

HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E ANOMALIAS DE FLUORETO EM REGIÃO DO SEMI-ÁRIDO MINEIRO

Sergio Melo da Silva¹; Leila Nunes Menegasse Velásquez¹; Adriana Miranda Freitas¹; Cristiany Pereira¹; Dora Atman Costa¹; Lilian Catone Soares¹; Lúcia Maria Fantinel¹; Peter Marshall Fleming²; Paulo César Horta Rodrigues²

RESUMO

Em função das características climáticas na região semi-árida de Minas Gerais a oferta de água nos mananciais superficiais é pequena, o que leva a busca por águas do subsolo. Contudo, essa conjugação de clima com a geologia, dá características próprias às águas subterrâneas, especialmente a grande quantidade de íons presentes. Dentre eles está o flúor, que em dosagem elevadas leva ao aparecimento da fluorose dentária. O presente trabalho aborda sobre as principais características químicas da região de Verdelândia e Jaíba, onde predomina a fácies bicarbonatada cálcica para águas freáticas e profundas, mas também ocorrendo águas com influência de sódio e cloreto, sendo que o sódio juntamente com pH e nitrito teve correlação estatística com o flúor. Observou-se *background* de 0,4 mg/L para ambos os poços para flúor, estando predominantemente a região leste da área de estudo abaixo desse teor e a oeste acima, embora em ambas as porções ocorram teores acima de 0,8 mg/L. Além do flúor, outros elementos como o chumbo foram detectados como anômalos e podem comprometer a saúde humana, o que leva a discussão do uso mais racionalizado dessas águas.

Palavras-chave: semi-árido, hidroquímica, flúor

ABSTRACT

The semi-arid climate characteristics of northern Minas Gerais lead to search about groundwater's source, because its scantiness that places. However, the climate associated with the geologic conditions, provides characteristics to the groundwater, especially in great percentage of constituents ions. Included in its the fluoride, that in high strengths leads to dental fluorosis. This paper comments about the mains chemical characteristics of Verdelândia and Jaíba region, where occur predominance of calcium and bicarbonatade facies to underground water, but occurring yet water with sodium and chloride influence, and the sodium associated with the pH and nitrite had statistics correlation with the fluoride. It was observed background to 0,4 mg/L to boths the wells to fluoride, that the region predominant to east of area from search is lower this average and the west

¹ Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia - UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627. Pampulha, Belo Horizonte, MG. CEP: 31270- 901. Tel.: (31) 3409-5446. e-mail: smelos@hotmail.com; menegase@yahoo.com.br

² Comissão Nacional de Energia Nuclear – CDTN/CNEN, Rua Prof. Mário Werneck, s/no., CP 941, Pampulha, Belo Horizonte, MG, CEP:30123-970. Tel.: (31) 3069-3240. e-mail: pmf@cdtn.br

area, despite in the two portions have been detected rates above 0,8 mg/L. Beyond fluoride, other chemical elements as lead were detected to anomaly and its can interfere the human health, this lead to a discussion of the use more streamlined these waters.

Keywords: semi-arid, Hydrochemicistry; fluoride

I – INTRODUÇÃO

Na região norte de Minas Gerais, as questões acerca dos recursos hídricos são de fundamental importância, principalmente devido ao elevado déficit hídrico registrado na região.

Com uma baixa disponibilidade hídrica superficial, para que se supram as demandas das populações rurais, pode-se observar uma busca acentuada de água subterrânea, em função do bom potencial dos aquíferos carbonáticos regionais.

Essa situação, por um lado, atende a necessidade de água, por outro, devido à falta de controle, especialmente no que diz respeito as características hidroquímicas, um problema de saúde pública têm sido observado em diversas localidades no médio vale do São Francisco em decorrência das características geológicas da região: fluorose dentária, provocada pelo consumo prolongado de água subterrânea contendo excesso de fluoreto.

Tal endemia foi diagnosticada no município de São Francisco (Velásquez et al, 2003) e em outros dez municípios do norte mineiro (Velásquez et al., 2007), sendo os locais mais críticos os distritos de Mocambo no município de São Francisco, seguido de Amargoso, no município de Verdelândia, onde chegou a detectar concentrações de fluoreto de até 11 mg/L em um poço tubular, mas que não foi utilizado pela população.

Os altos teores do íon fluoreto nas águas subterrâneas locais levaram ao aparecimento da doença, que origina-se da exposição do germe dentário ao flúor, durante o seu processo de formação, provocando defeitos na mineralização do esmalte dentário (Fejerkov, 1994). A moléstia é caracterizada apresentação de manchas amareladas ou castanhas (Figura 1).



Figura 1: Fluorose dentária registrada na Comunidade de Amargoso em Verdelândia, MG.

Atualmente vem sendo desenvolvida uma pesquisa liderada pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais em parceria com o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear e com apoio do Instituto Mineiro de Gestão das Águas com o objetivo de diagnosticar e caracterizar os processos que levam o aparecimento de anomalias de fluoreto em águas subterrâneas nos municípios de Verdelândia, Varzelândia e Jaíba, estudando todo o ciclo da água, desde as águas meteóricas até as águas profundas.

O trabalho desenvolvido envolve o monitoramento hidroquímico, estudos climatológicos, pedológicos, hidrogeológicos e geológicos.

Com base nos dados obtidos preliminarmente apresenta-se este trabalho, abordando as características hidroquímicas, especialmente no que diz respeito à concentração de fluoreto e suas relações com outros parâmetros analisados.

II – LOCALIZAÇÃO

A área de estudo encontra-se na região norte do estado de Minas Gerais, distando cerca de 600 quilômetros da capital do estado Belo Horizonte e abrange porções dos municípios de Verdelândia, Varzelândia e Jaíba e situa-se entres os meridianos 43°25' W e 44°12'W e paralelos 15°17'S e 15°57'S (Figura 2).

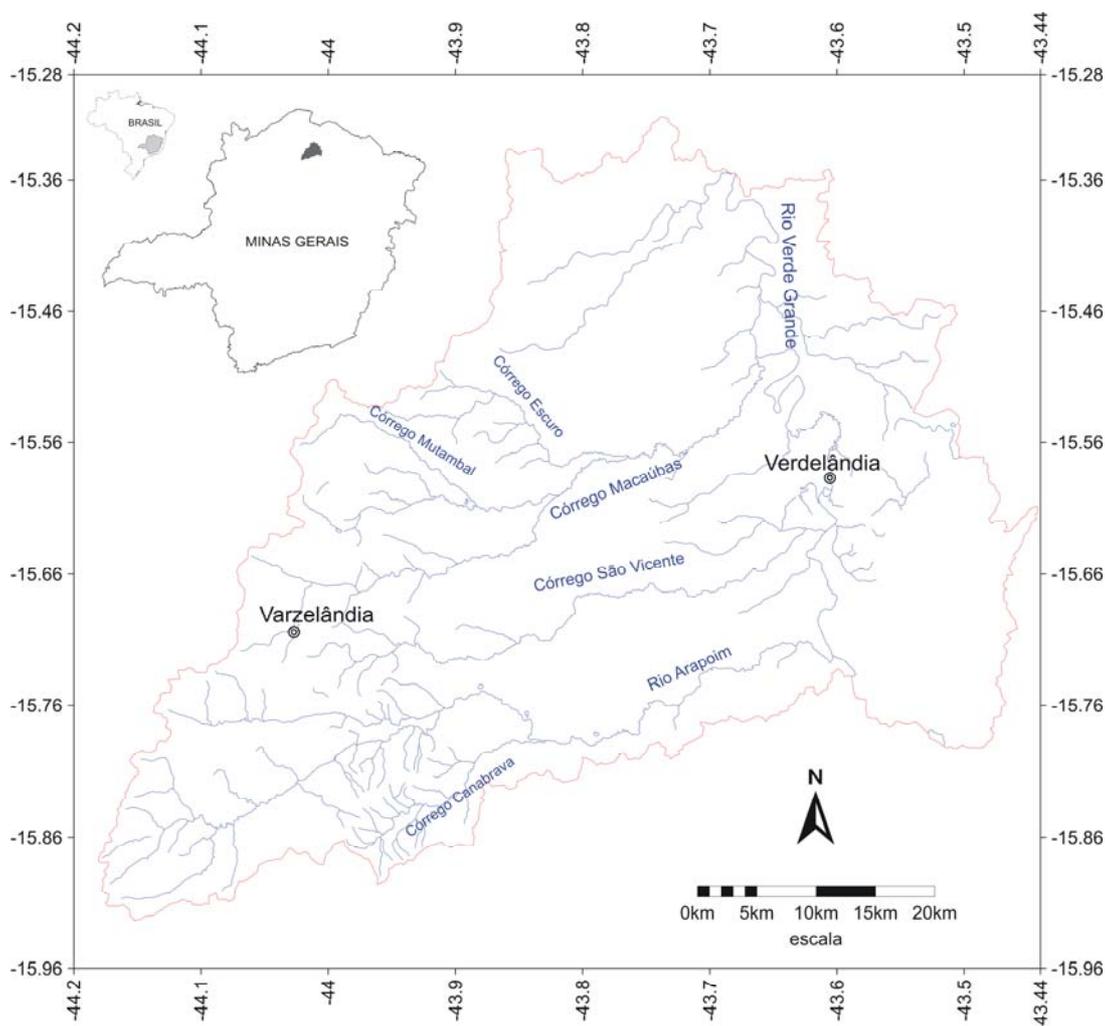


Figura 2: Mapa de localização da área de estudo

II – METODOLOGIA

Foram selecionados 27 pontos de água, sendo 19 poços profundos e oito poços cacimbas (cisternas), segundo os critérios de distribuição espacial, ocorrência dentro de determinado domínio geológico e pedológico (para as cacimbas), informações construtivas e perfil geológico do poço.

