

CONSIDERAÇÕES SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE BLUMENAU – SC EM RELAÇÃO À RESOLUÇÃO CONAMA 396

Considerations on the Characteristics of Blumenau Municipality Groundwater Quality in Accordance with the Environmental Regulation Conama 396

Claudete Massuchin Percebon¹ e André Virmond Lima Bittencourt²

RESUMO: A caracterização das águas subterrâneas da região de Blumenau – SC, baseada em seis campanhas de amostragens e análises, em 66 poços, contemplou tanto aquíferos superficiais como profundos. Foram analisados, entre outros parâmetros: ferro total, sódio, cloreto, fluoreto, nitrato, sulfato, coliformes totais e coliformes termotolerantes. Tais parâmetros estão entre aqueles utilizados para controle de qualidade de águas subterrâneas da recente resolução 396 do CONAMA. Os resultados obtidos desses parâmetros são analisados quanto à influência de condicionantes locais como: os substratos geológicos drenados, ocupação do solo e atividades antrópicas. As águas subterrâneas da área são utilizadas tanto para fim doméstico, como industrial e explotadas de poços com grande diversidade de profundidade e produtividade. O estudo identificou águas de qualidade aceitável, no entanto, a grande maioria já se apresenta em desacordo com as condições de melhor qualidade fixadas na citada resolução. Foi evidenciada a necessidade de medidas urgentes para proteger os aquíferos ainda com boa qualidade, e evitar o agravamento da qualidade daqueles já afetados.

Palavras-chave: Águas subterrâneas; Qualidade de águas subterrâneas; Blumenau – SC.

ABSTRACT: The study of Blumenau's groundwater characterization was accomplished with six sampling campaigns, using 66 wells, installed in shallow and deep aquifers, including, analyses of the following: total iron, sodium, chloride, fluoride, nitrate, sulphate and total coliforms and thermotolerant coliforms. These parameters were used by the recently edited Resolution 396 CONAMA (Brazilian Environmental Office). The results were analyzed regarding their interaction with the regional environmental factors, like: land use, anthropic activities and geological substrates. The local groundwater uses are domestic and industrial ones, with aquifers highly different in depth and storage capacity. The research results showed waters with good quality; however, most of samples presented a water quality in disagreement with the required quality standard. This fact shows the need to adopt urgent measures to preserve the better aquifers and avoid the quality worsening of already affected groundwater.

Key-words: Groundwater. Quality classification. Blumenau - SC.

INTRODUÇÃO

Cerca de um terço da humanidade tem nas águas subterrâneas sua fonte exclusiva de abastecimento de água. É o caso de países, como Tailândia e Indonésia, onde administrar a qualidade e manter a capacidade produtiva dos seus aquíferos, já muito solicitados, é uma tarefa difícil, segundo os autores Ramnarong (1999) e Soetrisno (1999). As qualidades hidrogeoquímica e biológica de uma água subterrânea, normalmente, orientam seu melhor aproveitamento, seja para dessedentação humana ou animal, irrigação, uso industrial ou outras atividades. No entanto, em alguns casos, os ditames são mais da sua disponibilidade do que da sua qualidade. Há povos que utilizam águas subterrâneas com teores, conhecidos e elevados, de nitrato ou fluoreto. São águas impróprias para uso humano ou animal, mas, no entanto, utilizadas por não haver disponibilidade de outras fontes para abastecimento, conforme relatado por Al-Agha (1999) e Thakuria (1999).

O Brasil dispõe de um enorme manancial de água doce, embora de distribuição irregular em seu território. Tal abundância torna-a ainda

um item barato, e, por este motivo, a água é desperdiçada, ou usada sem cuidados quanto à sua preservação. Há uma falsa idéia de que a água é um bem, naturalmente presente, pertencente a todos, e inesgotável em quantidade e qualidade. Assim, de toda a água que se retira de mananciais para abastecer as maiores cidades brasileiras, na trajetória da captação ao destino final, 45% se perde com vazamentos, erros de medição, fraudes nos hidrômetros e ligações clandestinas de água, de acordo com Balazin e Credencio (2007).

Na exploração de recursos subterrâneos, além da vazão a ser obtida, a qualidade da água deve atender ao uso proposto. Essa qualidade, por sua vez, depende do aquífero explotado e da dissolução dos minerais presentes nas rochas que o constituem, ou do aporte de contaminantes antrópicos no sistema chuva-percolação no solo, ou dos processos que ocorrem na zona insaturada. Portanto, a qualidade físico-química e biológica de uma água subterrânea está relacionada à qualidade e quantidade das águas de recarga, o tempo de contato água/meio físico, e à poluição causada pelas atividades humanas no entorno dos

¹ (UFPR)

² (Universidade Positivo)

poços. Há, também, os riscos atrelados ao uso das águas subterrâneas decorrentes da má escolha do local para implantação do poço, ou de perfurações inadequadas, sem embasamento técnico, falta de cuidados com as medidas sanitárias dos poços, ou contaminação difusa sobre os mananciais, ou nas áreas de recarga.

O abastecimento de água da região de Blumenau-SC utiliza hoje os mananciais superficiais. Esses, no entanto, já apresentam um comprometimento crescente de sua qualidade e sofrem o efeito de perda de capacidade em épocas de estiagem mais significativa. Tais fatos, além dos transtornos inerentes, implicam em maiores custos com o tratamento da água, para torná-la apta aos diferentes usos. Tem-se, assim, um quadro de incerteza quanto ao atendimento das demandas futuras de água. Isto pode direcionar o interesse para os mananciais subterrâneos, dos quais se espera água de boa qualidade e que sejam produtivos. Os poucos poços particulares atendem apenas 2% das necessidades da população de Blumenau, atualmente. São, na maioria, cacimbas de grande diâmetro e se abastecem do aquífero freático. Os poços tubulares aproveitam as águas, desde os aquíferos granulares superficiais, até aqueles mais profundos, fraturados. As águas subterrâneas captadas representam uma fonte importante de suprimento para regiões afastadas que não dispõem de rede pública, embora, na maioria das vezes, tenham sua qualidade desconhecida.

A Constituição Federal coloca as águas subterrâneas como um bem dos Estados, a quem cabe, também, controlar o zoneamento das atividades poluidoras e estabelecer os padrões de qualidade ambiental e a classificação das águas, tanto superficiais, como subterrâneas. Igualmente, os recursos hídricos, sejam eles superficiais ou subterrâneos, assim como o uso e ocupação do solo, devem ser classificados consoante aos seus usos preponderantes, atendendo aos requisitos sociais, econômicos e ambientais. Em relação aos procedimentos e responsabilidades quanto à qualidade da água subterrânea para consumo humano, e sua potabilidade, também, cabe ao Ministério da Saúde e aos demais órgãos ligados a ele, a devida atenção (BRASIL, 2004).

Segundo a Resolução CONAMA 396 (BRASIL, 2008), as águas subterrâneas podem ser classificadas, sejam elas, águas de aquíferos, conjunto de aquíferos ou parcela desses, segundo

a qualidade que ostentam, em cinco classes, como seja:

- Classe 1/Especial: destinadas à preservação de ecossistemas em Unidades de Conservação de Proteção Integral ou que alimentem corpos hídricos superficiais de classe especial;
- Classe 2: que não sofreram alteração de sua qualidade natural, por ação antrópica, ou que não necessitem de qualquer tratamento, sendo, por suas características hidrogeoquímicas, aptas a todos os usos.
- Classe 3: que sofreram alteração de sua qualidade natural, por ação antrópica. Tais águas, em função do seu uso, devido não à alteração antrópica, mas às condições hidrogeoquímicas, podem necessitar de tratamento, para estarem aptas a todos os usos.
- Classe 4: que já sofreram alteração de sua qualidade natural, por ação antrópica, e que, devido a estarem contaminadas, sem tratamento só podem ter uso em atividades que não têm requisitos de qualidade para uso, ou exigir tratamento.
- Classe 5: que já sofreram alteração de sua qualidade natural, por ação antrópica, e que, devido a estarem contaminadas, somente podem ser destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

Os resultados do presente estudo vêm de encontro ao proposto na Resolução 396 (BRASIL, 2008), e poderão ser úteis às autoridades por ocasião da implementação dessa nova política de controle da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O programa de análises envolveu seis amostragens e análises nos 66 poços selecionados, dentre os 262 poços levantados, representando praticamente toda a área ocupada do município, com exceção do extremo sul do mesmo, que é área de preservação ambiental, e não fez parte do estudo. As análises seguiram a metodologia do

Standard Methods (APHA; AWWA; WEF, 1995), e, embora muitas outras variáveis tenham sido contempladas na pesquisa realizada, no presente artigo apenas ferro total, sódio, cloreto, fluoreto, nitrato, sulfato, coliformes totais e coliformes termotolerantes são abordados. Tais variáveis são analisadas tendo como base o preconizado pela Resolução 396 (BRASIL, 2008), e, igualmente, segundo os meios drenados, tipos de poços e suas profundidades.

