

# CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLOGIA DOS AQÜÍFEROS BAURU E SERRA GERAL E AVALIAÇÃO DAS RESERVAS DO AQÜÍFERO BAURU NO MUNICÍPIO DE ARAGUARI, MINAS GERAIS

Leila Nunes Menegasse Velásquez<sup>1</sup>; Otávio Eurico de Aquino Branco<sup>2</sup>; Carlos Alberto de Carvalho Filho<sup>2</sup>; Paulo Sérgio Pelógia Minardi<sup>2</sup>; Stela Dalva Santos Cota<sup>2</sup>; Virgílio Lopardi Bomtempo<sup>2</sup>; Cláudio Costa Camargos<sup>2</sup>; Paulo César Horta Rodrigues<sup>2</sup>; Sebastião Luiz Fiumari<sup>3</sup>

## RESUMO

Este trabalho apresenta a caracterização física, hidrogeológica, hidroquímica e do funcionamento hidrogeológico das rochas da seqüência sedimentar mesozóica da bacia do Paraná, município de Araguari, avaliando também as reservas do aquífero Bauru, o mais explorado. Realizou-se um cadastro de 565 poços tubulares com análises físico-químicas em 26 desses. Na avaliação das reservas foram utilizados os dados de recarga sazonal, anteriormente estimados pelos autores de 2004 a 2006. O Aquífero Bauru apresenta valores médios de suas propriedades físicas e hidráulicas: profundidade - 54m; vazão - 22m<sup>3</sup>/h e capacidade específica - 1 m<sup>3</sup>/h/m. Já no Aquífero Serra Geral tem-se: profundidade - 74m; vazão - 51m<sup>3</sup>/h e capacidade específica de 0,1 a 11,4m<sup>3</sup>/h/m, com melhores produtividades nos lineamentos N45°E, N50°W, N-S e E-W. As exposições locais dos arenitos Botucatu são de limitada expressividade geométrica e elevada silicificação. Existe nítida diferenciação físico-química entre águas dos Aquíferos Bauru e Serra Geral, evidenciada principalmente pelos valores de condutividade e pH, menores no Bauru. O índice de utilização de água subterrânea se aproxima de 10% da Reserva Renovável e 39% da Explotável, sinalizando a necessidade de planejamento e gestão dos recursos.

Palavras-Chave: Aquíferos Bauru e Serra Geral - uso da água subterrânea - reservas

## ABSTRACT

This paper aims at presenting the physical, hydrogeological and hydrochemical characteristics of the mesozoic sedimentar sequence of Paraná geological basin in Araguari, MG, including the

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia - UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627. Pampulha, Belo Horizonte, MG. CEP: 31270- 901. Tel.: (31) 3409-5446. e-mail: [menegasse@yahoo.com.br](mailto:menegasse@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Comissão Nacional de Energia Nuclear – CDTN/CNEN, Rua Prof. Mário Werneck, s/no., CP 941, Pampulha, Belo Horizonte, MG, CEP:30123-970. Tel.: (31) 3069-5427. e-mail: [oeab@cdtn.br](mailto:oeab@cdtn.br)

<sup>3</sup> Geoservice Engenharia Geológica – Rua Andaluzita, 45/802, Savassi, Belo Horizonte, MG, CEP:30310-030. Tel.: (31) 3283-7363. e-mail: [slfiumari@gmail.com](mailto:slfiumari@gmail.com)

evaluation of the most explored aquifer (Bauru) reserves. A database of 565 tubular wells was created, with physical-chemical data available for 26 of them. Reserves estimative was carried out based on the seasonal recharge data between 2004 and 2006, previously estimated by the authors. Average values for physical and hydraulic properties of the Bauru aquifer are: depth - 54m; productivity - 22m<sup>3</sup>/h and specific capacity - 1m<sup>3</sup>/h/m; for Serra Geral aquifer: depth - 74m; productivity - 51m<sup>3</sup>/h and specific capacity from - 0,1 to 11,4m<sup>3</sup>/h/m, whose best productivity was found in the lineaments N45°E, N50°W, N-S and E-W. Local outcrops of the Botucatu sandstones have limited geometric significance and elevated silicification. There is a clear difference in the physical-chemical characteristics between waters from Bauru and Serra Geral aquifers, which became evident mainly by the values of conductivity and pH. The current utilization of the groundwater was found to represent 10% of the renewable reserve and 39% of the exploitable reserve, indicating the necessity of planning and managing the water resources in the region.

Key words: Bauru and Serra Geral Aquifers – use of the groundwater– reserves.

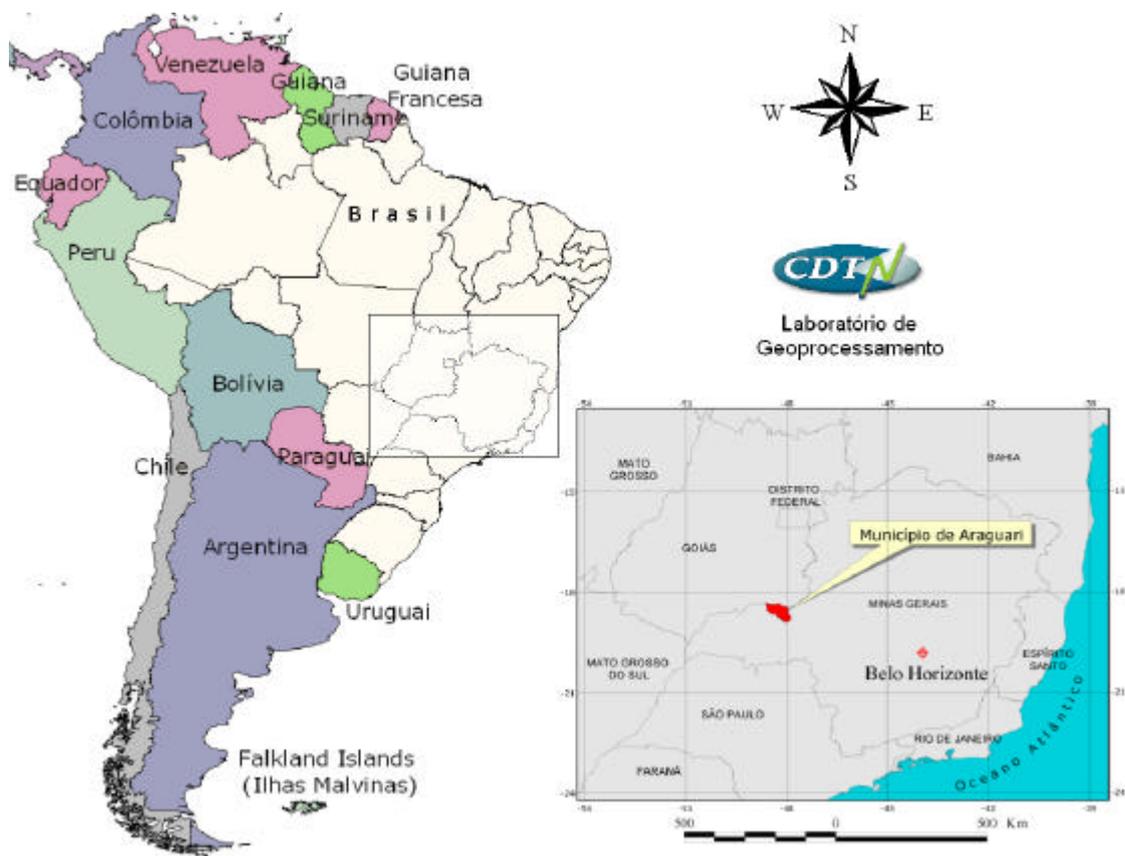
## 1. INTRODUÇÃO

O município de Araguari está situado na região oeste do Estado de Minas Gerais, a 569 km do município de Belo Horizonte, extensão de 2.745,85km<sup>2</sup> entre as coordenadas S 18°19'15" - 18°54'00" e W 48°40'50" - 47°49'50" (Figura 1). A área específica de estudos se restringe à porção de ocorrência da seqüência de rochas juro-cretácicas da Bacia do Paraná, correspondente a uma extensão de 1.405,5km<sup>2</sup>, cerca de 51% do território municipal. É nessa porção que reside a maior parte da população, com total estimado em 108.672 habitantes (IBGE, 2005), sendo 91% urbana. O restante do município é constituído de rochas pré-cambrianas granitóides.