A seguir foram realizadas duas campanhas de campo, nos meses de outubro e novembro de 2007 para a coleta das amostras de água, seguindo os critérios preconizados pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2005) XXI da APHA, AWWA e WEF para análise dos seguintes parâmetros: STD, Condutividade elétrica, pH, Eh, K, Na, Ca, M, Fe, Mn, Ni, Al, As, Hg, Ba, Cd, Cu, Pb, Zn, Cl, F, SO₄, HCO₃, NO₃, NO₂, SiO₂, Alcalinidade. A realização das análises foram feitas no Centro de Tecnologia de Minas Gerais.

Além desses dados, incluiu-se mais 19 poços profundos cuja amostragem e análises foram realizadas no ano de 2006 por Velásquez et al.(2007). Dessa forma, para este trabalho 46 poços foram utilizados (Figura 3)

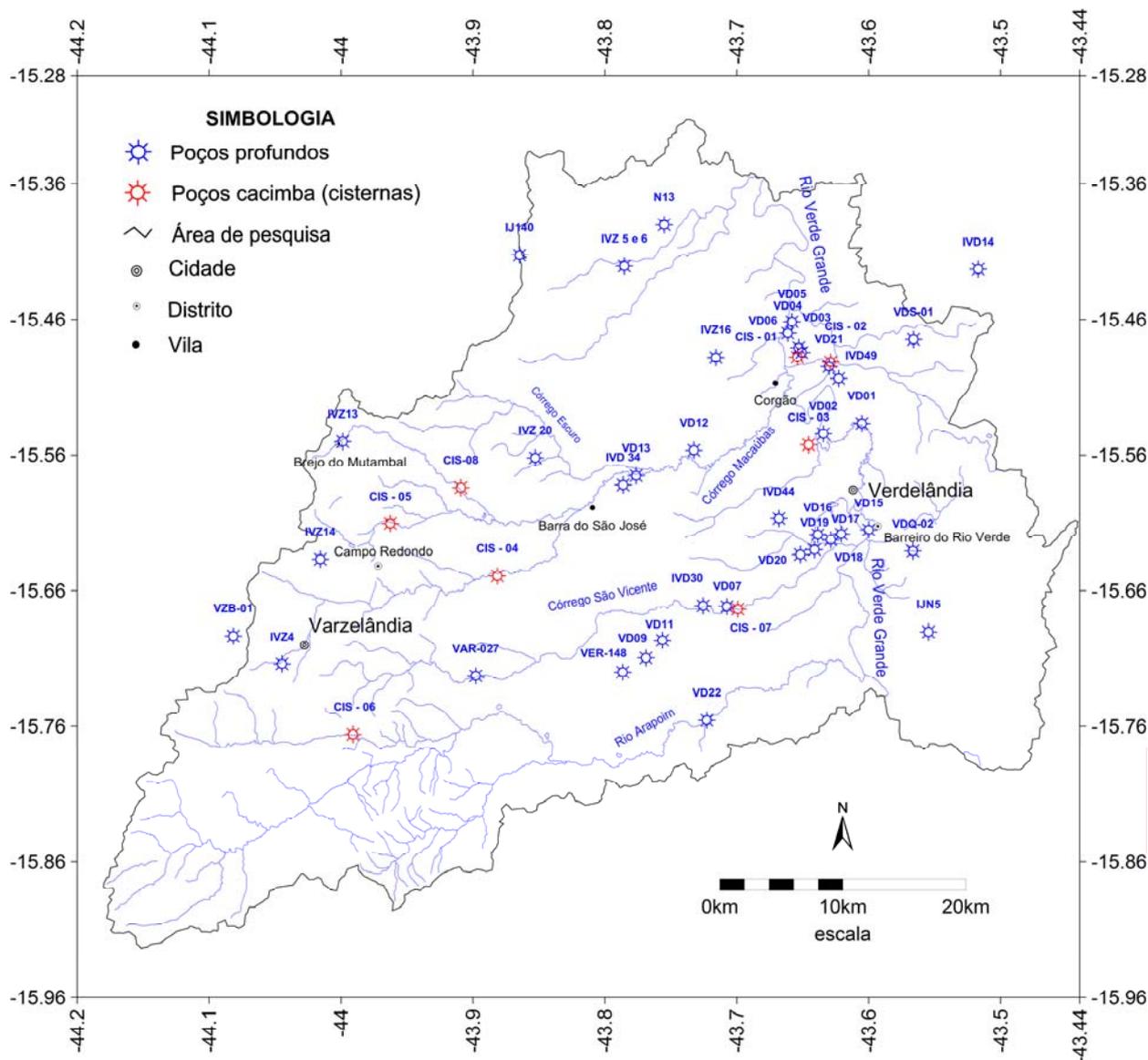


Figura 3: Mapa de distribuição dos pontos de água

Os dados foram tabulados e trabalhados estatisticamente nos softwares Aquachem 5.1, Statística 7.0. e Qualigraf. Também foi utilizado o software Golden Software Surfer 8 para a geração de modelo tridimensional de terreno, com dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) da NASA, e para a geração de isoconcentrações de flúor.

III – CLIMA

Patrus et al. (2001), adotando a classificação de Köppen, classifica a região como do tipo Aw, tropical chuvoso, quente e úmido, com inverno seco, apresentando temperatura média do mês mais frio superior a 18°C, e verão chuvoso. Já adotando os critérios de Nimer (1979), os mesmos autores o classificam como tropical quente semi-úmido inverno ameno e verão sempre quente e muito longo, com um período seco de longa duração.

Dados climatológicos entre os anos 1996 e 2006, fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia para a estação meteorológica de Mocaminho, situada a cerca 40 quilômetros da área de pesquisa, mostram temperatura média* anual de 26,6 °C, sendo julho o mês mais frio, com média de 24,5°C e outubro o mês mais quente, com média de 28,9 °C (Figura 4A).

Já em relação à pluviosidade os dados mostram uma precipitação média anual de 858,7 mm, concentradas principalmente entre os períodos de novembro a março e com índices muito baixos para o período entre abril e setembro (Figura 4B).

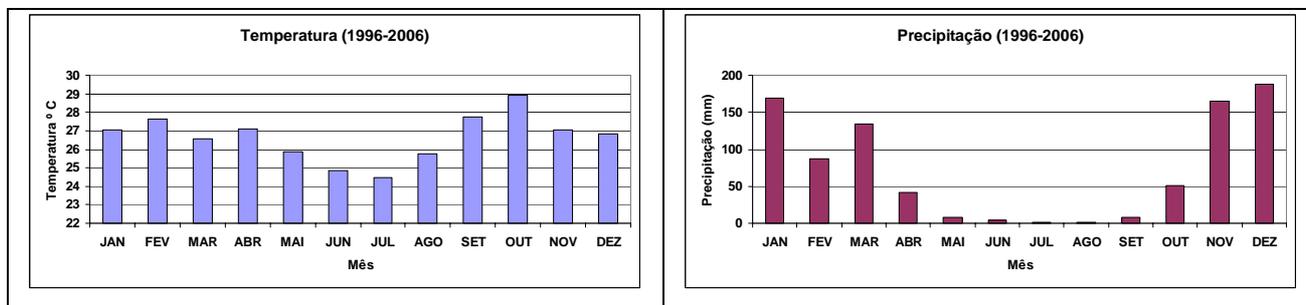


Figura 4: A – Médias das temperaturas mensais; B – Médias das chuvas mensais

A baixa pluviosidade, conjugada com temperaturas elevadas e grande insolação, faz com que a região apresente uma deficiência hídrica de 822 mm ao ano, havendo pequeno excedente apenas no mês de janeiro (Figura 5). Esses valores foram obtidos seguindo a metodologia para cálculo do balanço hídrico-climatológico de Thornthwaite e Matter (1955) e adotando 50 mm como a Capacidade de Armazenamento do Solo – CAD, para o período de 1996 a 2006.