Os resultados obtidos foram analisados, considerados os valores máximos permitidos (VMP), segundo a Resolução 396 (BRASIL,

2008); também, seus valores de referência de qualidade (VRQ), e os valores máximos e mínimos levantados, para cada variável. Da mesma forma, com os valores obtidos das variáveis sódio, ferro total, cloreto, sulfato e nitrato, foram preparados mapas de distribuição na área estudada, usando-se o programa ArtMap (ESRI, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os VMP conforme o uso feito das águas subterrâneas e segundo a Resolução CONAMA 396 (BRASIL, 2008), constam da Tabela 1.

Tabela 1: Valores máximos permitidos (VMP) segundo o uso destinado às águas subterrâneas segundo a Resolução CONAMA 396

Table 1: Maximum allowed values (VMP) according to the use intended for groundwater according to Resolution CONAMA 396

VARIÁVEIS	VMP e usos			
	Consumo humano	Dessedentação animal	Irrigação	Recreação
Inorgânicas (mg.l⁻¹)				
Cloreto	250	ni	100 -700	400
Ferro	0,3	ni	5	0,3
Fluoreto	1,5	2	1	ni
Nitrato	10	90	ni	10
Sódio	200	ni	ni	300
Sulfato	250	1000	ni	400
Microorganismos				
Coliformes termotolerantes [UFC (100 mL) ⁻¹]	Ausentes	200 em 100 mL	ni	1000 em 100 mL

Fonte: Brasil (2008)

Nota: ni – não indicado

Na Tabela 2 constam os 66 poços selecionados com suas profundidades, e os valores de referência de qualidade das variáveis: sódio, ferro total, cloreto e fluoreto. As variáveis sulfato e nitrato não

foram analisadas em todas as amostras, e aparecem nessa tabela, com as maiores concentrações obtidas para cada um dos poços. O mesmo se dá para os coliformes totais e termotolerantes.

Tabela 2: Poços estudados, suas profundidades, os valores de referência de qualidade para sódio, ferro total, cloreto e fluoreto, e as maiores concentrações apresentadas para sulfato, nitrato, coliformes totais e coliformes termotolerantes, no período de out/2001 a dez/2002, em Blumenau-SC

Table 2: Wells studied, its depths, reference values of quality for sodium, total iron, chloride and fluoride, and the largest observed concentrations for sulphate, nitrate, coliform and coliforms thermotolerants, in Oct/2001 to Dic/2002, in Blumenau-SC

NÚMERO DO POÇO	VALORES / UNIDADES								
	Profundidade (m)	Sódio (mg.l ⁻¹ Na ⁺)	Ferro Total (mg.l ⁻¹ Fe _{total})	Cloreto (mg.l ⁻¹ Cl ⁻¹)	Fluoreto (mg.l ⁻¹ F ⁻¹)	Sulfato (mg.l ⁻¹ SO ₄ ²⁻)	Nitrato (mg.l ⁻¹ NO ₃ ⁻)	Coliformes Totais [UFC (100mL) ⁻¹]	Colif. Termo- tolerantes [UFC (100mL) ⁻¹]
3	9,0	18,45	0,08	31,92	0,07	nr	nr	20100+cnc	9000+cnc
8	120,0	39,85	0,04	15,22	1,50	nr	nr	2+cnc	0
12	120,0	15,89	0,87	4,79	0,46	34,00	0,70	12	cnc
18	12,0	9,84	0,03	9,02	0,06	nr	nr	3500+cnc	cnc
24	5,0	8,55	0,10	6,86	0,10	1,00	2,00	13000	2000
36	18,0	6,61	0,01	3,52	0,11	nr	nr	32+cnc	3+cnc
45	8,0	6,20	0,03	1,98	0,22	1,00	2,30	1310+cnc	160+cnc
56	18,0	5,42	0,51	3,61	0,09	1,00	2,30	11	10
64	4,0	6,60	0,03	5,84	0,07	0,00	1,10	7700+cnc	130+cnc
77	3,0	7,80	0,09	2,78	0,13	1,00	1,30	>2000+cnc	>2000+cnc
94	2,00	4,40	0,03	2,66	0,05	0,00	1,30	5600+cnc	5500+cnc
103	2,00	4,08	0,06	2,62	0,07	1,00	1,60	400+cnc	200+cnc
120	4,0	14,70	0,06	14,45	0,21	8,00	2,00	10400+cnc	3000+cnc
126	17,0	5,96	0,02	3,48	0,12	1,00	1,40	2	0
142	3,50	12,70	0,30	5,56	0,15	0,00	1,30	3900+cnc	1300+cnc
149	5,0	7,22	0,07	3,44	0,12	1,00	1,60	1200+cnc	100+cnc
158	15,0	12,78	5,64	17,27	0,07	0,00	0,60	117000+cnc	7000+cnc
162	4,00	8,71	0,11	5,46	0,07	nr	nr	3900+cnc	1300+cnc
165A	100,0	8,93	0,41	38,32	0,63	0,00	1,20	20+cnc	6
169	2,5	13,02	0,06	3,53	0,34	0,00	2,80	1100+cnc	41+cnc
170	5,0	8,94	0,05	2,88	0,09	0,00	1,50	>20000+cnc	12000+cnc
172	15,0	3,88	0,08	5,64	0,01	1,00	2,00	4 + cnc	cnc
176	5,0	9,58	0,05	5,84	0,25	8,00	5,20	>200+cnc	>200+cnc
177	16,0	7,39	0,03	3,72	0,18	0,00	3,20	106+cnc	74+cnc
178	95,0	15,13	1,12	6,57	0,40	0,00	1,70	cnc	0
182	4,0	13,32	0,14	23,96	0,14	0,00	2,70	4900+cnc	1500
185	6,0	9,85	0,19	4,07	0,53	0,00	4,20	500+cnc	30+cnc
190	5,0	11,61	0,20	11,51	0,61	1,00	3,50	4000+cnc	1300+cnc
191	7,0	34,50	0,88	38,33	0,10	22,00	2,80	36000+cnc	24000+cnc
193	6,3	6,80	0,02	6,26	0,08	0,00	2,30	47+cnc	45+cnc
195	6,30	18,73	0,31	16,60	0,16	28,00	1,80	3000+cnc	1000+cnc
198	5,5	10,60	0,15	9,54	0,05	24,00	2,70	13100+cnc	400+cnc
206	8,0	6,25	6,25	0,45		0,0	1,80	5400+cnc	600+cnc

207	50,00	15,74	0,77	64,45	0,15	0,00	1,20	10+cnc	4+cnc
208	4,00	5,18	0,06	6,87	0,04	1,00	3,30	2500+cnc	590+cnc
210	3,00	9,55	0,08	4,92	0,22	1,00	1,70	110+cnc	40+cnc
211	60,00	13,04	0,02	3,19	0,24	1,00	2,40	26+cnc	11+cnc
212	7,00	15,73	0,08	30,06	0,08	21,00	8,30	850+cnc	210+cnc
213	3,00	8,96	0,81	4,88	0,04	8,00	4,20	760+cnc	160+cnc
216	15,00	11,73	4,75	4,57	0,32	0,00	6,10	2+cnc	0
218	9,00	9,09	0,05	13,61	0,06	1,00	5,70	190+cnc	90+cnc
220	6,00	8,40	0,32	11,98	0,07	10,00	4,40	870+cnc	870+cnc
221	3,00	6,19	0,03	4,68	0,17	1,00	2,20	24+cnc	16+cnc
224	9,00	16,44	0,10	9,36	0,09	0,00	2,60	1300+cnc	700+cnc
225	3,50	8,78	0,05	8,93	0,07	1,00	4,50	4100+cnc	1100+cnc
228	107,00	9,59	0,24	8,92	0,05	2,70	2,80	>200+cnc	>200+cnc
229	5,00	11,80	0,25	17,75	0,09	nr	nr	3600,00	700,00
230	5,00	17,49	0,11	25,77	0,06	21,00	5,50	2800+cnc	121+cnc
231	96,00	20,09	2,54	12,19	1,40	17,00	1,30	6+cnc	6+cnc
232	7,00	7,87	0,06	4,47	0,13	2,00	3,10	80+cnc	cnc
235	5,00	9,34	0,04	10,88	0,06	10,00	3,60	503+cnc	10
236	4,00	9,75	0,02	12,07	0,04	10,00	4,30	180+cnc	100+cnc
239	4,00	13,19	0,09	24,42	0,11	9,00	4,30	900	300
240	4,00	12,75	0,07	15,73	0,07	nr	nr	340+cnc	40+cnc
242	2,50	8,39	0,98	5,12	0,60	15,00	0,0	9100+cnc	1700+cnc
246	4,00	10,89	0,25	11,63	0,06	1,00	4,5	6000+cnc	4000+cnc
247	120,00	16,35	0,06	13,91	0,09	3,00	2,20	97+cnc	2+cnc
248P1	100,00	15,60	0,20	8,20	0,10	9,00	2,30	cnc	cnc
248P2	100,00	15,05	0,43	7,90	0,27	9,00	2,20	1+cnc	cnc
249	100,00	13,08	0,03	7,80	0,11	7,00	1,80	0,0	0,0
250	180,00	9,26	0,05	6,37	0,11	1,00	1,90	250+cnc	10
252	9,00	6,58	0,03	7,81	0,04	1,00	2,30	>200+cnc	90+cnc
255	6,00	13,07	0,34	14,50	0,08	14,00	7,10	6600+cnc	2800+cnc
259	100,00	5,85	0,46	19,15	0,67	22,00	2,20	37+cnc	3+cnc
261	104,00	10,27	18,50	4,00	0,19	0,00	0,0	>200+cnc	4+cnc
262	104,00	18,57	0,12	15,88	0,23	11,00	2,0	19+cnc	8+cnc

Notas: cnc – crescimento não característico
nr – não realizada

Para os diferentes meios drenados, tipos e profundidades de poços, a Tabela 3 exibe o valor de referência de qualidade para sódio, ferro total, cloreto, fluoreto, sulfato e nitrato. São apresentadas

também as maiores e menores concentrações obtidas dessas variáveis e dos coliformes totais e coliformes termotolerantes.

Tabela 3: Resultados de análises físico-químicas e bacteriológicas de águas subterrâneas de Blumenau – SC: Valores de Referência de Qualidade (VRQ), Máximo e Mínimo, segundo os substratos drenados, profundidades e tipos de poços avaliados

Table 3: Results of analyses physico-chemical and bacteriological of groundwater in Blumenau – SC: values of reference quality (VRQ), maximum and minimum according to drained substrates, depths and types of wells evaluated

POÇOS E SUBSTRATOS	VALORES	VARIÁVEIS/UNIDADES							
		Na ⁺	Fe _{tot}	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes
		mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	UFC. (100 mL) ⁻¹	
Todos (2 a 180 m)	VRQ	13,00	0,23	11,95	0,20	9,00	3,30	-	-
	MÁXIMO	43,97	18,60	64,45	1,67	34,00	8,30	117000 + cnc	24000 + cnc
	MÍNIMO	1,90	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rasos em gnaisses (2 a 15 m)	VRQ	11,26	0,11	10,50	0,14	1,00	3,10	-	-
	MÁXIMO	38,00	6,80	43,79	0,64	24,00	5,70	117000 + cnc	24000 + cnc
	MÍNIMO	2,09	0,00	0,90	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00
Rasos em arenitos (2,5 a 9,0 m)	VRQ	10,26	0,34	12,02	0,07	13,00	5,85	-	-
	MÁXIMO	17,25	4,17	30,88	0,74	21,00	8,30	9100 + cnc	4000 + cnc
	MÍNIMO	3,50	0,01	2,66	0,00	0,00	0,00	cnc	0,00
Rasos em argilitos e folhelhos (3 a 6 m)	VRQ	16,85	0,22	17,32	0,18	19,30	4,85	-	-
	MÁXIMO	21,20	0,45	25,83	0,91	28,00	5,50	3100 + cnc	1000 + cnc
	MÍNIMO	2,30	0,00	3,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tubulares prof. em argilitos e folhelhos (96 a 180 m)	VRQ	15,41	0,59	9,13	0,21	8,50	1,95	-	-
	MÁXIMO	21,17	18,60	14,30	1,56	17,00	2,80	250 + cnc	>200 + cnc
	MÍNIMO	7,07	0,01	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tubulares prof. em gnaisses (50 a 120 m)	VRQ	17,43	0,56	15,78	0,52	16,00	2,00	-	-
	MÁXIMO	43,97	8,50	64,45	1,67	34,00	2,40	37 + cnc	11 + cnc
	MÍNIMO	5,30	0,00	2,31	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00
Tubulares em gnaisses (15 A 18 m)	VRQ	6,99	0,46	3,91	0,13	1,00	3,05	-	-
	MÁXIMO	20,70	6,40	10,85	0,48	1,00	6,10	106 + cnc	74 + cnc
	MÍNIMO	1,90	0,01	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

O sódio

O íon Na⁺, altamente móvel no ambiente, está presente em todas as águas, como enfatizado por vários autores, entre eles Fortescue (1980), e Davies e De Wiest (1991). Nas águas estudadas as concentrações do íon sódio se apresentaram numa faixa de 1,90 a 43,97 mg.l⁻¹. Pode-se observar pelos resultados da Tabela 3, que as águas mais profundas exibem concentrações maiores desse cátion em relação às águas mais rasas, e, também, os poços profundos instalados em gnaisses mostram os maiores valores. Há uma significativa oscilação nos resultados apresentados para os diferentes meios drenados. Em relação aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396 (BRASIL, 2008) os valores observados estiveram bem abaixo dos VMP.

A distribuição das concentrações de sódio na área consta da Figura 1. Podem-se notar duas áreas destacadas para o sódio, correspondentes às águas no entorno do poço de número 8, tubular profundo, de 120 metros; e do poço número 191, raso, de apenas 7 metros, ambos instalados em substrato de gnaisses.

O ferro total

O ferro, como um importante constituinte das águas subterrâneas, tem origem, principalmente, em compostos minerais como os piroxênios, anfibólios, biotita e pirita, como citam Davies e De Wiest (1991) e Lemes *et al.* (2003) e Onofre (2007). As concentrações comuns de ferro estão na faixa de 1,0 a 5,0 mg.l⁻¹. No entanto, em ambientes ricos em minerais de ferro podem-se encontrar águas com concentrações de até 50 mg.l⁻¹, de acordo com Driscoll (1987).

O valor de ferro total se apresentou normalmente baixo nas águas examinadas. Em algumas amostras não foi sequer detectado. As maiores concentrações foram encontradas nas águas dos poços profundos, notadamente aqueles que drenam substrato de argilitos e folhelhos. Em poço nessa condição chegou-se a detectar o valor de 18,60 mg.l⁻¹.

Comparando os valores encontrados àqueles fixados na Resolução CONAMA 396 (BRASIL, 2008), as águas estudadas não tem restrição de uso. As maiores concentrações foram encontradas nas águas dos poços profundos. Dentre esses aqueles

que drenam substrato de argilitos e folhelhos apresentaram os maiores valores.

Uma água subterrânea onde os níveis de ferro são elevados, numa primeira avaliação, pode ser preterida a outras águas, até contaminadas com coliformes, em função da cor e gosto desagradável em decorrência do ferro presente (UNESCO; WHO; UNEP, 1992). No caso, o poço 261 que exibiu a maior concentração média de ferro apresenta, segundo os seus usuários, água com gosto ruim, elevada turbidez e cor amarelada.

A Figura 2 apresenta a distribuição das concentrações de ferro na área estudada. O poço 261 aparece em destaque em função da maior concentração de ferro total em suas águas. Nas demais áreas as concentrações foram baixas.

O cloreto

O cloro não é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, porém é um dos mais presentes, devido à sua grande mobilidade no meio ambiente. Por outro lado, o íon cloreto pode ser entendido como um contaminante, de origem tanto natural, como antrópica. Ao alcançar a zona saturada, pode ali permanecer por longo tempo e percorrer grandes distâncias, segundo os autores: Fortecue (1980), Driscoll (1987), Rebouças *et al.*, (1999) e Custodio e Llamas (2001).

Em alguns casos, águas de poços profundos instalados em gnaisses apresentaram valores elevados do íon Cl⁻, quando comparadas às águas dos demais tipos de poços e meios percolados, embora, segundo Freeze e Cherry (1979), as rochas cristalinas exibam concentrações baixas desse elemento. É o caso do poço tubular profundo instalado em gnaisses, de número 165 A, com 50 metros de profundidade, cujas águas mostraram valores de até 38,32 mg.l⁻¹ de cloreto. As maiores concentrações de cloretos pertenceram às águas de poços rasos.

Como fontes de aporte de cloreto às águas subterrâneas têm-se a chuva e o aerossol marinho. Nas áreas costeiras a chuva pode conter até 6,0 mg.l⁻¹ de cloreto, conforme citado por Davies e De Wiest (1991). Também, os esgotos sanitários apresentam elevadas concentrações de cloreto, advindas, principalmente do NaCl, da alimentação humana. O que se observou é que todos os poços cujas águas apresentam cloreto com concentrações expressivas, da mesma forma exibem coliformes, mostrando sua correlação com a contaminação por esgotos. Poços abandonados, ou passíveis de receber enchentes, ou ainda aqueles próximos a fossas sépticas, rios ou canais que conduzem esgotos, também mostraram águas com elevados

valores de Cl⁻. Dentre os 27 poços estudados com águas mais ricas em cloreto, 10 estão a menos de 100 metros de rios poluídos com esgotos; e 19 a menos de 50 metros de fossas sépticas.

As águas do poço 207, tubular profundo, exibiram as maiores concentrações do íon cloreto dentre os poços estudados. Tal poço se acha instalado próximo a um lixão desativado. Todas as águas analisadas mostraram valores de cloreto que variaram de um valor máximo de 64,45 mg.l⁻¹, a um mínimo de 0,90 mg.l⁻¹, bem inferiores, portanto ao máximo permitido para os diversos usos, indicado na Resolução 396 (BRASIL, 2008).

A distribuição das concentrações de cloreto na área estudada consta da Figura 3. Pode-se observar no entorno dos poços 3 e 8, uma zona anômala para cloreto, mesmo ocorrendo no entorno dos poços 191 e 239.

O fluoreto

Segundo Bouwer (1978) o íon fluoreto está amplamente distribuído na crosta terrestre, em rochas ígneas e sedimentares fosfatadas, onde aparece junto com o fosfato de cálcio, na fluoroapatita [CaF₂. 3Ca₃ (PO₄)₂]. Também em rochas ígneas e metamórficas está presente nos anfibólitos, ou associado a colóides e argilas. Apresenta boa mobilidade, porém é menos solúvel que o cloro, o bromo e o iodo. Está presente no aerossol marinho e apresenta expressiva migração em rochas silicosas de regiões de clima temperado.

As atividades antrópicas como siderurgia, fundições, fabricação do alumínio, de sais de fósforo, de louças e esmaltados, de vidro, de teflon, de fertilizantes, na produção de Alumínio por via eletrolítica da bauxita, entre outras, podem poluir o ambiente por lançamentos de flúor, seja por via atmosférica ou diretamente nos recursos hídricos, como enfatizado por Lopes (2003) e Mirlean *et al.* (2005).

Nas águas subterrâneas estudadas as concentrações do íon fluoreto oscilaram na faixa de 0,0 e 1,67 mg.l⁻¹. Segundo os limites da Resolução 396 (BRASIL, 2008), em apenas 3% das águas avaliadas na área, pertencentes a poços profundos, instalados em substratos de gnaisses e de argilitos e folhelhos, constatou-se concentrações de fluoreto acima do limite estabelecido. Entretanto, cabe atenção quanto a utilizar tais águas a fim de evitar os problemas advindos da ingestão dessa água com valores elevados do íon fluoreto e isso vir a resultar em toxicidade crônica, traduzida como fluorose. Segundo Guimarães (2006), pequenas manchas esbranquiçadas no esmalte dos dentes podem indicar fluorose dental. Quando

instalada pode ser evidenciada por manchamentos sérios que podem desestruturar os dentes, causar dor, problemas com mastigação, cáries e até a perda dental. Na ingestão continuada de flúor, o agravamento do quadro de saúde pode levar à fluorose esquelética.

O mapa da Figura 4 permite observar a distribuição do fluoreto na área do estudo. O poço profundo de número 8, instalado em substrato gnáissico, sotoposto a sedimentos quaternários exibiu águas com o maior valor observado de F-, ou seja, 1,67 mg.l⁻¹. Também o poço profundo, de número 231, com 96 metros, perfurado em argilitos e folhelhos, exibe concentrações de até 1,56 mg.l⁻¹ de fluoreto. Valores menores, porém significativos, foram encontrados nas águas dos poços próximos, 259 e 178, o que pode caracterizar uma zona anômala de minerais contendo o elemento.

O sulfato

Nesse estudo os valores de sulfato nas águas subterrâneas foram baixos e, inclusive, algumas amostras não exibiram leitura para esse íon. Sua faixa de presença oscilou de 0,0 a 34,0 mg.l⁻¹, muito menor, portanto que os limites fixados na Resolução 396 (BRASIL, 2008), para qualquer dos usos a que se destinam as águas subterrâneas. Os poços rasos instalados em aluvião ou mantos de alteração, em argilitos e folhelhos, apresentaram águas com as concentrações mais significativas de sulfato, com o VRQ de 19,30 mg.l⁻¹.

Uma das formas de aporte do íon sulfato para a zona saturada pode ser a chuva, que pode conter até 2,0 mg.l⁻¹ de sulfato. Entretanto, no estudo realizado, não ficou clara a relação da presença de sulfato com eventos de chuva. A chuva, no caso, arrastaria partículas minerais de enxofre presentes no ar, também SO₂ ou H₂S, gerados em atividades antrópicas, ou de áreas com grande decomposição de matéria orgânica, como citado por Davies e De Wiest (1991).

No mapa da Figura 5 pode-se observar a distribuição do sulfato nas águas subterrâneas estudadas da área.

O nitrato

Segundo Driscoll (1987) e Bouwer (1978), os íons NO₃⁻ representam a principal espécie dissolvida portadora de nitrogênio das águas subterrâneas. O nitrato não tem fonte significativa nos minerais das rochas percoladas pelas águas

subterrâneas. Sua origem maior está ligada às atividades antrópicas. Normalmente as águas subterrâneas apresentam valores de nitrato entre 0,1 a 10,0 mg.l⁻¹, e podendo chegar a 50,0 mg.l⁻¹. As principais fontes de NO₃⁻, por outro lado, são os processos biológicos, a poluição industrial, as atividades agrícolas, a contaminação das águas com esgoto sanitário, ou indiretamente, através de outras fontes antrópicas de nitrogênio, e a presença de nitrato, bactérias coliformes e, principalmente, cloreto nas águas é indício certo de poluição com esgotos ou fezes animais.

A decomposição da matéria orgânica do solo, segundo Driscoll (1987) especificamente a biodegradação de proteínas, libera amônia, que é transformada em nitrito e depois em nitrato, dentro da ciclagem do nitrogênio. Assim, muitos dos poços onde os valores de nitrato foram mais significativos estão próximos a cemitérios, como no caso dos poços 176, 230, 216, 239. Igualmente, onde existe o uso de esterco animal nos cultivos próximos aos poços, ou existem animais circulando na área de entorno dos poços, tem-se as águas mais contaminadas com nitrato, como evidenciado no caso dos poços 230 e 236; ou, ainda, esterqueiras, como é o caso do poço 190. Da mesma forma, Davies e De Wiest (1991) colocam que águas superficiais contaminadas com nitrato que alimentam aquíferos, podem também contaminá-los. No estudo realizado, a maior parte dos poços rasos instalados junto a rios contaminados com esgotos, também mostrou elevados valores de nitrato em suas águas.

Os valores de nitrato encontrados nesse estudo oscilaram entre 0,0 e 8,30 mg.l⁻¹. Os resultados das águas analisadas mostram que, apesar de inúmeros fatores locais que podem introduzir nitratos às águas subterrâneas, as concentrações encontradas não foram elevadas, ficando aquém dos índices fixados na Resolução 396 (BRASIL, 2008), para qualquer dos usos preconizados.

A distribuição dos valores consta do mapa da Figura 6. O mapa destaca o poço 255, raso, instalado em arenito, apresentou águas com valores expressivos do nitrato e se encontra a apenas 7,0 metros de fossa séptica. O substrato onde as águas dos poços mais apresentaram valores expressivos de nitratos foram os arenitos. Ali algumas concentrações encontradas estiveram próximas do limite estabelecido, de 10 mg.l⁻¹, evidenciando a atenção que poços escavados nesse meio exigem.

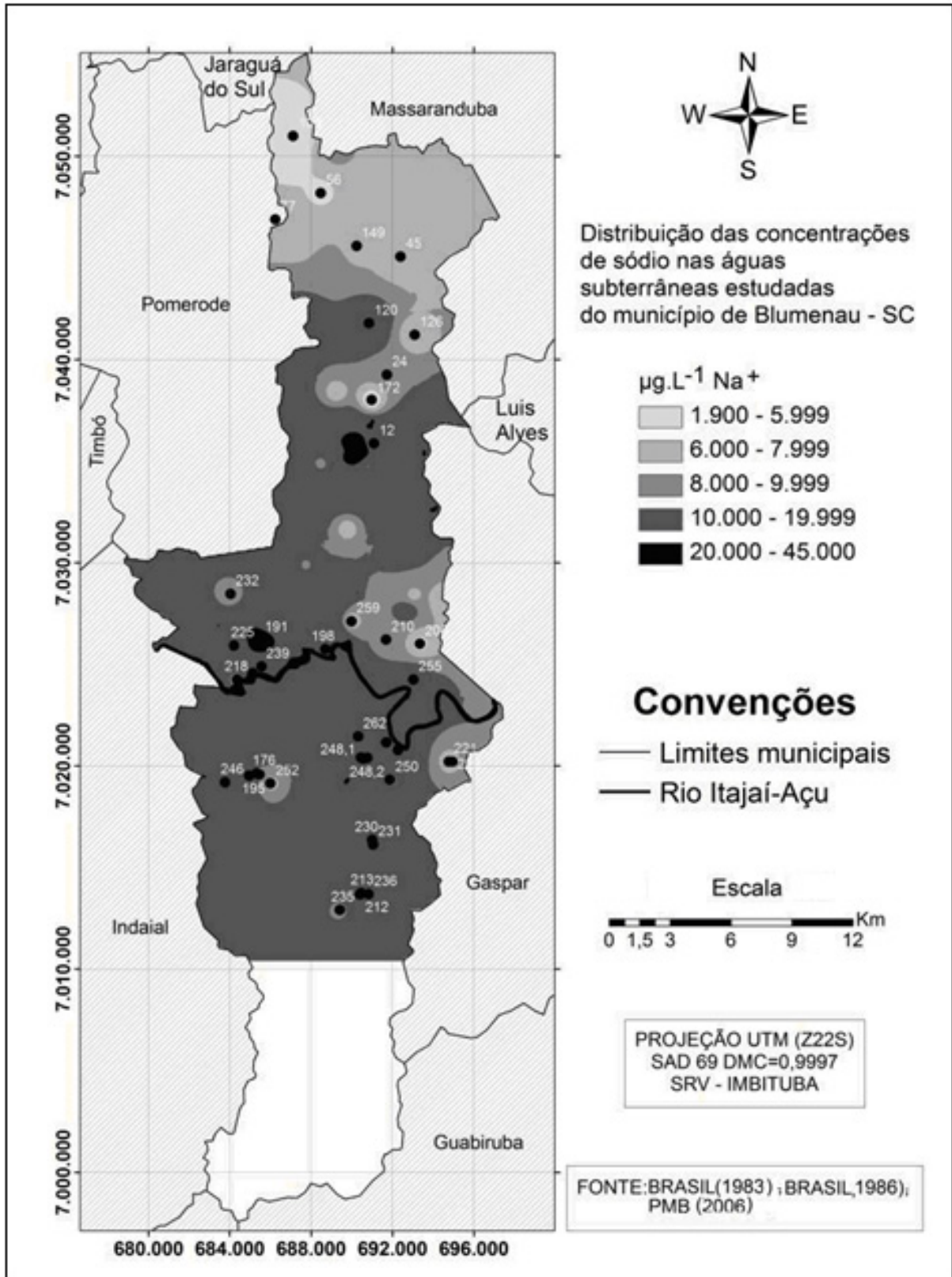


Figura 1: Distribuição de sódio ($\mu\text{g.l}^{-1}$) nas águas subterrâneas estudadas em Blumenau - SC
Figure 1: Distribution of sodium ($\mu\text{g.l}^{-1}$) in the studied groundwater in Blumenau-SC.

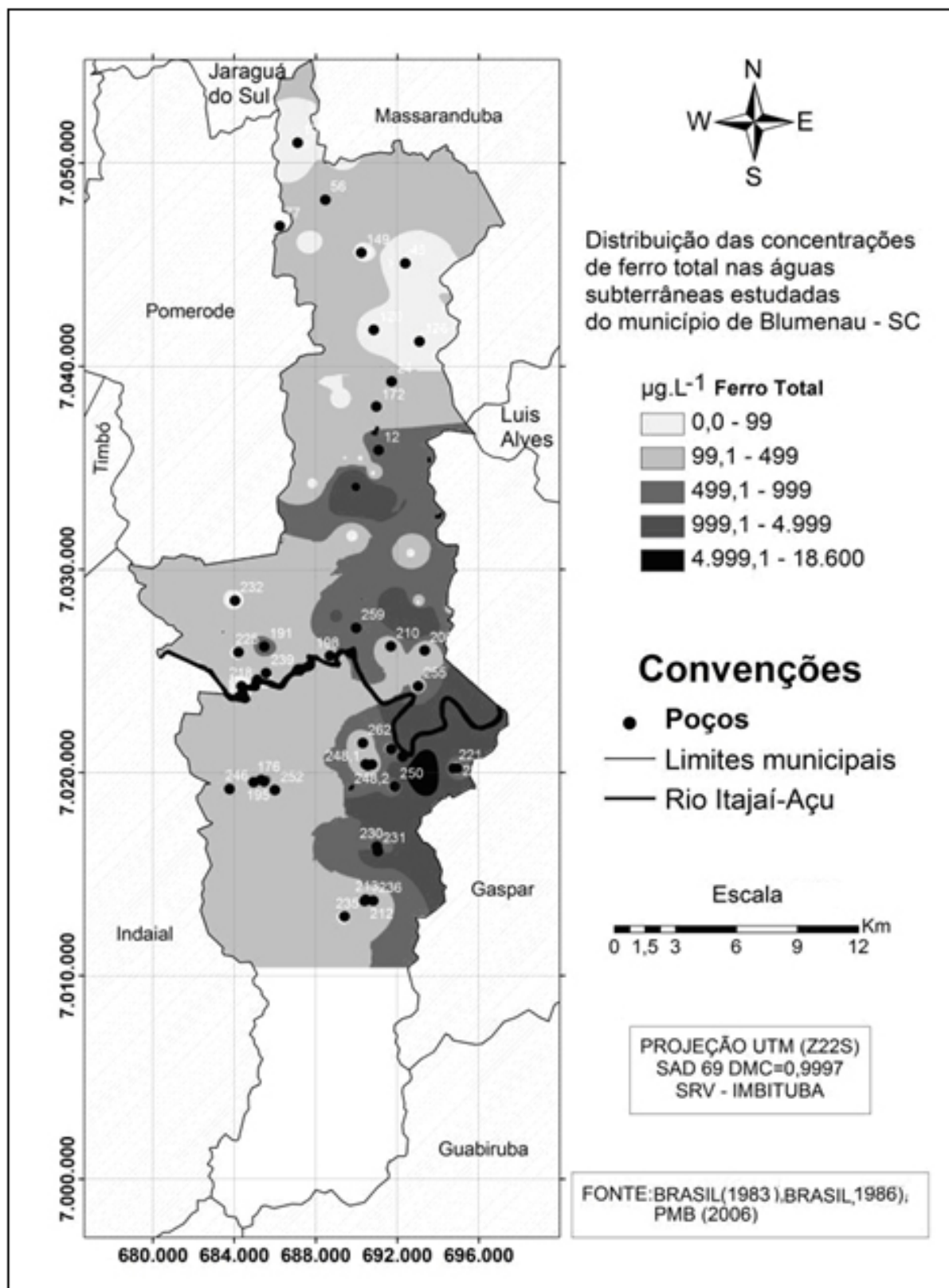


Figura 2: Distribuição do ferro total (µg.l) nas águas subterrâneas estudadas em Blumenau - SC
Figure 2: Distribution of total iron (µg.l-1) in the studied groundwater in Blumenau-SC.

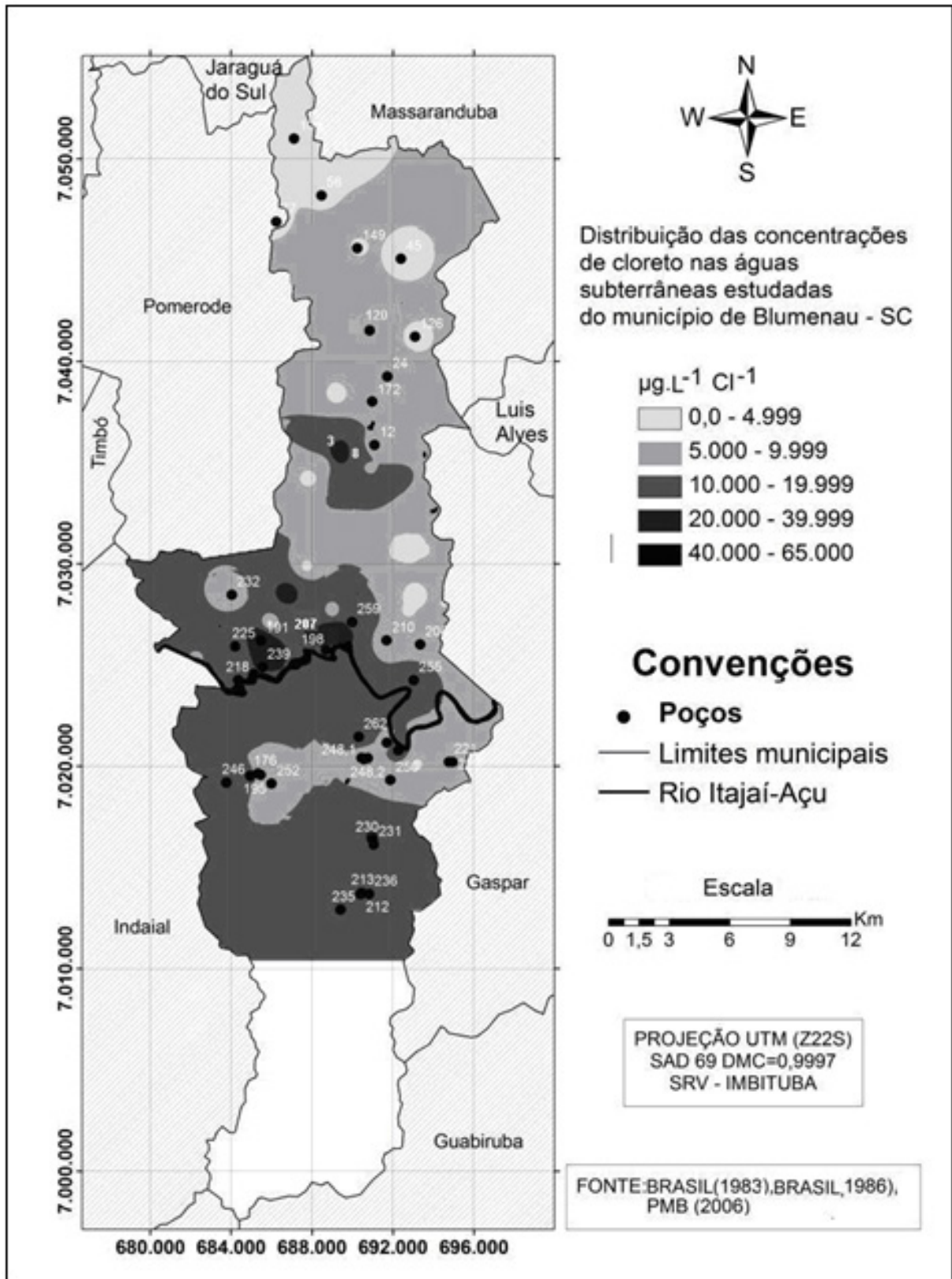


Figura 3: Distribuição de cloreto ($\mu\text{g.l}^{-1}$) nas águas subterrâneas estudadas em Blumenau - SC.
Figure 3: Distribution of chloride ($\mu\text{g.l}^{-1}$) in the studied groundwater in Blumenau-SC.

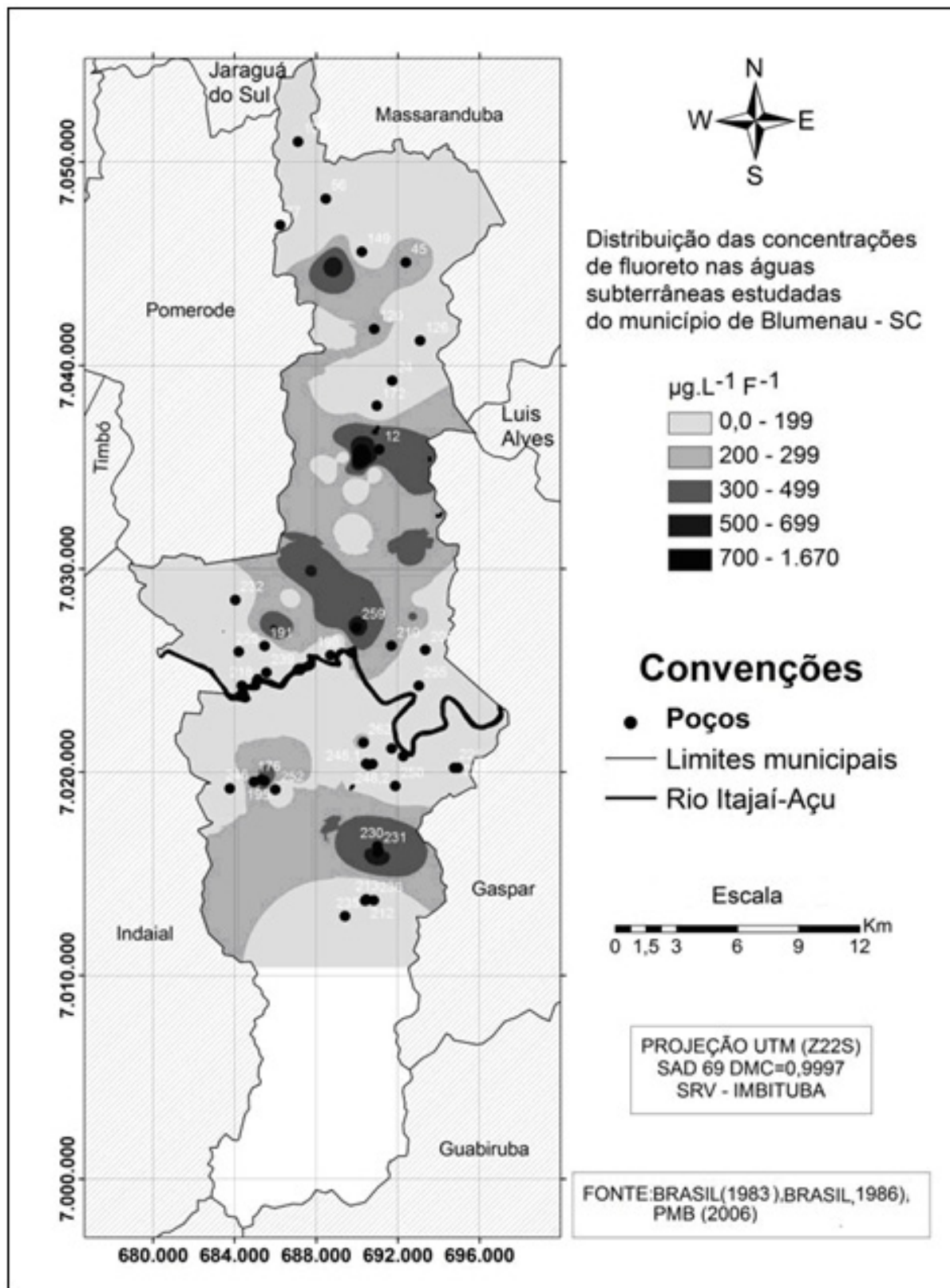


Figura 4: Distribuição de fluoreto ($\mu\text{g.l}^{-1}$) nas águas subterrâneas estudadas em Blumenau - SC
Figure 4: Distribution of fluoride ($\mu\text{g.l}^{-1}$) in the studied groundwater in Blumenau - SC.

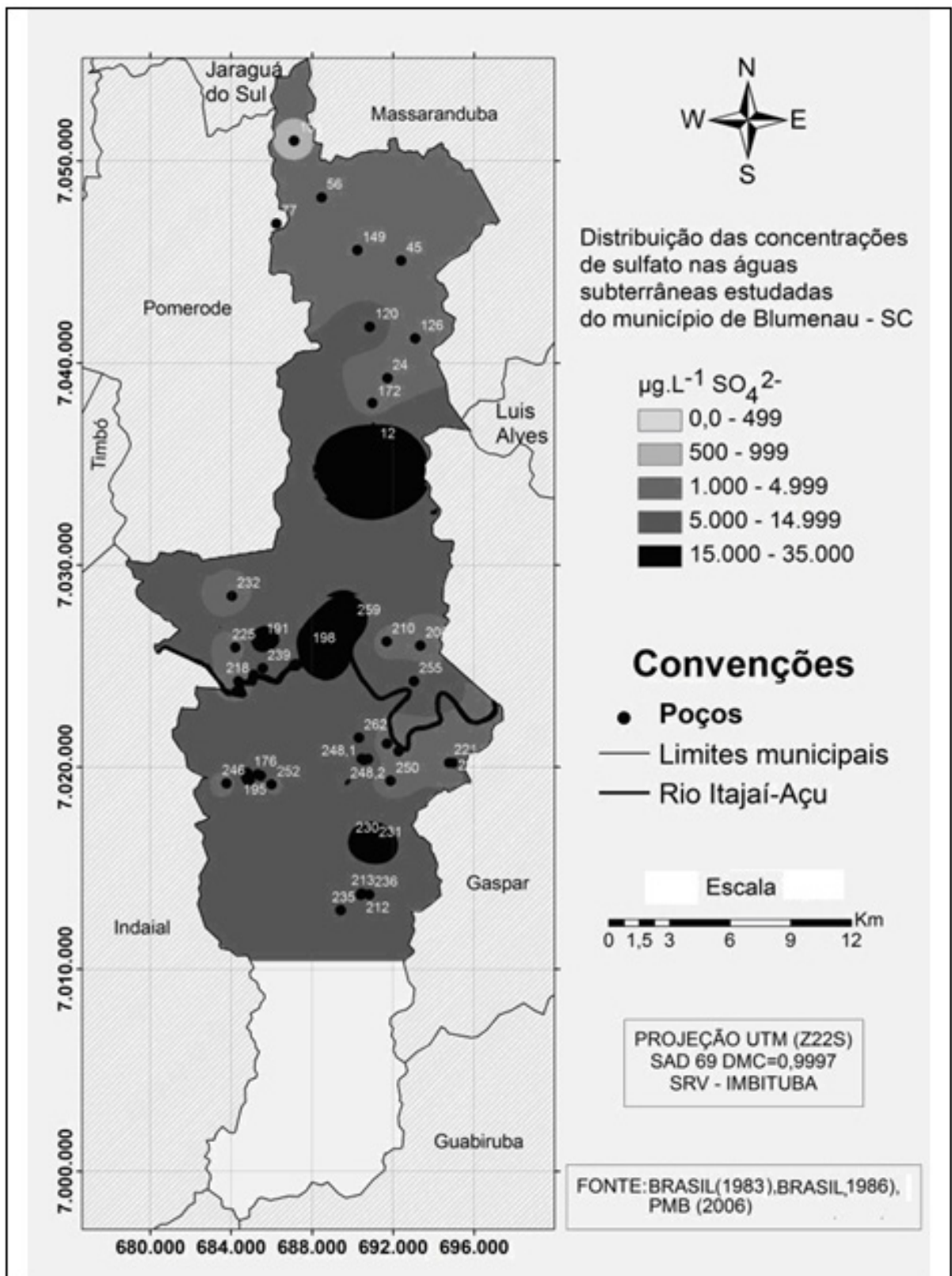


Figura 5: Distribuição de sulfato ($\mu\text{g.l}^{-1}$) nas águas subterrâneas estudadas em Blumenau –SC
Figure 5: Distribution of sulphate ($\mu\text{g.l}^{-1}$) in the studied groundwater in Blumenau-SC.

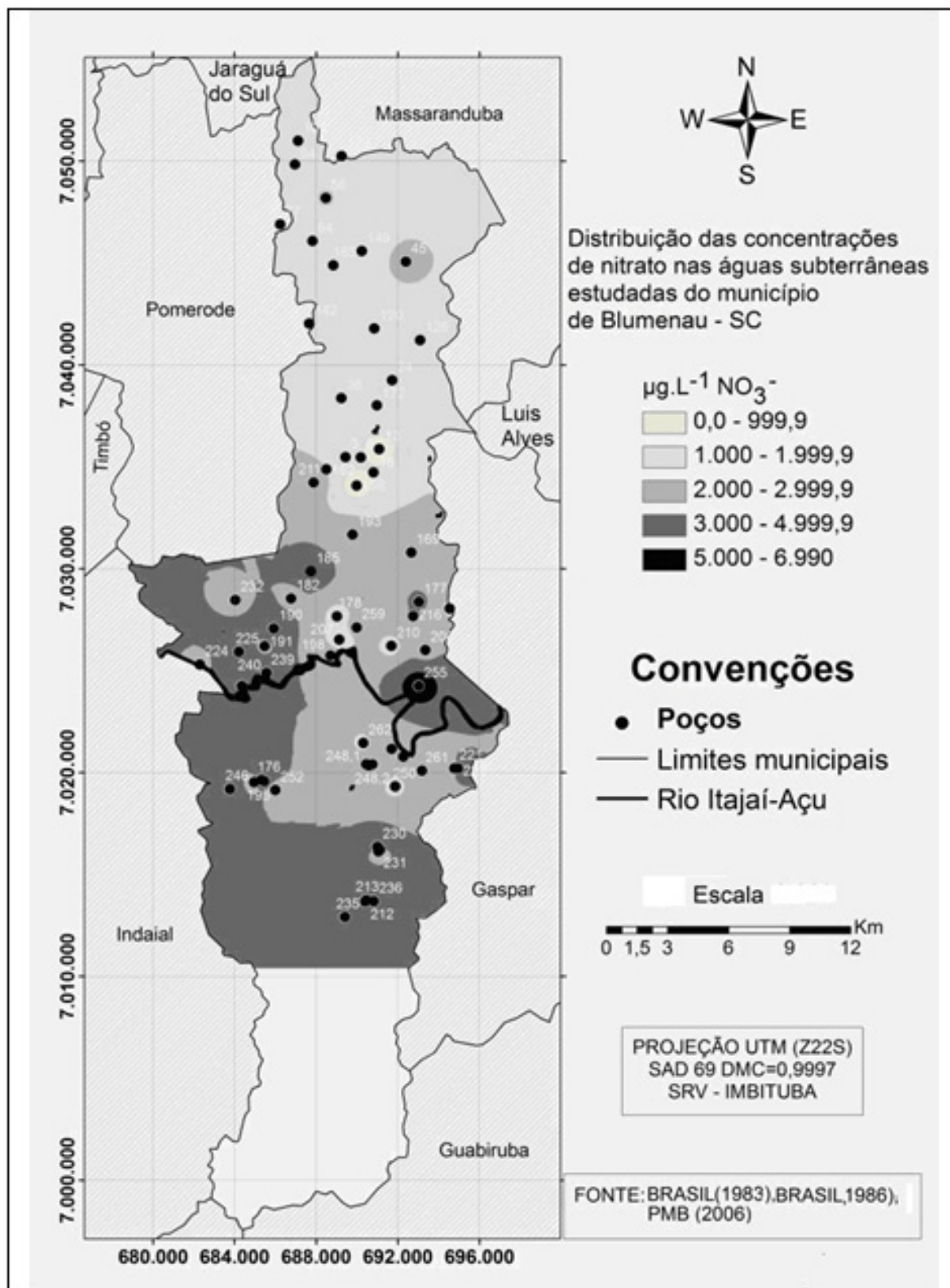


Figura 6: Distribuição de nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$) nas águas subterrâneas estudadas em Blumenau - SC

Figure 6: Distribution of nitrate ($\mu\text{g.L}^{-1}$) in the studied groundwater in Blumenau-SC.

Os coliformes totais e termotolerantes

Tais coliformes são os indicadores de fácil análise e amplamente utilizados na avaliação sanitária de uma água. Os coliformes totais reúnem um grande número de bactérias como a *Escherichia coli*, de origem estritamente fecal, e outras bactérias que podem, além de estar no trato intestinal de homeotermos, serem encontradas no solo e vegetais. Os coliformes fecais, no entanto, representam microorganismos de origem exclusiva do trato intestinal de animais de sangue quente, que não se reproduzem fora do corpo desses (UNESCO; WHO; UNEP, 1992). Portanto, se constatada a presença efetiva em um aquífero de organismos coliformes termotolerantes, isso indicaria um processo de contaminação ou constante, ou recente. Dos organismos excretados somente as bactérias e vírus são suficientemente pequenos para migrar na matriz do solo e dos aquíferos.

As águas contaminadas podem se tornar um meio de cultura ideal, conforme as condições de pH, temperatura, partículas minerais, material dissolvido e matéria orgânica, presentes. Tais fatores podem representar tudo o que a biocenose necessita para seu desenvolvimento. Essas mesmas condições podem, no entanto, ser a limitação ou o impedimento do desenvolvimento de microorganismos nas águas subterrâneas, como colocado por Blarasin *et al.* (1999), e evidenciado por vários poços cujas águas exibiram pH<6,0 e menor contaminação por coliformes termotolerantes.

De acordo com Custódio e Llamas (2001), na zona saturada a eliminação dos organismos vai depender da capacidade filtrante dos aquíferos. Se esses forem homogêneos, formados por areias

finas e argilosas, esse seria um excelente meio de retenção de bactérias. Portanto, as características do meio drenado também interferem na presença de coliformes nas águas, como acontece nos poços rasos instalados em arenitos, onde se observou que todas as águas de poços instalados nesse meio se encontram contaminadas com coliformes, ou seja, 100% das amostras analisadas apresentaram coliformes totais, e 77% coliformes termotolerantes. Também, confirmou-se o previsto, de que as águas de melhor qualidade, em termos de coliformes, são aquelas dos aquíferos mais profundos. Os poços profundos instalados em argilitos e folhelhos exibem pouca ou nenhuma contaminação, confirmando o processo de filtragem e retenção proporcionado por esse meio. Normalmente, as bactérias sobrevivem de 60 a 100 dias num aquífero, mas condições favoráveis aliadas à presença de nutrientes podem permitir uma população bacteriana geral ativa, persistente por longas distâncias, e longos períodos de retenção de até cinco anos. Para Freeze e Cherry (1979), e Bouwer (1978), quando fixadas ao material inconsolidado, ou sólidos finos presentes nas águas, as bactérias podem migrar longas distâncias, nas plumas de contaminação, chegando à zona saturada.

Na Tabela 04 pode-se avaliar a percentagem de poços, cujas águas, em pelo menos uma amostragem, conforme os diferentes substratos drenados apresentaram-se contaminadas com coliformes. Dentre os 66 poços avaliados apenas 2 mostraram águas livres de coliformes, ou seja, 3% do total das águas analisadas. Conforme mostrado na Tabela 4, os poços rasos se mostraram os mais contaminados.

Tabela 4: Percentagem de poços cujas águas apresentaram, em pelo menos um amostragem, presença de coliformes totais e coliformes termotolerantes [UFC.(100 mL)-1]

Table 4: Percentage of wells in which waters have, at least in one sample, presence of coliform and coliforms thermotolerants [UFC. (100 ml)-1]

TIPO DE POÇO E SUBSTRATO DRENADO	PERCENTAGEM DE AMOSTRAS CONTAMINADAS (%)	
	Coliformes totais UFC. (100 mL) ⁻¹	Coliformes termotolerantes UFC. (100 mL) ⁻¹
Rasos em arenitos (2,5 a 9,0 m)	100,00	77,00
Rasos em gnaisses (2 a 15 m)	93,20	75,50
Rasos em argilitos e folhelhos (3 a 6 m)	93,00	84,00
Todos (2 a 180 m)	82,30	79,00
Tubulares profundos em argilitos e folhelhos (96 a 180 m)	63,00	40,00
Tubulares em gnaisses (15 a 18 m)	53,50	21,50
Tubulares profundos em gnaisses (50 a 120 m)	35,00	22,00

CONCLUSÕES

Esse artigo representa um esforço de avaliar a classificação das águas subterrâneas da região de Blumenau-SC, segundo o preconizado pela Resolução CONAMA 396 (BRASIL, 2008). O que pode ser observado, quanto à classificação de qualidade das águas subterrâneas estudadas, é que as mesmas, com raras exceções, não se encaixam nas classes 1 e 2, definidas por essa Resolução.

Pode-se concluir, também, que as águas avaliadas mostram associação entre as variáveis cloreto, nitrato e coliformes. Os poços cujas águas têm os valores de tais variáveis elevados, geralmente, apresentam em comum, alguns fatores, como proximidade de fossas, rios contaminados, lixões, esterqueiras, presença de cultivos, animais e falta de proteção sanitária nos poços.

Dentre os poços, apenas 2, dos 66 estudados, em termos de coliformes, mostraram suas águas consideradas potáveis. Trata-se dos poços 178 e 249, ambos profundos. Essas seriam as únicas águas que poderiam ser classificadas como classe 1 dentre as estudadas. As águas dos poços em arenitos foram as que se apresentaram mais vulneráveis à contaminação por coliformes em relação aos demais substratos. Isso mostra que esse meio, como barreira atenuante ou efetivo na retenção de coliformes, se apresenta pouco eficaz, quando comparado aos demais substratos estudados.

No estudo realizado, a variável coliformes termotolerantes foi a que mais se mostrou em desacordo com os padrões fixados na Resolução 396, seguida do fluoreto. Em termos de poços profundos, 22% deles apresentaram coliformes termotolerantes. Nos poços profundos instalados em substrato de gnaisse observaram-se níveis menores de contaminação, mostrando que os diaclasamentos ou fissuras que os alimentam, nem

sempre transmitem poluição diretamente para as suas águas.

Constataram-se na área avaliada dezenas de poços rasos, e até profundos, sem proteção sanitária, sujeitos aos vários focos de contaminação e oferecendo águas de qualidade comprometida, segundo os padrões de potabilidade vigentes. A grande maioria dos usuários desconhece a qualidade das águas que consomem. Em poços tipo cacimbas, ou aqueles mais rasos, ou não revestidos, ou sem alguma proteção contra a entrada superficial de água de enxurradas, dificilmente se apresentaram livres de alguma contaminação por coliformes. Outros aspectos avaliados para tais poços, como plumas de latrinas e fossas, esterqueiras próximas, solo no entorno contaminado com a aplicação agrícola de estrume, também garantem essa condição.

Independentemente da profundidade, em 38% dos poços avaliados, ficou evidente o arraste de contaminação bacteriana pela chuva, durante o processo de recarga, introduzindo contaminação bacteriológica às águas.

RECOMENDAÇÕES

Compete aos Órgãos ambientais, em conjunto com os Órgãos gestores dos recursos hídricos locais, classificarem as águas subterrâneas do município, definirem as áreas de proteção dos aquíferos comprovadamente de boa qualidade, objetivando a manutenção de tal condição, e estabelecerem as condições de uso para as águas subterrâneas, segundo a qualidade apresentada pelas mesmas. Também, juntamente com os Gestores de Saúde locais, atentarem para a restrição de uso daquelas águas cuja qualidade possa, comprovadamente, afetar a saúde humana ou o ecossistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-AGHA, M. R. Impact of waste water management on groundwater quality in the Gaza Strip, Palestine. In: CHILTON, J. Groundwater in the urban environment. Rotterdam: A. A. Balkema, 1999. p. 77-84.

AMERICAN PUBLIC HEALTH

ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION (WEF), et al. Standard methods for examination of water. 21. ed. Baltimore: 1995.

BALAZINA, A.; CREDÊNCIO, J. E. Brasil

desperdiça 45% da água captada. Folha de São Paulo, São Paulo, 17/11/2007. Folha on line. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.folha/cotidiano/ult95u346251.shtml>>. Acesso em: 09/12/2007.

BLARASIN, M.; CABRERA, A.; VILLEGAS, M. Groundwater contamination from septic tank systems in two neighborhoods in Rio Cuarto city, Córdoba, Argentina. In: CHILTON, J. Groundwater in the urban environment. Rotterdam: A. A. Balkema, 1999. p. 31-38.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Mapa hidrogeológico do Brasil. Brasília: DNPM, 1983. Escala 1:5.000.000.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Mapa geológico do Estado de Santa Catarina. Brasília: DNPM, 1986. Escala 1:500.000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Estabelece normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano. Diário Oficial da União, Brasília, v. 59, p. 266-270, 26 mar. 2004, Seção 1.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Portaria n. 396, de 07 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, v.66, p. 64-68, 07 abr. 2008, Seção 1.

BOUWER, H. Groundwater Hydrology. New York: McGraw Book Company, 1978. 480 p.

CUSTÓDIO, G. E.; LLAMAS, M. R. Hidrologia Subterrânea. 2 ed. Barcelona: Omega SA, 2001.

DAVIES, S. N.; De WIEST, R. J. M. Hydrogeology. Flórida: Krieger Publishing Company, 1991. p. 96 -125.

DRISCOLL, F. G. Groundwater and Wells. 2. ed. Minesota: Jonhson Division, 1987. 1089 p.

ESRI Technology, Inc. ArcMap™, v. 9.2, 1999-2006.

FORTESCUE, J. A. C. Environmental geochemistry. New York: Springer - Verlag, 1980. 347p.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. Groundwater. New Jersey: Prentice Hall, 1979. 604 p.

GUIMARÃES, S.M. Investigação da ocorrência de fluorose associada ao consumo de águas subterrâneas na região nordeste do Estado

de Goiás utilizando sistema de informações geográficas. Goiânia, Goiás, 2006. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Geoprocessamento. Centro Federal de Educação Tecnológica do Estado de Goiás.

LEMES, M. J. de L.; FIGUEIREDO FILHO, P. M.; PIRES, M. A. F. Mineral influence on chemical composition of drinking water supply from Mogi-Guaçu and Pardo rivers. 26, Química Nova, São Paulo, n. 1, 2003.

LOPES, J. Rios de flúor. Maputo. Disponível em: <<http://www.release5.xitizap.com/page6.html>>. Acesso em: 16/05/2007.

MIRLEAN, N. et al. Industrial impact on chemical composition of groundwater: the human consumption aspect(Rio Grande,RS). 28., Química Nova, São Paulo, n. 5, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000500010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28/01/2007.

ONOFRE, P. C. G. Instituto de biociência, USP. A origem das rochas. Disponível em: <www.geocities.com/paulac_onofre/>. Acesso em: 10/05/2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BLUMENAU (PMB). Geografia. Disponível em:<<http://www.blume-au.sc.gov.br/conteudo/index.aspx?código=1255>>. Acesso em 10/10/2007.

RAMNARONG, V. Evaluation of groundwater management in Bangkok: positive e negative. In: CHILTON, J. Groundwater in the urban environment. Rotterdam: A. A. Balkema, 1999. p. 51-62.

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Águas doces do Brasil. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. p. 117-151.

SOETRISNO, S. Groundwater management problems: comparative city case studies of Jakarta and Bandung, Indonesia. In: CHILTON, J. Groundwater in the urban environment. Rotterdam: A. A. Balkema, 1999. p. 63 - 68.

THAKURIA, N. Fluorosis Bone crusher in Assam. 2007. Disponível em: <<http://www.fluoridealert.org/news/2883.html>>. Acesso em: 07/06/2007.

UNESCO, WHO, UNEP. Water quality assessments. Londres: Chapman & Hal, 1992. <<http://www.fluoridealer.org/news/2883.html>>. Acesso em: 07/06/2007.