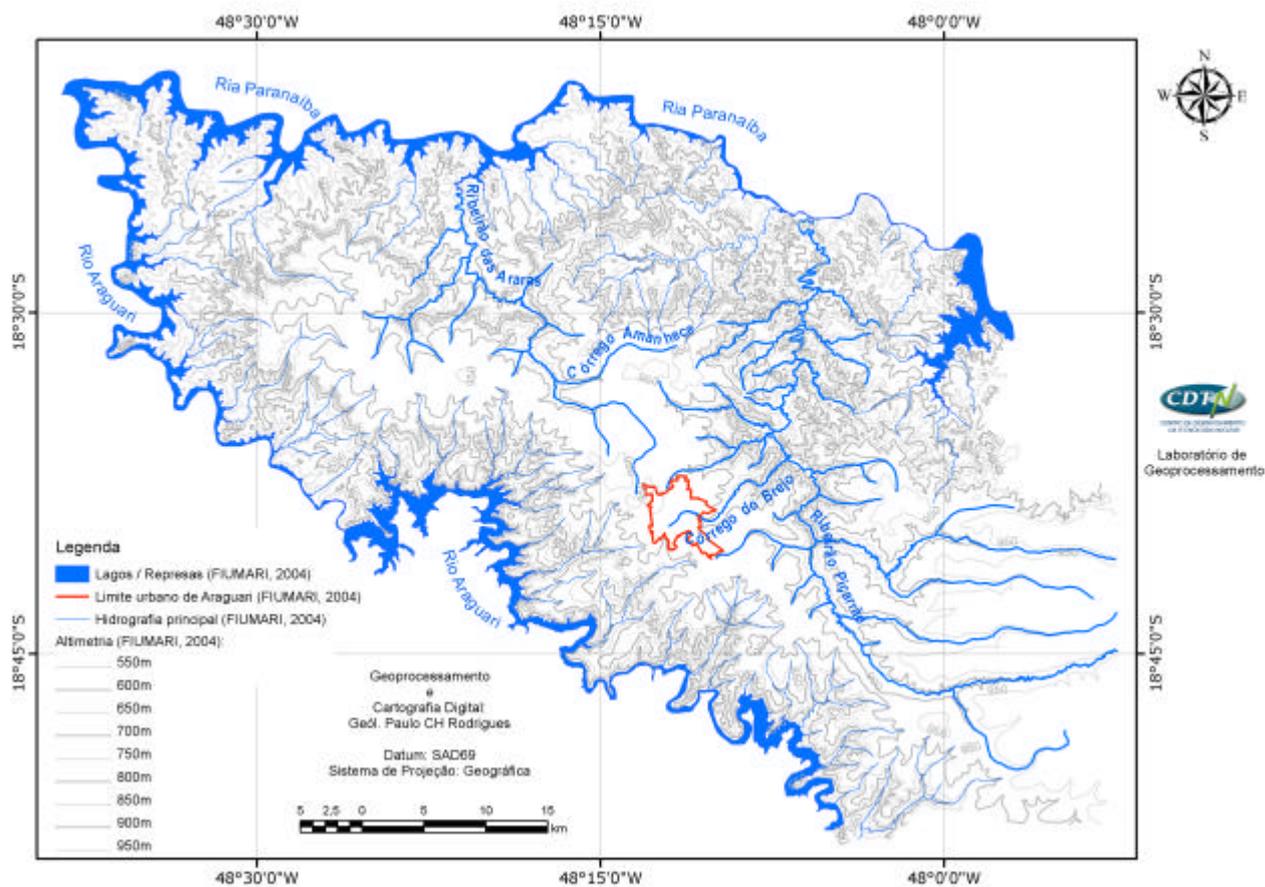
Do ponto de vista hidrogeológico, a área de estudos está posicionada no limite nordeste do Sistema Aquífero Guarani (SAG), e, hidrograficamente, corresponde a uma zona de interflúvio, com modelado de chapada, entre os rios Araguari e Paranaíba, este afluente da margem esquerda do rio Paraná (Figura 2).

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município é um dos maiores do Estado 0,815 (IBGE, 2000), com economia baseada no setor agropecuário e na indústria alimentícia, destacando-se as culturas de café, soja e frutas e criação de bovinos.

O suprimento de água da região da chapada, onde vive a quase totalidade da população, é, sobretudo, de origem subterrânea, extraída de poços tubulares perfurados predominantemente no Aquífero Bauru. Estima-se existir no município pelo menos 1.000 poços, sendo a grande maioria ainda não legalizados de acordo com a Legislação Estadual 13.199 de 29 de Janeiro de 1999, que dispõe sobre a outorga do uso da água.



**Figura 1 - Localização do município de Araguari.**



**Figura 2 - Mapa hidrográfico do município de Araguari.**

A seleção da área de estudos foi fundamentada pelo uso intensivo da água subterrânea, denotando-se inclusive situações de conflito entre classes de usuários, evidenciando a demanda por maior conhecimento hidrogeológico que auxilie na implementação de planos de gestão local dos recursos hídricos. No âmbito científico, intenta-se que o estudo contribua para uma maior compreensão do comportamento do SAG em sua borda Norte-Nordeste.

Este trabalho é parte integrante do projeto “*Avaliação dos recursos hídricos do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no município de Araguari, Estado de Minas Gerais, Brasil*” executado pela UFMG/CDTN/UFMT (2006) entre 2004 e 2006 no âmbito do *Projeto Aquífero Guarani* (OEA – Organização dos Estados Americanos).

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho é apresentar parte dos resultados do estudo supracitado no que concerne à caracterização física, hidrogeológica, hidroquímica e do funcionamento hidrogeológico das rochas da seqüência sedimentar juro-cretácica da bacia do Paraná no município de Araguari, avaliando também as reservas do Aquífero Bauru.

## **3. MÉTODOS E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

Visando aos objetivos supracitados, realizou-se, inicialmente, uma importante etapa de campo para a checagem dos contatos litológicos e o reconhecimento macropetrográfico das unidades litológicas em áreas chaves, a partir do mapa geológico na escala 1:100.000 (Fiumari, 2004).

Na caracterização dos usos da água subterrânea e da exploração dos aquíferos foram cadastrados 565 poços profundos, cujas informações locais, construtivas, hidráulicas, litológicas, operacionais, e outras foram obtidas a partir do banco de dados do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM até o ano de 2004. Foi realizado levantamento altimétrico de 104 poços tubulares com GPS geodésico, dos quais 85 foram usados na construção do mapa potenciométrico.

Amostras de água foram coletadas em 40 poços profundos e dois rasos, realizando-se *in loco* medições dos parâmetros pH, condutividade elétrica, temperatura e sólidos totais dissolvidos. Análises laboratoriais em 26 amostras de poços profundos foram realizadas para os íons majoritários, Mn e Fe totais, sílica e alcalinidade, bem como isotópicas ambientais, estas não abordadas no presente trabalho. Dados hidroquímicos auxiliaram na identificação dos aquíferos.

Quanto à avaliação das reservas foram contempladas as Reservas Renovável (Rr), Permanente (Rp), Total (Rt) e Explotável (Re), segundo conceitos apresentados por Feitosa e Manoel Filho (2000): a Rr corresponde ao volume de água subterrânea acumulado anualmente acima do nível freático mínimo; a Rp (em aquífero livre), corresponde ao volume de água acumulado abaixo do nível de base das drenagens, representando a espessura saturada mínima do aquífero; a Rt

compreende à soma das reservas anteriores; e a  $R_e$  corresponde ao volume de água possível de ser explorado sem que haja comprometimento na sua quantidade e qualidade.

O estabelecimento de índices indicadores para diferentes fases de gerenciamento de mananciais subterrâneos ainda é um tema em discussão e é função da disponibilidade hídrica superficial, da descarga mínima estabelecida para os cursos de água e de outros aspectos tais como, de uso e ocupação do solo, econômicos, morfológicos, geotécnicos e hidrometeorológicos. Segundo Rebouças (1992), sob condições naturais, apenas 25% a 50% das Reservas Renováveis devem constituir a Reserva Explorável. Nesse trabalho se adotou o índice de 25%, visando a uma maior segurança.