* Foi obtida através do $\Sigma T ar/N^\circ$ de observações diárias

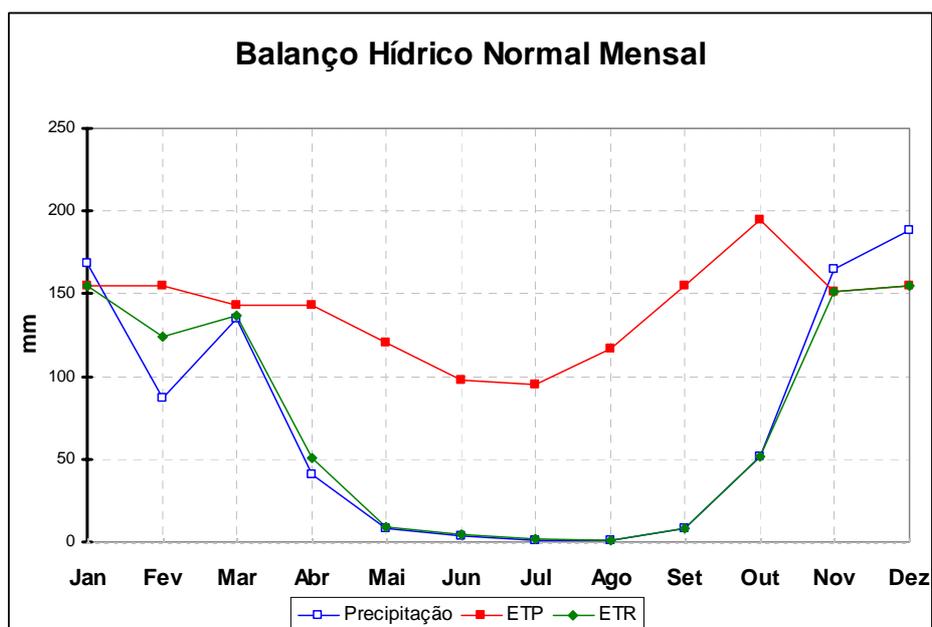


Figura 5: Extrato do balanço hídrico mensal no período de 1996-2006 para a estação meteorológica de Mocambinho, Jaíba, MG

IV – CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Geologicamente, a área de estudo encontra-se inserida dentro do compartimento central da Bacia do São Francisco, onde ocorrem coberturas de idade Neoproterozóica, pouco deformadas. Essa condição decorre do posicionamento na região centro-sul do Cráton do São Francisco, que permaneceu estável durante o evento orogênético Brasileiro, e afligiu regiões adjacentes, nas chamadas faixas móveis, como Araçuaí e Brasília, durante o Neoproterozóico (Almeida, 1977).

Litoestratigraficamente na área estudada são registrados rochas siliciclásticas e químicas de origem marinha e de idade Neoproterozóica do Grupo Bambuí e recobrimdo esse pacote, sedimentos Fanerozóicos do Grupo Urucuia e depósitos Terciários e Quaternários (Figura 6).

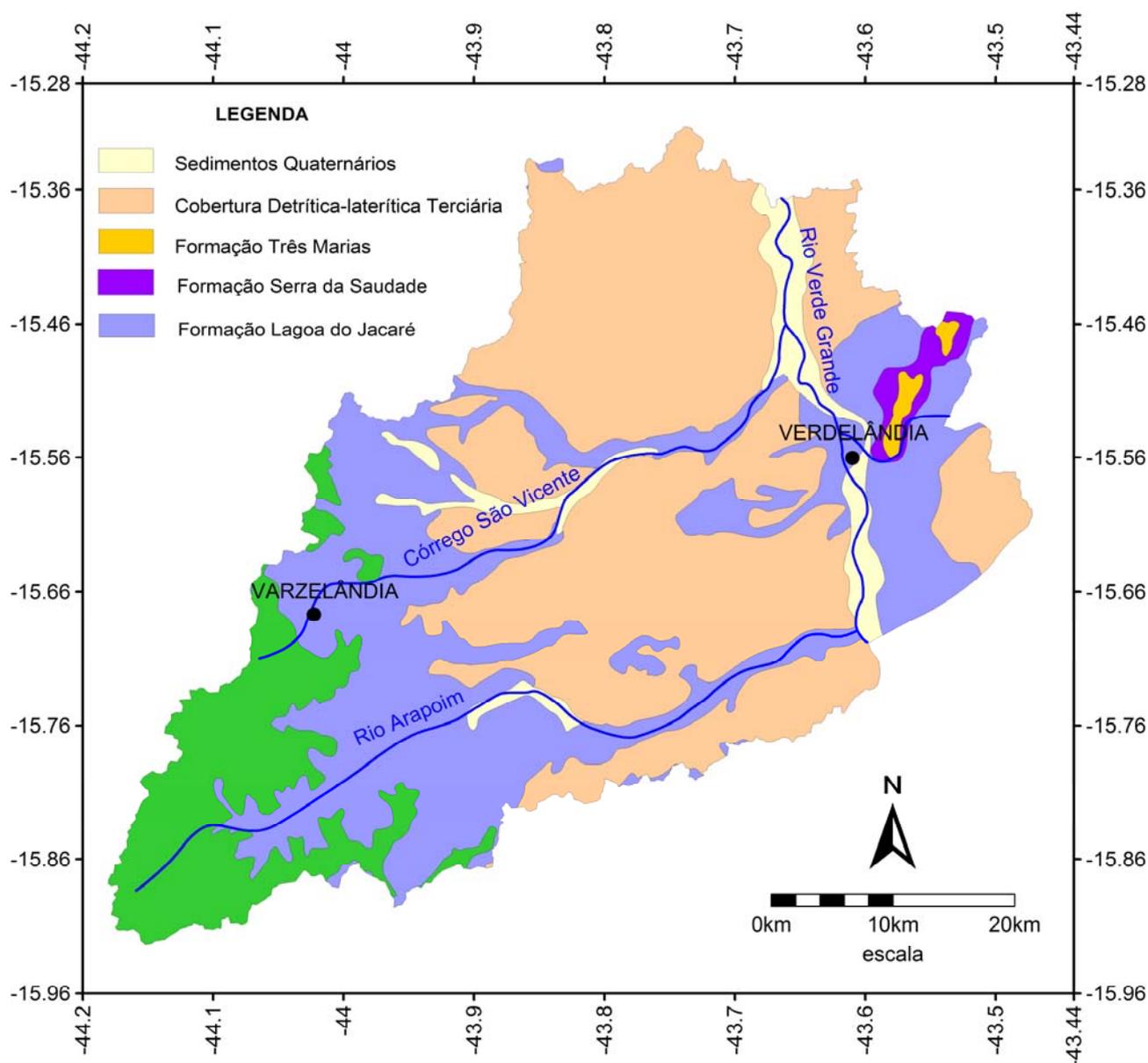


Figura 6: Mapa geológico simplificado da área de estudo
Adaptado de Martínez (2007)

Da base para o topo podem ser observados no Grupo Bambuí: a Formação Lagoa do Jacaré, constituída por intercalações repetidas de calcarenitos e calcirruditos cinza escuros, fétidos, apresentando forte recristalização e por vezes oolitos e psolíticos, além de siltitos e margas; a Formação Serra da Saudade, que é composta fundamentalmente por siltitos, metassiltos e argilitos cinza esverdeados; a Formação Três Marias, que trata da seqüência superior do Grupo Bambuí, onde são encontrados arcósios finos a médios, arenitos calcíferos, feldspáticos, siltitos e mais raramente argilitos (Martínez, 2007).

Com pouca representatividade, devido a espessuras delgadas e pequena exposição, restritas à região sudoeste da área, ocorrem os arenitos esbranquiçados e avermelhados com grande silicificação e laterização do Grupo Urucuaia, de idade Cretácica.

Já as Coberturas Detrítico-laterítica Terciárias tem grande ocorrência do ponto de vista espacial, contudo apresentam pouca espessura e são basicamente constituídas sedimentos inconsolidados, como colúvios e principalmente material eluviado das rochas do Grupo Bambuí.

Finalizando esse segundo pacote, têm-se depósitos coluvionares e, ao longo dos vales da região, depósitos de origem aluvionar.

Por não terem sofrido perturbação tectônica mais intensa na área, as rochas do Grupo Bambuí apresentam baixo grau de metamorfismo e deformação. Contudo, segundo Martínez (2007), foliação incipiente e dobras suaves podem ser observadas na região da Serra da Jaíba, localizada no flanco leste da área de estudo.

Se estruturas de caráter dúctil são mais escassas, as estruturas rúpteis, especialmente fraturas são bastante comuns, principalmente orientações NE e NW. Para a região, Dias e Bragança (2005) observaram um *trend* preferencial N50-60 °E e associam essa direção a esforços W-NW resultantes dos cavalgamento do Grupo Macaúbas sobre o Grupo Bambuí.

V – HIDROGEOLOGIA

Na área de estudos, o pacote de rochas carbonáticas e pelíticas do Grupo Bambuí, bem como os sedimentos arenosos das coberturas cenozóicas e os arenitos do Grupo Urucua permitem a definição de dois sistemas aquíferos hidraulicamente conectados: o inferior, cárstico-fissural, e o imediatamente superior, granular. No entanto, em função da pequena ocorrência espacial e espessuras bastante reduzidas, este último apresenta pequena importância local, o que pode ser verificado pela quase totalidade de poços perfurados no primeiro sistema.

