

HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA CIDADE DE IRANDUBA (AM), BRASIL

Márcio Luiz da Silva

Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - CPR, INPA
marciols@inpa.gov.br

Maria do Socorro Rocha da Silva

Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - CPR, INPA
ssilva@inpa.gov.br

Resumo

A cidade de Iranduba está à margem direita do rio Negro, à esquerda do Solimões e sobre os sedimentos terciários areno-argilosos da Formação Alter do Chão, de idade cretácea. A região está associada a um índice médio pluviométrico de 2.300 mm/ano, um clima quente e úmido e uma exuberante cobertura vegetal. O abastecimento de água é realizado por empresa particular, através de distribuição a partir de poços tubulares. Objetivando investigar a hidrogeoquímica das águas subterrâneas de Iranduba, aferiram-se variáveis físicas, físico-químicas e químicas das amostras de águas de poços tubulares selecionados. Os resultados obtidos mostraram que as águas subterrâneas estudadas têm concentrações altas de constituintes dissolvidos na porção sudeste da área de estudo, oriundas da Formação Nova Olinda e, em sua maioria, são potássicas e sódicas, ocorrendo uma delas com caráter misto e duas magnesianas e foram classificadas como clorosulfatadas magnesiana e clorosulfatadas sódica. De acordo com as variáveis analisadas, a qualidade das águas subterrâneas é apropriada para o consumo humano.

Palavras-chave: Amazônia, hidroquímica, Formação Nova Olinda, Poços tubulares.

GROUND WATER HYDRO-GEOCHEMISTRY IN IRANDUBA (AM), BRAZIL

Abstract

The city of Iranduba lies on the right bank of the Negro River to the left of the Solimoes River, on the sandy-clayey tertiary sediments of the Alter do Chão Formation from the cretaceous age. This region has an average yearly rainfall index of 2,300-mm, hot humid climate and lush plant cover. Water from tube wells is provided by a private enterprise. With the object of investigating the quality of the Iranduba underground water, physical, physical-chemical and chemical variables from selected tube well water samples were checked. The results of the ground water findings revealed high concentrations of solutes in the southeastern portion of the area studied. These originate from the Nova Olinda Formation and were mostly potassium and sodium, one of which occurred as a mixture and two as magnesium, and were classified as magnesium chloride-sulphated and sodium chloride-sulphated. According to the variables assayed, the quality of the ground water is suitable for human consumption.

Key-words: Amazônia, hydrochemistry, Nova Olinda Formation, tubes wells.

INTRODUÇÃO

Na região Amazônica estão 80% da água doce disponível e os demais 20% se distribuem, desigualmente pelo restante do país para atender a 95% da população brasileira. Na Amazônia, tem-se observado crescente perspectiva de exploração de água subterrânea, por apresentar vantagens práticas e econômicas quanto a sua captação, além de dispensar tratamentos, por ser de excelente qualidade (Silva, 2005).

O município de Iranduba situa-se a 03°16'S 60°10'W à margem direita do rio Negro e à esquerda do Solimões, com 30m de altitude, 2.345 km² e apresenta uma população de 30.820 habitantes (Figura 01) (IBGE, 2006). O acesso é por via fluvial e por estrada que faz a ligação com Manaus (22 km) e Manacapuru (60 km). O clima é do tipo Ami de monções, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 25,6°C, com amplitude térmica de 4°C. O índice pluviométrico médio anual é de 2.000 a 2.300 mm. A umidade do ar é alta, em torno de 88% no período chuvoso e 77% no seco (Prance & Lovejoy, 1985).

A área de estudo está situada sobre os sedimentos continentais da Formação Alter do Chão, de idade cretácea, oriundos da deposição de sedimentos continentais, em ambientes aquosos, predominante lacustres e fluviais (Caputo et al., 1972). É uma formação constituída por sedimentos sob a forma de argilas, argilitos, siltitos, arenitos e conglomerados, pobres em fósseis, e recoberta discordantemente, em parte, por sedimentos terciários ou diretamente por sedimentos quaternários. Sob a Formação Alter do Chão, ocorre a Formação Nova Olinda, não aflorante, com horizontes de evaporitos com carnalita e silvinita, bem como níveis de calcário. A espessura total de salgema é de cerca de 400 metros. É oriundo de um novo ciclo deposicional transgressivo-regressivo, ocorrido entre o Neocarbonífero e o Neopermiano, associado a mudanças climáticas de frio para quente árido (Damião et al., 1972; Lourenço et al., 1978; Cunha et al., 1994).

Na cidade de Iranduba existem dezenas de poços tubulares e escavados, oferecendo abastecimento não tratado e expondo o aquífero e a população à contaminação. A utilização aleatória e indiscriminada de água subterrânea, sem a prévia análise de variáveis que possam identificar, qualificar e quantificar substâncias nocivas à saúde humana poderá causar uma série de complicações à população da área de estudo. O presente trabalho apresenta a investigação hidrogeoquímica das águas subterrâneas da área urbana da cidade de Iranduba - AM que serviram para avaliar a qualidade dos recursos hídricos de subsuperfície nas águas estudadas.