A Reserva Renovável foi estimada a partir dos resultados de três métodos aplicados na área para obtenção da recarga anual (UFMG/CDTN/UFMT, 2006): análise de hidrogramas combinado com o balanço hídrico climatológico (estações fluviométricas instaladas pelo IGAM em agosto/2003 nas sub-bacias Córrego Amanhece e Ribeirão Araras, Figura 2); monitoramento da nuvem de trítio artificial injetado em cinco áreas selecionadas, de outubro/2004 a novembro/2005; e, monitoramento do nível d'água natural em três poços profundos, entre março/2005 e fevereiro/2006.

A avaliação do volume de Reserva Permanente foi calculada a partir da conhecida equação:

$$R_p = A \times h \times e$$

onde:

$R_p$  - Reserva permanente ( $m^3$ );

$A$  - Área do aquífero ( $m^2$ );

$h$  - Espessura saturada do aquífero (m);

$e$  - Porosidade efetiva.

#### 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-CLIMÁTICAS

A sub-bacia hidrográfica do rio Araguari, com vazão média regional de  $300m^3/s$  (Hidrotec, 2002), é a principal unidade da margem esquerda da bacia do rio Paranaíba, que, por sua vez, marca o limite setentrional do município de Araguari e também a divisa interestadual MG-GO. O processo de dissecação do relevo provocou a formação de canais profundos de drenagem que atingem o substrato metamórfico. Tais sulcos alcançam diferenças de nível que, do fundo dos vales ao nível máximo das chapadas podem formar escarpas de até 300m. A área de estudo tipifica tal configuração morfológica tendo as águas dos rios Araguari e Paranaíba drenado diretamente sobre as unidades pré-cambrianas.

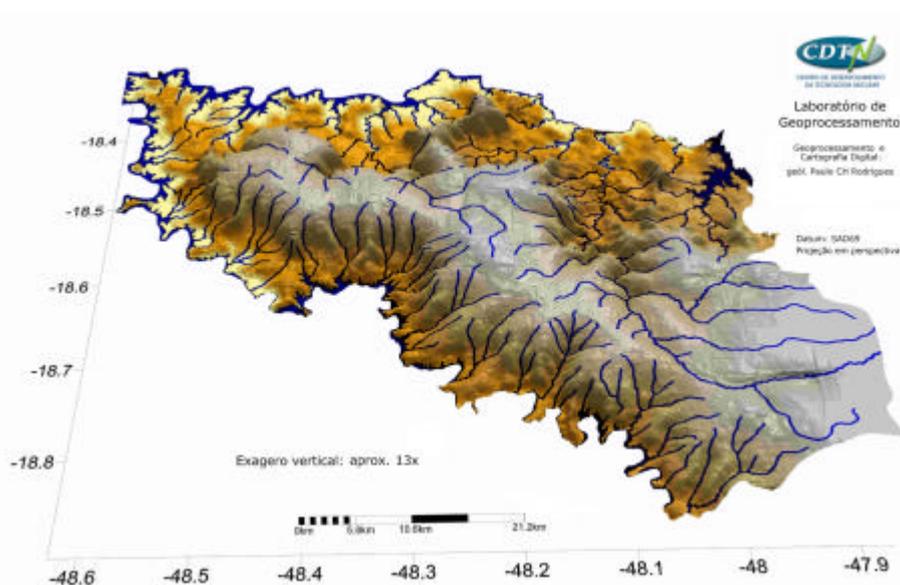
O relevo do município de Araguari, correspondente à bacia sedimentar do Paraná, é caracterizado por duas feições bem distintas decorrentes das variações litológicas: a) uma superfície superior, aplainada entre as altitudes de 900 e 950m, homogênea e contínua, estabelecida sobre os sedimentos arenosos do Grupo Bauru; caracteriza-se pela baixa densidade de drenagens devido à taxa de infiltração elevada. As principais drenagens instaladas nessa superfície, e que drenam para o

rio Paranaíba, são os ribeirões das Araras e Piçarrão e o córrego Amanhece (Figura 3); b) uma segunda feição é caracterizada por um relevo estruturado em degraus, controlados pelos derrames basálticos. É nessa morfoestrutura que ocorrem as maiores concentrações das descargas subterrâneas.

Os contatos no topo e na base dos basaltos correspondem às áreas de descarga que formam as principais nascentes de topo, entre as cotas 880 e 900m, e as nascentes formadas na base dos derrames basálticos, entre as cotas 700 e 750m (Figura 3).

A alta pluviosidade, 1.589,4mm (IBGE, 2000), o relevo suave da superfície superior e a textura do solo poroso, laterítico, desenvolvido sobre as rochas dos Grupo Bauru (Formação Marília) e São Bento (Formação Serra Geral), favorecem a ocorrência de elevadas taxas de recarga.

O regime pluviométrico é típico de áreas tropicais, com precipitações máximas no verão e mínimas no inverno. As chuvas se concentram entre outubro a março, enquanto os meses mais secos se situam no período de abril a setembro. A temperatura média anual é de 21,9° C.



**Figura 3 - Relevo do município de Araguari mostrando a chapada e a quebra de relevo e evidenciando as surgências de contato da Formação Marília (Gr. Bauru com Serra Geral).**

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Características dos Usos da Água Subterrânea e da Exploração dos Aquíferos

Existe um uso preponderante de água subterrânea em todos os setores de atividades: consumo humano, agrícola e industrial. Do cadastro de 565 poços, 114 são de abastecimento público, de propriedade da Superintendência de Água e Esgoto (SAE), órgão municipal de Araguari, e 451 são particulares. Do total, porém, 319 são ativos, outorgados e que possuem dado da finalidade do uso da água (Tabela 1).

**Tabela 1 - Distribuição quantitativa dos poços por tipo de uso.**

<b>Tipo de uso</b>	<b>Número de poços</b>
Irrigação	177 (55,5%)
Abastecimento público	114 (35,7%)
Uso Misto (animal, industrial, Irrigação)	09 (2,8%)
Industrial	11 (3,4%)
Humano (particular)	05 (1,5%)
Dessedentação animal	03 (0,9%)
<b>Total</b>	<b>319</b>

Enfatiza-se, que, embora o número de poços predomine na irrigação (56% do total que continha este tipo de dado), a sua operação ocorre apenas entre maio e agosto, período da estiagem. Apenas 209 poços continham dados litológicos, com 90% extraíndo água somente no Aquífero Bauru. Os 10% restantes se distribuem de forma aproximadamente equitativa entre os que extraem no Aquífero Serra Geral (nove poços) e Mistos (10 poços).

A maior parte dos poços são revestidos com tubos de 6” e 8”, o que implica uma perfuração ideal de 12” e 14”, respectivamente, dada a necessidade de colocação de pré-filtros. Os primeiros poços em Araguari eram destinados ao abastecimento público, na década de 50 passada. Até uma década atrás os poços eram revestidos, em sua maioria, com tubos de *aço doce*, sendo comum a confecção de filtros constituídos de perfurações manuais na própria estrutura metálica. E como pré-filtro, a utilização de brita (de basaltos) de 8 a 13mm em cerca de 90% dos poços, ou seixos de 4 a 8mm. Tais problemas construtivos, além da agressividade da água do Aquífero Bauru que provoca corrosão nos tubos de revestimento, parecem ser as causas mais importantes para a grande produção de areia, fato comum na maioria dos poços da região. Mais recentemente se observa uma tendência crescente de utilização dos tubos geomecânicos (20% dos poços), recomendados para a região.

## **5.2 Características Geológicas e Hidrogeológicas da Área**

Ocorrem no município de Araguari três unidades litológicas, da base para o topo (Figura 4):

- Unidades pré-cambrianas: rochas neoproterozóicas metassedimentos do Grupo Araxá (do Complexo Gnáissico-granulítico) e granitóides intrusivos (Barbosa *et al.*, 1970; Schobbenhaus Filho *et al.*, 1984; Pedrosa-Soares *et al.*, 1994; Dardenne, 2000);
- Unidades mesozóicas: Grupos São Bento (Juro-cretáceo) e Bauru (Cretáceo Superior);

Unidades cenozóicas: Coberturas detrito-lateríticas coluvionares e eluvionares, e depósitos aluviais. No domínio do embasamento, onde está concentrado o maior volume de descargas superficiais, o adensamento populacional é pequeno e as atividades agrícolas são mais restritas; conseqüentemente, o sistema hidrogeológico cristalino é muito pouco solicitado.

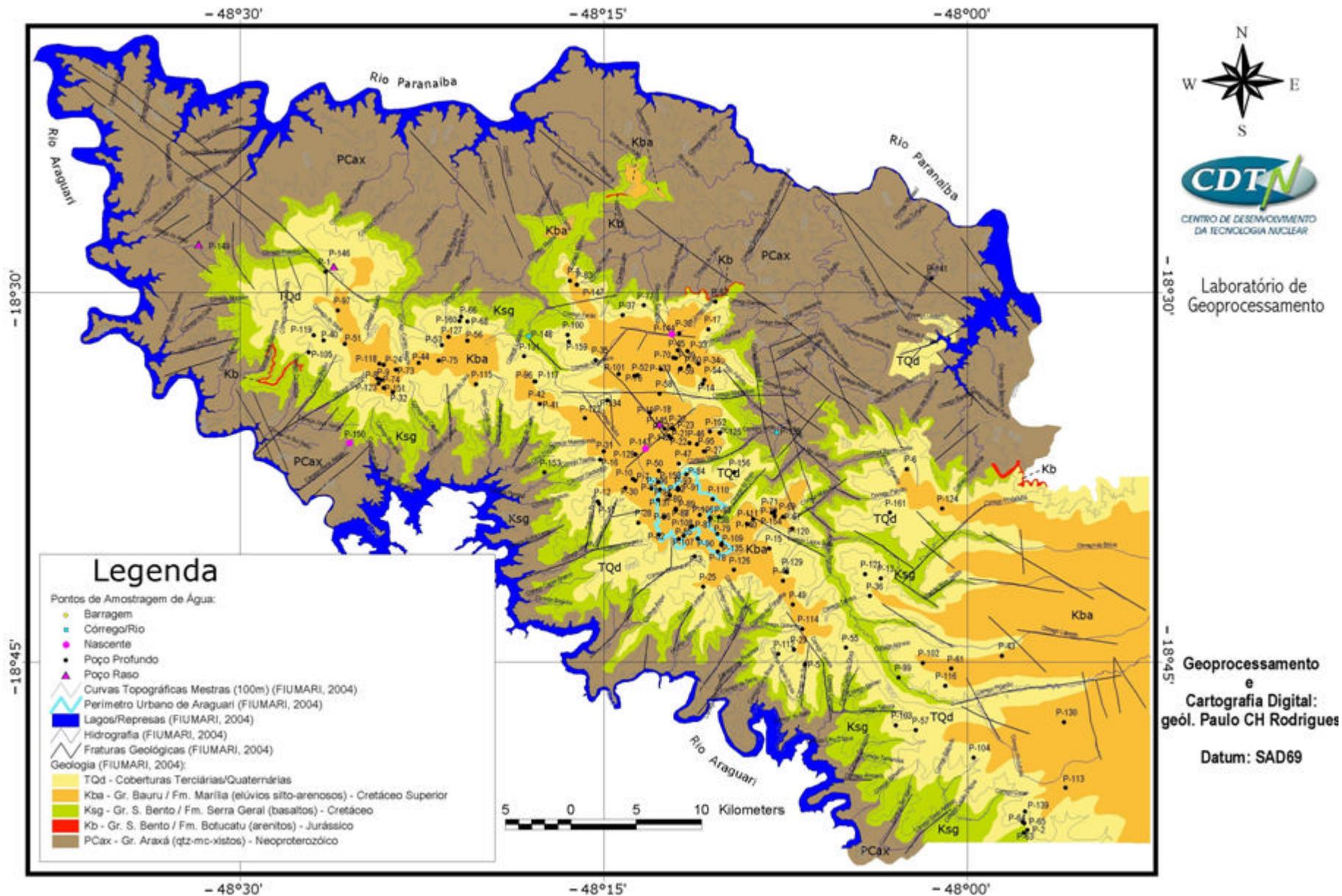


Figura 4 - Mapa geológico e de pontos de amostragem de água.

Sobre o embasamento repousam os estratos mesozóicos da Bacia Sedimentar do Paraná, constituídos das seqüências arenosas e vulcânicas do Grupo São Bento, (Fm's Botucatu e Serra Geral, respectivamente), sobrepostos pelos sedimentos areno-siltosos e argilosos do Grupo Bauru.

Os basaltos repousam sobre os xistos do Grupo Araxá com espessuras de 50 a cerca de 250m e com cotas de topo entre 880 e 900m, por 1402,3km<sup>2</sup>, porém expondo-se por apenas 379,2km<sup>2</sup>. O restante ocorre sob os sedimentos Bauru e depósitos quaternários. Caracterizam-se ainda pela ocorrência de níveis areníticos intertrapeanos silicificados de espessuras de até 2m.

Os contatos no topo e na base dos derrames basálticos correspondem a dois níveis de descarga aquífera: um nível de nascentes entre 880 e 900m, e o outro entre 700 e 750m, constituindo os tributários da sub-bacia dos rios Araguari (sul) e Paranaíba (norte).

O tectonismo rúptil provocou o aparecimento de dois padrões dominantes de fraturamentos verticais a subverticais, N45°E e N50°W, os quais se refletem, de modo mais tênue, na unidade de topo - Grupo Bauru. Outras duas direções, com menor freqüência, são as N-S e E-W. Esses padrões são similares aos do embasamento, sugerindo, que houve reativação tectônica da seqüência.

O Grupo Bauru se estende por aproximadamente 1.023,1km<sup>2</sup> (37% da área do município), correspondendo à unidade mais significativa em extensão e em produção de água. Ocorre em cotas superiores a 880m com espessura média de 54m, aumentada em direção à porção sudeste do município, onde atinge 60m. A seqüência se inicia com conglomerado basal de 4m de espessura média, constituído de seixos centimétricos bem arredondados e matriz arenosa. Seguem arenitos róseos e arroxeados, grosseiros a finos, com matriz argilosa e calcífera, estratificação plano-paralela e geralmente friável. A Formação Marília representa a única *fácies* do Grupo Bauru em Araguari, sendo de difícil caracterização direta, por estar encoberta por um pacote de solos elúvio-coluvionares com espessura entre 5 e 10m, amplamente distribuído pelo topo das chapadas.

Ambas as formações, Serra Geral e Marília, constituem, assim, os principais aquíferos da área de interesse desse estudo. Os arenitos da Formação Botucatu não chegam a constituir um aquífero, em virtude do elevado grau de silicificação com que se apresentam em Araguari e às ocorrências descontínuas em ambas as formas de ocorrência, sendo uma sotoposta à Fm. Serra Geral e outra intertrapeana de espessura métrica a submétrica. Os arenitos basais foram registrados em apenas três localidades (Figura 4) com espessuras de 10 a 20m e extensão máxima de 5km. Os depósitos coluvionares são distribuídos pelas rampas com mergulhos baixos a medianos, sendo constituídos essencialmente por seixos centimétricos bem arredondados. As espessuras variam de métrica a decamétrica com seixos sustentados por uma matriz laterítica incoesa, ou mesmo coesa, quando, então, desenvolve uma carapaça ferruginosa pouco espessa.

### **5.2.1 Aquífero Serra Geral**

O Aquífero Serra Geral se encontra associado aos derrames basálticos sobrepostos às rochas do embasamento cristalino, com espessura média de 200 a 250m. Trata-se, portanto, de um aquífero do tipo fraturado, com complexo padrão de fraturamento e diáclases típicas de resfriamento e alívio. Nas partes onde não afloram, sobrepõe-se a esse aquífero um pacote de sedimentos arenosos do Grupo Bauru (Formação Marília), com espessura de 50 a 60m, e das coberturas colúvio-eluvionares lateríticas, provenientes do retrabalhamento, ou dos sedimentos Marília ou das rochas basálticas. Nessas áreas, tais sedimentos garantem a recarga indireta do Aquífero Serra Geral, enquanto nas áreas de exposição a recarga se dá diretamente nas fraturas, sobretudo nas verticais.

As descargas naturais desse aquífero ocorrem sob a forma de várias nascentes de contato, entre o basalto e o embasamento (cotas entre 700 e 750m, as quais constituem os tributários do rio Araguari, ao sul, e do Rio Paranaíba, ao norte. Tais descargas permitem inferir uma circulação profunda alcançada pelas águas nesse aquífero.

Apesar de este aquífero constituir uma fonte importante de abastecimento em outras partes da Bacia do Paraná (a vazão média de 715 poços nos basaltos distribuídos na Bacia do Paraná é de 26,6m<sup>3</sup>/h e capacidade específica de 329m<sup>3</sup>/h/m, segundo Feitosa e Manoel Filho, 2000), em Araguari este tem sido colocado em um plano secundário. Porém, investigações referentes à ocorrência de água condicionada a falhamentos abrem perspectivas para aumento do aproveitamento local desse aquífero. Em Araguari as maiores vazões nesse aquífero são de poços associados ao sistema de fraturamento regional N50°W e N45°E, a exemplo da localidade de Piracaíba, pertencente à SAE, com vazão de 70m<sup>3</sup>/h.

A despeito da pouca representatividade estatística (Tabela 2), verifica-se que a vazão média de 50,6m<sup>3</sup>/h é bem superior à média observada no Aquífero Bauru (22m<sup>3</sup>/h, Tabela 3).

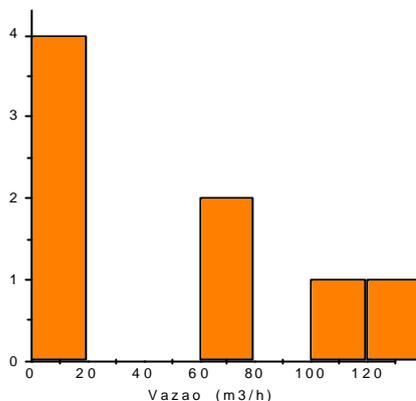
**Tabela 2 - Estatística de parâmetros hidráulicos de poços do Aquífero Serra Geral.**

Parâmetros	Q (m <sup>3</sup> /h)	N.E. (m)	N.D. (m)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)	Profundidade (m)
Média	50,6	13,3	49,2	4,5	74,0
Mínimo	4,0	4,0	23,8	0,1	54,0
Máximo	120,0	25,3	106,0	11,4	120,0
Mediana	42,5	12,0	32,5	1,4	70,0
Desvio Padrão	46,2	7,8	34,6	5,3	23,5
Nº de dados	8	5	5	5	6

Quatro dentre os oito poços possuem vazões acima de 70,0m<sup>3</sup>/h e os restantes estão entre 4,0 e 14,4m<sup>3</sup>/h, ou seja, há uma nítida polarização de valores (Figura 5), cujo comportamento é esperado em aquíferos fraturados, como no presente caso.

A profundidade média dos poços no Aquífero Serra Geral é de 74m, variando de 54 a 120m.

Três poços de mais altas vazões ( $75\text{m}^3/\text{h}$ ,  $100\text{m}^3/\text{h}$  e  $120\text{m}^3/\text{h}$ ) possuem profundidades de 54 a 70m, indicando a tendência de fechamento das aberturas com a profundidade. O nível estático médio é de 13,3m e o nível dinâmico médio é de 49,2m, do que resulta um rebaixamento médio de 35,9m, isto é, 11,9m a mais que no Aquífero Bauru.



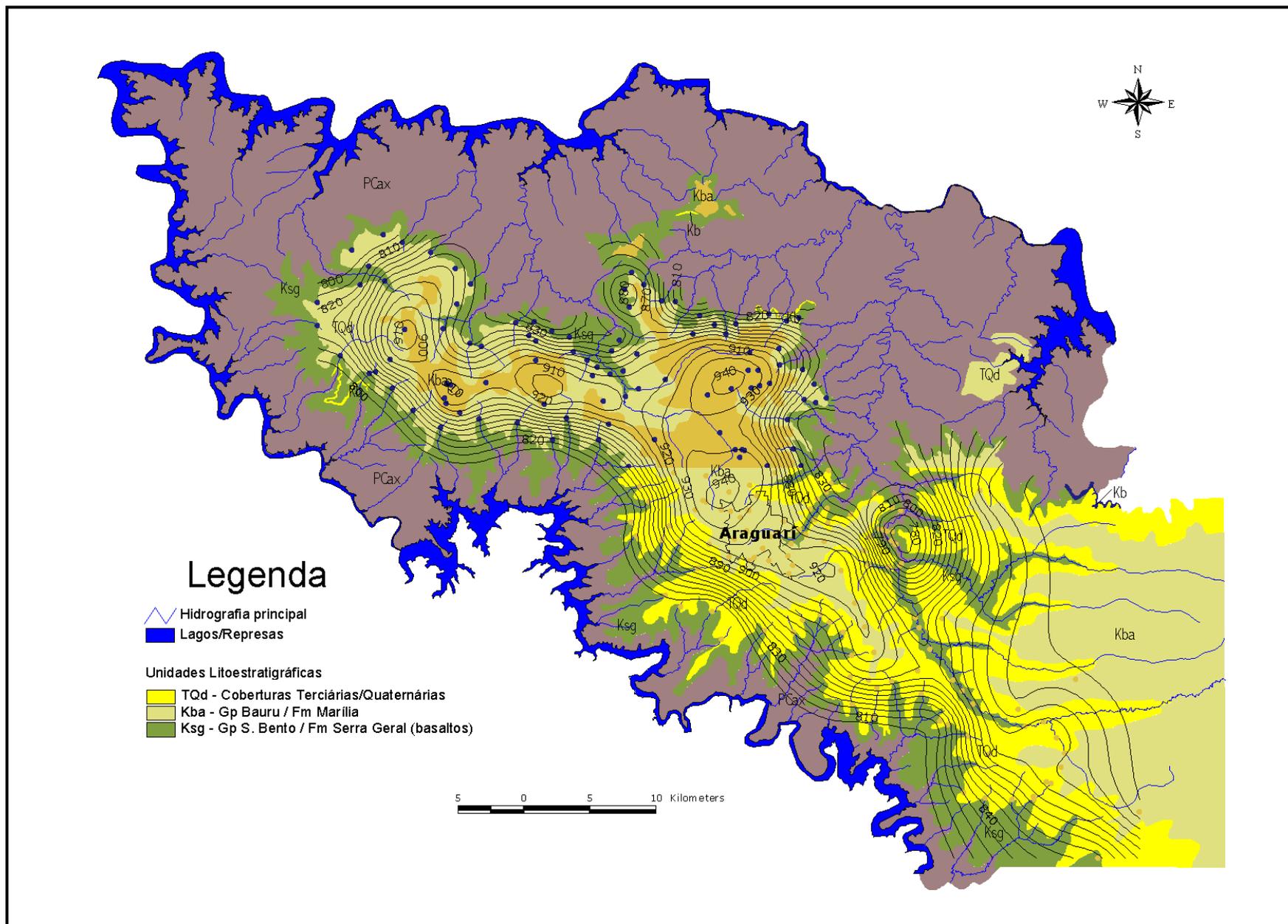
**Figura 5 - Frequência relativa da vazão dos poços do Aquífero Serra Geral (N = 8 dados).**

A capacidade específica possui elevada variação de valores, o que é esperado nesse tipo de aquífero. Dentre os cinco poços que constam desses dados três estão entre 1,4 e  $11,4\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$  e dois abaixo de  $1\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ . Em razão disso, neste caso, não há correspondência entre a capacidade específica média, de  $4,5\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$  (Tabela 2), e a obtida a partir dos dados de vazão média ( $50,6\text{m}^3/\text{h}$ ) e o rebaixamento médio (35,9m) -  $1,28\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ . Tais valores, bem como as vazões, apontam para uma boa produtividade desse aquífero, apesar da forte anisotropia refletida nos valores de produtividade.

### 5.2.2 Aquífero Bauru

O nível basal do Aquífero Bauru é representado por uma camada contínua de conglomerados, de 4m de espessura média, com relativa importância no processo de armazenamento e circulação de água. A maior parte dos poços como informação litológica revelam que eles não alcançam tal unidade aquífera, deixando de explorar esse manancial.

A recarga natural do Aquífero Bauru está associada à infiltração direta da precipitação nos sedimentos Bauru ( $453,2\text{km}^2$ ), como também, nos solos silto-arenosos sobrepostos com espessuras de 5 a 10m. Tal unidade pedológica ( $569,9\text{km}^2$ ) contém níveis grosseiros, coluvionares, que recobrem parte do topo e quase totalidade das rampas do contato arenito/basalto. A partir dos dados de 85 poços profundos e de 130 nascentes no Aquífero Bauru, foi construída a superfície potenciométrica deste aquífero (Figura 6). A configuração dessa superfície mostra um divisor hidrogeológico longo de toda a chapada, direção NW, região esta que constitui a zona de recarga direta, com fluxos para NE e SW.



**Figura 6 - Mapa potenciométrico do Aquífero Bauru em Araguari.**

Destacam-se duas importantes áreas de recarga: uma situada na cabeceira do córrego Amanhece, a norte do município, e outra na porção central, junto à cabeceira do ribeirão das Araras, onde está situada a porção norte da cidade de Araguari (Figura 2 e Figura 6).

A descarga ocorre através das diversas nascentes na quebra topográfica da chapada que marca o contato entre esse aquífero e o basalto Serra Geral, entre as cotas 880 e 900m. A maioria delas constitui tributários de 1ª ou 2ª ordem dos rios Araguari e Paranaíba. Embora menos frequentes, constata-se algumas drenagens importantes, que surgem esculpindo os arenitos do Grupo Bauru em meio às chapadas entre 930 e 940m como, por exemplo, os ribeirões das Araras e Piçarrão, e os córregos do Brejo e o Amanhece (Figura 2). Observa-se a concordância das direções desses fluxos superficiais com as direções dos alinhamentos estruturais noroeste e nordeste, citados. Pressupõe-se ainda que exista um excedente hídrico desse aquífero que recarrega o Aquífero Serra Geral.

O Aquífero Bauru é predominantemente livre, apresentando condições de sub-confinamentos localizados e com coeficientes de armazenamento de 0,12, permeabilidade média de  $2,3 \times 10^{-3}$  cm/s ( $3,0 \times 10^{-3}$  a  $1,63 \times 10^{-3}$  cm/s) e transmissividade média de  $76 \text{ m}^3/\text{h/m}$  (31,04 a  $126,85 \text{ m}^3/\text{h/m}$ ), segundo testes realizados por Fiumari (2004). O valor de porosidade efetiva de 0,15 tem sido mais comumente encontrado em outras localidades na bacia do Paraná.

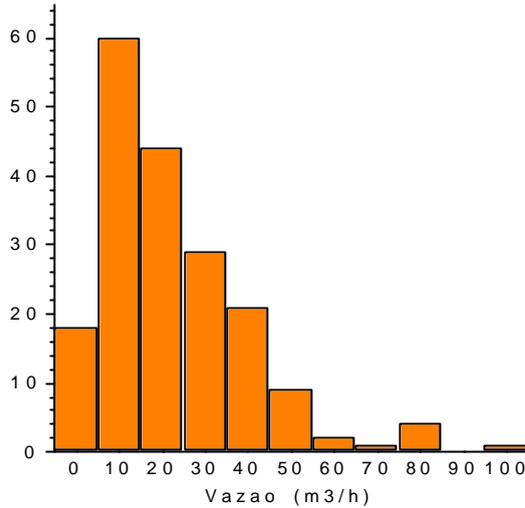
A espessura mais frequente (a partir das informações das profundidades dos poços) está entre 50 e 60m (média: 54m), e a espessura saturada média está em torno de 38m. Os valores médios de vazão e capacidade específica são de  $22 \text{ m}^3/\text{h}$  e  $1,0 \text{ m}^3/\text{h/m}$  (Tabela 3).

A maior frequência de vazões está na faixa de 10 a  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  (60 poços, 32%), com máxima excepcional de  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  (Figura 7).

**Tabela 3 - Estatística dos parâmetros hidráulicos dos poços no Aquífero Bauru.**

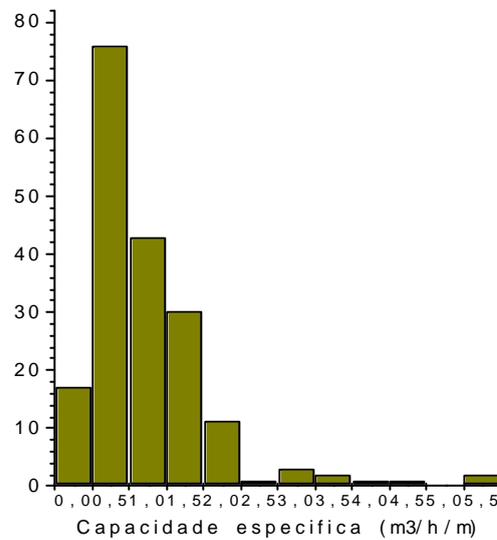
Parâmetros	Q ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	N.E. (m)	N.D. (m)	Q/s ( $\text{m}^3/\text{h/m}$ )	Profundidade (m)
Média	22,0	16,4	40,3	1,0	54
Mínimo	0,3	1,0	9,0	0,1	10
Máximo	100,0	38,0	66,0	5,5	150
Mediana	19,0	16,0	42,0	0,8	55,5
Desvio Padrão	17,0	8,0	11,4	0,9	15,1
Nº de dados	189	187	187	187	188

A profundidade do nível estático do aquífero é em média de 16,4m (mediana: 16m) e o nível dinâmico médio é de 40,3m (mediana: 42m), estimando-se, então, um rebaixamento médio de 24m. A capacidade específica, estimada a partir da vazão média ( $22 \text{ m}^3/\text{h}$ ) e rebaixamento médio (24m), é de  $0,92 \text{ m}^3/\text{h/m}$ , equivalente, portanto, à média das capacidades específicas ( $1,0 \text{ m}^3/\text{h/m}$ ). Os valores mais frequentes estão entre 0,5 e  $1,0 \text{ m}^3/\text{h/m}$ , 40,6% dos poços (Figura 8).



**Figura 7 - Frequência relativa das vazões dos poços do Aquífero Bauru (N=189 dados).**

A capacidade específica, estimada a partir da vazão média (22m<sup>3</sup>/h) e rebaixamento médio (24m), é de 0,92m<sup>3</sup>/h/m, equivalente, portanto, à média das capacidades específicas (1,0m<sup>3</sup>/h/m). Os valores mais frequentes estão entre 0,5 e 1,0m<sup>3</sup>/h/m, 40,6% dos poços (Figura 8).

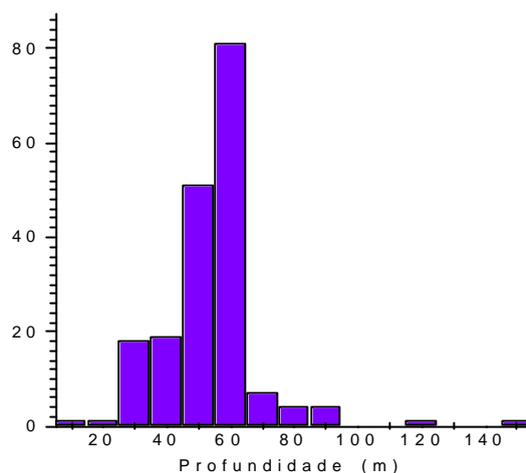


**Figura 8 - Frequência relativa da capacidade específica do Aquífero Bauru (n = 187 dados).**

As profundidades mais frequentes dos poços estão entre 50 e 60m (81 poços, 43,1% da amostra), conforme ilustrado na Figura 9. As grandes profundidades alcançadas por nove poços (78 a 120m) não são representativas desse aquífero, que possui uma média de 54m, valor esse muito próximo da mediana (55,5m). Duas hipóteses podem ser levantadas para que esses poços tenham

chegado a essa profundidade: locais de mais elevada altitude ou incerteza na descrição litológica, podendo se tratar, na verdade de poços mistos.

A boa produtividade, pouca profundidade e a natureza do material litológico facilitam a exploração desse aquífero no município na atualidade, sendo elevada a densidade de poços em algumas áreas, como na zona urbana e em determinadas localidades agrícolas, o que, a longo prazo, pode comprometer a produtividade nessas áreas. Ressalta-se, ainda, que a mancha urbana de Araguari se encontra edificada acima desse aquífero, elevando o risco de sua poluição.



**Figura 9 - Frequência relativa da profundidade dos poços do Aquífero Bauru (n=188 dados).**

### 5.2.3 Aquíferos mistos - Bauru e Serra Geral

Os poços mistos são aqueles que interceptam e captam água dos Aquíferos Bauru e Serra Geral concomitantemente. A vazão média de  $10\text{m}^3/\text{h}$  é cerca da metade da dos poços do Aquífero Bauru e cinco vezes menor que no Aquífero Serra Geral, com valores de 5,6 a  $23\text{m}^3/\text{h}$ , mas oito dentre os 10 poços possuem vazões abaixo de  $10\text{m}^3/\text{h}$  (Tabela 4 e Figura 10).

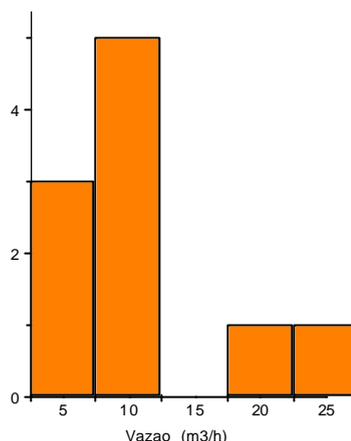
Os níveis estático e dinâmico de 26,0 e 72,3m, respectivamente, resultam num rebaixamento médio de 46,3m, o maior dentre os demais aquíferos. As baixas vazões e o elevado rebaixamento resultam numa capacidade específica muito baixa, média de  $0,3\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$  e máxima de  $1,1\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$  (poço de maior vazão). Cerca de 50% dos poços possuem valores abaixo de  $0,5\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ .

É notável a elevada profundidade dos poços, com média de 100,3m, e com sete dentre os 10 poços entre 80 e 148m.

Não se tem uma explicação muito clara a respeito das causas que levam os poços mistos a possuírem produtividade bem abaixo do esperado. É possível a não observância das estruturas rúpteis favoráveis para a locação desses poços, dificultada pela obliteração proporcionada pela textura da Formação Bauru e à maior profundidade das fraturas, que se encontrariam mais fechadas.

**Tabela 4 - Estatística dos parâmetros hidráulicos e construtivo dos poços mistos.**

Parâmetros	Q (m <sup>3</sup> /h)	N.E. (m)	N.D. (m)	Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)	Profundidade (m)
Média	10,4	26,0	72,3	0,3	100,3
Mínimo	5,6	4,0	36,0	0,1	54,0
Máximo	23,0	43,4	115,2	1,1	148,0
Mediana	7,9	26,0	75,5	0,2	108,0
Desvio Padrão	6,0	11,5	25,3	0,3	34,8
N <sup>o</sup> de dados	10	10	10	10	10



**Figura 10 - Frequência relativa da vazão dos poços mistos (n = 10 dados).**

### 5.3 Hidroquímica

As águas do Aquífero Bauru são ácidas a moderadamente ácidas (pH de campo entre 4,60 e 5,88), já as águas do Aquífero Serra Geral tendem à neutralidade, apresentando pH em torno de 7.

Em geral a condutividade elétrica das águas do Aquífero Bauru é muito baixa, da ordem de 10 $\mu$ S/cm ou menos. Porém, as do Aquífero Serra Geral variaram de 133,1 a 303,0 $\mu$ S/cm. Valores intermediários devem corresponder a uma mistura de águas desses dois aquíferos.

Os valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) raramente ultrapassaram 7mg/L para águas do Aquífero Bauru. Já para as águas do basalto os valores estão entre 66,7 e 151,7mg/L.

As concentrações dos íons analisados estiveram quase sempre abaixo do limite de detecção dos métodos analíticos. Entretanto, algumas exceções podem ser extraídas (somente de amostras do Aquífero Serra Geral): uma amostra com magnésio (4,1mg/L), uma amostra com potássio (3,2mg/L) e algumas amostras com ferro (0,14 a 1,6mg/L) e sódio (0,12 a 4,9mg/L).

As concentrações de cloreto se situaram abaixo de 2mg/L, exceto um poço com 5,18mg/L. Os nitratos também estavam virtualmente ausentes, com algumas amostras acima de 2mg/L, porém muito abaixo do valor máximo permitido de 50mg/L. O teor médio de sílica encontrado foi de 7,1mg/L, embora algumas tenham se situado entre 20 e 42mg/L.

Assim, devido às baixas concentrações, não foi possível a caracterização das fácies hidroquímicas. Entretanto, Velásquez e Romano (2004), encontraram uma amostra de nove poços no Aquífero Bauru, um predomínio de águas  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  (55,6%), seguida de  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  (22,2%).

Na tentativa de averiguar o grau de agressividade das águas dos Aquíferos Serra Geral e Bauru, tomou-se como referência um único poço perfurado no basalto (PB-02 SAE), por apresentar o conjunto mais completo de dados analíticos, e um poço do arenito Bauru (PA-94), que dispunha de dados completos de cátions. Concluiu-se que em ambos os casos as águas são agressivas, com um elevado conteúdo de gás carbônico.

A presença de  $\text{CO}_2$  livre, determinada pela fórmula de Tillmans, também foi constatada em águas provenientes de diversos outros poços da formação Bauru, amostrados no presente estudo, com valores de concentração entre 6 e 60mg/L. Como a presença de  $\text{CO}_2$  foi constatada nas duas formações, sua origem talvez seja a mesma, biogênica, por exemplo, uma vez que a água de recarga é de chuva, sem nenhuma possibilidade de exalação de  $\text{CO}_2$  profundo.

#### 5.4 Estimativa das Reservas do Aquífero Bauru

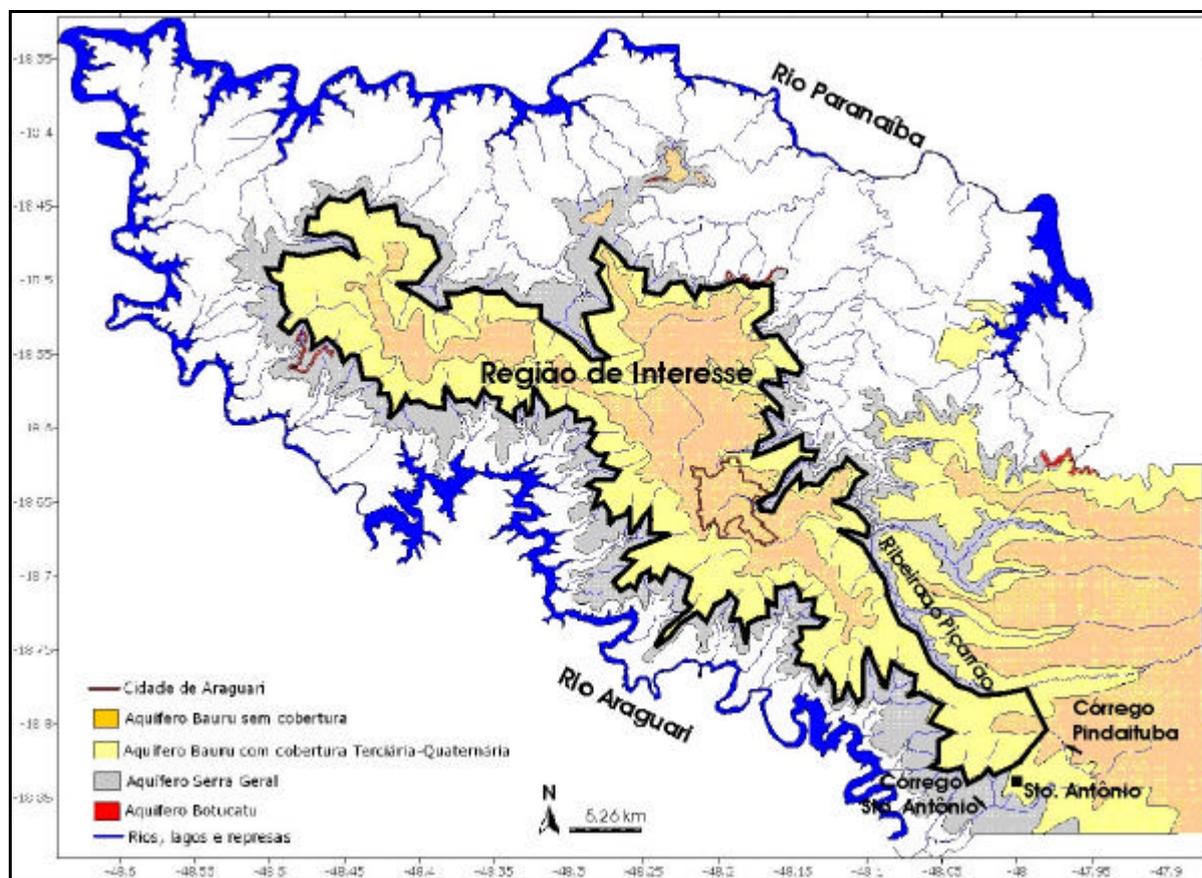
Para a estimativa das reservas do Aquífero Bauru foram feitas as seguintes considerações:

- Área do aquífero de 550km<sup>2</sup>, definida como área total da Região de Interesse (Figura 11), na qual constam 95% dos poços outorgados pelo IGAM;
- Porosidade efetiva média de 0,12 (Fiumari, 2004);
- Oscilação do nível d'água nos poços de monitoramento: 4m;
- Área total do aquífero no município: 1.023km<sup>2</sup>;
- Espessura saturada média do aquífero: 38m;
- Taxa de recarga de 604 mm/ano (38% da precipitação média anual de 1.589mm), estimada por UFMG/CDTN/UFMT, em 2006, a partir das recargas médias de 2003/2004 (27% da precipitação anual) e, em 2004/2005 (49% da precipitação anual), obtidas da separação de hidrogramas, combinada com o Balanço Hídrico Climático. A recarga obtida pelo método da injeção de água tritiada (2004/2005) apresentou valor bastante similar ao método anterior para o período comum. Não se considerou a recarga estimada pelo método da oscilação do nível d'água em virtude do valor obtido (480mm) ser representativo da recarga direta na área urbana, onde se encontravam os poços monitorados.

A partir dessas considerações foram obtidos os resultados de reservas para a Região de Interesse (Tabela 5) e para a área total do município de Araguari mostrados na Tabela 6.

Segundo critério da ONU (in: Rebouças *et al.*, 1999), o volume da reserva renovável na Região de Interesse (332 milhões de m<sup>3</sup> ou 3.000 m<sup>3</sup>/hab/ano), corresponde a uma região Suficiente em termos de disponibilidade hídrica (2.000 a 10.000 m<sup>3</sup>/hab/ano). Considerando toda a área do

Aquífero Bauru em Araguari, esse volume aumenta para 618 milhões de m<sup>3</sup> ou 5.700 m<sup>3</sup>/hab/ano, correspondendo também a uma disponibilidade hídrica caracterizada como Suficiente para esse município.



**Figura 11 - Mapa dos limites da Região de Interesse.**

**Tabela 5 - Reservas do Aquífero Bauru da Região de Interesse.**

Tipos de Reservas	Volume (m <sup>3</sup> )
Renovável (Re)	0,332 x 10 <sup>9</sup> x m <sup>3</sup> /a
Permanente (Rp)	2,508 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>
Explotável (25% Re)	0,083 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> /a
Total (Re + Rp)	2,840 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>

**Tabela 6 - Reservas do Aquífero Bauru no município de Araguari.**

Tipos de Reservas	Volume (m <sup>3</sup> )
Renovável (Re)	0,618 x 10 <sup>9</sup> x m <sup>3</sup> /a
Permanente (Rp)	4,665 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>
Explotável (25% Re)	0,155 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> /a
Total (Re + Rp)	5,283 x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>

Ressalta-se, entretanto, que o volume outorgado pelo IGAM para a Região de Interesse (311 poços) totaliza 32 milhões de metros cúbicos anuais, o que corresponde a um nível de uso Moderado (100 a 500 m<sup>3</sup>/hab/ano), segundo critério da ONU (*op. cit.*). O cálculo do volume outorgado considerou a vazão de outorga atual, estabelecida pelo IGAM, e uma exploração de 20 horas por dia, durante seis meses para os poços destinados preferencialmente à irrigação e durante um ano para os poços de abastecimento público operados pela SAE de Araguari.

## 6. CONCLUSÕES

O Aquífero Bauru é, de longe, o mais explorado por meio de poços tubulares com vazão média de 22m<sup>3</sup>/h, 54m de profundidade média e rebaixamento médio de 24m. Já o Aquífero Serra Geral apresenta vazão média de 51m<sup>3</sup>/h, profundidade média de 74m e rebaixamento médio de 36m.

Apesar da importância do Aquífero Bauru para a região, o Aquífero Serra Geral deve, no futuro, consistir de uma boa alternativa, desde que sejam realizados estudos prévios de locação, sobretudo em observância dos lineamentos N45°E e N50°W, e, secundariamente, N-S e E-W.

As exposições dos arenitos Botucatu encontradas não apresentam características que os assinalem como um aquífero, dada a sua limitada expressividade geométrica e elevado grau de silicificação.

Existe nítida diferenciação físico-química entre as águas provenientes dos Aquíferos Bauru e Serra Geral, evidenciada principalmente por meio da condutividade elétrica (e STD) e de pH, mais baixos no Bauru. Essa agressividade das águas do Bauru deve ser uma das causas das freqüentes corrosões dos filtros e que provocam entrada de areia nos poços. Cita-se ainda o inadequado dimensionamento dos filtros e pré-filtros da região.

O índice de utilização dos recursos hídricos subterrâneos outorgados na Região de Interesse, aproximadamente 10% da Reserva Renovável e 39% da Reserva Explotável, já sinaliza a necessidade do planejamento de ações eficazes de gerenciamento destes recursos na região, em especial nas sub-bacias do ribeirão das Araras e do córrego Amanhece, locais onde já se registram ocorrências de conflitos entre usuários. Enfatiza-se que o cálculo de retirada não contabilizou os poços em situação ilegal, portanto, esse volume encontra-se ainda sub estimado.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, O.; BRAUN, O. P.G.; DYER, R.C., CUNHA, C.A.R. Geologia da Região do Triângulo Mineiro. **Boletim DNPM**, Rio de Janeiro, nº 136. 1970.

DARDENNE, M.A. The Brasília Fold Belt. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, D. e CAMPOS, D.A. (Editores) **Tectonic evolution of South America**, Rio de Janeiro, 2000. p 231 – 263.

FEITOSA, F.A.C. e MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia Conceitos e Aplicações**, 2ª edição, CPRM/REFO, LABHID-UFPE, Fortaleza, 2000. 391 p.

FIUMARI, S. L. **Caracterização do Sistema Hidrogeológico Bauru no município de Araguari – MG**, 2004. 122 p Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

HIDROTEC. **Balço hídrico das sub-bacias do Rio Paranaíba**. 2002. Acessível em [www.ufv.br/dea/hidrotec](http://www.ufv.br/dea/hidrotec), acessado em janeiro de 2003.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA), 2005. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>, acessado em 06/02/2006.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Censo 2000: **Informações socioeconômicas: População, indicadores sociais, pesquisa nacional de Saneamento básico** <http://www.ibge.gov.br>, acessado em 22/02/2004.

PEDROSA-SOARES, A C.; DARDENNE, M.A ; HASUI, Y.; CASTRO, F.D.C de; CARVALHO, M.V.A. de. **Nota explicativa dos mapas geológico, metalogenético e de ocorrências minerais do estado de Minas Gerais**. Esc. 1.1.000.000, Belo Horizonte: COMIG – Companhia Mineradora de Minas Gerais, 1994. p. 30-31.

REBOUÇAS, A.C. 1992, citado em <http://www.ana.gov.br/guarani/sistema/descricao.htm>, consultado em 25 de maio de 2008.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. **Águas Doces do Brasil Capital Ecológico, Uso e Conservação**. Institutos de Estudos Avançados da USP, Academia Brasileira de Ciências, ed. Escrituras, São Paulo, G. 1999. 717 p.

SCHOBENHAUS FILHO, C; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R. e ASMUS, H. **Texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente incluindo depósitos minerais**. Escala 1:2.500.000, Brasília: MME/DNPM, 1984.

UFMG (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS); CDTN (CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR) e UFMT (UNIVERSIDADE FEDERAL DO MATO GROSSO). **Avaliação dos recursos hídricos do Sistema Aquífero Guarani no município de Araguari, Minas Gerais, Brasil**. Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible Del Sistema Acuífero Guaraní, Fondo de Universidades, SG/OEA, Belo Horizonte, 2006. Informe Final.

VELÁSQUEZ, L.N.M. e ROMANO, A.W. **Caracterização hidrogeológica do município de Araguari – MG**. Belo Horizonte, 2004. 80p (Relatório Final: SAE/FUNDEP/UFMG/DGEO).

## **Agradecimentos**

Esse trabalho foi realizado no âmbito do Projeto Aquífero Guarani (OEA- Organização dos Estados Americanos) e com apoio econômico do Programa "Bank Netherlands Partnership Program Environmental Window" (BNPPW), destinado a apoiar o Fundo das Universidades. Os autores agradecem às seguintes instituições e pessoas: Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, Superintendência de Água e Esgoto de Araguari – SAE, Rafael de Ávila Rodrigues, Carlos E. Vieira e Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG).