

# AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE ARIQUEMES – RONDÔNIA

José Cláudio Viégas Campos<sup>1</sup> & Mauro Rodrigues Reis<sup>2</sup>

**Resumo.** O estudo hidrogeológico de Ariquemes, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, indicou as porções central e sudeste da área urbana como os setores que apresentam maiores indicativos de contaminação da água subterrânea pelas fossas domésticas. Para tal utilizou-se a medição *in situ* na área urbana do pH e condutividade elétrica da água subterrânea e amostragem da água em poços para análise em laboratório de nitrato e cloreto, além de outros parâmetros físico-químicos. A condutividade elétrica variou de 15 a 281  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o pH variou de 4,87 a 6,23, o teor de nitrato encontrado foi de 0,13 a 6,17 mgN/l, enquanto o teor de cloretos variou de 4,96 a 21,3 mg/l. Além disso, a água subterrânea contida no manto de alteração foi classificada quimicamente como cloretada, enquanto a relacionada ao aquífero fissural como bicarbonatada. Através de teste de bombeamento foi possível determinar a permeabilidade ( $10^{-3}$  m/s), coeficiente de armazenamento (0,045) e transmissividade ( $0,0235 \text{ m}^2/\text{s}$ ) do aquífero formado pela alteração das rochas graníticas que é amplamente explorado na área urbana.

**Abstract.** The hydrogeological study of Ariquemes municipality, developed by Geological Survey of Brazil – CPRM, has pointed the central and southeast parts of urban area as the main area of contaminated groundwater by septic systems. This conclusion is based *in situ* measurements of pH and conductivity of groundwater in urban area, and groundwater samples collected in some wells to quantify nitrate and chloride and other parameters. The conductivity varies from 15 to 281  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pH from 4,87 to 6,23, nitrate values vary from 0,13 to 6,17 mgN/l and chloride values from 4,96 to 21,3 mg/l. Furthermore, groundwater from weathered rocks (the main aquifer exploited in urban area) is classified as chloride water and the groundwater related to fractured aquifer is classified as bicarbonate water. A pumping test was developed to find the parameters of weathered rocks aquifer. The aquifer permeability found is  $10^{-3}$  m/s, transmissivity is  $0,0235 \text{ m}^2/\text{s}$  and storativity is 0,045.

**Palavra-chave:** contaminação, saneamento *in situ*, Rondônia.

<sup>1</sup> CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Av. Lauro Sodré 2561 Bairro Tanques Porto Velho – RO CEP 78904-300 tel. (69) 223-3544 email: cprmrepo@enter-net.com.br

<sup>2</sup> CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Rua Banco da Província 105 Bairro Sta. Teresa Porto Alegre – RS CEP 90840-030 tel. (51) 233- 7772; email: gestao@portoweb.com.br

## **INTRODUÇÃO**

A utilização racional dos recursos hídricos neste novo milênio passa, necessariamente, pelo conhecimento de sua potencialidade e qualidade. Embora, geralmente, invisível aos olhos da comunidade, a água subterrânea exerce papel fundamental no equilíbrio do ecossistema natural. Além de constituir 98% da água potável disponível no planeta, ela possui papel estratégico como reserva hídrica para o abastecimento público, além da irrigação e outras atividades econômicas. Em condições naturais, a água subterrânea tende a apresentar uma boa qualidade química, e por estar no subsolo, possui uma maior proteção natural contra a contaminação antrópica. Entretanto, uma vez contaminado o aquífero, para uma remediação aceitável, requer-se tecnologia e recursos financeiros nem sempre disponíveis.

O capítulo 18 da Agenda 21, um dos principais documentos elaborados pela ECO 92 no Rio de Janeiro, trata da “proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos”. Uma das áreas de programas proposta no referido capítulo é a avaliação dos recursos hídricos, cujo objetivo é “assegurar a avaliação e previsão da quantidade e qualidade dos recursos hídricos, a fim de estimar a quantidade total desses recursos e seu potencial de oferta futuro, determinar seu estado de qualidade atual, prever possíveis conflitos entre oferta e demanda e de oferecer uma base de dados científicos para utilização racional dos recursos hídricos” [1].

Este trabalho apresenta os resultados obtidos no tema hidrogeologia nos estudos desenvolvidos no município de Ariquemes (RO), que fazem parte do projeto que a CPRM vem desenvolvendo na região desde 1993: o Programa de Integração Mineral em Municípios da Amazônia (PRIMAZ). Espera-se que as informações ora levantadas dêem subsídios para a implementação de políticas que visem a utilização sustentável deste importante recurso natural.

## **METODOLOGIA**

Os trabalhos se concentraram principalmente na área urbana, sede do município, pois é onde se encontra mais de 70% da população e onde ocorrem os principais problemas relacionados à água subterrânea.

Inicialmente, foram contatados os poucos perfuradores de poços tubulares da cidade para a aquisição dos dados referentes aos poços construídos. Os principais órgãos detentores de informações foram visitados, dentre estes: a Companhia de Águas e Esgoto de Rondônia (CAERD), a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), o Corpo de Bombeiros e a Prefeitura. Além disso, foi levantada a localização dos postos de gasolina, ativos e inativos, bem como outros depósitos de combustível.

Durante os trabalhos de campo, foi realizado um cadastro de cacimbas (poços escavados), sendo estas selecionadas a partir de uma malha de amostragem para a área urbana. Levantaram-se informações quanto à profundidade da cacimba, tipo de revestimento, tampa, modo de extração da água, frequência de utilização, profundidade do nível estático, tipo de uso, dentre outras. Foram feitas medições *in situ* de condutividade elétrica e pH nas 35 cacimbas cadastradas, além de análise laboratorial de NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, Cl, coliformes fecais e totais. Com base nesses dados, objetivou-se definir as zonas com maiores indicativos de contaminação por fossas domésticas, utilizando-se os mapas de concentração de Cl, condutividade elétrica e NO<sub>3</sub>. Foram selecionados ainda mais poços para avaliação de outros elementos químicos na água subterrânea: três poços tubulares da CAERD, um poço tubular do Supermercado Irmãos Gonçalves, uma cacimba do Hotel JR, uma cacimba do Hotel Valeriu's, uma cacimba com suspeita de contaminação por combustível e uma cacimba pertencente ao Posto Garrafão. Os parâmetros analisados foram: Na, Ca, Mg, K, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, Fe total, dureza total, alcalinidade total, condutividade elétrica, pH, Zn, Cu, Cr, Cd, Pb, Hg, Ni, PO<sub>4</sub> total e óleos e graxas.

As amostras foram coletadas e armazenadas sob refrigeração e enviadas por avião até o laboratório Agroanálise em Cuiabá (MT), onde foram processadas e analisadas.

De modo a avaliar as características hidrodinâmicas do aquífero explorado, foi utilizado um poço da CAERD para realização de ensaio de bombeamento na área urbana, tendo um poço de observação para obtenção da transmissividade, permeabilidade e coeficiente de armazenamento.

## LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

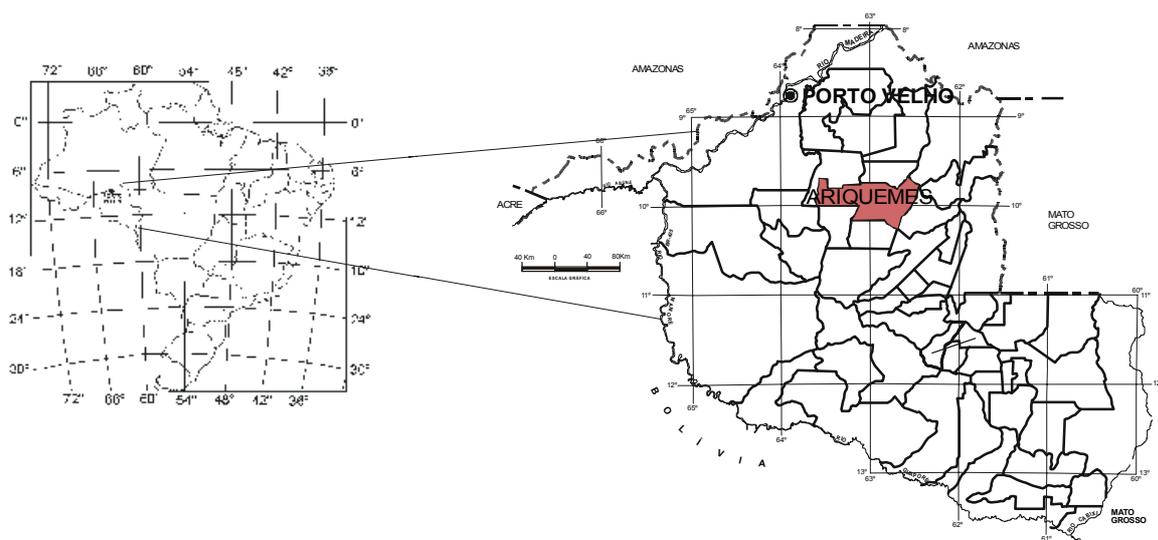


Figura 1 – Localização da área de estudo

O município de Ariquemes está localizado a 200 Km a sudeste da capital do estado de Rondônia, Porto Velho (figura 1), possui um clima tropical chuvoso, tipo Aw, segundo a

classificação de Köppen, com uma estação relativamente seca nos meses de junho a agosto, denominada regionalmente como “verão”. A pluviosidade média é de 2081 mm, de acordo com dados da estação pluviométrica de Ariquemes (1975 a 2001) localizada na latitude 09°55’54”S e longitude 63°03’25”WGR.

## O PAPEL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ABASTECIMENTO PÚBLICO MUNICIPAL

A CAERD atua basicamente na sede do município de Ariquemes, sendo as demais localidades (vilas) atendidas por abastecimento próprio, geralmente cacimbas.

Na área urbana de Ariquemes, a CAERD possui 7 poços ativos (na época do estudo somente 6 funcionavam), conforme demonstrado na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Poços tubulares da CAERD utilizados no abastecimento público de água

Poço	Profundidade (metros)	Localização	Funcionamento diário	Vazão (m <sup>3</sup> /h)
EAB-2	36	Pátio da CAERD	24 horas	60
EAB-3	36	Pátio da CAERD	24 horas	17,5
EAB-5	76	Pátio da CAERD	24 horas	22,5
EAB-6	60	Pátio da CAERD	24 horas	20
EAB-8	65	Bairro BNH	desativado	17,5
EAB-9	38	Pátio da CAERD	24 horas	40
EAB-11	65	Bairro Mutirão	12 horas	22,5
EAB-12	79	ETA	24 horas	40
EAB-13	95	25 de dezembro	desativado	10

Segundo informações verbais de técnicos da CAERD (ago-set/2001), a população urbana de Ariquemes é abastecida através da captação de água do rio Jamari e poços tubulares, com fornecimento total de 210 m<sup>3</sup>/h e 197 m<sup>3</sup>/h, respectivamente. O sistema de abastecimento é composto por 9.377 ligações de água, entretanto, somente 5.554 ligações estão ativas (59%), para uma população urbana de 55.118 habitantes [2].

Embora a água subterrânea tenha bastante destaque no abastecimento público de Ariquemes, durante o cadastramento, observou-se que dentre os poços administrados pela CAERD, somente um possui relatório de perfuração com dados de bombeamento. De modo geral, os poços possuem

características construtivas inadequadas, uma vez que a boca da maioria encontra-se sem lacre, o que implica na possibilidade de queda de animais e entrada de sujeira no poço tubular, comprometendo assim, a qualidade da água distribuída à população.

Conforme ficou demonstrado através de estudos na área urbana de Ariquemes, prolifera entre a população a utilização de água subterrânea através de cacimbas. Devido aos custos da água fornecida pela CAERD, considerados elevados pela população, estes optam pela utilização da água subterrânea, embora muitos possuam a disposição água encanada. Isto explica a existência de 41% das ligações da rede de água estarem inativas. Entretanto, segundo informações de funcionários da CAERD, FUNASA e Prefeitura, existe o relato da transformação das cacimbas em fossas, principalmente na porção central da área urbana (setor 1), na época da chegada da água encanada nas residências. Tal prática é altamente comprometedor para a qualidade química da água subterrânea, pois impossibilita que o líquido proveniente das fossas passe pela zona não saturada do solo, que possui elevado efeito de depuração. Com a introdução deste diretamente na zona saturada, a propagação das bactérias e outros poluentes químicos é muito mais efetiva, uma vez que a capacidade de atenuação da zona saturada é menor do que da zona não saturada.

A utilização de água subterrânea na área urbana de Ariquemes é bastante disseminada. Até mesmo no atendimento de grandes demandas, como é o caso de hotéis, restaurantes, padarias e lanchonetes, cacimbas e poços tubulares são utilizados.

## **HIDROGEOLOGIA**

Grande parte da área do município de Ariquemes é constituída por rochas granitóides. De acordo com o mapa geológico elaborado para o projeto PRIMAZ, ocorrem rochas do Complexo Jamari (gnaisses, granulitos e kinzigitos), da Suíte Serra da Providência (monzogranitos, sienogranitos, charnoquitos, milonitos e ultramilonitos), dos Granitos Rondonianos, de pequenas porções de sedimentos aluvionares associadas às principais drenagens, além de lateritos imaturos.

As rochas granitóides constituem aquíferos fissurais que são caracterizados pelo armazenamento e transmissão de água através de suas fraturas, subordinadamente, através dos efeitos intempéricos, forma-se um manto de alteração que pode chegar a mais de 50 metros de espessura. Como as rochas locais, em sua grande maioria, são constituídas de material quartzo-feldspático, o produto de alteração tende a ser arenoso, o que confere a esta unidade uma boa permeabilidade e porosidade. Este aquífero comporta-se predominantemente como livre e seu potencial é amplamente utilizado na área urbana de Ariquemes, tanto pela população, através de cacimbas e poços tubulares de pequena profundidade (< 30 metros), quanto pela CAERD. De modo a caracterizar o aquífero poroso formado pelo manto de alteração da rocha granítica, que aflora em

algumas porções da área urbana de Ariquemes, foi realizado um teste de aquífero num dos poços da CAERD.

De modo geral, o aquífero fissural é pouco explorado no município, há somente o registro do relatório de um poço da CAERD (ETA), perfurado em 1990 pela CPRM, com profundidade de 79 metros. Segundo o relatório, o poço capta água exclusivamente do aquífero fissural, com fraturas produtoras aos 51-52 e 79 metros de profundidade. Embora haja poços na área urbana de Ariquemes com profundidades superiores a 79 metros, não há evidências de que esteja havendo captação exclusivamente do aquífero fissural, sendo prática mais comum a introdução de filtros na zona de manto de intemperismo juntamente com a captação de água das fraturas em profundidade.

Devido à uniformidade geológica (rochas granitóides), a locação de poços para obtenção de água subterrânea, na maior parte do município de Ariquemes, tende a enfrentar os mesmos desafios que na área urbana. Entretanto, devido à constituição geológica, há a possibilidade de obtenção de água do manto de alteração de rocha, como observado durante o estudo na área urbana. Para se captar água subterrânea em maiores profundidades (aquífero fissural), são necessários estudos preliminares de geologia estrutural, neotectônica, sensoriamento remoto e geofísica, de modo a aumentar as chances da perfuração do poço atravessar fraturas portadoras de água.

Embora com menor expressão areal no município, ocorrem sedimentos arenosos de origem aluvionar ao longo das principais drenagens, dentre estas se destaca o rio Jamari. Como se trata de um aquífero poroso, há grande potencial para obtenção de água subterrânea através de poços neste domínio. Entretanto, devido à distância das áreas mais urbanizadas, a sua utilização fica, a princípio, comprometida.

No período de 21/08 a 16/09/01 foram efetuados trabalhos de campo para coleta de dados visando dar um diagnóstico do potencial hidrogeológico do município de Ariquemes, com ênfase na sede municipal. Foram cadastradas 35 cacimbas, 20 poços tubulares de particulares e 7 poços tubulares da CAERD.

Os poços tubulares perfurados para particulares são, geralmente, realizados com máquina rotativa ou trado manual que não possuem capacidade de avançar em profundidade na rocha granítica sã local (tabela 2 e figura 2). Dessa forma, as informações de profundidade dos poços tubulares dão indicativos da espessura do manto de alteração na área urbana de Ariquemes. Utilizando-se as informações de profundidade dos poços, seguramente, perfurados com máquina rotativa, cujo limite de perfuração é o impenetrável, obteve-se uma média de 37 metros de espessura de manto de alteração para a área urbana de Ariquemes.

Tabela 2 – Poços tubulares de particulares cadastrados na área urbana de Ariquemes

Poço tubular	Proprietário	Endereço	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Prof. (m)	C.E. (µS/cm)	Data da Perfuração
1	Feira Municipal	Feira Municipal	3,0	26	19,65	Nov/98
2	Rodomotos	Av. Canaã	4,0	41	76,5	Dez/99
3	Sr. Raimundo	R. Cerejeira, 1990	5,0	56	-	Nov/00
4	Santos Esperancini	R. Cerejeira, 1812	3,0	29	-	Jun/00
5	Sr. Paulinho	R. Cerejeira, 1811	3,6	30	-	Jun/00
6	Sr. Noel	R. Vitória, 2164	4,0	56	-	Out/00
7	Com. M.Cruz	6ª Rua, Setor 2	3,0	39	-	Dez/98
8	Raimundo	Vila do Sossego	4,5	26	-	Jul/00
9	Cong. C. do Brasil	R. Salvador, 2989	3,0	41	-	Nov/99
10	Sr. Geraldo	Rua Natal, 2230	4,0	28	-	Jan/01
11	S. I. Gonçalves	Av. T. Neves	1,5	27	101,4	Jan/01
12	Sr. Quintas	Postinho	-	36	-	-
13	Posto RO	Av. Capitão Sílvio	0,8	40	15,69	-
14	Posto Capitão	Av. Capitão Sílvio	-	35	20,2	-
15	Posto Girassol	Av. Presidente JK	-	42	20	-
16	Posto Carreteiro	BR364	-	60	102,5	-
17	Posto São Vicente	BR 364	-	>80	-	-
18	Laticínio ARILAC	Setor Industrial	6,0	50	15,3	-
19	Padaria	Av. Guaporé	-	-	34,7	-
20	Hotel em construção	Av. Capitão Sílvio	-	-	-	Set/01

As cacimbas cadastradas possuem profundidades que variam de 8 a 25 metros, com média de 16 metros. A grande maioria possui bomba elétrica, não tem revestimento interno e, geralmente, possui tampa de concreto. As informações ora levantadas indicam que 76% dos proprietários dos poços cadastrados utilizam a água para consumo em geral, inclusive beber, sendo que a principal forma de tratamento empregada é a filtração, poucos utilizam a fervura como forma de eliminação de possíveis bactérias.

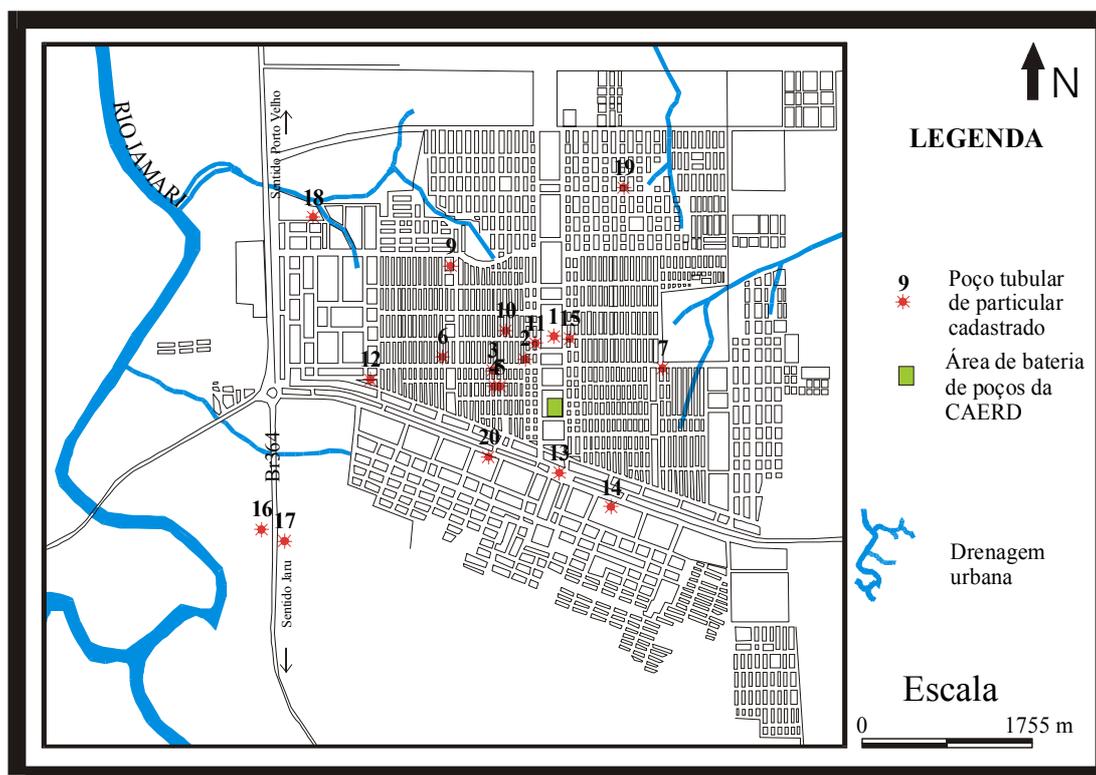


Figura 2 – Localização dos poços tubulares de particulares cadastrados na área urbana e do escritório da CAERD onde está situada a maioria dos poços utilizados no abastecimento público

### Parâmetros hidrodinâmicos

O aquífero formado pela alteração das rochas granitóides teve a sua potencialidade avaliada utilizando-se dois poços da CAERD, um para bombeamento e outro, distante 39 metros, para observação do rebaixamento do nível d'água. O ensaio foi realizado no dia 05/09/01 nos poços EAB2 (bombeado) e EAB9 (observado) localizados no pátio do escritório central da CAERD, na área urbana de Ariquemes.

Para que não houvesse interferência, devido à existência de outros poços produtores no pátio da CAERD, foi solicitado que estes fossem paralisados às 18:00 hs do dia anterior ao ensaio, de modo a propiciar a recuperação do nível estático e evitar o comprometimento do teste.

O ensaio teve uma duração total de 406 minutos, sendo 286 de bombeamento e 120 de recuperação (gráfico 1 e tabela 3). A vazão de bombeamento foi de 58 m<sup>3</sup>/h, sendo feitas medições regulares para aferição da estabilidade da vazão. Os dados obtidos foram avaliados pelo software Groundwater for Windows versão 1.10 da Organização das Nações Unidas (ONU), método de *HANTUSH* [3]. A transmissividade calculada foi de 0,0235 m<sup>2</sup>/s, para uma permeabilidade de 10<sup>-3</sup> m/s e coeficiente de armazenamento de 0,045.

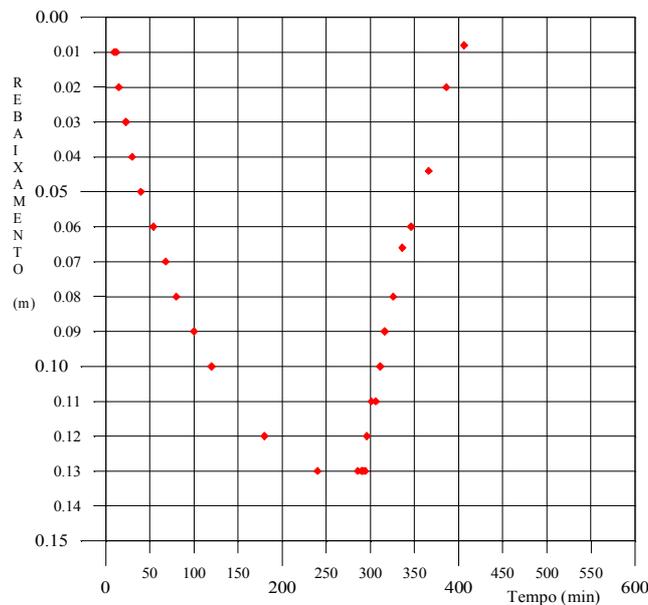


Gráfico 1 – Gráfico rebaixamento x tempo obtido no ensaio de bombeamento do poço da CAERD

Tabela 3 – Dados obtidos no ensaio de bombeamento

Poço bombeado	Poço de observação	Distância	Tempo de bombeamento	Tempo de recuperação	T m <sup>2</sup> /s	S	K m/s
EAB2	EAB9	39 metros	286 minutos	120 minutos	0,0235	0,045	10 <sup>-3</sup>
38 metros de profundidade	36 metros de profundidade						
Q = 58 m <sup>3</sup> /h							

T – Transmissividade S – Coeficiente de armazenamento K - Permeabilidade

Em relação à área urbana, os parâmetros hidrodinâmicos encontrados indicam a alta potencialidade do aquífero. Embora este seja pouco isotrópico (como demonstrado pela variação das vazões de produção dos poços observados), numa primeira aproximação, os valores obtidos podem ser extrapolados para toda a área urbana, sendo possível calcular o volume de água subterrânea local disponível (reserva permanente). Considerando-se que a espessura média do manto de intemperismo pode ser inferida pela profundidade dos poços, uma vez que, geralmente, o tipo de máquina utilizado na perfuração dos poços na cidade tem como impedimento de avanço a ocorrência da rocha sã, pode-se considerar uma espessura média de manto de intemperismo de 37 metros, considerando-se apenas 15 poços cadastrados na área urbana. Para um nível estático médio de 13 metros, ter-se-ia uma espessura de saturação de 24 metros, multiplicando-se pelo coeficiente de armazenamento obtido no ensaio de bombeamento (0,045) e pela área da cidade (23.600.000 m<sup>2</sup>), obtêm-se um volume de aproximadamente 25,5 milhões de m<sup>3</sup>, ou seja, tal volume representa a

quantidade de água que está armazenada no subsolo da área urbana considerada. Uma questão que deve ser considerada, é que com a urbanização há uma contínua impermeabilização do solo, devido ao asfaltamento e as edificações, o que compromete a infiltração da água da chuva e, conseqüentemente, a recarga do aquífero. Entretanto, tal efeito é normalmente compensado pelos vazamentos de água das redes de abastecimento público, que são bastante comuns, e acabam recarregando o aquífero [4].

### Qualidade da água

Para a avaliação físico-química da água subterrânea no município de Ariquemes foram coletadas amostras de água em oito poços na área urbana e periurbana da sede do município, sendo avaliados os seguintes parâmetros: Na, Ca, Mg, K, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, Fe total, dureza total, alcalinidade total, condutividade elétrica, pH, Zn, Cu, Cr, Cd, Pb, Hg, Ni, PO<sub>4</sub> total e óleos e graxas.

Embora a maioria dos poços amostrados capte água subterrânea da zona do manto de intemperismo, é possível observar uma distinção química entre a água armazenada neste domínio, e aquela mais profunda associada às zonas de fratura da rocha sã (granitóides).

As amostras foram coletadas em quatro poços tubulares e quatro cacimbas. Além das cacimbas, seguramente, dois poços tubulares captam água exclusivamente do manto de intemperismo (EAB2/CAERD e Super. Irmãos Gonçalves), enquanto que somente os poços EAB5/CAERD e ETA/CAERD, com profundidades de 76 e 79 metros, respectivamente, têm a possibilidade de captação de água das zonas fraturadas em profundidade. Entretanto, deve-se ressaltar que a profundidade do poço EAB5/CAERD é proveniente de uma informação verbal, enquanto que a do poço ETA/CAERD consta em relatório.

O que se observa ao analisar os parâmetros levantados é que as características físico-químicas da água subterrânea do poço ETA/CAERD se destacam completamente das demais (tabela 4). De modo geral, a água subterrânea analisada tem o ânion Cl e o cátion Na como íons predominantes podendo ser caracterizada pela expressão:

$$\begin{aligned} rCl > rNO_3 > rSO_4 > rHCO_3 \\ rNa > rK > rCa > rMg \end{aligned}$$

Onde “r” representa a concentração em miliequivalentes por litro (meq/l).

Enquanto que a água subterrânea captada pelo poço ETA/CAERD (aquífero fissural) se caracteriza pela seguinte expressão:

$$\begin{aligned} rHCO_3 > rCl > rSO_4 > rNO_3 \\ rNa > rCa > rMg > rK \end{aligned}$$

Além do mais, o pH e a condutividade elétrica (conseqüentemente o teor de sais dissolvidos) são bem mais elevados no poço da ETA (6,23 e 281 µS/cm, respectivamente). Dessa forma, fica

evidente que há uma distinção físico-química entre a água contida no manto de intemperismo e a água que circula pelas fraturas da rocha sã. Tal fato se deve ao tempo de permanência da água em contato com a rocha. Como a água que circula pelas fraturas tende a ser mais profunda, conseqüentemente, o tempo de interação água/rocha será maior, fazendo com que esta adquira mais elementos químicos da rocha. O fato da água do aquífero fissural ser bicarbonatada, com pH próximo a 7 e com um teor de sais mais elevados do que o aquífero poroso, é bem comprovado nos diversos estudos já realizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) em Rondônia, dentre estes se destaca o Mapa Hidrogeológico de Rondônia [5].

Tabela 4 – Análise físico-química da água subterrânea

Parâmetros	EAB2* (AM1)	EAB5* (AM2)	ETA* (AM3)	S. I. G (AM4)	Cac. 17 (AM5)	JR Hotel (AM6)	Posto Garrafão (AM7)	Hotel Valeriu's (AM8)
C. E. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	45	60,5	281	104	26,6	98	-	25
pH	5,28	5,26	6,23	5,24	5,68	-	-	-
Dureza ( $\text{mgCaCO}_3/\text{l}$ )	0	0	109	0	0	1	2	2
Cl (mg/l)	8,51	8,5	7,8	19,85	5,67	11,3	11,34	5,67
Ca (mg/l)	0,2	0,2	12,5	0,2	0,2	0,3	0,6	0,5
Mg (mg/l)	0	0	2,5	0	0	0,1	0,2	0,1
Na (mg/l)	5,8	8,2	15,3	18,1	3,6	13,4	10,9	3,6
K (mg/l)	0,4	0,8	2,7	0,5	0,1	2,8	3,1	0,2
Zn (mg/l)	0,004	0,005	0,004	0,011	0,034	0,012	0,011	0,007
Cu (mg/l)	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0
Fe (mg/l)	0	0	0,11	0	0	0	0	0
Cr total (mg/l)	0,001	0,002	-	0,001	0	0,005	0,001	0,003
Ni total (mg/l)	0	0	-	0	0	0	0	0
Cd (mg/l)	0	0	-	0	0	0	0	0
Pb (mg/l)	0	0	-	0	0	0	0	0

Mercúrio total – Não Detectado (ND) até 0,01 PPB \* poço pertencente à CAERD

(continuação)

Parâmetros	EAB2* (AM1)	EAB5* (AM2)	ETA* (AM3)	S. I. G (AM4)	Cac. 17 (AM5)	JR Hotel (AM6)	Posto Garrafão (AM7)	Hotel Valeriu's (AM8)
Hg (mg/l)	ND	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Alcal. Total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	0	0	101	0	0	0	0	0
PO <sub>4</sub> total (mg/l)	-	-	0,034	-	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> (mg/l)	0,39	0,37	5,53	0,39	2,76	1,18	1,58	1,58
NO <sub>2</sub> (mgN/l)	0,73	0,7	0,73	0,54	0,36	0,18	0,18	0,35
NO <sub>3</sub> (mgN/l)	1,41	1,83	0,04	1,48	0,3	2,18	2,48	2,05
Óleos e graxas (mg/l)	3,9	4,2	-	3,5	6,7	3,6	6,7	5,5

Mercúrio total – Não Detectado (ND) até 0,01 PPB \* poço pertencente à CAERD

### Vulnerabilidade do aquífero na área urbana

Para caracterização da qualidade da água subterrânea na área urbana de Ariquemes, além das análises citadas acima, foram feitas medições *in situ* da condutividade elétrica e pH em 35 cacimbas, sendo que em 30 foi feita a coleta de amostras para análise de NO<sub>3</sub>, Cl, NO<sub>2</sub> e bacteriologia (tabela 5).

Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água subterrânea nas cacimbas

	NO <sub>3</sub> (mgN/l)	NO <sub>2</sub> (mgN/l)	Cl (mg/l)	C. E. (μS/cm)	pH	Coliformes totais (NMP)	Coliformes fecais (NMP)
Cacimba 1	0,5	0,55	7,09	23,5	5,24	200	0
Cacimba 3	0,25	0,55	4,96	31,4	5,62	100	0
Cacimba 4	3,81	0,55	9,9	71,9	5,53	100	0
Cacimba 5	2,75	0,73	9,8	76,5	5,42	300	0
Cacimba6	0,26	0,18	6,38	28,5	5,65	2000	0
Cacimba7	2,35	0,91	9,9	66,4	5,18	0	0
Cacimba8	1,62	0,36	7,1	55,8	5,68	0	0
Cacimba9	2,53	0,55	8,51	60,5	5,59	300	0
Cacimba10	3,87	0,55	8,51	74,4	5,39	1800	0
Cacimba11	0,21	0,36	5,67	18,45	5,37	1400	0

(continuação)

	NO <sub>3</sub> (mgN/l)	NO <sub>2</sub> (mgN/l)	Cl (mg/l)	C. E. (μS/cm)	pH	Coliformes totais (NMP)	Coliformes fecais (NMP)
Cacimba12	2,53	0,73	11,31	75,4	5,26	0	0
Cacimba13	0,29	0,55	5,67	14	5,21	100	0
Cacimba14	4,73	0,55	8,51	89,8	5,34	500	0
Cacimba15	1,82	0,36	21,3	112,7	5,36	1900	100
Cacimba16	2,51	0,73	7,8	54,9	5,44	1200	400
Cacimba18	0,44	0,36	8,51	41,5	5,32	0	0
Cacimba19	3,87	0,73	14,89	136,8	5,41	0	0
Cacimba20	1,16	0,36	12,76	87,4	4,92	0	0
Cacimba21	1,55	0,55	9,93	77,8	5	0	0
Cacimba23	1,57	0,55	9,21	78,2	5,65	300	0
Cacimba24	0,13	0,73	7,09	29,4	5,28	0	0
Cacimba25	0,47	0,55	7,09	37,4	5,55	0	0
Cacimba27	0,97	0,55	6,38	32,6	4,55	1800	0
Cacimba29	0,23	0,36	5,67	16,97	5,3	300	0
Cacimba30	0,26	0,73	7,8	18,8	5,42	100	0
Cacimba31	5,94	0,36	16,31	237	4,87	500	0
Cacimba32	4,94	0,36	9,22	112,2	5,45	700	0
Cacimba33	1,17	0,73	18,43	113,2	5,22	500	0
Cacimba34	6,17	0,73	15,6	159,7	5,54	100	0
Cacimba35	0,28	0,55	5,67	44,8	-	1900	0

Um das grandes preocupações levantadas durante os trabalhos na área urbana de Ariquemes é que, embora, se dê uma grande importância para a água subterrânea no abastecimento público, há a ausência total de rede de esgotamento sanitário. Como o principal aquífero explorado é constituído pela alteração das rochas granitoides (manto de intemperismo), cujo nível estático médio é de 13 metros (ago-set/2001), e por se tratar de um aquífero livre, há grandes chances de estar sendo contaminado pelas fossas domésticas, além de outras fontes de poluição (ex. postos de combustíveis) que podem chegar facilmente à zona saturada comprometendo a qualidade da água (figura 3).

Para definição das áreas mais afetadas pela contaminação das fossas foram elaborados mapas de condutividade elétrica (figura 4), teor de nitrato (figura 5) e de cloretos (figura 6) da água subterrânea.

O parâmetro cloreto utilizado é um bom indicador de contaminação, pois uma vez introduzido na zona saturada há um incremento gradativo na direção do fluxo. O nitrato constitui a fase final da oxidação da matéria orgânica e é um bom indicativo de poluição por fossas. Em concentrações superiores a 10 mgN/l pode causar intoxicações em crianças, podendo levar à morte (cianose). É responsável, também, pela produção no estômago das nitrosaminas, substâncias carcinogênicas. Quanto à condutividade elétrica, a introdução de sais (elementos químicos) na água subterrânea pelas fossas domésticas, faz deste um bom parâmetro indicador de contaminação [6].

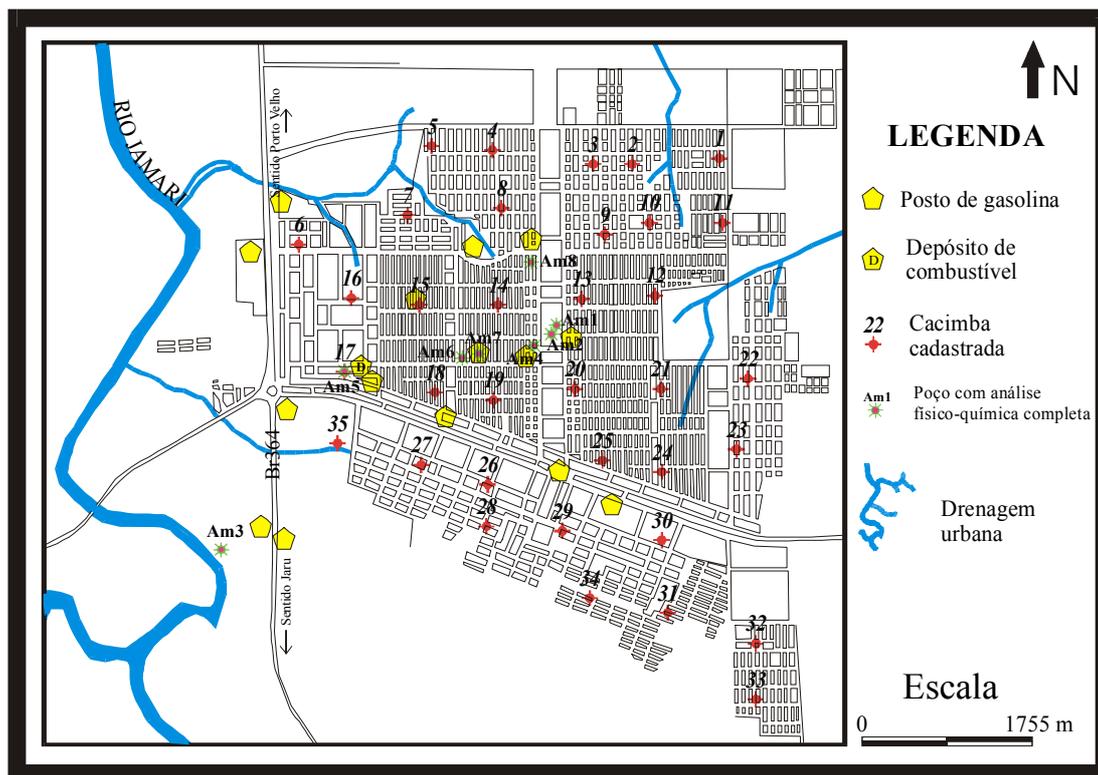


Figura 3 – Mapa de localização dos poços amostrados e postos de gasolina (ativos e inativos) e depósitos de combustíveis na área urbana

O que se observa nas figuras 4, 5 e 6 é uma forte indicação de contaminação por fossas domésticas na zona central (setor 1 e 3) e sudeste (setor 9 e 10) da área urbana, onde são encontrados os maiores valores Cl, NO<sub>3</sub> e condutividade elétrica.

Na figura 4 observa-se que os valores de condutividade elétrica na água subterrânea variam de 14 a 237  $\mu$ S/cm, estando os menores valores associados a áreas menos densamente povoadas. Por isso observa-se que na porção central, onde se localizam os setores mais antigos e densamente povoados da área urbana, são encontrados altos valores de condutividade elétrica. Assim como na porção sudeste, pois, embora com uma ocupação recente, esta apresenta uma alta densidade de ocupação e lotes de pequena dimensão, o que diminui a distância entre a fossa e a cacimba.

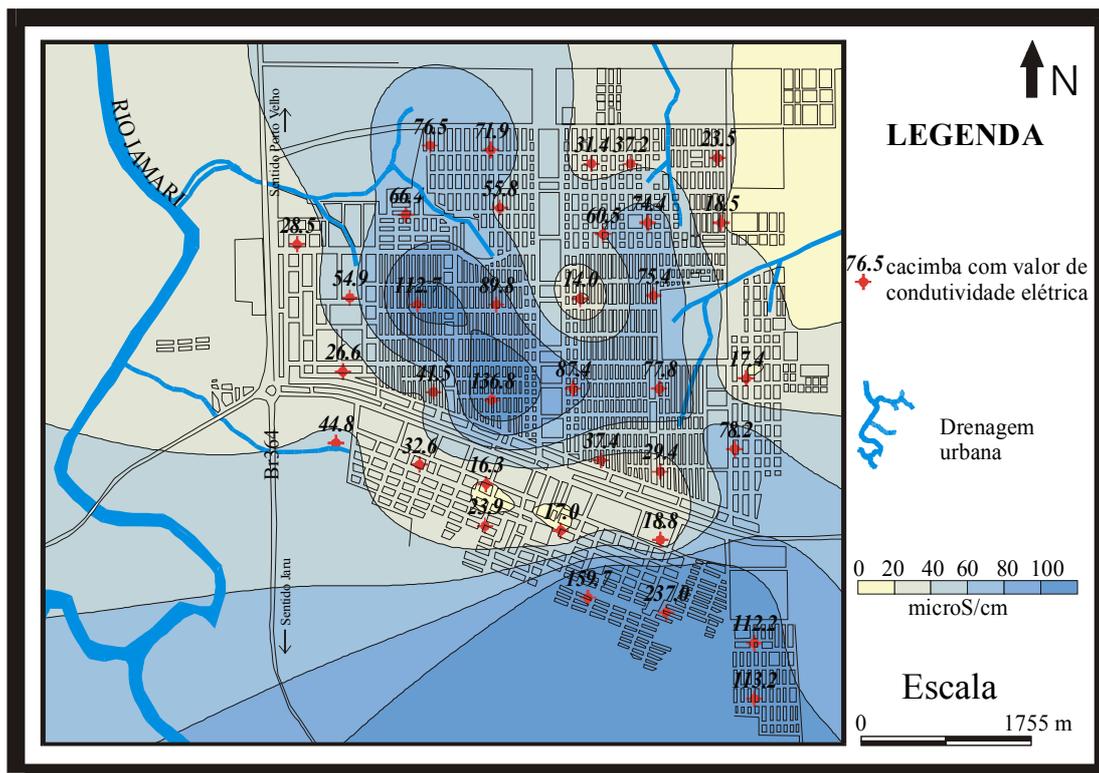


Figura 4 – Mapa de condutividade elétrica da água subterrânea na área urbana

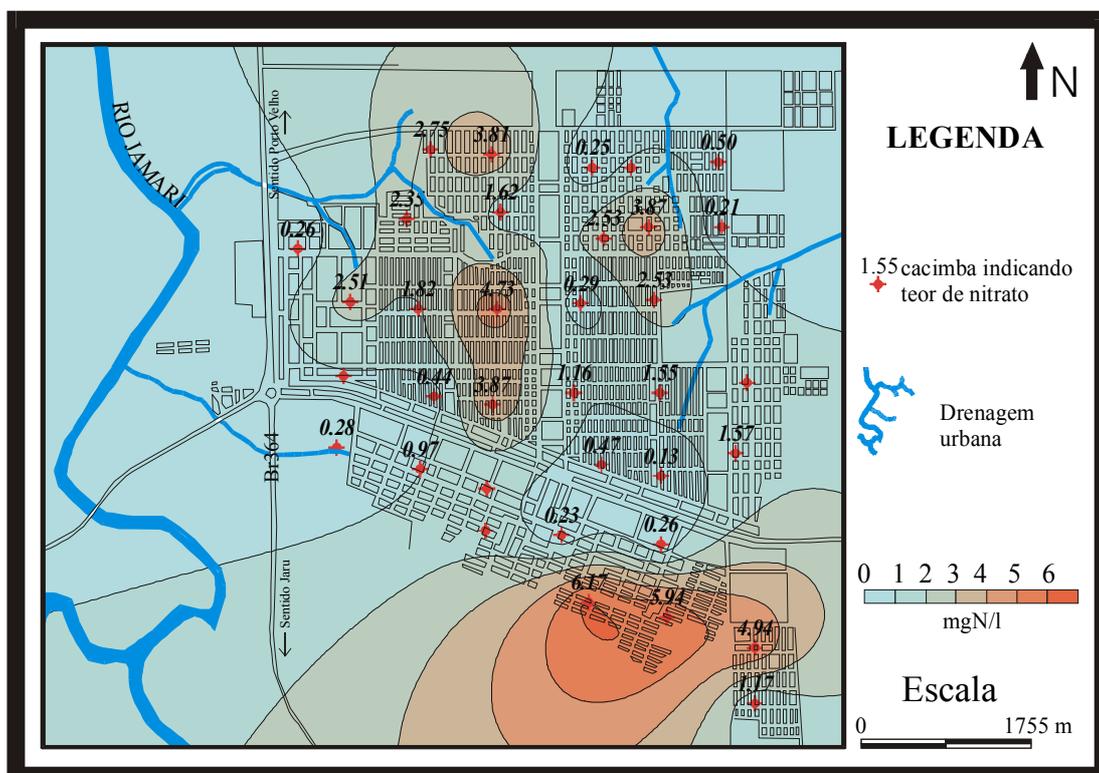


Figura 5 – Mapa de concentração de nitrato na água subterrânea na área urbana

A mesma situação se observa no mapa de teor de  $\text{NO}_3$  (figura 5), cujos valores encontrados variam de 0,13 a 6,17 mgN/l, e para o mapa de Cl (figura 6), com valores de 4,96 a 21,3 mg/l, que

indicam os setores 1 e 3 (central) e 9 e 10 (sudeste) como aqueles com maiores valores determinados.

Embora as concentrações de  $\text{NO}_3$  e  $\text{Cl}$  na água subterrânea estejam dentro dos limites estabelecidos pela portaria 1469, de 29 de dezembro de 2000, do Ministério da Saúde,  $10\text{mgN/l}$  e  $250\text{ mg/l}$  [7], respectivamente, os valores anômalos associados a áreas densamente povoadas são um forte indicativo da contaminação pelas fossas. Como os dois parâmetros são acumulativos, caso a fonte poluidora não seja retirada, os limites de tolerância serão alcançados, principalmente em relação ao  $\text{NO}_3$ .

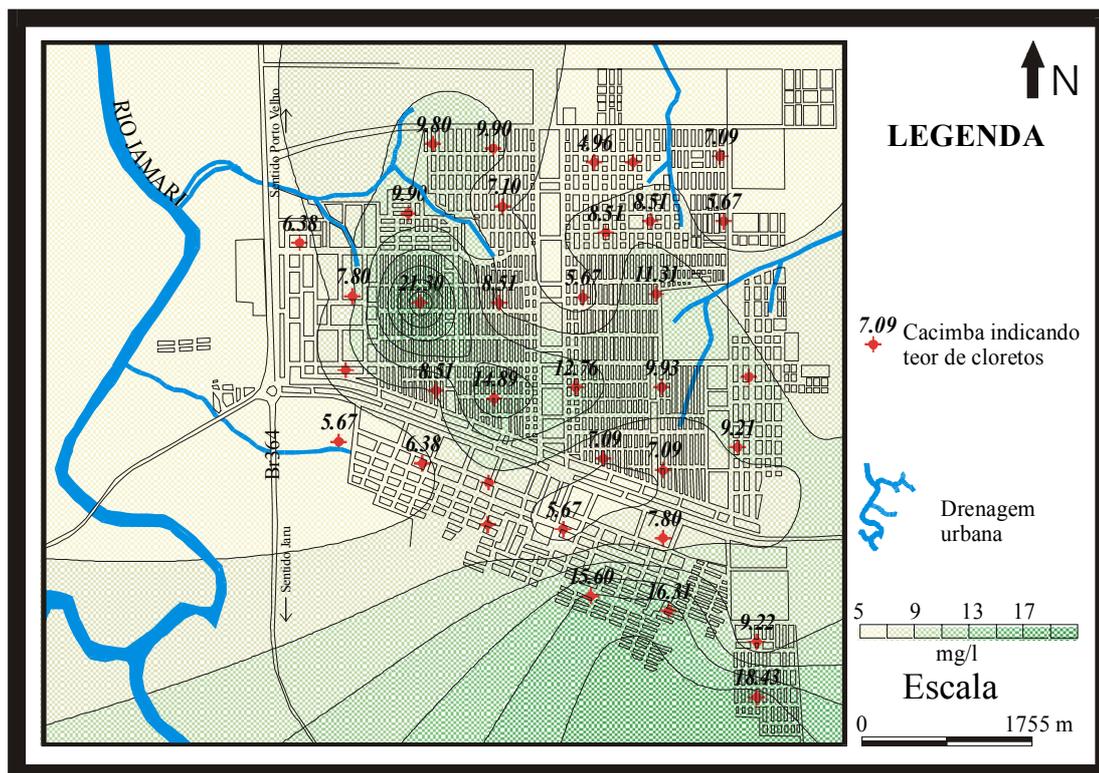


Figura 6 – Mapa de concentração de cloretos na água subterrânea da área urbana

Um outro indicativo de poluição pelas fossas é a presença de  $\text{NO}_2$  em todas as amostras de água subterrânea coletadas nas cacimbas, bem como nos poços tubulares. A presença deste é considerada indício de contaminação recente [6].

Segundo os dados levantados, todos os poços com análise para óleos e graxas indicaram valores que variam de 3,5 a 6,7 mg/l. A ocorrência dos maiores valores foi na cacimba 17 e no Posto Garrafão. Segundo informações do proprietário da cacimba 17, já havia indicativos de que o poço pudesse estar contaminado, o que causou grande preocupação ao morador já que a água é utilizada para abastecimento domiciliar. Entretanto, análises mais precisas necessitam ser realizadas para diagnosticar quais hidrocarbonetos estão presentes e em qual concentração.

Ao se comparar os valores físico-químicos da água subterrânea dos poços tubulares que captam água do manto de intemperismo com os das cacimbas, é possível observar a similaridade

das suas características. Embora se tenha a idéia de que a água dos poços tubulares (mais profunda) possua melhor qualidade química que a água das cacimbas (menos profunda), nota-se que ambas estão hidráulicamente interligadas, ou seja, a contaminação que por ventura seja introduzida pelas cacimbas (ex.: transformando-as em fossas domésticas) poderá facilmente chegar às zonas mais profundas do aquífero contaminando, dentre os vários poços tubulares, os da CAERD que são responsáveis pelo fornecimento de 197 mil litros por hora à população.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A área do município de Ariquemes é composta predominantemente por rochas cristalinas que possuem como característica básica armazenar e transmitir a água subterrânea através de suas fraturas (aquífero fissural). Na região amazônica, devido ao clima úmido, desenvolve-se um espesso manto de intemperismo nas rochas cristalinas (ígneas e metamórficas) que serve como um aquífero poroso, por vezes, mais produtivo que o aquífero fissural sotoposto. A produtividade observada em alguns poços que captam água desta zona assegura ao aquífero poroso formado pelo manto de intemperismo papel de destaque no abastecimento público e doméstico na área urbana de Ariquemes. Mesmo assim, existem zonas de baixa produtividade e somente um estudo mais detalhado, com utilização de geofísica (caminhamento elétrico e sondagem elétrica vertical), poder-se-ia aumentar as chances de obtenção de boas vazões, com a definição de áreas mais favoráveis para perfuração de poços. Da mesma forma, a captação de água subterrânea no aquífero fissural, embora pouco utilizada no município de Ariquemes, requer a utilização de ferramentas auxiliares para locação de poços. Considerando-se que os poços deste sistema somente serão produtivos caso atravessem fraturas portadoras de água, com estudos preliminares da geologia estrutural, neotectônica, sensoriamento remoto e geofísica é possível definir áreas com maior favorabilidade de ocorrência de zonas fraturadas portadoras de água, o que diminui os custos da perfuração de poços uma vez que as chances de insucesso são reduzidas.

A água subterrânea é um recurso estratégico para o abastecimento público na área urbana de Ariquemes, o aquífero poroso (constituído pelo manto de intemperismo) possui características de aquífero livre, e foi avaliado através de ensaio de bombeamento que indicou uma transmissividade de  $0,0235 \text{ m}^2/\text{s}$ , permeabilidade de  $10^{-3} \text{ m/s}$  e coeficiente de armazenamento de  $0,045$ . Utilizando-se o coeficiente de armazenamento, pôde-se avaliar, preliminarmente, a reserva permanente de água subterrânea na área urbana em  $25,5$  milhões de  $\text{m}^3$ .

A água subterrânea contida no manto de intemperismo é predominantemente cloretada sódica, com pH variando de  $4,87$  a  $5,68$ , com média de  $5,33$ , contrastando com a água de maior profundidade do aquífero fissural que é bicarbonatada sódica, com pH de  $6,23$ .

Um dos grandes problemas a ser enfrentado na captação de água subterrânea de qualidade na área urbana é a falta de saneamento básico. Como o aquífero formado pelo manto de intemperismo possui características freáticas, a sua vulnerabilidade à contaminação é elevada, o que leva a se indicar duas fontes potenciais de contaminação na área urbana: as fossas domésticas e os tanques de combustíveis dos postos de gasolina.

A avaliação físico-química da água subterrânea indicou que na área urbana as porções central e sudeste apresentam fortes indícios de contaminação por fossas, uma vez que nestas áreas são encontrados os maiores valores de condutividade elétrica, nitrato e cloreto na água subterrânea, embora não tenha sido encontrado na grande maioria das amostras a presença de coliformes fecais. Vale ressaltar que nenhum dos valores encontrados excedeu os limites de aceitabilidade preconizados pelo Ministério da Saúde em sua portaria 1469, de 29 de dezembro de 2000.

Em todas sete amostras de água subterrânea coletadas na área urbana, houve a indicação da presença de óleos e graxas com valores que variam de 3,5 a 6,7 mg/l.

A utilização de água subterrânea na área urbana de Ariquemes para o abastecimento público requer certa atenção, pois a localização da maioria dos poços da CAERD é na porção central (próximo ao setor um), que apresenta evidências de contaminação da água subterrânea. Além disso, a simples utilização de cloro na água, frente aos problemas observados, seria insuficiente para torná-la potável. Há a necessidade de desenvolvimento de estudos hidrogeológicos mais completos (mapa de direção de fluxo, teste de aquífero, ensaios de bombeamento em poços, estudos geofísicos, dentre outros) para que sejam definidas áreas de captação para locação dos poços com uma menor influência possível dos efeitos antrópicos da área urbana.

Embora a CAERD possua em torno de 50% de participação de água subterrânea na matriz de abastecimento público, pouca atenção tem sido dada à administração deste recurso. Somente um poço administrado pela CAERD possui relatório, as informações relativas à produtividade dos poços são vagas, pois não existem registros oficiais dos ensaios de bombeamento, com anotação do tempo de bombeamento e das medições da vazão, do nível estático e nível dinâmico. A manutenção dos poços se dá de forma esporádica. Embora alguns poços já possuam mais de 20 anos de utilização, não há uma manutenção preventiva, como por exemplo, a limpeza das seções filtrantes. Embora a CAERD possua 6 poços numa mesma quadra (área do escritório central), não existem registros de um teste de aquífero, ou mesmo um ensaio de bombeamento, para dimensionar a vazão de exploração de um único poço e/ou do conjunto, sendo o bombeamento feito de forma aleatório de acordo com a capacidade da bomba.

Cabe, ainda, à CAERD a definição de áreas de proteção de poços, através das metodologias disponíveis, de modo a coibir a ocupação por determinadas atividades dentro das zonas de proteção.

Consta na literatura técnica que ao se observar indícios de contaminação na água subterrânea, a primeira providência a ser tomada é a eliminação da fonte poluidora. Em Ariquemes, somente com o saneamento básico será possível reverter esse quadro e, através de um processo de conscientização, estimular a população a utilizar a água tratada da CAERD, deixando a água subterrânea dos poços particulares, nesta primeira etapa, para usos menos nobres (lavagem de carro, casa, quintal, roupas, dentre outras).

Uma vez que o recurso hídrico subterrâneo é estratégico para o abastecimento público, cabe ao poder público fiscalizar e disciplinar a perfuração de poços na área urbana, uma vez que os mesmos podem servir de vetores de contaminação da água subterrânea através da deficiência construtiva do poço ou pela má utilização do mesmo, conforme observado na porção central da área urbana (setor 1), onde alguns moradores transformaram suas cacimbas em fossas negras.

## **AGRADECIMENTOS**

A elaboração deste estudo só foi possível com a ajuda da Prefeitura de Ariquemes, que forneceu técnicos e motoristas para o acompanhamento dos trabalhos, bem como o geólogo Vital Wanderley que disponibilizou dados sobre a área e intermediou o contato com as empresas perfuradoras de poços em Ariquemes.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Senado federal. Secretaria Especial de Editoração e Subsecretaria de Edições Técnicas. Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992: Rio de Janeiro) 2ª ed. Brasília. 1997. 598 p.
- [2] Censo Demográfico/IBGE. Rio de Janeiro. 2000
- [3] Braticevic D., Karanjac J. Ground water for windows – ground water information system software: user's manual. S.1., International Association of Hydrogeologists/Comiss. 1995.
- [4] Rebouças, A. C. et alli . *Diagnóstico hidrogeológico da R.M.S.P.: uso e proteção*. In: Anais do CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8, Recife, p 93-102. 1994.
- [5] Moraes, P. R. C. Mapa hidrogeológico do Estado de Rondônia – escala 1:1.000.000. Texto explicativo. Porto Velho: CPRM. 1998. 32p.
- [6] Feitosa, F. A. C. e Manoel Filho, J. (coords). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 2ª ed. CPRM-UFPE. Fortaleza. 2000. 391 p.
- [7] Brasil. Ministério da Saúde. Portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade de água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília. 2000. 17 p