Material e métodos

As coletas das amostras foram realizadas em dez poços tubulares com 150 metros de profundidades (Figura 01), através de bombeamento e no período vazante local. A seleção dos poços foi efetuada em conjunto com a empresa municipal de distribuição de águas (IRAN-ÁGUAS), em função de sua localização, acesso e funcionalidade.

Após as coletas, foram aferidos o pH, condutividade elétrica, temperatura do ar e das águas de subsuperfície e em seguida, as amostras foram levadas, imediatamente, ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - INPA, para serem aferidos as variáveis referidas no Quadro 1.

Resultados e discussão

De acordo com as informações fornecidas pela empresa IRAN-ÁGUAS, os poços amostrados não possuem perfis litológicos. Quanto aos valores obtidos para a temperatura do ar e das águas subterrâneas foram relativamente homogêneos, com médias de 34,0°C e 29,3°C, respectivamente (Tabela 01). Silva (2001) também verificou temperaturas relativamente homogêneas (com média de 28,6°C) na cidade de Manaus – AM para as águas subterrâneas e Silva (2005) constatou que para Manaus, a correlação linear entre as temperaturas das águas de subsuperfície e as temperaturas do ar, nos períodos de coletas, foi de 83,20%. Indicando, assim, rápida influência da temperatura atmosférica nessas águas estudadas.

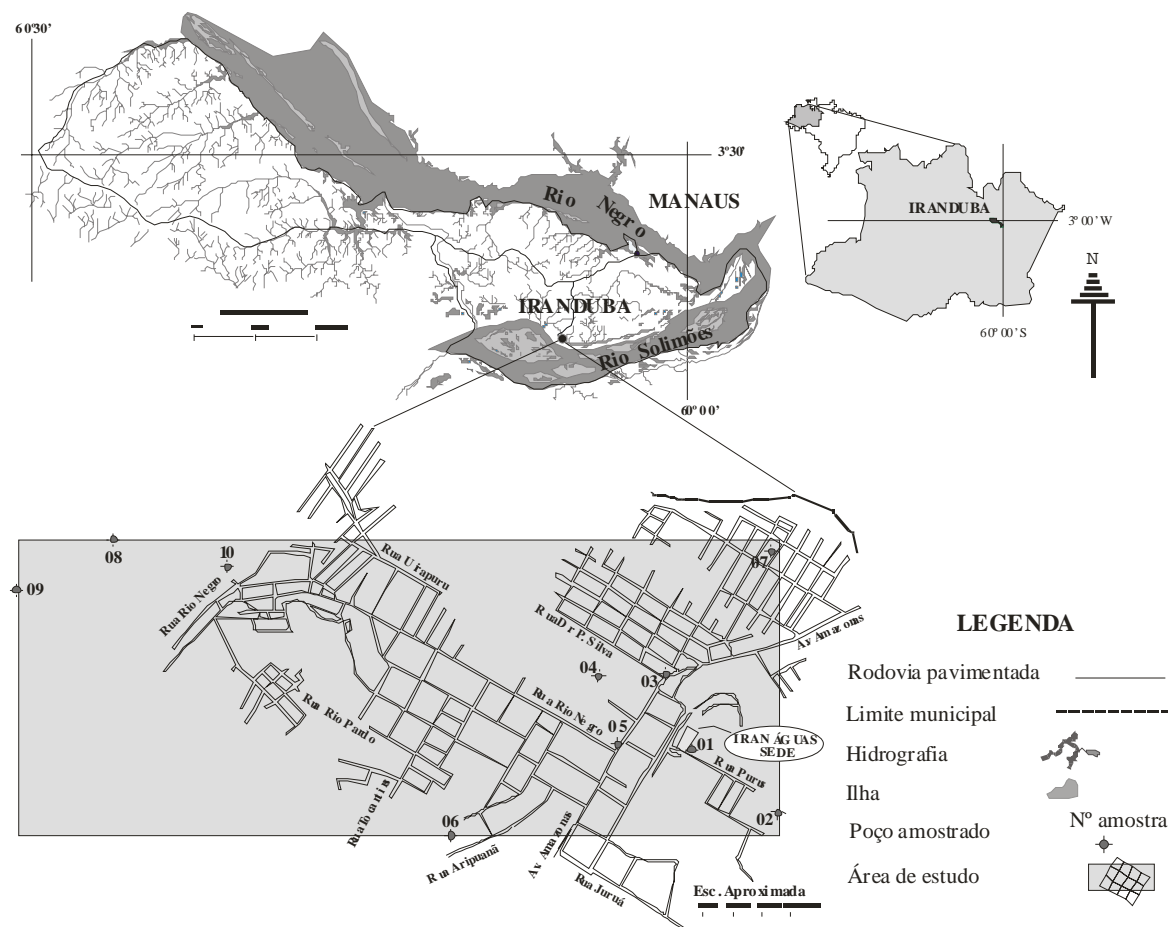


Figura 1 - Localização do município de Iranduba (AM), área de estudo e poços amostrados

Quadro 1

Metodologias para determinação hidroquímica das amostras coletadas na cidade de Iranduba (AM)

VARIÁVEL MEDIDA	MÉTODO	ANOTAÇÕES	UNIDADE
Turbidez	Turbidimétrico	-	UT
Cor	Espectrofotômetro	-	uH
Ca ²⁺ , Mg ²⁺	Complexometria **EDTA	Golterman et al. (1978)	mg.L ⁻¹
K ⁺ e Na ⁺	Fotometria de chama	MICRONAL, modelo - B2632	mg.L ⁻¹
Fe ²⁺ e Fe ³⁺	APHA	APHA (1985)	mg.L ⁻¹
Alcalinidade	Potenciometria	Golterman et al. (1978)	mgHCO ₃ ⁻ .L ⁻¹
Cl ⁻	Titulometria	Golterman et al. (1978)	mg.L ⁻¹
NO ₃ ⁻	Redução a NO ₂	Strickland & Parsons (1968)	mg.L ⁻¹
	Redução por cádmio adaptada ao método *FIA		
SO ₄ ⁻	Espectrofotômetro cloreto de bário adaptada ao método *FIA	-	mg.L ⁻¹
NH ₄ ⁺	Método de Nessler adaptada ao método *FIA	Strickland & Parsons (1968)	mg.L ⁻¹
Silica reativa (Si(OH) ₄)	Colorimetria	Golterman et al. (1978)	mg.L ⁻¹

*FIA: Sistema de Injeção em Fluxo; **EDTA: ácido etilenodiamino tetracético.

Nas águas amostradas os valores de cor variaram de 1,5 uH a 12,72 uH enquanto que a turbidez de 0,2 UT a 0,8 UT (Tabela 01). Esses resultados são inferiores ao limite máximo permitido pela portaria nº 518 do Ministério da saúde de 25/03/2004 que é de 15 uH para cor e 5 UT para turbidez.

O pH das águas de subsuperfície apresentou valor de 5,0 a 6,3, caracterizando-as como águas ácidas (Tabela 01). Valores aproximados foram observados por Silva (1999) e Ramos & Silva (2002), nas águas de poços tubulares da cidade de Manaus, na qual encontram pH variando de 3,3 a 5,7. Quando comparadas aos valores estabelecidos pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, essas águas não se enquadram dentro dos padrões recomendados o que não a descaracteriza como água potável, já que o pH está relacionado à geologia da região, cobertura vegetal, recarga rápida e processo de interação água-rocha/solo.

Quanto à condutividade elétrica, essa variou de 18,4 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 1632,0 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Tabela 01). Os altos valores de condutividade elétrica apresentados pelos poços nº 01, 02, 03, 05 e 07 mostram-se atípicos para as águas subterrâneas da Formação Alter do Chão, pois, de modo geral, essas águas apresentam baixas concentrações de elementos dissolvidos, de acordo com Silva (1999; 2001; 2005). O que pode estar indicando que esses poços estão explotando água de formações geológicas diferentes.

A alcalinidade das águas variou de 1,22 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 30,50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O cálcio dissolvido variou de 0,02 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 36,81 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ com média de 5,52 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e o magnésio de 0,02 a 77,66 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ com média de 18,58 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Tabela 01). Para águas da Formação Alter do Chão, Silva (1999; 2001) encontraram em Manaus, valores para o cálcio e magnésio menores que 5,00 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Silva (2005) encontrou valor médio de 1,09 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para o cálcio e 0,81 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para o magnésio em Iranduba e 3,03 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 2,26 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para esses elementos, respectivamente, em águas de subsuperfície de Manacapuru-AM, a oeste de Iranduba (60 km). O que demonstra que esses altos valores encontrados são anômalos para a Formação Alter do Chão.

O potássio variou de 0,3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 110,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ com média de 25,63 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ enquanto que o sódio de 0,8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 110,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ com média de 18,88 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Tabela 01). Silva (1999) encontrou valor máximo de potássio e sódio de 13,4 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e 4,5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ em águas subterrâneas de Manaus, respectivamente. Silva (2005) verificou valor médio de 1,36 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para o potássio e 4,61 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para o sódio em águas subterrâneas de Iranduba.

O cloreto dissolvido variou de 0,52 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 581,64 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ com média de 84,33 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Tabela 1). O poço nº 05 apresentou valor acima do recomendado pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde que é igual a 250 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Silva (1999; 2005) encontraram valores médios de 1,09 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e 4,61 para o cloreto em águas subterrâneas de Manaus e Iranduba, respectivamente. Valores abaixo dos verificados para a maioria dos poços amostrados neste trabalho.

O nitrato teve valor máximo de 6,76 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ enquanto que a amônia não ultrapassou o valor de 1,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para todos os poços amostrados (Tabela 01). Valores abaixo dos estabelecidos pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde.

O sulfato apresentou baixa concentração nas águas analisadas, com exceção dos poços nº 2 e 5 que apresentaram valores de 7,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e 22,11 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente (Tabela 01). Para águas da Formação Alter do Chão na cidade de Manaus, Silva (1999) verificou valores menores que 1,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para todos os poços amostrados.

O ferro total variou de 0,06 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 0,93 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, com média de 0,22 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e o ferro dissolvido de 0,01 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 0,13 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, com média de 0,09 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Tabela 01). Apenas o poço nº 5 apresentou valor de ferro total acima do estabelecido pela Portaria nº 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde que é de 0,3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, provavelmente, devido à algum problema construtivo do poço tubular.