O sistema aquífero cárstico-fissural é constituído pela seqüência de rochas carbonáticas e pelíticas subhorizontais do Grupo Bambuí. As unidades carbonáticas sofreram um intenso processo de fraturação e carstificação, fazendo com que as melhores possibilidades de armazenamento correspondem às zonas de maior incidência de fraturamentos nas unidades carbonáticas.

Em função de poucos estudos, Silva (1995) discute a difícil definição de um modelo hidráulico para a região. Contudo, em geral, observa-se que há predomínio de característica cárstico-fissural e livre. As vazões dos poços são extremamente variáveis, desde poucos m³/h até 300 m³/h, refletindo o elevado grau de anisotropia desse sistema aquífero (Velásquez et al., 2007).

Mesmo tendo condições topográficas favoráveis, uma vez que a maior porção da região caracteriza-se por topografia plana, experimentos da pesquisa, realizados através da construção de infiltrômetros, mostraram baixa capacidade de infiltração nos solos e nas coberturas eluviais, o que é notadamente observado em campo pela inexistência de poços cacimbas em regiões mais elevadas. Essa condição decorre principalmente devido ao elevado déficit hídrico da região.

Assim sendo, pressupõe-se que a alimentação do sistema cárstico-fissural se dá em áreas

específicas, como dolinas, depressões fluviais alongadas, como discute Silva (1995), e em áreas de afloramento, onde, por conta da carstificação do terreno, a recarga se dá de forma direta na rocha através de fraturas abertas por dissolução. As dolinas são uma característica marcante nessa região.

Os fluxos das águas se dão preferencialmente no sentido E-W em direção a principal calha de escoamento da região (Figura 7) o rio Verde Grande, que corresponde ao nível de base local. Contudo, localmente, em função das vicissitudes cársticas, esse fluxo pode não atender a regra e ter comportamentos diferenciados.

Observa-se também que em algumas posições no rio Verde Grande, especialmente a jusante de Verdelândia, que os fluxos se dão em sentido oposto à calha, denotando o caráter influente desse rio.

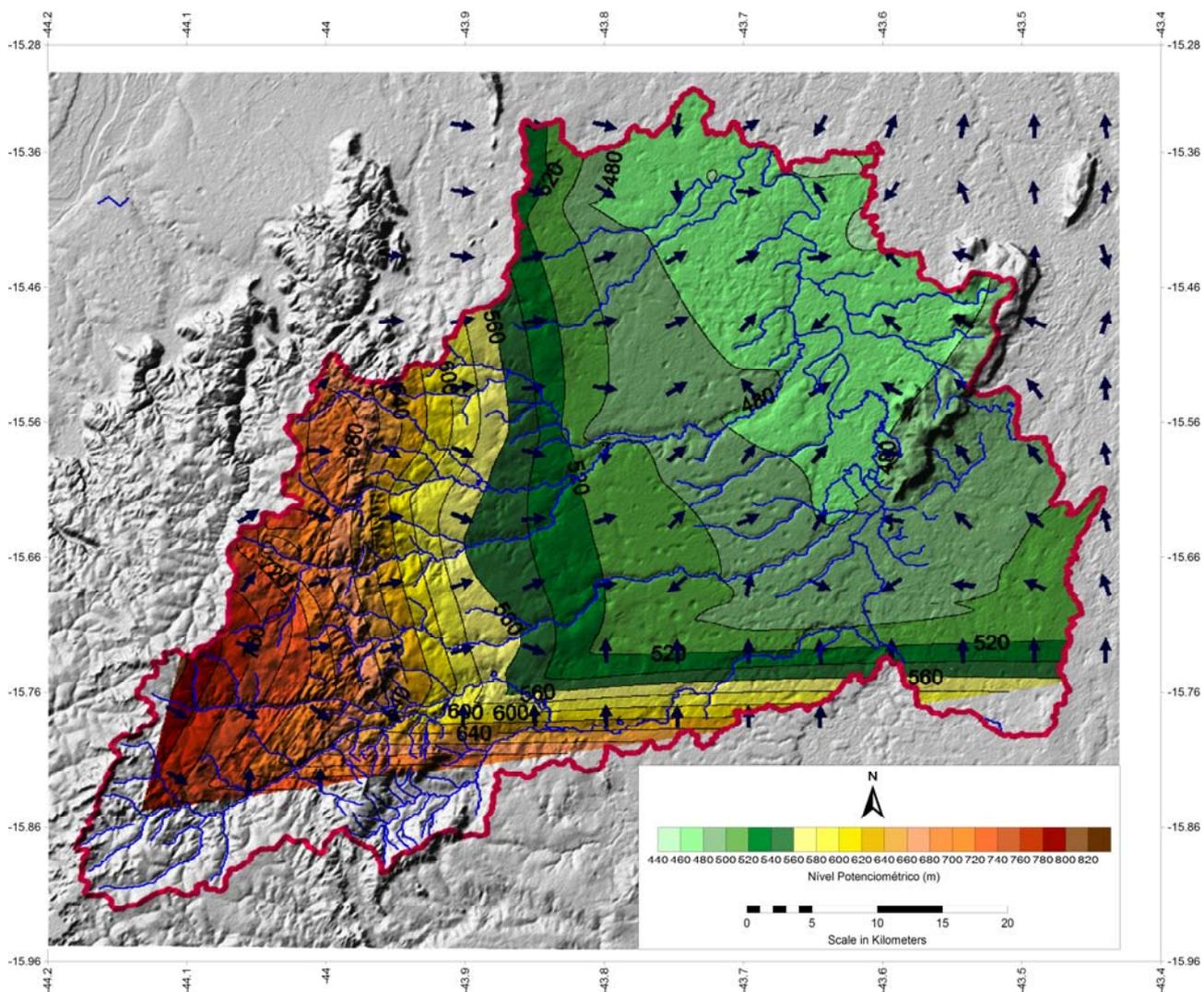


Figura 7: Mapa potiométrico regional sobreposto ao Modelo Digital de Terreno, com destaque para as linhas preferenciais de fluxo de água subterrânea

VI – RESULTADOS

Por apresentarem características bem distintas, separaram-se em dois grupos os poços amostrados, um referente aos poços cacimbas (cisternas) e o outro constituído dos poços profundos.

VI.1 – Poços cacimbas

Em se tratando de salinidade, os poços cacimbas apresentam valores expressivos, com valores de Sólidos Totais Dissolvidos variando de 293 a 794 mg/L, fazendo com que 25% sejam consideradas salobras.

Entre os íons maiores predominam o bicarbonato e o cálcio (Tabela 1, Figura 8), sendo 87,5% das amostras classificadas como bicarbonatadas-cálcicas e 12,5% como cloretada-cálcica (Figura 9). Essa característica se dá especialmente por conta da ocorrência de quase todas as cisternas em terrenos carbonáticos.

Tabela 1: Resultados analíticos de parâmetros químicos de águas de poços cacimba

Parâmetro	Amostras analisadas	Min	Max	Amostras válidas estatisticamente	Desvio Padrão	Média	Mediana	Moda	Frequência
STD	8	293	794	8	200.33	451.37	351	Amodal	1
Condutividade	8	469.6	1120	8	256.57	764.83	642.40	Amodal	1
pH	8	6.76	7.62	8	0.27	7.08	7.06	Amodal	1
Eh	8	97	213	8	37.03	181.12	184.50	180	2
K	8	0.54	6.96	8	2.08	1.97	1.46	Amodal	1
Na	8	4.48	42.35	8	13.20	14.95	9.56	Amodal	1
Ca	8	41.90	212.05	8	54.22	141.91	130.78	Amodal	1
Mg	8	3.3	13.13	8	2.98	6.51	5.73	Amodal	1
Fe	8	N.D	0.92	7	0.31	0.21	0.08	Amodal	1
Mn	8	N.D	0.027	4	0.009	0.014	0.013	Amodal	1
Ni	8	N.D	N.D	0	----	----	----	----	----
Al	8	N.D	N.D	0	----	----	----	----	----
As	8	N.D	N.D	0	----	----	----	----	----
Hg	8	N.D	N.D	0	----	----	----	----	----
Ba	8	N.D	0.168	8	0.05	0.052	0.034	Amodal	1
Cd	8	N.D	0.002	1	----	0.002	0.002	0.002	1
Cu	8	N.D	N.D	0	----	----	----	----	----
Pb	8	N.D	0.02	7	0.005	0.012	0.011	0.011	2
Zn	8	0.09	0.69	8	0.20	0.206	0.11	Bimodal	2
Cl	8	7.08	188	8	61.60	47.89	21.25	Amodal	1
F	8	0.1	0.62	8	0.15	0.370	0.36	Amodal	1
SO4	8	7.6	25.4	8	6.13	12.38	9.60	9.6	2
HCO3	8	218.62	452.86	8	74.27	342.30	361.97	Amodal	1
NO3	8	0.02	1.15	8	0.37	0.32	0.18	Amodal	1
NO2	8	0.001	0.03	8	0.012	0.014	0.011	Multiple	2
SiO2	8	6.52	15.16	8	3.50	9.81	8.57	Amodal	1
Alcalinidade	8	179.20	371.2	8	60.88	280.57	296.70	Amodal	1

* N.D = Não Detectável. Valores em mg/L, exceto pH,, Eh e Condutividade Elétrica. Não foram consideradas válidas para os parâmetros desvio padrão, média, mediana e moda, as concentrações abaixo do limite de detecção.

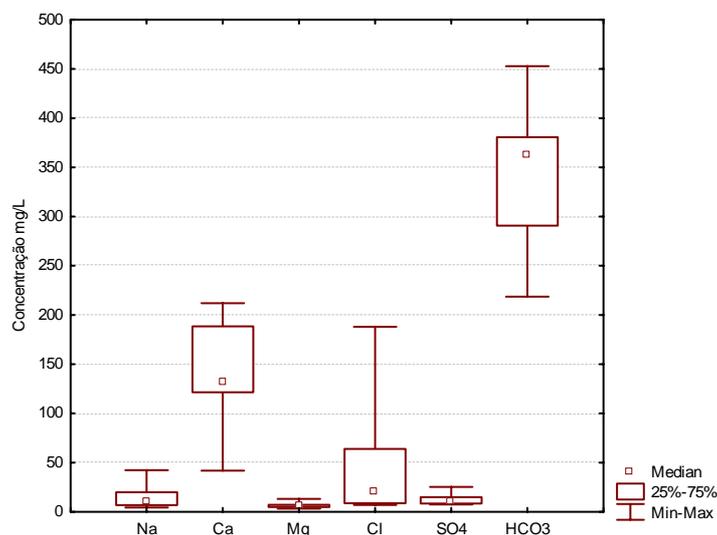


Figura 8: Variação da concentração dos elementos maiores nos poços cacimbas

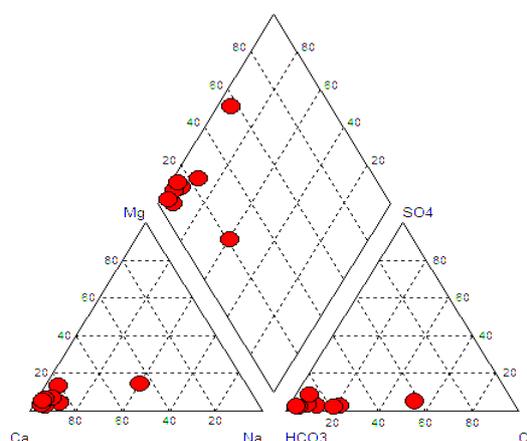


Figura 9: Diagrama de Piper para as águas de poços cacimbas

Já em relação aos elementos menores, as concentrações são consideradas baixas, se enquadrando as águas destas cisternas dentro do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Contudo, quando o parâmetro analisado é o chumbo, 50% das amostras se apresentaram com concentrações superiores a 0,01 mg/L, alcançando valores de até 0,02 mg/L. A explicação para essa concentração elevada é algo que merece uma melhor investigação, podendo ter origem antrópica, embora a atividade agrícola na área estudada seja pequena, como também pode ser natural, uma vez que no Grupo Bambuí não são raras as mineralizações desse elemento.

Os valores encontrados de flúor, embora não sejam danosos no que diz respeito a saúde humana, podem ser considerados altos do ponto vista hidroquímico, uma vez que teores de até 0,62 mg/L foram alcançados, tendo como mediana o valor de 0,36 mg/L (Figura 10).

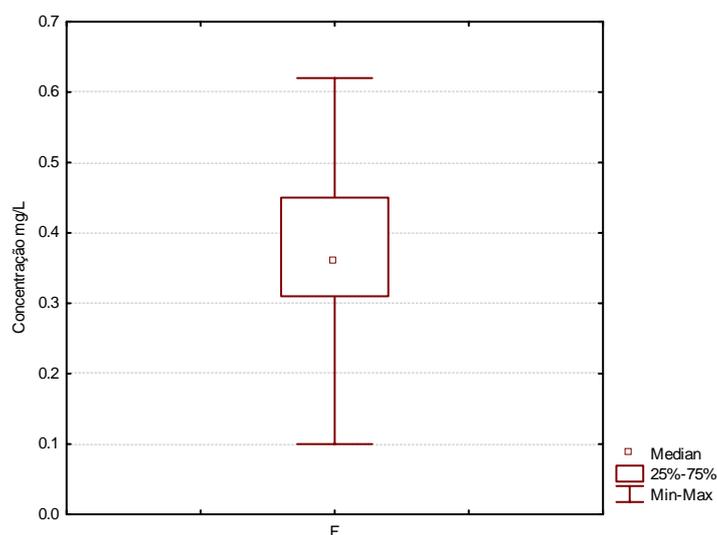


Figura 10: Variação da concentração de flúor nas águas dos poços cacimba

Essa situação mostra que, apesar do menor tempo de residência das águas freáticas, elas parecem sofrer significativos processos de reação e enriquecimento iônico, especialmente o fluoreto. Isso se deve às condições semi-áridas, já que o íon é mais comum em águas mais profundas e com maior tempo de residência, embora sob essas condições climáticas, Edmunds e Smedley (2005) discutem que pode haver o enriquecimento de 10 até 100 vezes em relação a condições climáticas úmidas.

VI.2 – Poços profundos

Se para as cisternas, onde o tempo de residência das águas é menor, as águas apresentam salinidade relativamente elevada, para os poços profundos a situação não é diferente. Cerca de 35 % das amostras apresentam características salobras ou salgadas, com teores de Sólidos Totais Dissolvidos sempre elevados, alcançando valores de até 2298 mg/L, com mediana de 417 mg/L e com moda próxima, em 419 mg/L (Tabela 2).

Tabela 2: Resultados analíticos de parâmetros químicos de águas de poços profundos

Parâmetro	Amostras Analisadas	Min.	Max.	Amostras válidas estatisticamente	Desvio Padrão	Média	Mediana	Moda	Frequência
STD	37	282	2298	37	417.60	572.43	417	419	2
Cond. (µS/cm)	38	356.6	3023	38	534.62	877.07	707.5	Amodal	1
pH	38	6.44	8.4	38	0.40	7.13	7.06	Bimodal	2
Eh (mV)	37	-35	672	37	133.40	103.21	136	Bimodal	2
K	38	0.66	4.03	38	0.76	1.89	1.74	1.84	2
Na	38	2.24	361.4	38	64.19	39.21	20.25	Amodal	1
Ca	37	N.D.	394.6	37	74.88	132	124.50	Amodal	1
Mg	38	N.D.	47.26	38	10.06	11.39	9.18	Amodal	1
Fe	20	N.D.	0.82	18	0.24	0.16	0.07	0.04	4
Mn	20	N.D.	0.12	10	0.034	0.02	0.013	Bimodal	2
Ni	20	N.D.	0.021	2	0.009	0.014	0.014	Amodal	1
Al	20	N.D.	0.5	4	0.16	0.27	0.23	Amodal	1
As	38	N.D.	0.01	3	0.005	0.004	0.003	Amodal	1
Hg	20	N.D.	N.D	0	---	---	---	---	---
Ba	38	N.D.	0.16	38	0.041	0.06	0.04	Bimodal	2
Cd	38	N.D.	0.003	7	0.0008	0.0015	0.001	0.007	2
Cu	20	N.D.	0.019	3	0.007	0.012	0.013	Amodal	1
Pb	38	N.D.	0.034	14	0.007	0.012	0.01	0.01	4
Zn	38	0.03	1.01	38	0.16	0.15	0.11	0.11	5

Cl	38	4.35	1235	38	218.80	109.68	51.35	23	2
F	38	N.D.	11	31	2.03	0.95	0.42	0.42	3
SO4	38	1.2	73.8	38	16.78	17.64	13	Bimodal	2
HCO3	38	49.18	516.54	38	104.38	360.42	376.06	384.3	2
NO3	20	N.D.	1.69	19	0.60	0.70	0.55	Bimodal	2
NO2	20	N.D.	0.11	18	0.026	0.01	0.002	0.001	6
SiO2	20	7.03	25.44	20	4.42	10.19	8.82	Amodal	1
Alcalinidade	34	206	423.4	34	54.78	314.68	310.6	315	2

* N.D = Não Detectável. Valores em mg/L, exceto pH, Eh e Condutividade Elétrica. Não foram consideradas válidas para os parâmetros desvio padrão, média, mediana e moda, as concentrações abaixo do limite de detecção.

Com grande número de amostras e características hidroquímicas distintas, a concentração dos íons maiores mostra-se bastante variadas, embora também haja a predominância de bicarbonato e cálcio. Contudo, a presença de sódio e, especialmente, cloreto também são representativas (Figura 11).

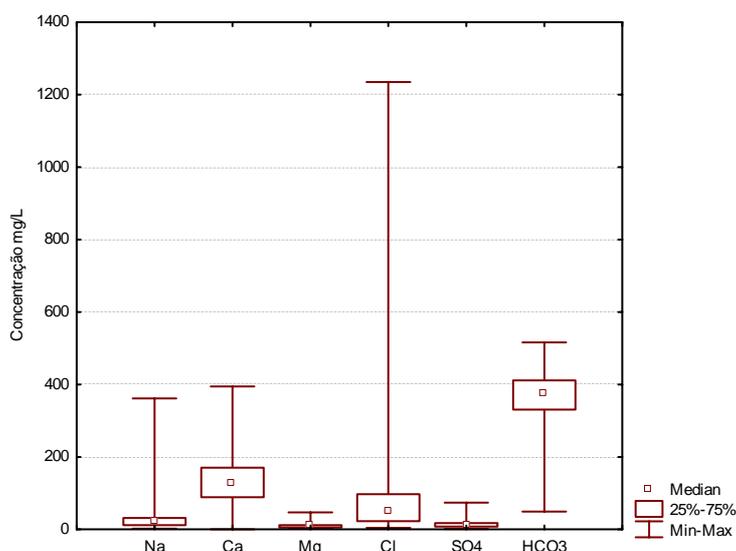


Figura 11: Variação da concentração dos elementos maiores nos poços profundos

Na classificação das fácies hidroquímicas das águas dos poços profundos (Figura 12), 81,1 % são bicarbonatadas-cálcicas, 13,5%, cloretadas-cálcicas e 5,4 % são classificadas como bicarbonatadas-sódicas.

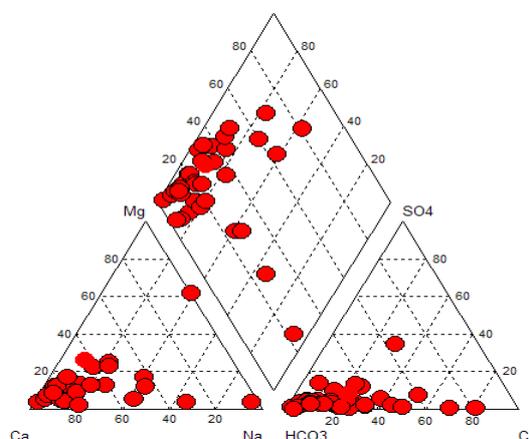


Figura 12: Diagrama de Piper para as águas dos poços profundos

Quanto à potabilidade, de acordo com a Portaria MS 518/2004, algumas amostras apresentam valores acima do permitido para consumo humano. Dentre os parâmetros analisados e que não se enquadram dentro do padrão, o chumbo também foi o parâmetro que apresentou valores mais elevados, 10 amostras (26,3%) acima de 0,01 mg/L. Teores inapropriados para consumo humano também foram observados nos parâmetros Fe, Al e Cl.

Em relação ao flúor, o predomínio das concentrações se deu até a concentração de 0,8 mg/L (Figura 13), com valor de moda e mediana de 0,43 mg/L e média de 0,95 mg/L. Contudo, essa média está elevada devido à presença de um ponto com concentração bastante discrepante de 11 mg/L, o qual, uma vez desconsiderado, a média é reduzida para 0,61 mg/L.

Seis poços (15,8%) da amostragem apresentam concentrações superiores a 0,8 mg/L, que é o teor recomendado como máximo para fluoretação pela Portaria N^o 635/BSB, de 26/12/1975, em função da média de temperatura máxima local. A situação mais crítica foi diagnosticada na Comunidade de Amargoso, onde foi detectado concentração de até 11 mg/L. Apesar desse teor elevado, essas águas não tem sido utilizadas pela população, uma vez que a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, após a perfuração e análise da água, lacrou o poço.

Outro poço que abasteceu a população por diversos anos, e que hoje não é mais utilizado, provavelmente apresentou teores elevados de flúor, a ponto de ter provocado a moléstia em parte da população. Contudo, não existem dados analíticos sobre a situação desse poço.

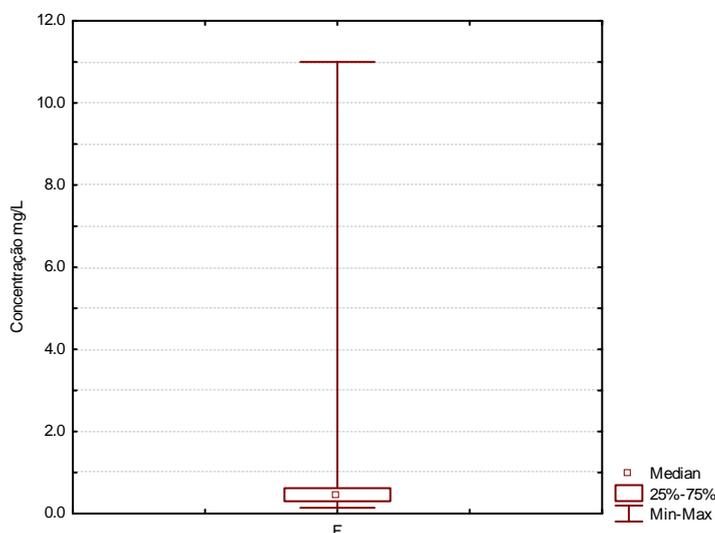


Figura 13: Variação da concentração de flúor nas águas dos poços profundos

VI.3 – Distribuição Espacial do Flúor

A partir da interpolação dos dados analíticos, utilizando o interpolador *kriging* no software Golden Software Surfer 8, para a geração de um mapa de isoconcentrações na área foram definidas 4 classes de águas provenientes de poços profundos e cacimbas, em função da concentração de fluoreto (Figura 14).

- $< 0,4$ mg/L: corresponde a classe entre zero e o valor aproximado da mediana das amostras, que foi adotado como *background* local;
- $0,4 - 0,8$ mg/L: classe entre o *background* e o limite máximo de concentração para a fluoretação, conforme definido na Portaria N° 635/BSB;
- $0,8 - 1,5$ mg/L: corresponde a classe entre a concentração para a fluoretação, conforme definido na Portaria N° 635/BSB, e o limite máximo de potabilidade definido pela Portaria 518/2004;
- $> 1,5$ mg/L: classe acima do máximo de potabilidade pela Portaria 518/2004 e também limite para início do surgimento de fluorose dentária. (CORTECCI, 2004).

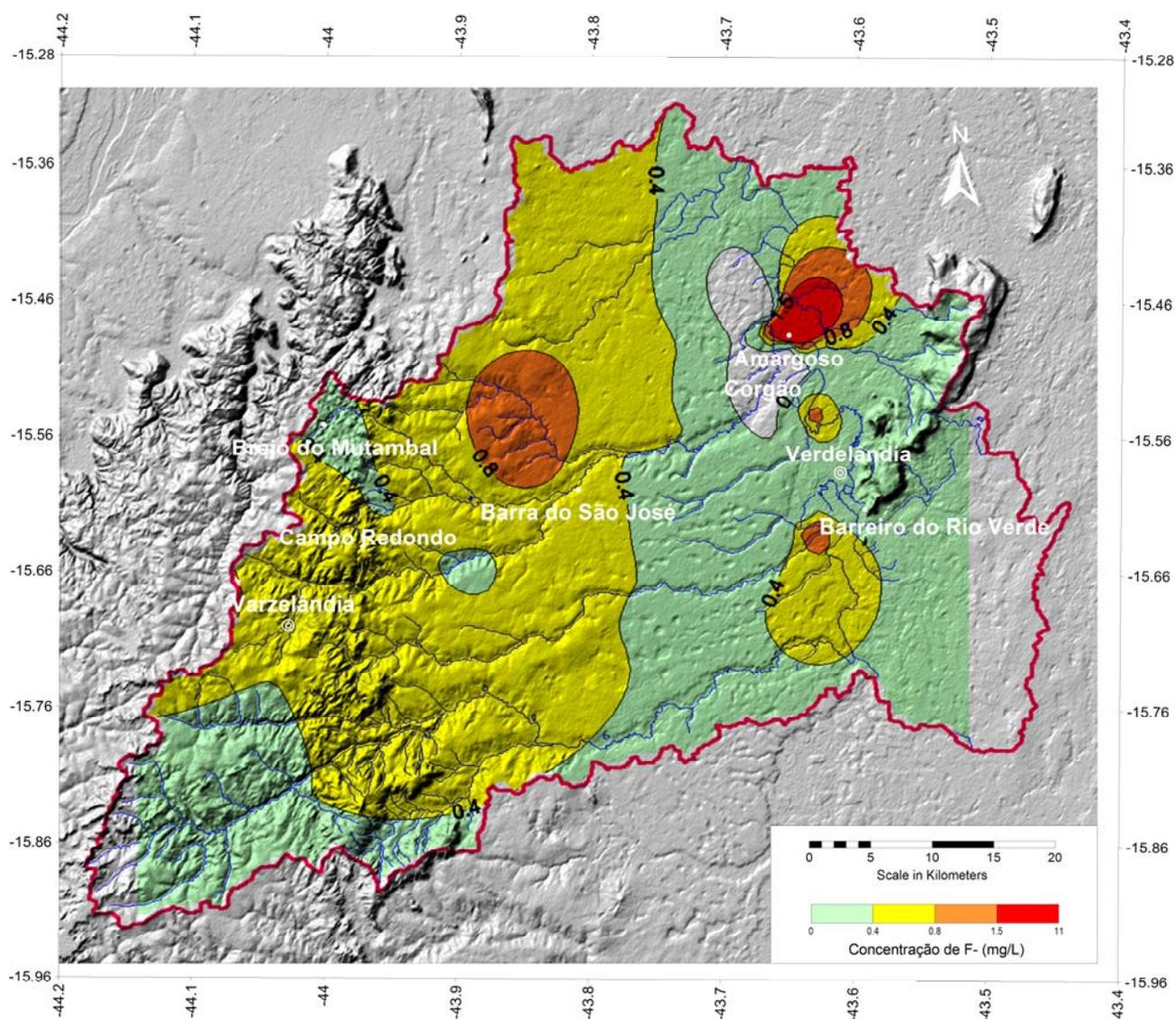


Figura 14: Isoconcentrações de fluoreto ao longo da área pesquisada

Observa-se na Figura 14 uma nítida compartimentação na área, predominando concentrações abaixo *background* local ($0,4$ mg/L), na porção leste e sudoeste, e acima desse *background* até $0,8$ mg/L, na porção oeste.

Localmente, tanto na parte leste quanto oeste da área, observa-se valores acima de 0,8 mg/L de fluoreto, ultrapassando o limite de potabilidade (1,5 mg/L) na localidade de Amargoso, o que coloca todas essas comunidades em posição de alerta.

As causas dessas anomalias está sendo investigado pelo grupo de pesquisa, embora a fonte mais provável deva ser a mesma que vem sendo encontrada em nível regional, ou seja, a mineralização de flúor, especialmente fluorita, nos calcários do Grupo Bambuí.

VI.4 – Correlações do Flúor

A maior ocorrências de flúor, está associada à fácies hidroquímica bicarbonatada-sódica, embora também se registrou altas concentrações em águas bicarbonatadas cálcicas (Figura 15).

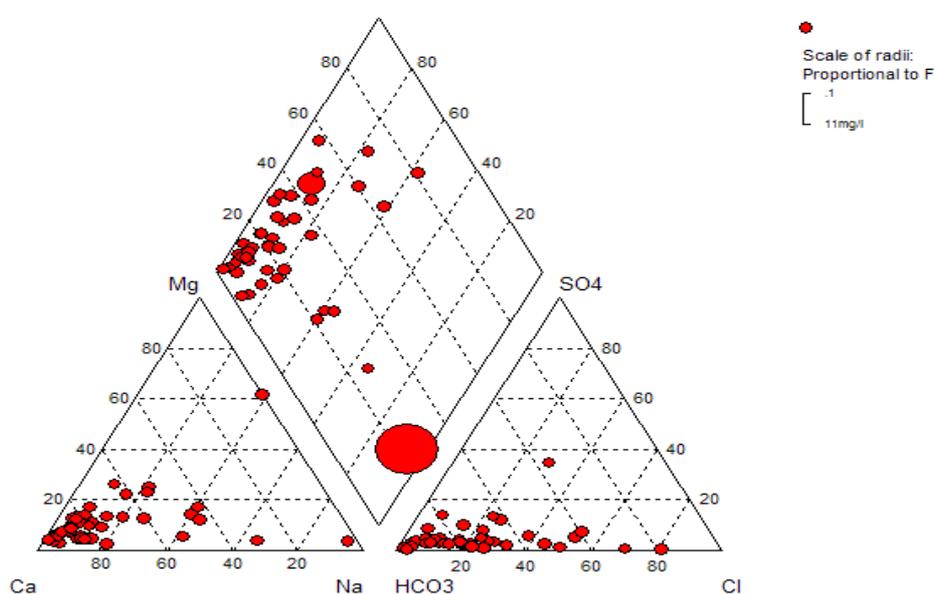


Figura 15: Diagrama de Piper para a totalidade dos poços, com escala proporcional à concentração de flúor

Utilizando de todas as informações hidroquímicas de todos os poços, sem distinção entre os rasos e profundos, correlacionou-se através do Coeficiente de Pearson o comportamento do íon fluoreto como os demais íons analisados.

Adotando significância de 5%, os resultados não mostraram muitas correlações entre os íons. Entretanto, em três parâmetros pode-se observar correlação significativa.

A primeira com correlação considerada média, com r de 0,6 foi com pH, mostrando uma tendência de enriquecimento de flúor conforme pH mais elevado (Figura 16), o que é perfeitamente explicado, visto que pH mais elevados tendem a ter uma concentração maior de bases, principalmente cátions mais estáveis como o sódio, que em águas duras substitui o cálcio precipitado, e que teve uma correlação de 0,3 com o flúor (Figura 17). Corroborar esse fato a maior concentração encontrada, de 11 mg/L ser classificada como bicarbonatada-sódica.

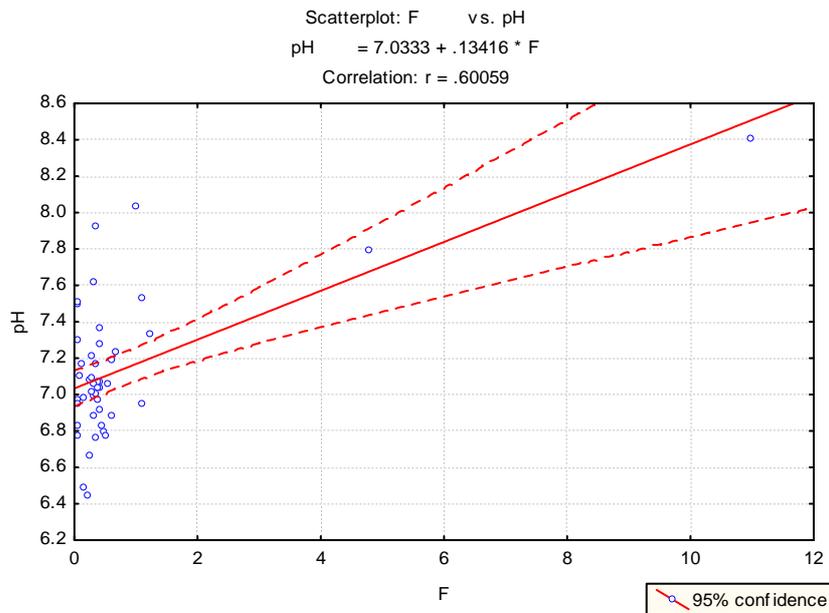


Figura 16: Correlação entre flúor e pH

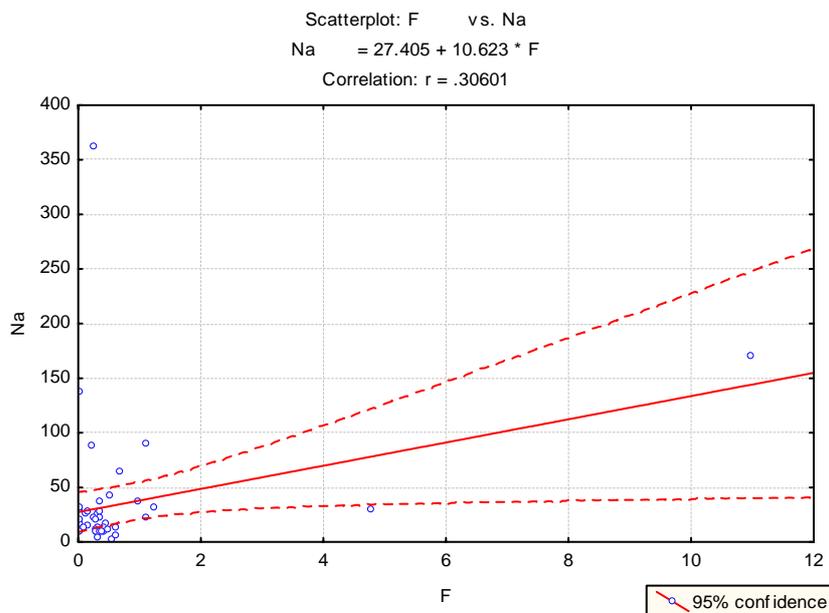


Figura 17: Correlação entre flúor e sódio

Por fim, observou-se correlação com nitrito que, mesmo tendo concentrações consideradas baixas, apresentou índice de correlação de 0,67. Isso despertou a atenção, uma vez que não é muito comum esse tipo de íon estar associado com flúor, sendo mais comumente associado a atividades orgânicas. Cabe com o desenvolvimento dos estudos estudar melhor essa correlação elevada.

VI.5 – Risco de Salinidade e de Adsorção de Sódio

Entendendo que além do abastecimento público e dessedentação animal, em alguns casos, as águas subterrâneas são utilizadas também para irrigação, principalmente para pequenas lavouras, foram analisados os riscos de salinidade e de adsorção de sódio (Figura 18).

A maioria das amostras apresentou risco médio a alto de salinidade, e em dois casos, muito altos.

Já quanto ao risco de adsorção de sódio no solo, a maioria da amostras apresentou risco baixo, tendo apenas uma amostra apresentando risco médio e outra com risco alto, mostrando que a utilização dessa água não pode ser de forma indiscriminada.

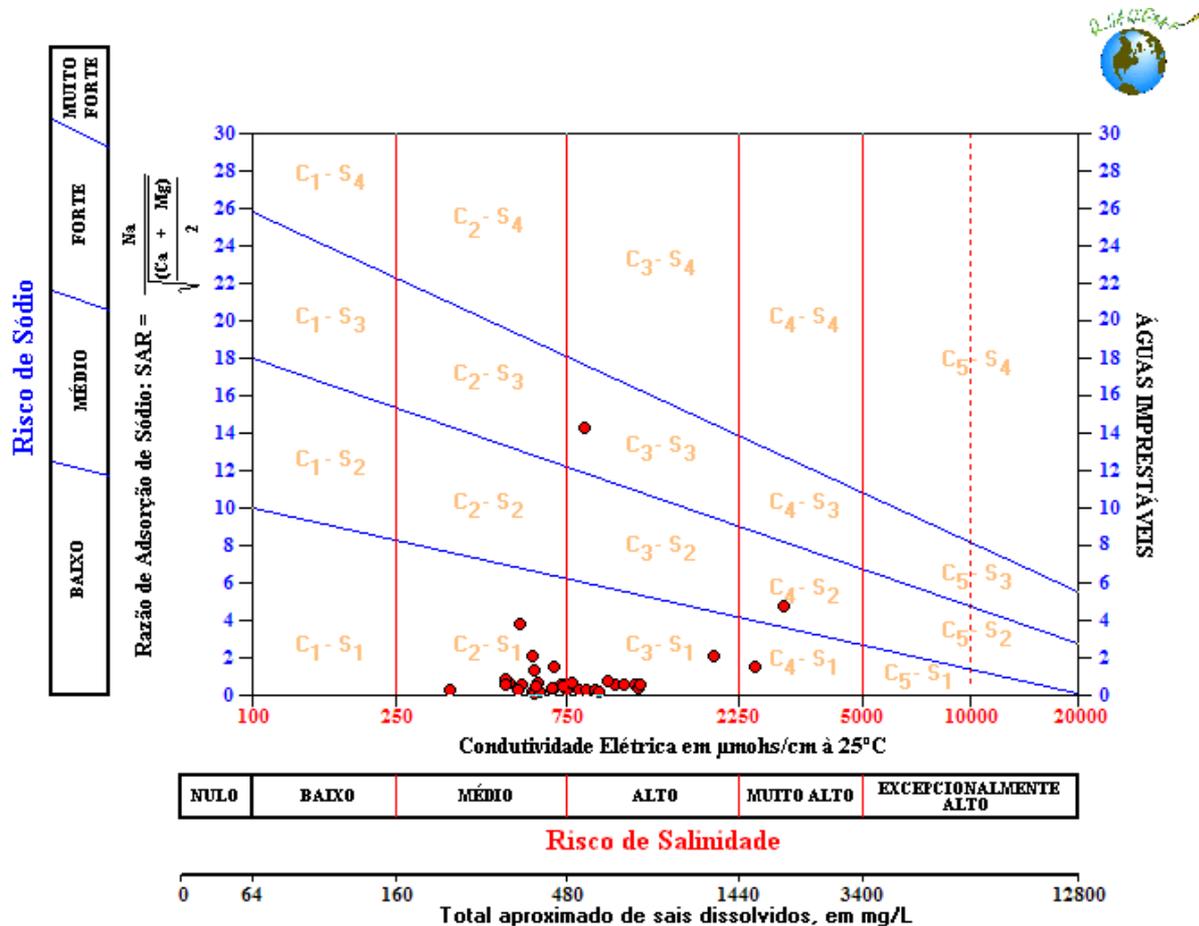


Figura 18: Risco de salinidade e de adsorção de sódio para os poços profundos

VII – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na região de Verdelândia, a conjugação de condições geológicas com climáticas, imprimem características próprias às águas subterrâneas.

Do ponto de vista hidroquímico, essas águas apresentam grande presença de íons, especialmente os típicos de regiões cársticas como HCO_3 e Ca, fazendo com que tenha predominância a fácies hidroquímica bicarbonatada-cálcica, tanto para águas freáticas quanto para águas profundas. Contudo, a presença de cloreto e de sódio também reforça a idéia da influência climática nas águas.

Os dados mostraram a presença elevada de flúor nas águas, com *background* de 0,4 mg/L nos dois tipos de poços analisados. No entanto, as anomalias ocorreram em águas mais profundas, possivelmente em função do maior contato com as possíveis fontes, principalmente mineralizações

de fluorita nos calcários do Grupo Bambuí. A correlação com pH e sódio também reforçam a idéia preconizada por Edmunds e Smedley (2004) de que o maior tempo de residência e as condições climáticas influenciam na concentração do flúor.

Espacialmente observa-se uma compartimentação da área quando a questão são as concentrações de flúor na água, pois a leste e sudoeste encontram-se teores abaixo do *background* e a oeste concentrações acima. Teores acima de 0,8 mg/L observa-se em ambas regiões, sendo na comunidade de Amargoso a mais elevada.

Além do fluoreto, outros elementos que também comprometem a potabilidade, aparecem em concentrações tidas como impróprias para o consumo humano, principalmente chumbo. Mesmo para irrigação, levando em conta os Sólidos Totais Dissolvidos, a qualidade da água mostra que é necessário cautela que ela seja utilizada.

Por fim, apesar dos dados serem representativos, visto o número de dados analíticos das águas subterrâneas, o estudo ainda prescinde de análises petrográficas, mineralógicas e geoquímicas de rochas, as quais estão sendo realizadas, de modo a elucidar a origem geológica e distribuição das concentrações de flúor nos estratos carbonáticos e pelíticos.

Monitoramento hidroquímico da água subterrânea e meteórica, monitoramento hidrológico, estudo isotópico e análise química e física dos solos, estão sendo realizados, buscando-se o entendimento dos processos de concentração do flúor na água subterrânea local.

VIII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. de. 1977. O cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.7, n.4, p. 349-364.

BRASIL. 2004. Portaria Nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 26 mar. 2004.

BRASIL. 1975. Portaria Nº 635/BSB de 26 de dezembro de 1975. Aprova normas e padrões sobre a fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento destinada ao consumo humano. **Diário Oficial da União**, 30 jan. 1976. Seção 1

CORTECCI, Gianni. **Geologia e saúde**. 2004. Bologna: Università degli Studi di Bologna - Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientale. Trad. de Wilson Scarpelli. p. 05 - 17 Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/media/geosaude.pdf>>. Acesso em: jul. 2008.

DIAS, F. S. e BRAGANÇA, J.K. 2005 Contaminação do manancial subterrâneo por flúor no Município de Verdelândia – Minas Gerais. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. Cuiabá. CD-ROM

EDMUNDS, M. e SMEDLEY, P. 2005. Fluoride in Natural Waters. *In*: Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., Finkelman, R. B., Fuge, R., Lindh, U., Smedley, P. (eds) **Essentials of Medical Geology Impacts of the Natural Environmental on Public Health**. Elsevier Academic Press. pp. 301-329.

FEJERSKOV, O. 1994. **Fluorose dentária**: um manual para profissionais de saúde. São Paulo: Santos. 120 p.

MARTÍNEZ, M. I. 2007. **Estratigrafia e tectônica do Grupo Bambuí no norte do estado de Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. IGC/UFMG. Belo Horizonte/MG. 122 p.

PATRUS, M.L.R.A.; SANTOS, A.C.S. dos; FIGUEIREDO, V.L.S.; MATOS, A.R.; MENEZES, I.C.R. 2001. Parcela mineira da bacia do rio São Francisco: caracterização hidroclimática e avaliação dos recursos hídricos de superfície. In: PINTO, C.P.; MARTINS-NETO, M.A. (Org.). **Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais**. Belo Horizonte: SBG-MG. p. 285-326.

SILVA, A. B. da. 1995. **Água Subterrânea no Carste da Bacia do Rio Verde Grande, Norte de Minas Gerais**. Tese para provimento de professor titular. Belo Horizonte: UFMG. 97 p.

VELÁQUEZ, L.N.M. (coord.). 2003. **Origem do flúor na água subterrânea e sua relação com os casos de fluorose dental no município de São Francisco, Minas Gerais**. Relatório de Pesquisa. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte 138p.

VELÁQUEZ, L.N.M. (coord.) 2007. **Estudo da tipologia das ocorrências de fluorita que ocasionam anomalias nos níveis de fluoreto da água subterrânea, e a sua relação com os casos de fluorose dental no município de São Francisco, Minas Gerais**. Relatório de Pesquisa. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte 148p.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG.