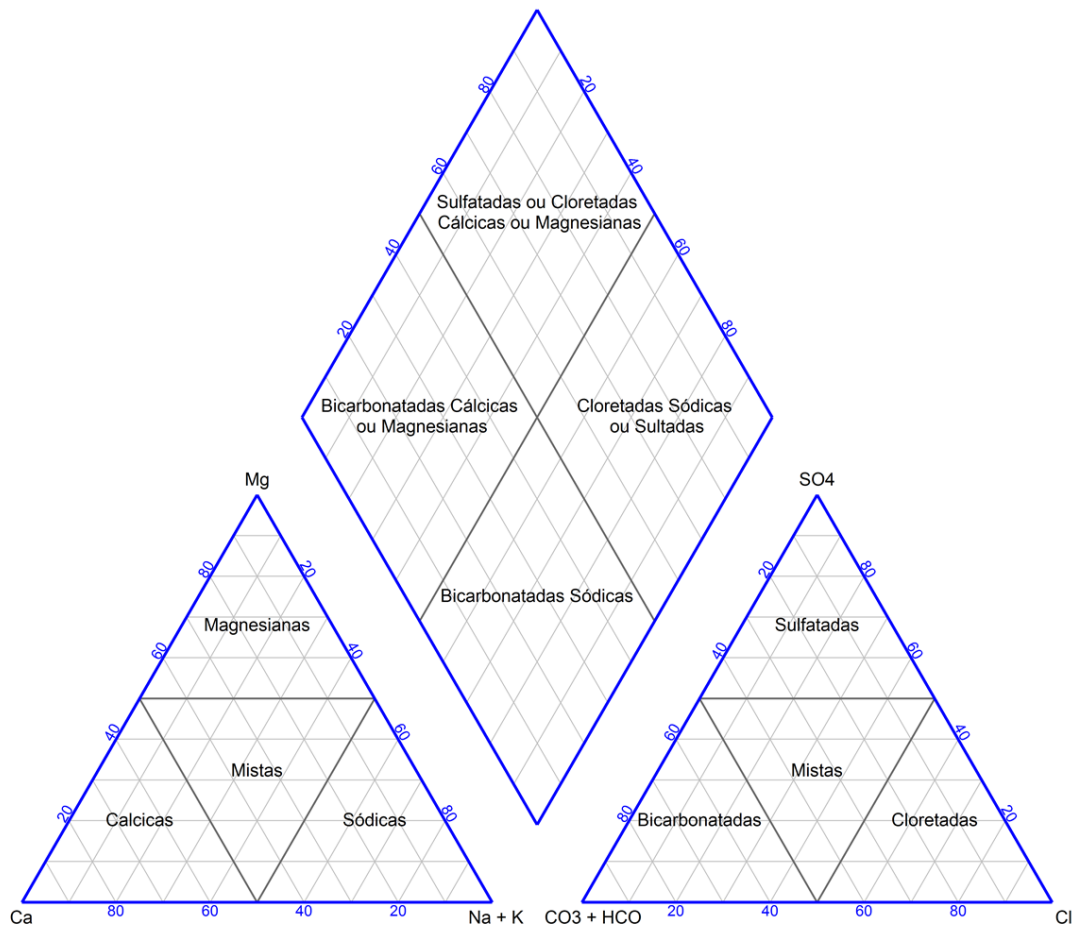
$$Ep(\%) = \frac{\sum \hat{a}nions - \sum c\acute{a}tions}{\sum \hat{a}nions + \sum c\acute{a}tions} * 100 \quad (2)$$

5.3.2 Diagrama de Piper

A Figura 9 mostra uma representação esquemática de um gráfico de Piper, onde cada pico dos triângulos inferiores representa a concentração de 100% de um cátion ou ânion específico. No losango superior, o ponto de interseção da extensão das linhas paralelas às superfícies dos triângulos inferiores (Mg e SO) dá a classificação hidroquímica da amostra em questão (FETTER, 2001).

O diagrama de Piper representa uma ferramenta muito consistente para a análise de séries de dados hidroquímicos, ao contrário dos diagramas Stiff, que pode classificar apenas uma amostra de cada vez, permitindo a separação de grupos hidroquímicos e avaliação da evolução hidroquímica ao longo do ano, uma determinada camada de água subterrânea, a operação de processos hidroquímicos ocorridos ou a presença de misturas de água (STIFF, 1951).

Figura 16 - Desenho esquemático do diagrama Piper



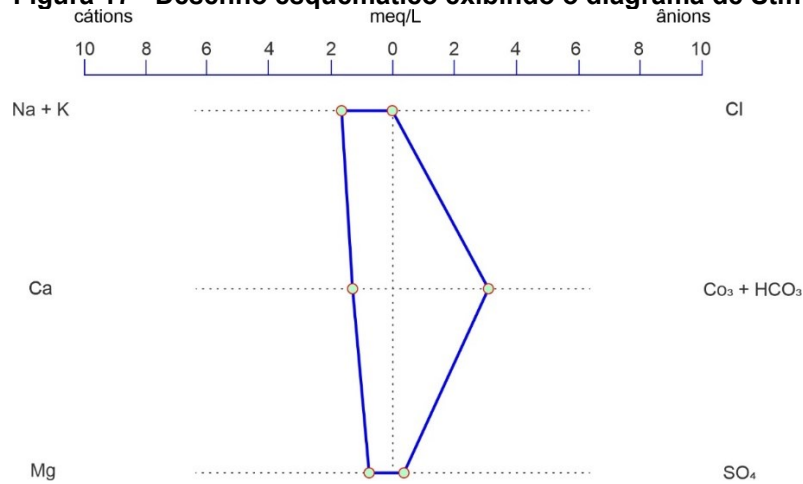
Fonte: Autoria própria, 2023

5.4 Diagrama de Stiff

Um diagrama Stiff (Figura 17) mostra as propriedades hidroquímicas mais importantes de uma amostra de maneira característica. É processado usando três eixos horizontais paralelos que se estendem em ambas as direções a partir de um eixo vertical central (STIFF, 1951).

Por meio da criação de diagramas rígidos, é possível visualizar a distribuição espacial das fases químicas da água subterrânea em uma área definida de forma simples e eficaz, o que é uma grande vantagem deste tipo de diagrama em relação a outros diagramas.

Figura 17 - Desenho esquemático exibindo o diagrama de Stiff



Fonte: Autoria própria, 2023

Os cátions são traçados ao lado esquerdo, enquanto os ânions traçados ao lado direito.

6.4 Análise de risco para saúde não cancerígenos

Em 1947, a Organização Mundial da Saúde (OMS) formulou uma definição abrangente de saúde como "um estado de pleno bem-estar físico, mental e social, não se limitando à mera ausência de doença ou enfermidade". No âmbito da avaliação de sistemas de saúde, os indicadores desempenham um papel essencial, constituindo ferramentas valiosas para a gestão e avaliação de situações e políticas em todas as esferas da saúde pública.

Os dados são a base para gerar um indicador, este ao ser explorado fornece informações e tais informações são mediadoras de conhecimentos, sendo um importante recurso nas tomadas de decisões. Assim os indicadores de saúde são medidas que contém informações de relevância sobre certos atributos do estado de saúde e do desempenho do sistema de saúde, sendo desenvolvido para facilitar a quantificação e avaliação das informações obtidas para esse fim (RIPSA, 2008).

Os indicadores de saúde podem ser mensuráveis em diferentes níveis, segundo Morgenstern (1995):

- Observando diretamente o paciente;
- Observando uma amostra populacional, segundo taxas e proporções;

Quando realizadas as mensurações por amostragem populacional ou de espaços geográficos, essas são usadas na criação de indicadores, como:

- Mensuração consolidada em saúde: é uma medida que integra observações de indivíduos em cada grupo observado, ou seja, medindo a saúde de uma população, como a taxa de hipertensão em relação ao sexo do indivíduo;
- Mensuração ecológica ou ambiental: Refere-se às características físicas de onde um grupo populacional vive ou trabalha. São fatores externos, por exemplo a exposição ao mosquito vetor da dengue;
- Mensuração global: São atributos de grupos ou espaços e não têm equivalente no nível individual, são considerados indicadores contextuais, como o índice de desenvolvimento humano;

Neste compêndio, os indicadores de saúde são descritos como medidas concisas que oferecem informações significativas sobre atributos e dimensões específicas do estado de saúde e do desempenho do sistema. O objetivo do índice é descrever e acompanhar a saúde da população. Os atributos referem-se a características ou qualidades, enquanto os aspectos abrangem o bem-estar físico, emocional, mental, ambiental e social.

6.4 Análise de risco para saúde não cancerígenos

O ingresso de contaminante é calculado em função dos tempos de exposição, da concentração no meio considerado, peso corporal e da taxa de entrada que será função de parâmetros referente à via de exposição, conforme a equação (3). Podendo haver a manifestação de sintomas mesmo com a exposição em um curto período de tempo (CETESB, 2001). Os fatores utilizados para o cálculo são:

$$I = C * \frac{TE * FE * DE}{PC * T} \quad (3)$$

Em que:

I = dose de ingresso [massa ou volume/massa tempo];

C = concentração no meio considerado [massa ou volume/massa ou volume];

TE = taxa de entrada [massa ou volume/tempo];

FE = frequência da exposição [tempo/tempo];

DE = duração da exposição [tempo];

PC = peso corpóreo [massa];

T = tempo médio para ocorrência de efeitos [tempo].

O risco não carcinogênico indica a possibilidade de um receptor apresentar efeitos adversos do tipo limiar. Os sintomas podem se manifestar mesmo após uma breve exposição ao contaminante, quando a dose de ingresso for maior que a dose de referência (RfD). O risco não carcinogênico é definido como o quociente de perigo (HQ), que é calculado pela equação (4) (CETESB, 2001).

$$HQ = \frac{I}{RfD} \quad (4)$$

Onde:

I = dose de ingresso (mg/kg /dia) (calculada pela equação (1));

RfD= dose de referência (mg/kg /dia).

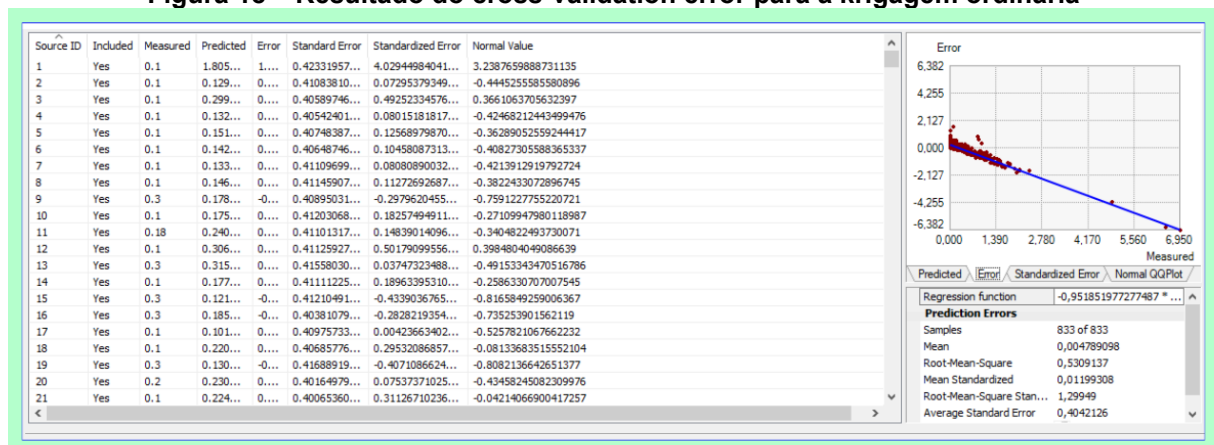
O valor de referência para riscos não cancerígenos para a saúde humana definido pelo HQ é de ≤ 1 , quando encontrados valores superiores a esse valor é passível de ocorrência de doenças na população (USEPA, 1993).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise Espacial

Para a construção da distribuição espacial da concentração de flúor foram utilizados métodos geoestatístico (software ArcGIS) com aplicação analítica de semivariograma para testar diferentes métodos de interpolação. O resultado da seleção foi por meio da seleção do teste com menor cross-validation error. Foram testadas o método da ponderação pelo inverso da distância, krigagem simples e krigagem ordinária, sendo a última que mostrou melhor desempenho nos processos de interpolação realizado neste estudo.

Figura 18 – Resultado do cross-validation error para a krigagem ordinária



Fonte: Autoria própria, 2023

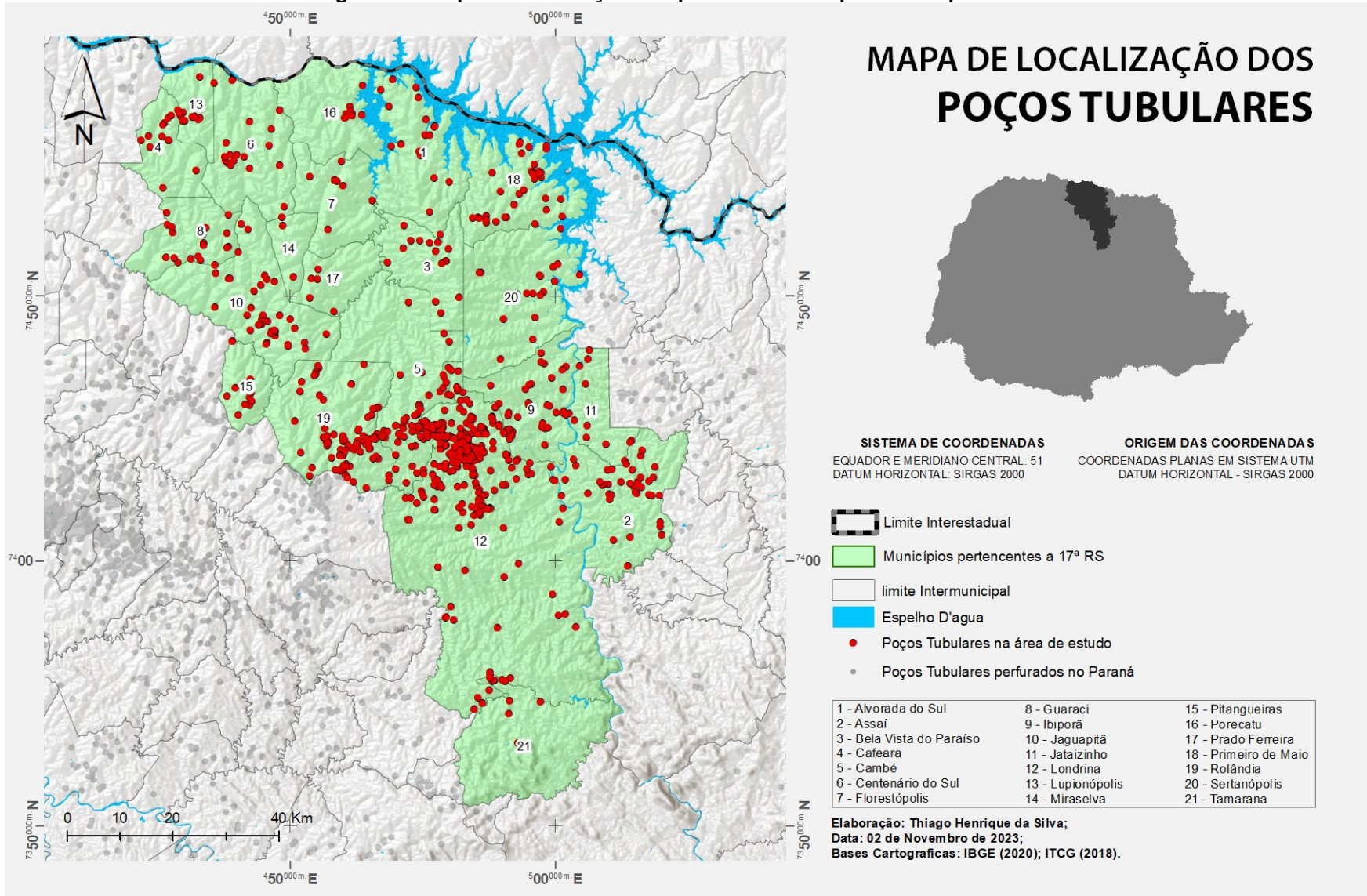
6.2 Espacialização dos poços

Para a realização da distribuição espacial dos poços tubulares presentes na área de estudo, foram consultados os bancos de dados SIAGAS e IAT. Os dados foram agrupados e importados por meio do software GDA, conforme mencionado na metodologia, a Figura 19 apresenta o resultado obtido.

Foram obtidos o total de 839 poços, analisando a distribuição espacial, nota-se que a maioria dos poços estão concentrados na região centro-oeste, no eixo intermunicipal Londrina-Cambé-Rolândia, onde se tem uma maior atividade econômica e concentração urbana.

Sabe-se que o emprego dos poços perfurados em sua grande maioria tem a finalidade industrial e abastecimento de edifícios nos centros urbanos, e o uso agrícola nas regiões mais interiores.

Figura 19 - Mapa de localização dos polos tubulares perfurados



Fonte: Limites municipais: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020).

6.3 Avaliação Hidroquímica

6.3.1 Cálculo do balanço iônico

Para a realização do cálculo do balanço iônico, foi utilizada a metodologia de Logan (1965 apud CAVALCANTE, 2004), com um erro máximo fixo de 10%. Com o auxílio do programa GDA, realizou-se o balanço iônico (Figura 20). O GDA auxilia no cálculo de seleção dos poços elegíveis do universo amostrado, resultando em 778 poços, do total de 839 inicialmente identificados.

Figura 20 – Balanço iônico por meio do programa GDA

Nome	Sódio (Na)	Potássio (K)	Cálcio (Ca)	Magnésio (Mg)	Cloro (Cl)	Carbonato (CO3)	Bicarbonato (HCO3)	Sulfato (SO4)	Erro (%)
3500012750	0.0435	0.0780	0.7984	0.5531	0.1690	0.0000	0.2952	0.0208	50.46%
3500012950	0.2980	0.0060	0.5240	0.1959	0.0997	0.0000	0.5281	0.0208	22.43%
3500013231	2.1446	1.1102	1.6417	1.5884	0.2394	0.0000	3.5358	0.0239	26.11%
3500013939	0.1088	0.4550	1.9960	1.0370	1.8000	0.0000	2.0008	0.0042	2.81%
3500013944	0.3698	0.0286	1.6667	2.4032	0.9014	0.0000	2.5584	0.0832	11.55%
3500013985	0.3815	0.0364	0.6971	0.6839	0.2254	0.0000	1.2792	0.1248	4.95%
3500013991	0.1827	0.1170	0.2380	0.1078	0.0704	0.0000	0.3231	0.0208	21.82%
3500013996	0.4089	0.0390	2.4301	0.1481	0.6986	0.0000	2.6010	0.0603	5.23%
3500014005	0.3176	0.0286	1.9810	0.9382	0.5070	0.0000	1.7220	0.0624	17.53%
3500014028	0.5525	0.0494	1.3972	0.9629	0.3775	0.0000	2.1517	0.1664	4.71%
3500014047	0.1305	0.0088	0.9281	1.0699	0.4000	0.0000	0.0328	0.1456	57.4%
3500014054	0.1392	0.0068	0.9481	0.7736	0.0930	0.0000	0.0312	0.0208	85.6%
3500014055	0.1175	0.0034	1.0180	0.6749	0.0761	0.0000	0.0295	0.0208	86.97%
3500014060	0.3263	0.0182	2.1457	0.9876	0.2254	0.0000	2.4764	0.0208	12.18%
3500014097	0.9918	0.0182	0.1602	0.0156	0.0042	0.2234	0.9140	0.0208	1%
3500014110	1.5660	0.0390	0.5539	0.2881	0.0118	0.0000	2.1320	0.1581	3.05%
3500014112	0.2001	0.0156	0.7530	0.6856	0.0811	0.0000	1.2490	0.0208	10.09%
3500014130	0.6395	0.0520	1.0778	0.4847	0.0096	0.0000	1.6892	0.0208	13.45%
3500014143	0.1262	0.0484	0.0739	0.1053	0.0566	0.0000	0.1988	0.0208	12.31%
3500014150	0.3006	0.0307	1.2166	1.3604	0.2535	0.0000	2.1320	0.0624	8.59%
3500014158	0.5481	0.0936	0.8982	0.5679	0.0499	0.0660	0.3936	0.1872	50.32%
3500014167	0.9105	0.0354	1.4686	0.3802	0.1865	0.0000	1.9736	0.0208	12.34%
3500014179	0.4507	0.0244	1.7729	0.5893	0.2301	0.0000	2.2609	0.0208	6.08%
3500014187	0.5699	0.0658	2.6721	1.3061	0.3803	0.0000	3.3472	0.0208	10.35%

Amostras: 778
Menores que 10%: 303
Maiores que 10%: 475

calcular erro máximo por:
Porcentagem Fixa

Erro Máximo: 10.00

$$\text{Erro (\%)} = \frac{r \sum \text{ânions} + r \sum \text{cátions}}{r \sum \text{ânions} - r \sum \text{cátions}} \times 100$$

Aplicar

Remover valores acima do erro máximo

Fonte: Autoria própria, 2023.

Uma possível causa para a presença de valores acima do limite aceitável nos poços com erro superior a 10% se atribuí a quantidade de análises incompletas e à baixa confiabilidade dos dados devido a falhas o cadastro dos poços.

6.3.2 Classificação hidroquímica

Com a classificação hidroquímica apresentada na Tabela 7 foi possível determinar a classe predominante no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), sendo composto por águas bicarbonatadas, subdividida em bicarbonatadas cálcicas (33,93%), bicarbonatadas mistas (22,88%) e bicarbonatadas sódicas (14,48%).

Correspondendo com a característica do SASG, formado por sucessivos processos derrames basálticos, o que confere às suas águas um caráter químico predominantemente bicarbonatado.

Tabela 7- Resultado da classificação hidroquímica dos poços amostrados

Classes Hidroquímicas das amostras					
Cátion Predominante	Nº de poços	(%)	Ânion Predominante	Nº de poços	(%)
Sódicas (Na ⁺¹ + K ⁺¹)	194	24,94	Cloretadas (Cl ⁻¹)	94	12,08
Mistas	164	21,08	Mistas	12	1,54
Magnesianas (Mg ⁺²)	128	16,45	Sulfatadas (SO ₄ ⁻²)	9	1,36
Cálcicas (Ca ⁺²)	292	37,53	Bicarbonatadas (HCO ₃ ⁻¹ + CO ₃ ⁻²)	663	85,22
Total	778	100	Total	778	100

Classes Hidroquímicas (Cátions + Ânions Predominantes)		
Nome da Classe Hidroquímica	Nº de Poços	Distribuição (%)
Bicarbonatadas Cálcicas	264	33,93
Bicarbonatadas Mistas	178	22,88
Bicarbonatadas Sódicas	136	17,48
Bicarbonatadas Magnesianas	98	12,60
Cloretada Mista	26	3,34
Outras (Classes com < 3% de presença)	76	9,77
Total	778	100

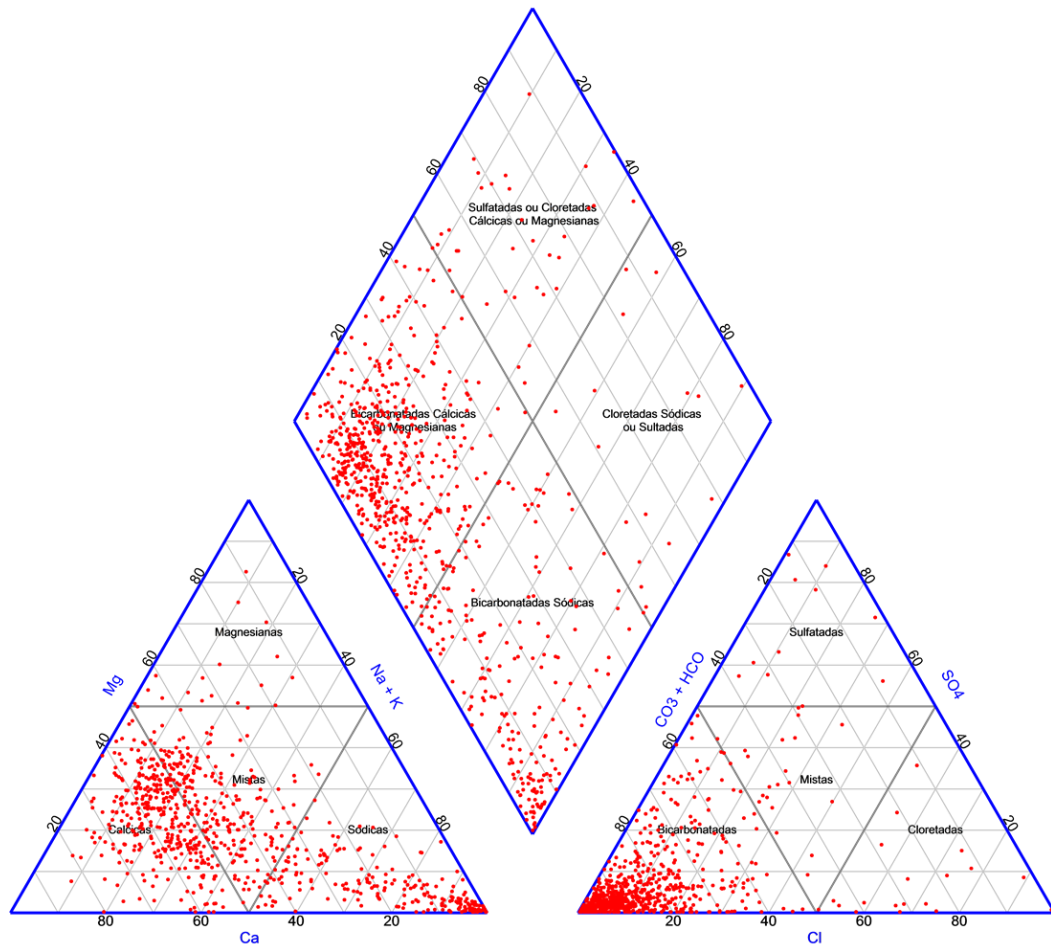
Fonte: Autoria própria, 2023

6.3.3 Análise do diagrama de Piper

A análise hidroquímica dos 778 poços presentes na área de estudo, possibilitou caracterizar e definir que a maioria dos poços são classificados como águas bicarbonatadas, representando cerca de 86,90% dos poços amostrados, o que pode ser analisado pelo diagrama de Piper (Figura 21).

Dentre estas águas, ocorre a maior predominância das Bicarbonatadas Cálcicas, Bicarbonatadas Mistas, representando 56,81% de todos os poços analisados.

Figura 21 – Diagrama de Piper



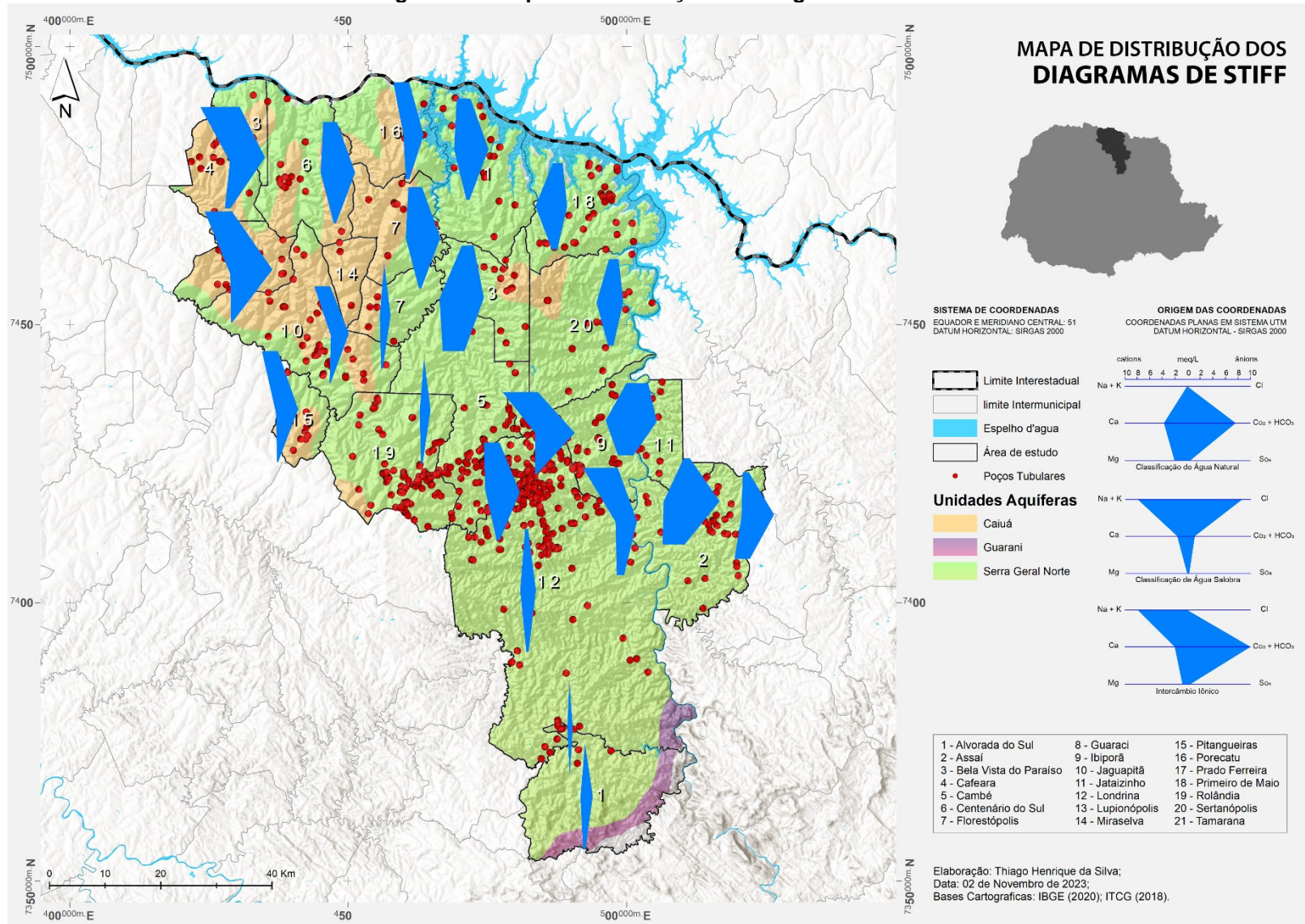
Fonte: Autoria própria, 2023

6.3.4 Análise do diagrama de Stiff

O diagrama de Stiff foi gerado a partir das amostras das distribuições iônicas destacando as regiões hidroquímicas com características semelhantes entre si, essa distribuição pode ser observada na Figura 22. As águas mais mineralizadas do SASG estão concentradas na região com sentido NO–SE (Noroeste – Sudeste), esses municípios apresentam poços com anomalias nas concentrações de cátions e ânions

Um exemplo é o município de Ibiporã, onde as águas são bicarbonatadas cálcicas, Prado Ferreira também apresenta poços com águas bicarbonatadas cálcicas, mas com menor intensidade de mineralização.

Figura 22 – Mapa da distribuição dos diagramas de Stiff

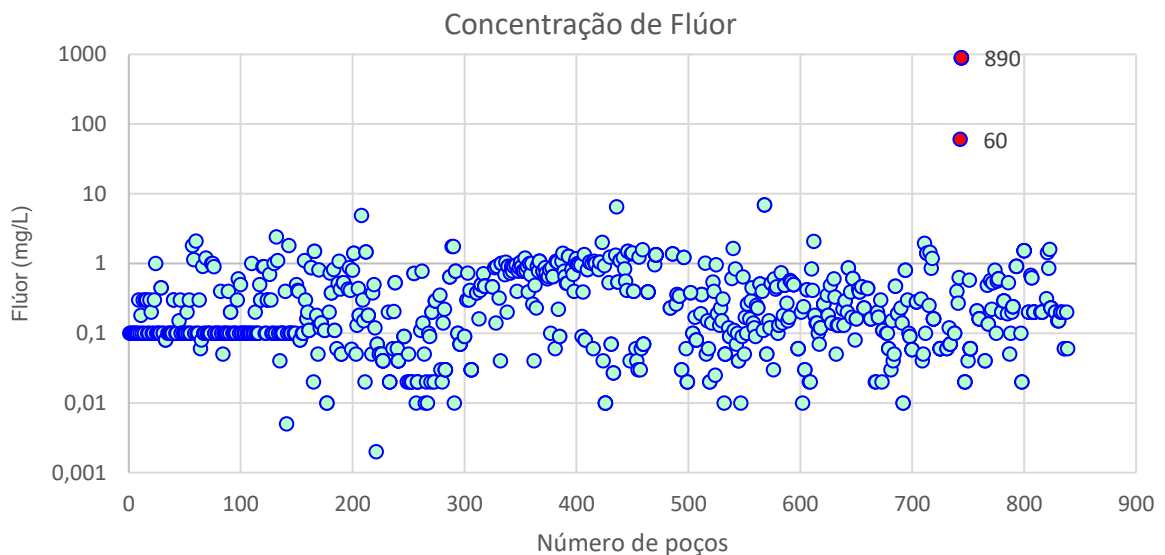


Fonte: Autoria própria, 2023

6.4 Avaliação da concentração de flúor

Para realizar a interpolação dos dados brutos de concentração de flúor em mg/L na área de estudo, foram utilizados 837 poços. Dois poços destacados em vermelho na Figura 23, foram removidos da análise por apresentarem valores incongruentes com os valores esperados para a área. Valores com dados extrapolados exageradamente, normalmente são associados a erros no preenchimento no cadastro.

Figura 23 – Gráfico da concentração de flúor nos poços analisados



Fonte: Autoria própria, 2023

Seguindo o que rege a Portaria da Consolidação nº5, de 28 de setembro de 2017, que definiu um VMP de 1,5 mg/L (Tabela 4) e também a Portaria nº 635, de 26 de dezembro de 1975, que apresenta os valores mínimos necessários para o consumo humano para que se tenha os benefícios associados ao uso do flúor, fixando esse valor em 0,6 a 0,9 mg/L (Tabela 3), é possível avaliar a distribuição espacial da concentração de flúor na área de interesse conforme pode-se ver na Figura 24.

As áreas apresentadas em azul escuro representando valores de concentração inferiores a 0,2 mg/L até 0,6 mg/L (roxo), representam regiões em que a quantidade de flúor presente na água é inferior ao recomendado, assim, sendo necessário a correção da concentração caso se o uso for para o abastecimento urbano e dessedentação humana.

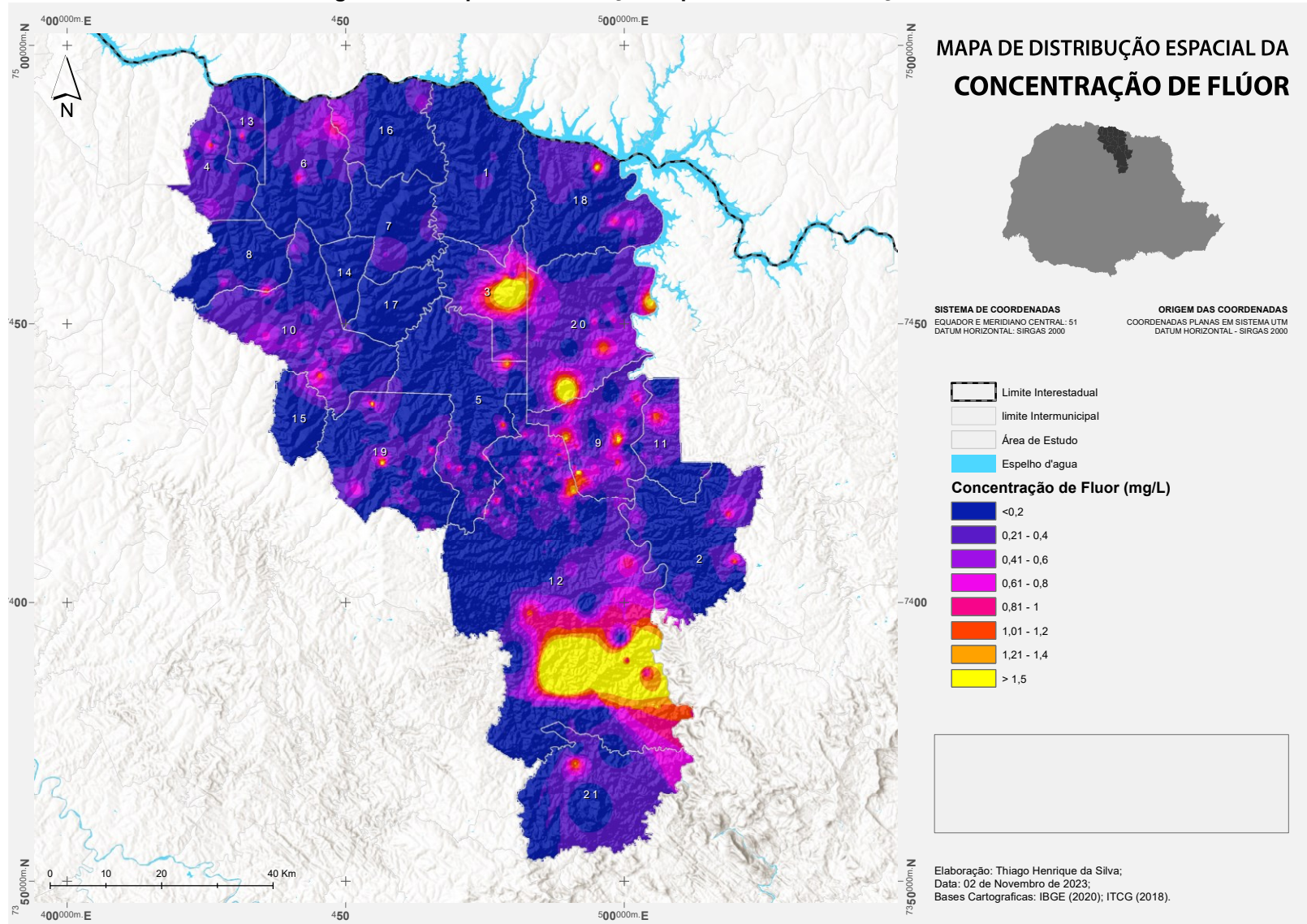
As áreas com concentração superiores a 1,5 mg/L estão identificadas pela cor amarela no mapa da distribuição espacial da concentração de flúor. Seis municípios na área de estudo apresentaram valores acima do indicado, resultando num montante 16 poços contaminados pelo excesso de flúor, representando 1,91% do total amostrado, sendo eles: Bela Vista do Paraíso, Cambé, Ibiporã, Londrina, Primeiro de Maio, Rolândia e Sertanópolis.

Londrina é o município com o maior número de poços em estado altamente preocupante, com um total de 07 (sete) poços. Destes, seis estão localizados no perímetro urbano, dois no bairro Limoeiro, um no distrito de Guairacá e um próximo ao distrito de Lerroville, sendo esse o que apresentou a maior concentração de flúor da área de estudo, com 9,95 mg/L.

Em Ibiporã identificou-se três poços contaminados, sendo dois em áreas rurais com concentrações de 1,4 e 1,95 mg/L e um no parque industrial com 1,95 mg/L. Para Rolândia foram igualmente três poços, um no distrito de São Martinho com concentração de 2,0 mg/L, um criador de peixes na área rural (1,64 mg/L) e um abatedouro de aves (1,60 mg/L).

Em Sertanópolis na área rural (2,08 mg/L) e em Bela Vista do paraíso um poço no parque industrial com uma concentração de flúor de 6,52 mg/L.

Figura 24 – Mapa da distribuição espacial da concentração de Flúor



Fonte: Autoria própria, 2023.

Ainda cerca de 89 poços, 10,63% do total, estão valores de concentração de flúor superiores aos mencionados na Portaria n° 635, de 26 de dezembro de 1975, onde o VMP estão entre 0,8 a 1,5 mg/L, levantando a necessidade de que se avaliar sua evolução, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8- Poços com VMP entre 0,8 a 1,5 mg/L

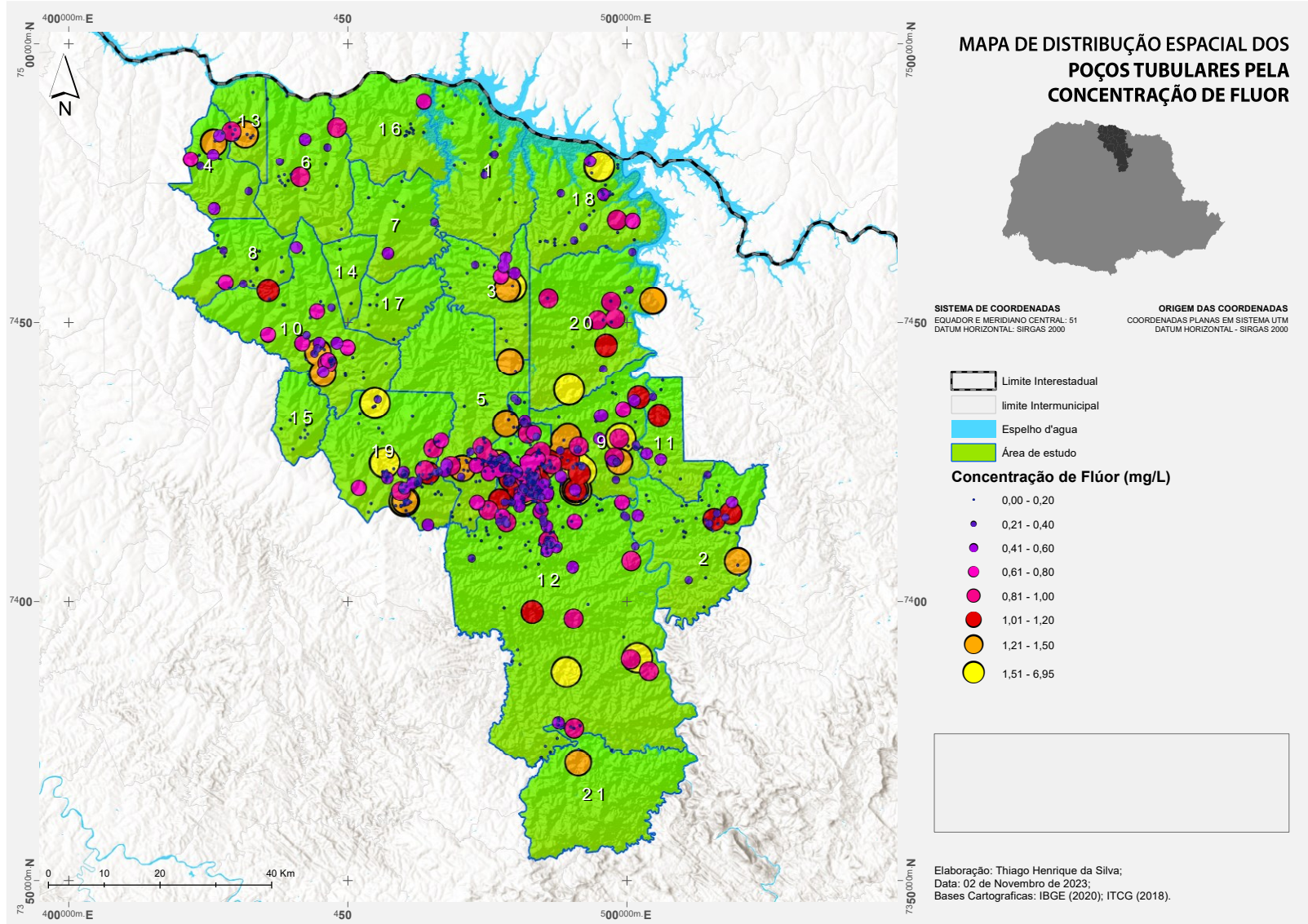
Cidades	Número de poços
Assaí	03
Bela Vista do Paraíso	01
Cafeara	02
Cambé	10
Centenário do Sul	02
Guaraci	01
Ibiporã	06
Jaguapitã	03
Jataizinho	01
Londrina	45
Lupionópolis	01
Primeiro de Maio	01
Rolândia	05
Sertanópolis	06
Tamarana	01

Fonte: Autoria própria, 2023

Ademais, 460 poços (54,96%) apresentaram valores de concentração variando de 0,02 a 0,58 mg/L e 272 (32,50%) não apresentaram nenhum valor de concentração de flúor.

A Figura 25 ilustra a distribuição espacial dos poços pela concentração

Figura 25 – Mapa da distribuição espacial dos poços pela concentração de Flúor

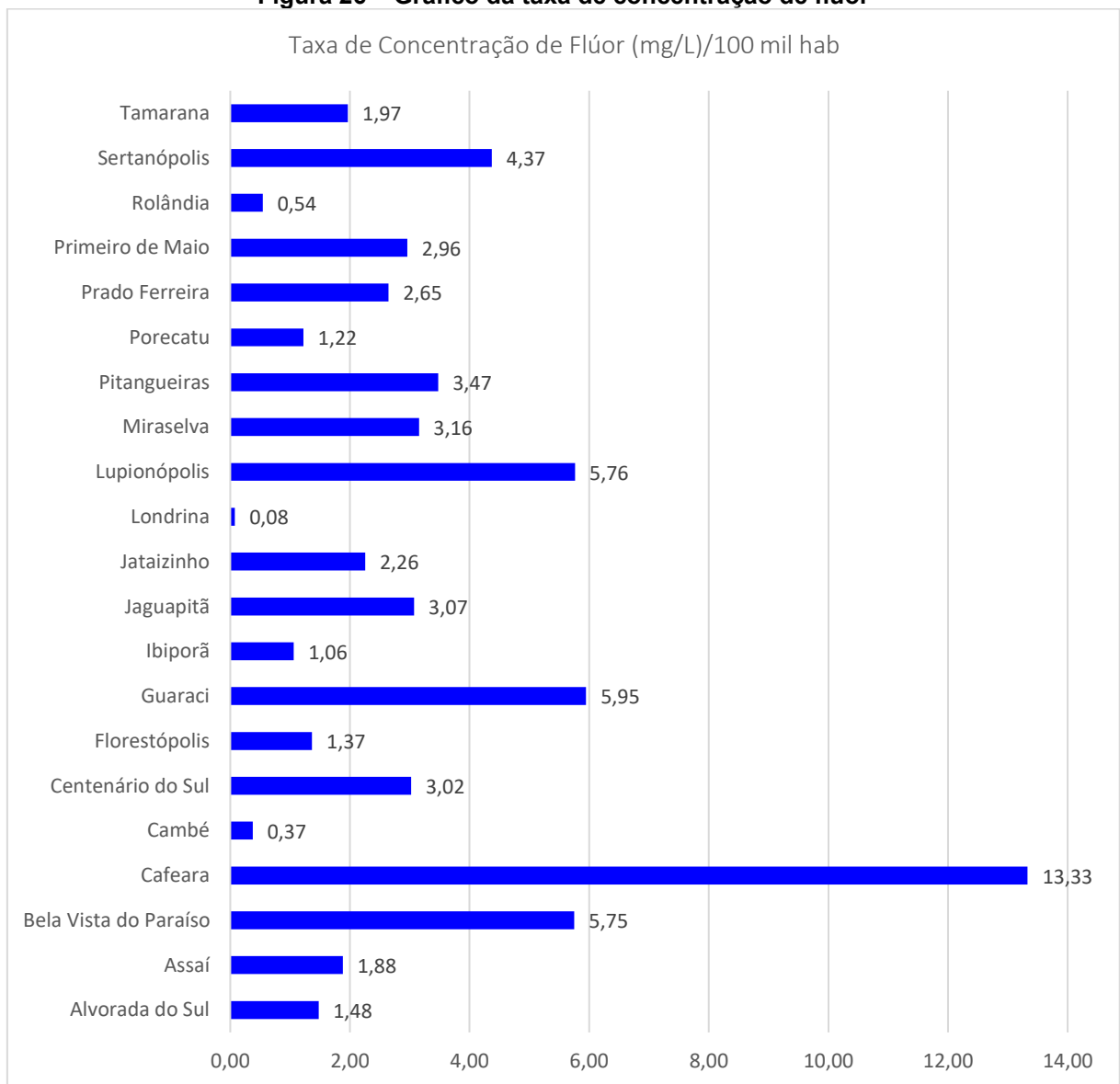


Fonte: Autoria própria, 2023

6.5 Determinação da concentração média de flúor por habitante

Parametrizando a concentração média de flúor (mg/L) para uma taxa de 100 mil habitantes, constatou-se que Cafeara apresentou a maior média de concentração de flúor, com 13,33 mg/L por 100 mil habitantes, seguidos por Guaraci, Lupionópolis e Bela Vista do Paraíso, com VPM de 5,95 mg/L, 5,76 mg/L e 5,75 mg/L, respectivamente. Outros municípios também apresentaram concentrações acima dos VPM como pode ser observado na Figura 26.

Figura 26 – Gráfico da taxa de concentração de flúor



Fonte: Autoria própria, 2023

Analisando o Atlas águas – Mananciais e Sistemas da Agência Nacional das Águas - ANA, identificou-se os sistemas de abastecimentos utilizados para o abastecimento urbano de cada município, Alvorada do Sul, Cafeara, Centenário do Sul, Florestópolis, Guaraci, Iporã, Jaguapitã, Lupionópolis, Miraselva, Pitangueiras, Porecatu, Prado Ferreira, Primeiro de Maio, Sertanópolis e Tamarana, são abastecidos exclusivamente por mananciais subterrâneos

Já os municípios de Cambé e Londrina são abastecidos por um sistema integrado. Assaí, Bela Vista do Paraíso, Jataizinho e Rolândia são bastecidos por um manancial superior ou misto.

Pode-se ver que Cafeara, Guaraci, Lupionópolis e Sertanópolis, municípios que apresentaram taxas acima de 5,0 mg/L, são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas, sendo factível a correlação das águas do SASG com as altas concentrações de flúor encontradas.

6.6 Avaliação dos dados sobre a saúde potencialmente relacionadas a exposição ao flúor

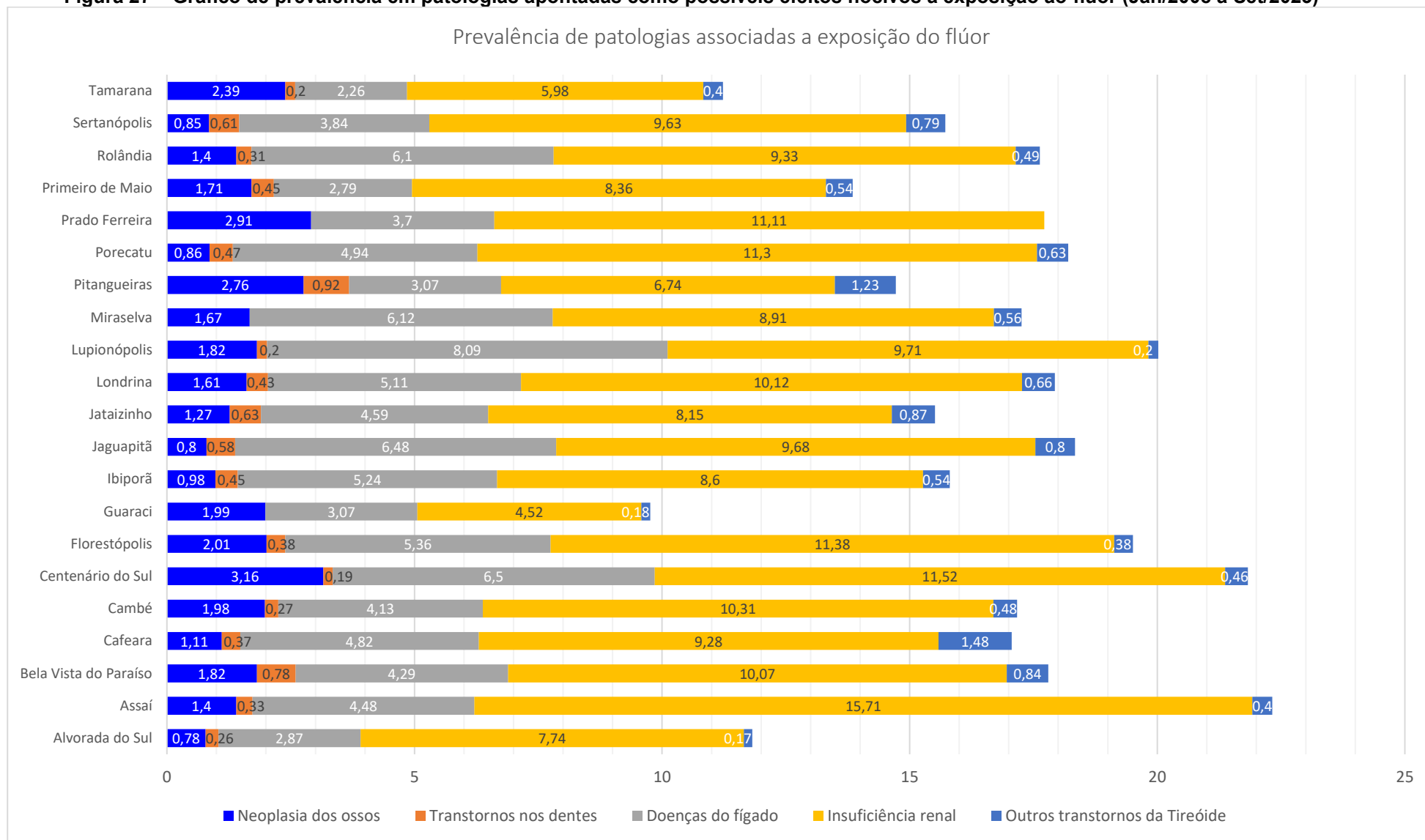
Utilizando o banco de dados do Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS), identificou-se dentro lista de morbidade CID-10, por local de residência para os municípios que compõe a área de estudo, cinco enfermidades associadas a exposição do flúor, sendo elas a neoplasia dos ossos, outros transtornos dos dentes e estrutura de suporte, insuficiência renal, outras doenças do fígado e outros transtornos da tireoide.

O período de análise das informações é de Janeiro de 2008 a Setembro de 2023. A prevalência das morbidades foi calculada para os municípios que compõe a área de estudo apresentados na Figura 27.

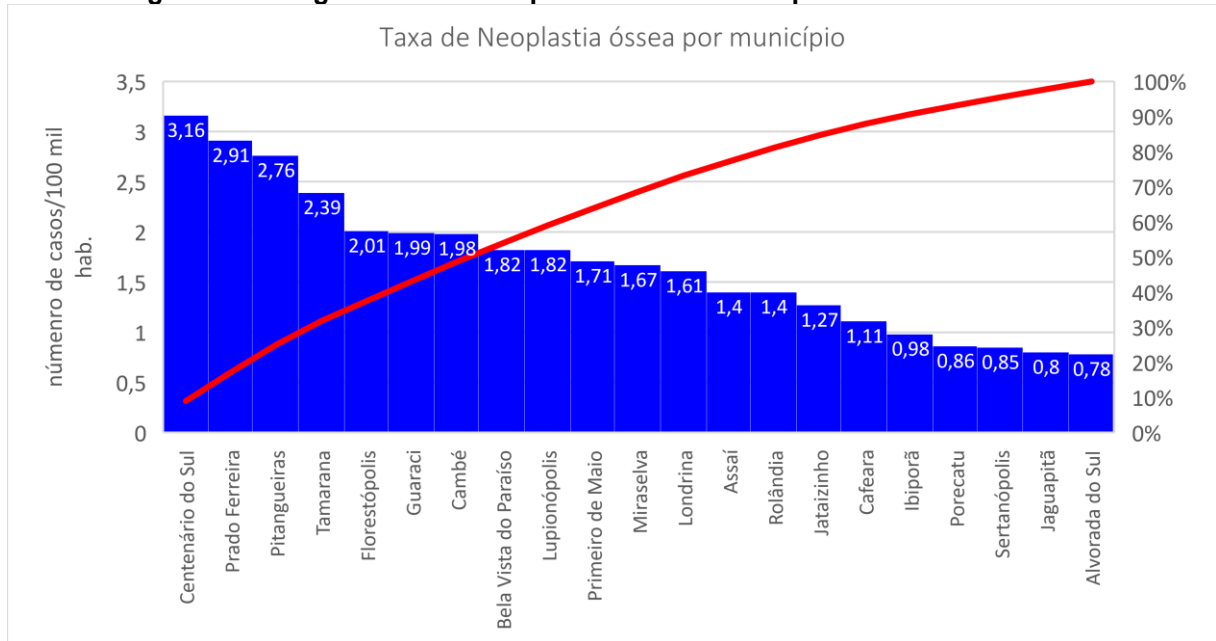
A prevalência de neoplasia óssea foi mais pronunciada no município de Centenário do Sul, registrando uma taxa de 3,16, seguido por Prado Ferreira e Pitangueiras, com taxas de 2,91 e 2,76, respectivamente.

Analisando a Figura 26 nota-se que esses municípios demonstraram uma média de concentração de flúor (mg/L) por 100 mil habitantes, com valores de 3,02 para Centenário do Sul e 2,65 para Prado Ferreira e 3,47 para Pitangueiras.

Figura 27 – Gráfico de prevalência em patologias apontadas como possíveis efeitos nocivos à exposição ao flúor (Jan/2008 à Set/2023)

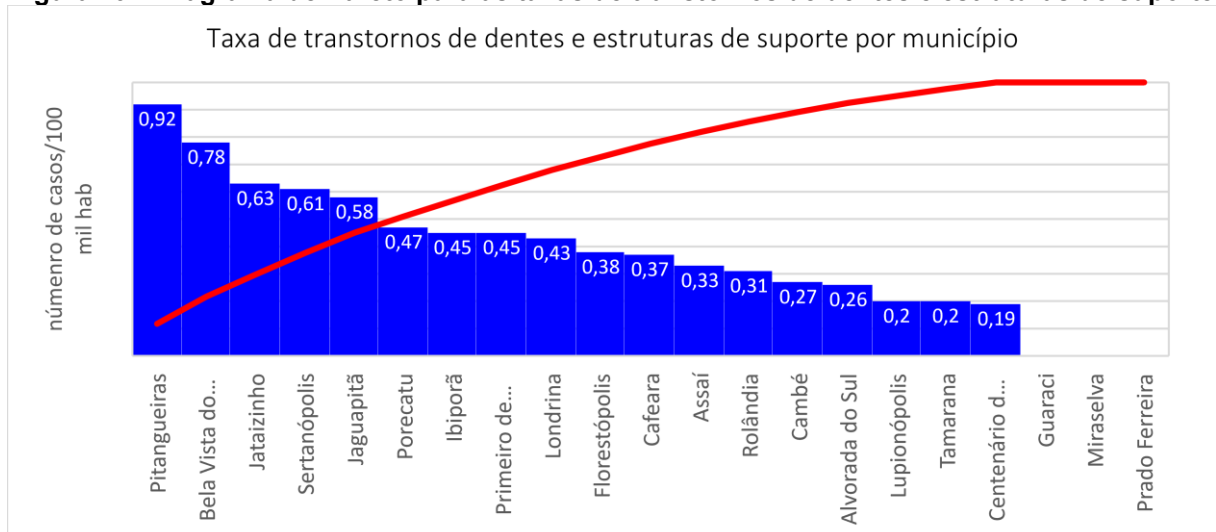


Fonte: Modificado de Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS) (2023)

Figura 28 – Diagrama de Pareto para as taxas de neoplasia na área de estudo

Fonte: Modificado de Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS) (2023).

Na categoria de transtornos de dentes e estruturas de suporte, o município de Pitangueiras teve a maior taxa com 0,92. Essa cidade, de acordo com a Figura 27, apresenta elevada concentração média de flúor (mg/L) por 100 mil habitantes foi de 3,47.

Figura 29 – Diagrama de Pareto para as taxas de transtornos de dentes e estruturas de suporte

Fonte: Modificado de Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS) (2023)

Com o objetivo de quantificar a incidência de casos de morbidades nos municípios pertencentes a RS de Londrina, foi elaborada uma tabela apresentando a distribuição desses resultados (Tabela 9).

Tabela 9 – Número de casos e taxas para neoplasia no osso e transtornos nos dentes

Município	Número de Casos - Neoplasia no osso	Taxa de Neoplasia dos ossos	Número de Casos - Transtornos nos dentes	Taxa de Transtornos nos dentes
Alvorada do Sul	9	0,78	2	0,26
Assaí	21	1,4	5	0,33
Bela Vista do Paraíso	28	1,82	12	0,78
Cafeara	3	1,11	1	0,37
Cambé	213	1,98	29	0,27
Centenário do Sul	34	3,16	2	0,19
Florestópolis	21	2,01	4	0,38
Guaraci	11	1,99	0	0
Ibiporã	54	0,98	25	0,45
Jaguapitã	11	0,8	8	0,58
Jataizinho	16	1,27	8	0,63
Londrina	929	1,61	249	0,43
Lupionópolis	9	1,82	1	0,2
Miraselva	3	1,67	0	0
Pitangueiras	9	2,76	3	0,92
Porecatu	11	0,86	6	0,47
Prado Ferreira	11	2,91	0	0
Primeiro de Maio	19	1,71	5	0,45
Rolândia	94	1,4	21	0,31
Sertanópolis	14	0,85	10	0,61
Tamarana	36	2,39	3	0,2
TOTAL	1556		394	

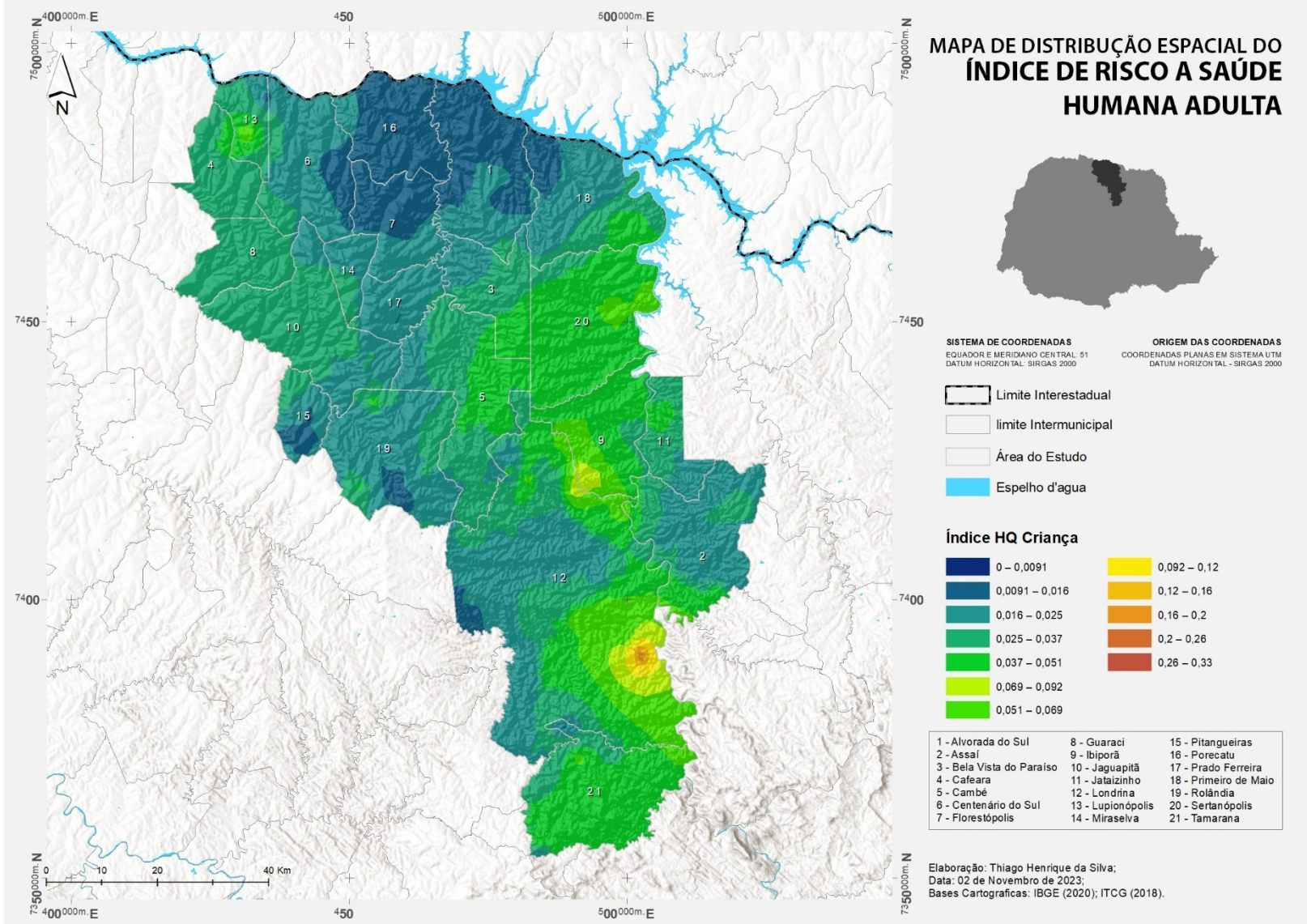
Fonte: Modificado de Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS) (2023)

6.7 Avaliação do risco potencial a saúde humana provocada pela exposição de flúor

Neste estudo, analisou-se os possíveis riscos à saúde humana de elemento não cancerígeno associado a presença de flúor (F) em águas subterrâneas. As variáveis analisadas foram homens, mulheres e crianças com base na ingestão de água necessária para atender as necessidades diárias.

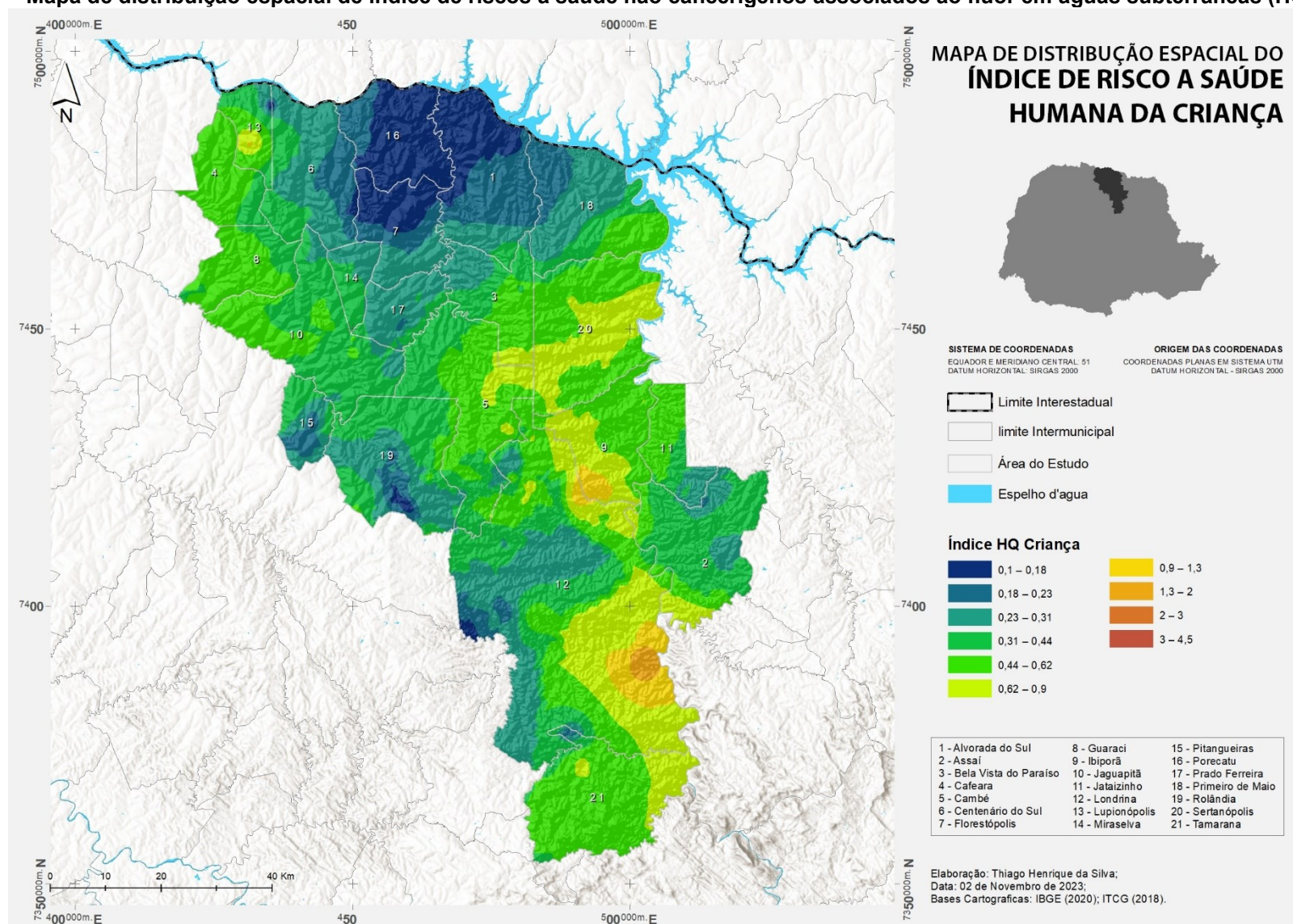
Para homens e mulheres, os resultados encontrados não apresentaram diferenças consideráveis, assim utilizou-se como média os resultados de ambas classes sem distinção entre sexo, denominada como Adulto, já os riscos para a saúde humana da criança foram definidos também como uma classe.

Figura 30 – Mapa de distribuição espacial de índice de riscos à saúde não cancerígenos associados ao flúor em águas subterrâneas (HQ) - Adulto



Fonte: Modificado de Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS) (2023).

Figura 31 – Mapa de distribuição espacial de índice de riscos à saúde não cancerígenos associados ao flúor em águas subterrâneas (HQ) - Criança



Fonte: Modificado de Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS) (2023).

Os resultados da Figura 30 mostram que os riscos à saúde humana para doenças não cancerígenas associados ao flúor estão dentro da condição normal (<1). Porém, ao avaliar os resultados HQ para crianças o cenário é muito diferente, se apresentam zonas no mapa com anomalias com grandes riscos para a saúde (>1) deste grupo.

Os riscos estão encontrados especialmente nas porções sul, centro sul, centro leste, nordeste e noroeste do mapa, se destacando: áreas limítrofes entre os municípios de Londrina e Tamarana; Londrina e Ibiporã; zonas parciais das áreas municipais de Cambé e Ibiporã; abrangência significativa de zonas dos municípios de Sertanópolis e Sertaneja e anomalias concêntricas em Guaraci e Lupionópolis, respectivamente.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando as implicações toxicológicas decorrentes da elevada concentração de flúor (F), previamente mencionadas, a pesquisa possui grande importância sobre o comportamento do flúor no SASG, e serve de subsídio para possíveis tomadas de decisões para os municípios que compõe a 17ª Regional de Saúde de Londrina.

Com a identificação das áreas anômalas de concentração de F, com valores muito acima do recomendado pela legislação brasileira e o risco potencial à saúde humana, é recomendada uma investigação mais aprofundada sobre as possíveis intoxicações de modo crônico pela presença de F.

Os municípios de Bela Vista do Paraíso, Cambé, Ibiporã, Londrina, Primeiro de Maio, Rolândia e Sertãoópolis, apresentaram valores alarmantes de flúor nos poços analisados, é altamente recomendado que se faça um acompanhamento da evolução do flúor nos poços utilizados para a dessedentação humana.

Já em relação as morbidades na 17ª RS, para prevalência de neoplasia óssea foi Centenário do Sul, o município mais preocupante, com a taxa de 3,16 e média de concentração de flúor (mg/L) por 100 mil habitantes em 3,02. Prado Ferreira e Pitangueiras apresentaram taxas de 2,91 e 2,76, respectivamente.

Na categoria de transtornos de dentes e estruturas de suporte, foi Pitangueiras que apresentou a maior taxa com 0,92. Com uma elevada concentração média de flúor no valor de 3,47 (mg/L) por 100 mil habitantes.

A vulnerabilidade à saúde humana para doenças não cancerígenas associados ao flúor denota preocupação para as crianças na área do estudo conforme apontou o índice HQ.

O estudo ainda fornece dados das concentrações de flúor presente nos poços tubulares profundos com um banco de dados atualizado na 17ª RS, Estado do Paraná. As informações aqui apresentadas compõem o conhecimento sobre a manifestação da fluorose na população pertencente a área estudada e pode ser ferramenta importante no desenvolvimento de novas pesquisas acerca do tema.

Assim, recomenda-se que se faça uma rede de monitoramento nos poços avaliados nesse estudo que apresentaram valores acima do recomendado pela legislação, se possível, que seja feita uma nova análise da água afim de se saber o comportamento da evolução da concentração de flúor.

Do mesmo modo é necessário acompanhar a evolução da concentração de flúor nos poços que ainda não ultrapassaram o valor de referência da legislação, porém, estão próximos ao VMP, e que eventualmente podem estar sendo utilizados para a dessedentação humana.

Para a análise das morbidades com potencial de estarem associadas ao excesso de flúor, é crucial aprimorar o diagnóstico, assegurando o registro preciso de casos suspeitos relacionados a essa substância. Esse aprimoramento é essencial para fornecer dados mais robustos e substanciais, contribuindo significativamente para os estudos sobre a contaminação por flúor no Sistema Aquífero Serra Geral.

A coleta e documentação precisa de informações epidemiológicas relacionadas ao flúor são fundamentais para subsidiar uma avaliação mais do real impactos à saúde pela presença do flúor também e para embasar efetivamente estratégias de gestão e prevenção de enfermidades.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M. Síntese sobre a tectônica da bacia do Paraná. **Anais III Simp. Regional de Geologia**. Curitiba, 1981.
- ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, J.; CALIXTO, M.; BALTAR, C. M. **Fluorita**. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/1056/1/20.FLUORITA%20ok.pdf>. Acesso: 02 out. 2023
- BARCELLOS, C. & BASTOS, F. I., “Geoprocessamento, Ambiente E Saúde: Uma União Possível? Are Geoprocessing, Environment, and Health a Possible Combination?”. **Cad. de Saúde Pública**. Rio Janeiro, vol. 12, no. 3, 1996.
- BITTENCOURT, A. V. L.; FILHO, E. F. da R.; HIND, E. C.; FILHO, A. C. B. A influência dos basaltos e de misturas com águas de aquíferos sotopostos nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra- Geral na bacia do rio Piquiri, Paraná - BR. **Revista Águas Subterrâneas**. Curitiba, 2003.
- BOSCARDIN, N. R.; BORGHETTI, J. R.; DA ROSA FILHO, E. F. O. **A integração das águas: revelando o verdadeiro aquífero**. Curitiba: Edição da Autora, 2011.
- BRASIL. Lei nº 6.050, de 24 de maio de 1974. Dispõe sobre a obrigatoriedade da fluoretação das águas em sistemas de abastecimento. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 maio 1974.
- _____. Ministério da Saúde. Portaria nº 685/Bsb, de 25 de dezembro de 1975 aprova as normas e padrões sobre a fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento, destinada ao consumo humano. **Diário Oficial da União**, 1975b.
- _____. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. **Guia de recomendações para o uso de fluoretos no Brasil**. Brasília, 2009.
- _____. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. SB Brasil 2010: **Pesquisa Nacional de Saúde Bucal: resultados principais**. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2012.
- _____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014.
- _____. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). **Dados geoespaciais**. Disponível em: <https://inde.gov.br>. Acesso em: 02 out. 2023.
- CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. DE. Cap. 3 - Arquitetura de sistemas de informação geográfica. **Introdução à Ciência da Geoinformação**, 2004.

CANGUSSU, M. C. T.; NARVAI, P.C.; FERNANDEZ, R. C. e DJEHIZIAN, V. A fluorose dentária no Brasil: uma revisão crítica. **Caderno de Saúde Pública**. Rio de Janeiro, 2002.

CAVALCANTE, I. N. et al. **Qualidade das águas subterrâneas na Bacia Sedimentar de Iguatu—área piloto Iguatu e Quixelô, Estado do Ceará**. *Águas Subterrâneas*, n. 1, 2004.

CELLIGOI, A.; DIAS, V.K. N. Estudo hidrogeológico de uma área em indústria de reaproveitamento de chumbo no município de Marilândia Do Sul - Pr. In: I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, 2003, Petrópolis - RJ. **I Simpósio de hidrogeologia do Sudeste - ANAIS**. v. 1. p. 275-285. Rio de Janeiro, 2003.

CELLIGOI, A.; DUARTE, U. Critérios hidrogeológicos na locação de poços tubulares na formação serra geral. **9º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1996-ANAIS**. v. 1. p. 17. SALVADOR, 1996.

CELLIGOI, A; KIANG, C. H; SANTOS, M. M. Estudo hidrogeológico e hidroquímico de uma área com ocorrência de óleo diesel em nascentes próximas ao ribeirão Lindóia na Zona Norte de Londrina – PR. In: **Encontro Nacional de Perfuradores de Poços - ANAIS**, Gramado, 2007.

CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. **Série Relatórios Ambientais**. São Paulo, 2001.

DANTAS, N. L.; DOMINGUES, J. E. G. **Sistema de vigilância dos teores de flúor na água e abastecimento público de Curitiba**. *Rev. Divulg Saúde Deb*, n. 13, 1996.

EZAKI, S., HYPOLITO, R., PÉREZ-AGUILAR, A., MOSCHINI, F. A., MOURA, C. L., & PUGAS, M. S. Avaliação da ocorrência de íon fluoreto nas águas subterrâneas dos aquíferos tubarão e cristalino, região de Salto (SP). **Águas Subterrâneas, 1**. I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. São Paulo, 2009.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3 ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM; Recife: LABHID, 2008.

FEJESKOV, O.; YANAGISAWA, T.; TOHDA, H. Posteruptive changes in human dental fluorosis- a histological and ultrastructural study. **Proc. Finn. Dent. Soc.**, v. 87, n. 4, p. 607-619, 1991.

FERREIRA, I. O.; SANTOS, G. R.; RODRIGUES, D. D. Estudo sobre a utilização adequada da krigagem na representação computacional de superfícies batimétricas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 5, 31 out. 2013

FILHO, J. L. A.; BARBOSA, M. C.; AZEVEDO, S. G.; CARVALHO, A. M. O papel das águas subterrâneas como reserva estratégica de água e diretrizes para a sua gestão sustentável. **Revista Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 32, ed. 2, p. 53-61, 2011.

FRAGA, C. G. Introdução ao Zoneamento do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná. **Dissertação de Mestrado** (Instituto de Geociências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

FRAGA, C. G. Origem de fluoreto em águas subterrâneas dos sistemas aquífero Botucatu e Serra Geral da Bacia do Paraná. 1992. **Tese de doutoramento** (Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FRAZÃO, P. Paulo Frazão I Marco A Peres II Jaime A Cury III. **Rev. Saúde Pública**, v. 45, n. 5, p. 964–73, 2011.

GUIMARÃES, D.V. Teores de fluoreto na água para consumo humano na 17ª Regional de Saúde do Paraná entre os anos de 2014 e 2018: vulnerabilidades e riscos à saúde bucal. **Tese de doutoramento** (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômico para o Brasil**. São Paulo: USP/IGc, 2019,66 p.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. Rio de Janeiro, 2020.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Limites municipais**. Brasil: IBGE, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=24048&t=sobre>. Acesso em: 12 nov. 2022.

INREM FOUNDATION (Índia Natural Resource Economics and Management Foundation). Fluorosis. Disponível em: http://inremfoundation.org/fluorosis/know_more.html. Acesso em: 14 nov. 2023.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. – **Meteorologische Zeitschrift**. v. 18, 106–120, 1901.

KRUL L.; KREMER B.H.A.; LUIJCKX N.B.L.; LEEMAN W.R. Quantifiable risk-benefit assessment of micronutrients: From theory to practice. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2016.1162765>. Acesso em: 12 nov. de 2022.

LEINZ, V. Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras**, São Paulo, 1949.

LOGAN, J. **Interpretação de análises químicas d'água**. Recife: US. Agency for International Development, 1965.

LIMA, J. E.F. W. Recursos hídricos no Brasil e no mundo / Jorge Enoch Furquim Werneck Lima. **Planaltina: Embrapa Cerrados**. Brasília 2001.

MACHADO, F. B.; NARDY, A. J. R.; ROCHAJÚNIOR, E. R. V.; MARQUES L. S.; OLIVEIRA M. A. F. Geologia e litogeoquímica da Formação Serra Geral nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. **Geociências**, São Paulo, v. 28, ed. 4, p. 523-540, 2009.

MCKAY, F.S. **Relation of mottled enamel to caries**. Journal of the American Dental Association 15:1.429-1.437.1928

MARCUZZO, F. F. N; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. Métodos de interpolação. Matemática no mapeamento de chuvas no estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 4, 2011.

MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A. J. R. Geological and magmatic aspects of the Parana basin - an introduction. **Mesozoic Flood Volcanism of the Parana Basin**. Tradução. São Paulo: USP-IAG, 1988

MIGUEZ, P. H. G. Desenvolvimento de um software para classificação hidroquímica de águas subterrâneas. 2020. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020.

MORGENSTERN, H. Ecologic Studies in Epidemiology: Concepts, Principles, and Methods. **Annual Review of Public Health**, 16. 1995

MOYSÉS, S. J; MOYSÉS, S. T.; ALLEGRETTI, A. C. V.; ARGENTA, M.; WERNECK, R. Fluorose dental: ficção epidemiológica?. **Revista Panamericana de Salud Publica**. v. 12, p. 339-346, 2002.

NANNI, A. S. O Flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico. **Tese de doutorado** - Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

NARVAI, P. C. Cárie dentária e flúor: uma relação do século XX. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 5, n. 2, p. 381–392, 2000.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Constituição da Organização Mundial da Saúde. **Documentos básicos, suplemento da 45ª edição**, outubro de 2006.

Disponível em espanhol em:

http://www.who.int/governance/eb/who_constitution_sp.pdf. 02 nov. 2022

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Indicadores de Saúde: Elementos conceituais e práticos**. 2018

PECKHAM, S; NIYI AWOFOESO, "Water Fluoridation: A Critical Review of the Physiological Effects of Ingested Fluoride as a Public Health Intervention", **The Scientific World Journal**, vol. 2014, 10 pages, 2014.

PETRI, S.; FÚLFARO, V.J. **Geologia do Brasil**. T. A. Queiroz São Paulo, 1983

PINESE, J.P.P. Caracterização petrológica e geoquímica dos diques do arco de Ponta Grossa. São Paulo, 1989. 196 p. **Dissertação** (Mestrado em Geociências) – Instituto de Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo

ROSA FILHO, E. F.; et al. Contribuição ao Estudo das Águas Subterrâneas nos Basaltos no Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba, 1987.

ROSA FILHO, E. F.; HINDI, E. C. 2006. Diagnóstico das águas subterrâneas no Estado do Paraná: quantidade e Qualidade. **Relatório Técnico**. Curitiba, 2006.

SANTIAGO, M. R. Análise das ocorrências anômalas de Fluoreto em águas subterrâneas. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, W. S. O flúor na porção norte da bacia hidrográfica do rio das Cinzas-PR: qualidade das águas subterrâneas sob a ótica da geografia da saúde. 2019. **Tese de mestrado** (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

STIFF, H.A. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. **Journal of Petroleum Technology** 3, nº 10. Dallas, 1951.

SZIKSZAY, M. Geologia das águas. **Boletim IG-USP. Série Didática**. Universidade de São Paulo; Instituto de Geociências - Departamento de Geologia Geral. São Paulo, 1993.

USEPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Reference Dose (RfD): description and use in health risk assessments background document 1A. **Technical Report**. Washington, 1993. Disponível em: <https://www.epa.gov/iris/reference-dose-rfd-description-and-use-health-risk-assessments>. Acesso em: 15 nov. de 2022.

VIEGAS, A.R. Fluoretação da água de abastecimento público. **Revista Brasileira de Medicina**. 46: 209-16, 1989.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In. NOVAES, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E G. R. **Tópicos em ciências do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

WHITFORD, G. M. **The metabolism and toxicity of fluoride**. Basel, Karger. 1996.

WHITFORD, G. M. Toxicidade aguda do fluoreto. **Fluoretos e saúde bucal**. BUZALAF, M. A. R. São Paulo, 2008.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. de J. et al. –Tectônica da Bacia do Paraná - **Atas III Simp. Sul-Bras. de Geologia**. v.1, p. 441-474. Curitiba, 1987.

ZILBOVICIUS, Celso e FERREIRA, Regina Glauca Lucena Aguiar e NARVAI, Paulo Capel. Água e saúde: fluoretação e revogação da Lei Federal n. 6.050/1974. **Revista de Direito Sanitário**, v. 18, n. 3, p. 104-124, 2018Tradução. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9044.v18i3p104-124>. Acesso em: 12 nov. de 2022.