A concentração de sílica variou de 5,11 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a 13,64 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ com média 10,74 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Tabela 1). Silva (2001) encontrou valores semelhantes em águas subterrâneas de Manaus com média

Tabela 1

Dados gerais dos poços amostrados das águas de poços tubulares amostrados na cidade de Iranduba (AM)

Poços	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	Média
Coordenadas (UTM)	813172 9637227	813417 963704	813094 963744	812899 963743	812952 963723	812473 963697	813394 963779	811499 963782	811225 963768	811828 963774	
		1	1	4	7	2	3	9	4	8	
Temperatura Ar (°C)	35	35	34,5	35,5	35	32,5	32	35	33	33	34,0
Temperatura água (°C)	29,5	29,5	29,0	29,5	30,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,5	29,3
Turbidez (UT)	0,8	0,4	0,6	0,4	0,8	0,3	0,2	0,5	0,4	0,2	0,46
Cor (uH)	7,48	11,22	3,74	5,24	12,72	11,22	3,74	5,23	1,50	11,97	7,41
pH	5,00	5,40	5,8	5,6	5,9	6,0	6,3	5,1	6,2	6,1	-
CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	122,20	509,0	141,1	73,1	1632,0	59,3	211,0	18,4	39,0	32,2	-
Alcalinidade ($\text{mgHCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$)	1,22	28,06	30,50	2,44	2,44	1,22	2,44	8,54	2,44	4,88	8,42
Ca^{+2} ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	14,55	1,67	0,02	0,02	36,81	0,38	0,02	1,70	0,02	0,02	5,52
Mg^{+2} ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	77,66	23,09	4,28	1,09	66,07	0,12	7,18	5,87	0,43	0,02	18,58
Na^+ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	18,70	31,90	5,30	3,40	110,00	2,50	13,20	0,80	1,90	1,10	18,88
K^+ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	4,10	26,40	16,50	14,30	45,10	110,00	20,90	0,30	11,00	7,70	25,63
Cl^- ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	18,40	155,93	22,08	5,78	581,64	2,17	53,13	2,84	0,82	0,52	84,33
NO_3^- ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	6,76	5,29	1,76	3,72	1,48	2,97	3,77	0,18	1,54	3,88	3,14
NH_4^+ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
SO_4^- ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	1,0	7,00	1,0	1,0	22,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	3,71
Fe^{+2} ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,17	0,13	0,30	0,22	0,93	0,08	0,08	0,06	0,08	0,13	0,22
Fe^{+3} ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,13	0,10	0,11	0,08	0,11	0,04	0,12	0,01	0,11	0,10	0,09
$\text{Si}(\text{OH})^4$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	6,54	12,10	12,54	12,21	8,14	13,53	11,11	5,11	12,43	13,64	10,74

igual a 7,828 mg.L⁻¹, apresentando correlação com o pH das águas estudadas. O teor relativamente reduzido de sílica dissolvida nessas águas (10,74 mg.L⁻¹, em média), confirma a proveniência típica de águas com pouco tempo de residência, uma vez que neste tipo de rocha a sílica praticamente se encontra de forma livre nos minerais essenciais silicáticos, como o quartzo e acessórios, sendo muito menos solúvel do que na forma de sílica combinada.

Para o agrupamento das águas com características similares, utilizou-se o diagrama semilogarítmico de Schoeller (1962). Os valores dos cátions apresentaram concentrações de Na⁺+K⁺>Mg²⁺>Ca²⁺ para os poços nº 02, 03, 04, 05, 07, 09 e 10, Mg²⁺>Na⁺+K⁺>Ca²⁺ para o poço nº 01, Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺ para o poço nº 06 e Mg²⁺>Ca²⁺>Na⁺+K⁺ para o poço nº 08 enquanto que os ânions apresentaram HCO₃⁻>Cl⁻>SO₄²⁻ para os poços nº 08 e 09, HCO₃⁻>SO₄²⁻>Cl⁻ para o poço nº 10, Cl⁻>HCO₃⁻>SO₄²⁻ para os poços nº 04 e 07, Cl⁻>SO₄²⁻>HCO₃⁻ para os poços nº 02 e 06 e Cl⁻>>SO₄²⁻>>HCO₃⁻ para o poço nº 05 (Figura 02). Silva (2005) verificou a seqüência Na⁺+K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺ para águas subterrâneas de Iranduba e Manaus; dado idêntico apenas ao do poço nº 06.

Com relação ao diagrama de Piper (1944), verifica-se que as águas amostradas, em sua maioria, são potássicas e sódicas, ocorrendo uma delas com caráter misto e duas magnesianas. Quanto aos ânions dissolvidos, nota-se que o cloreto é predominante, três amostras mistas e três sulfatadas. Dessa forma, as águas dos poços nº 01, 05 e 08 foram classificadas como clorosulfatadas magnesianas, dos poços nº 02, 03, 04, 06, 07, 09 e 10 de clorosulfatadas sódica (Figura 2).

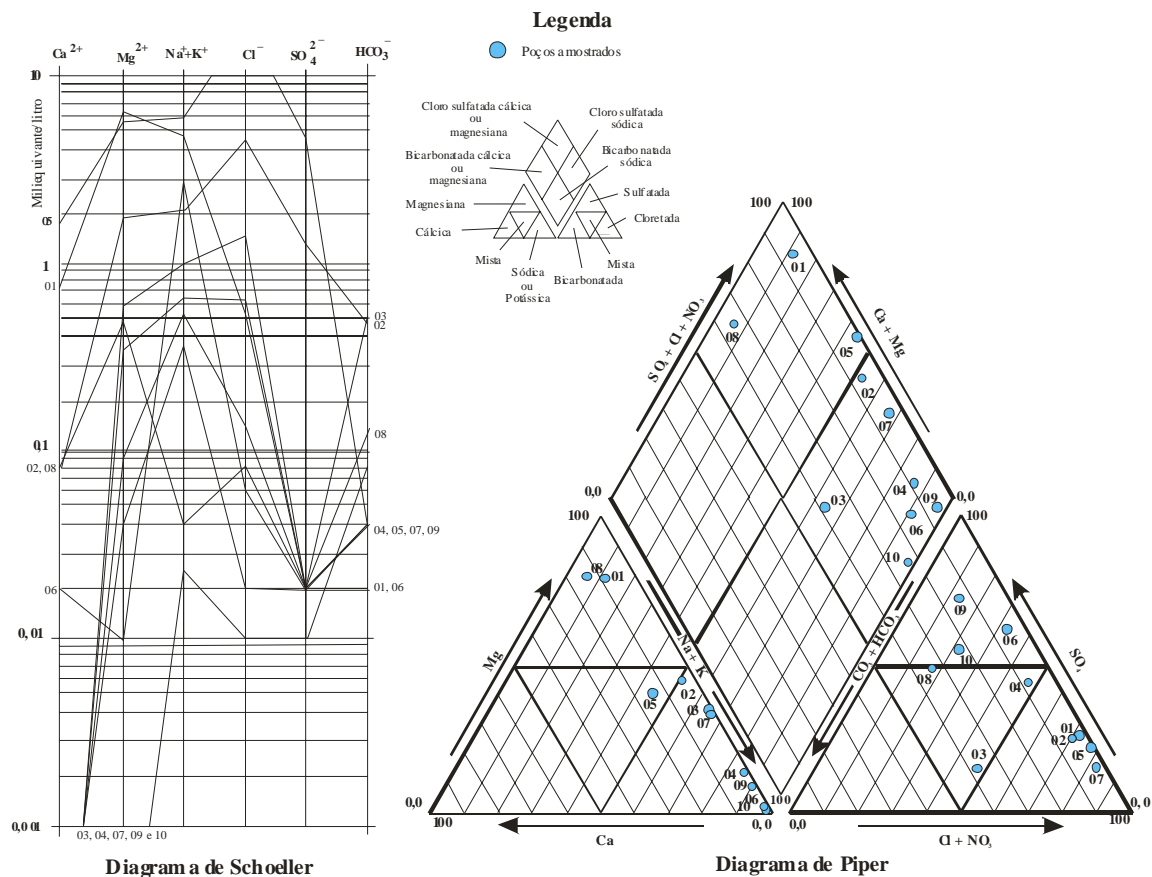


Figura 2 - Diagramas de Schoeller e Piper das concentrações de elementos dissolvido em unidades de mEq.L⁻¹ das águas subterrâneas amostradas na cidade de Iranduba (AM)

A maior parte dos principais depósitos de sais, economicamente importantes, foi diretamente precipitada a partir da água do mar, concentrada em bacias restritas, separadas do oceano por barreiras que impediam a sua livre circulação. As relações entre os teores médios em mg.L^{-1} de Cl^-/Na^+ e Cl^-/K^+ em água marinha é de 1,79 e 49,95, respectivamente (Braitsch, 1971). É provável que a Formação Nova Olinda seja a responsável pelo enriquecimento de sais nas águas subterrâneas dos poços amostrados o que não pôde ser confirmado pela inexistência dos perfis litológicos; o que permitiria melhor interpretação dos dados.

A representação gráfica em função das concentrações (mEq.L^{-1}) de elementos dissolvidos está apresentado na figura 3. Os poços nº 01, 04, 06, 09 e 10 apresentam as maiores concentrações catiônicas sendo o cálcio o elemento com menor representação. Os poços nº 09 e 10 têm similaridades e baixas concentrações iônicas. O poço nº 05 tem o maior valor de concentração iônica, com predominância de sódio e cloro.

A porção sudeste da área de estudo tem os poços com maiores concentrações iônicas (Figura 4) com os poços nº 02 e 05 apresentando as maiores relações entre cloro e sódio (relação de 3,16 e 3,42 mEq.L^{-1}) e cloro potássio (relação de 6,51 e 14,22 mEq.L^{-1}) e os poços nº 04, 06, 09 e 10 com relação unitária (Figura 5).

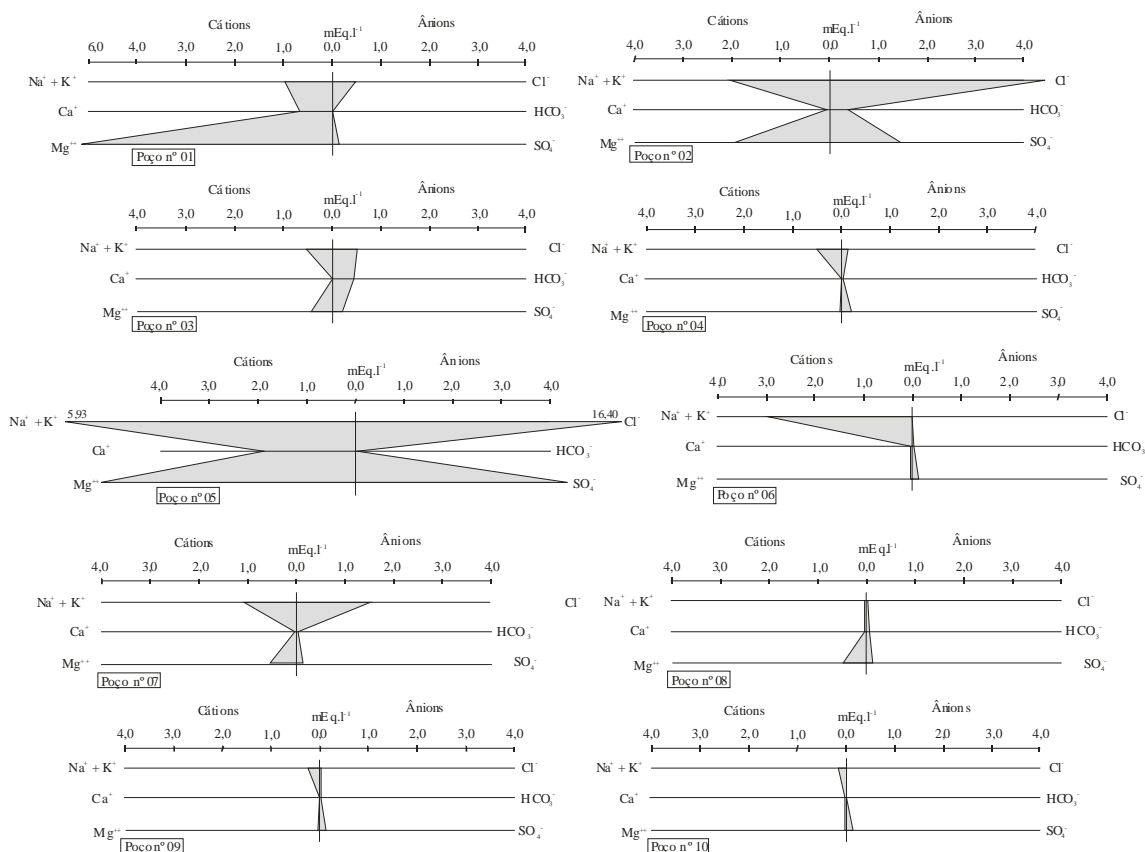


Figura 3 - Diagramas de Stiff das concentrações de elementos dissolvido em unidades de mEq.L^{-1} das águas subterrâneas amostradas na cidade de Iranduba (AM)

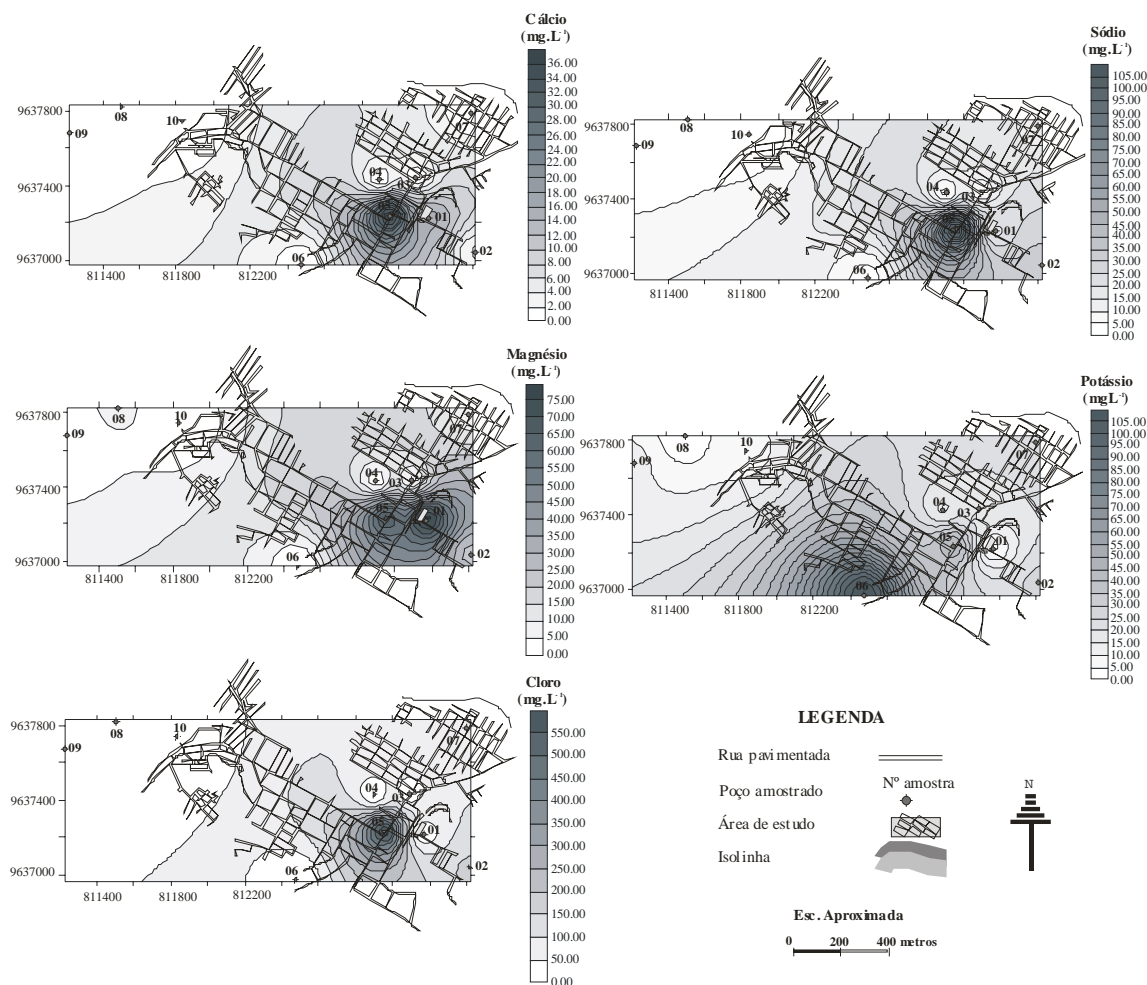


Figura 4 - Mapas de isovalores de cálcio, magnésio, cloro, sódio e potássio das águas subterrâneas amostradas na cidade de Iranduba (AM)

Conclusão

A ausência de perfis litológicos dos poços amostrados na cidade de Iranduba ocasionou limitações quanto às análises dos dados amostrados. Desse modo, foi possível reconhecer que a área sudeste apresenta águas mineralizadas com altos valores de cálcio, magnésio, sódio, potássio e cloro. Valores anômalos para águas subterrâneas da Formação Alter do Chão; sendo forte indicativo que sejam águas da Formação Nova Olinda.

As águas dos poços amostrados, em sua maioria, são potássicas e sódicas, ocorrendo uma delas com caráter misto e duas magnesianas e foram classificadas como: clorosulfatadas magnesianas e clorosulfatadas sódicas.

De acordo com as variáveis analisadas, a qualidade das águas subterrâneas é apropriada para o consumo humano, com algumas restrições ao pH ácido e alta concentração de cloro, uma vez que foram determinadas concentrações baixas dos constituintes dissolvidos, inserindo-se todos eles no contexto dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria n° 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde;

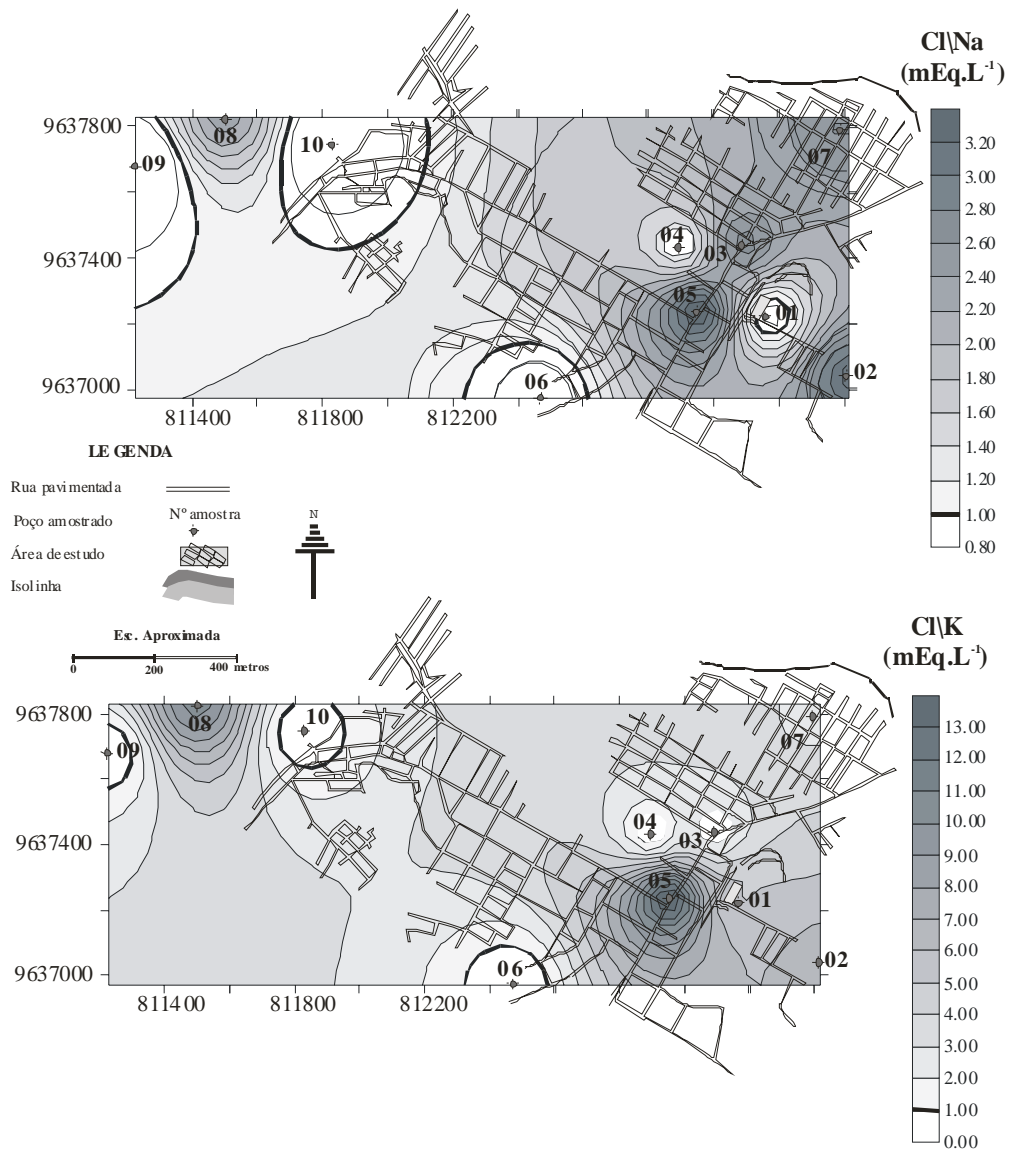


Figura 5 - Mapas de isovalores de relação entre Cl/Na e Cl/K das águas subterrâneas amostradas na cidade de Iraduba (AM)

Em Iraduba, existem dezenas de poços tubulares oferecendo abastecimento não tratado, sem monitoração, com falhas construtivas e gerando potenciais focos de contaminação. Portanto, devido ao pouco conhecimento científico, às características ambientais, geológicas, hidrogeológicas e uso potencial das águas subterrâneas, deve-se exercer proteção geral do aquífero, com medidas de controle das atividades locais, construção de poços com adequação às normas técnicas, fiscalização na exploração dessas águas, assim como, promover educação e conscientização ambiental para preservação do meio ambiente como um todo.

Referências

- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA - AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION; WPCF - WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. *Standard Methods of the experimentation of Water and Wasterwater*. 1985. 16 ed., New York. 1269p.
- BRAITSCH, O. 1971. *Salt deposits their origin and composition*. Ed Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 297 p.
- CAPUTO, M.V., RODRIGUEZ, R., VASCONCELOS, D.N.N. Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Amazonas; histórico e atualização. 1972. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26, Belém. *Anais*. Belém: SBG, 1972. (3): 35-46.
- CUNHA, P.R.C., GONZAGA, F.G., COUTINHO, L.F.C., FEIJÓ, F.J. Bacia do Amazonas. 1994. *Bol. Geocienc. PETROBRÁS*, (8): 47-55.
- DAMIÃO, R.N.; SOUZA, M.M.; MEDEIROS, M.F. *Projeto argila Manaus*. 1972. Manaus: DNPM/CPRM. 65p. Relatório interno.
- GOLTERMAN, H.L., CLYMO, R.S. & OHNSTAD, M.A.M. 1978. *Methods for Physical and chemical analysis of fresh water*. Blackwell Scientific Publications, 213p (IBP Handbook, 8).
- IBGE. *Cidades*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidades.html>> acesso em: 16, mai. 2006.
- LOURENÇO, R.S., MONTALVÃO, R.M.G., PINHEIRO, S.S., FERNANDES, P.E.C.A., PEREIRA, E.R., FERNANDES, C.A.C., TEIXEIRA, W. Geologia. 1978. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL*. Brasília: DNPM, (18): 29-164.
- PIPER, A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Trans. Amer. Geophysical Union, USA*, (25): 914-28.
- PRANCE, G.T.; LOVEJOY, T.E. 1985. *Amazônia: key environments*. Oxford: Pergamon Press. p.4.
- RAMOS, A.M.; SILVA, M.S.R. 2003. Avaliação e quantificação de metais pesados nas águas subterrâneas de Manaus-AM. In: XII Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/INPA/CNPq, Manaus. *Anais*. Manaus: INPA, 2003. p. 207-208.
- SCHOELLER, H. 1962. *Les eaux souterraines*. Paris: Masson & Cie. 642p.
- SILVA, M.L. *Hidroquímica elementar e dos isótopos de urânio no aquífero de Manaus – AM*. Rio Claro: UNESP, 1999. 82p. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos), Centro de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista, 1999.
- SILVA, M.L. 2001. Características das águas subterrâneas numa faixa norte-sul na cidade de Manaus (AM). *Rev. Esc. de Minas, Belo Horizonte*, (54): 115-120.
- SILVA, M. L. *Estudo hidroquímico e dos isótopos de urânio nas águas subterrâneas em cidades do estado do Amazonas (AM)*. Rio Claro: UNESP, 2005. 178p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2005.
- STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R. 1968. A manual of sea water analysis. *Bull. Fish Res. Bd. Can.*, Canada, (125): 1-185.