

Ministério de Minas e Energia
Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
CPRM - Serviço Geológico do Brasil
Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial - DHT

AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO - ACRE



Homero Reis de Melo Jr.
José Luiz Marmos



Ministério de Minas e Energia
Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
CPRM - Serviço Geológico do Brasil
Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial - DHT

**AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DO MUNICÍPIO
DE RIO BRANCO - ACRE**

Relatório Final

Homero Reis de Melo Jr.
José Luiz Marmos

Porto Velho

2006

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	02
3. METODOLOGIA	03
4. TESTES DE BOMBEAMENTO	05
5. BALANÇO HÍDRICO	09
6. MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO	12
7. DISPONIBILIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	25
8. QUALIDADE DA ÁGUA	31
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	42
GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório trata da avaliação hidrogeológica realizada no município de Rio Branco-AC (Figura 1), mais precisamente no II Distrito da capital acreana (Figura 2). O principal objetivo foi caracterizar em termos quantitativos e qualitativos o potencial das águas subterrâneas na referida região, a fim de obter parâmetros que possam balizar a proteção ou zoneamento específico do uso do solo sobre este precioso recurso natural, para ser explorado futuramente, pelo abastecimento público municipal, de forma racional e bem gerenciada.

A água subterrânea sempre foi relegada a segundo plano no Estado do Acre, uma vez que este se encontra assentado quase que totalmente sobre a bacia sedimentar do Acre, de composição predominantemente argilosa, com baixíssimo potencial para exploração deste recurso. No entanto, a água subterrânea vem sendo explorada comercialmente no II Distrito da capital, através de poços tubulares rasos, perfurados a trado, com captação por sistemas de ponteiras. O comércio informal se intensificou a partir do ano de 2004 e atingiu seu auge com a seca de 2005, que comprometeu a captação superficial no rio Acre (Solange Moraes, informação verbal).

Vale ressaltar a escassez de informações sobre os recursos hídricos subterrâneos em Rio Branco. Somente após a regularização do comércio de água potável, feito por carros-pipa que distribuem a água captada no 2º Distrito, pelo Instituto de Meio Ambiente do Acre – IMAC começou a se ter uma noção do potencial hidrogeológico daquela área da cidade.

Desta forma, o presente estudo buscou mapear o aquífero local vertical e horizontalmente, obter seus principais parâmetros hidráulicos, como transmissividade, coeficiente de armazenamento e condutividade hidráulica, além de quantificar o volume de água existente no mesmo, aqui denominado “Aquífero Rio Branco”, para que, futuramente este possa ser explorado de forma segura e racional. Também foi realizada avaliação da qualidade das águas subterrâneas por meio de análises químicas e microbiológicas de amostras coletadas em diversos pontos tubulares do 2º Distrito.



Figura 1: Mapa de localização do Estado do Acre no Brasil (Fonte: <http://www.guianet.com.br/ac/mapaac.htm>)

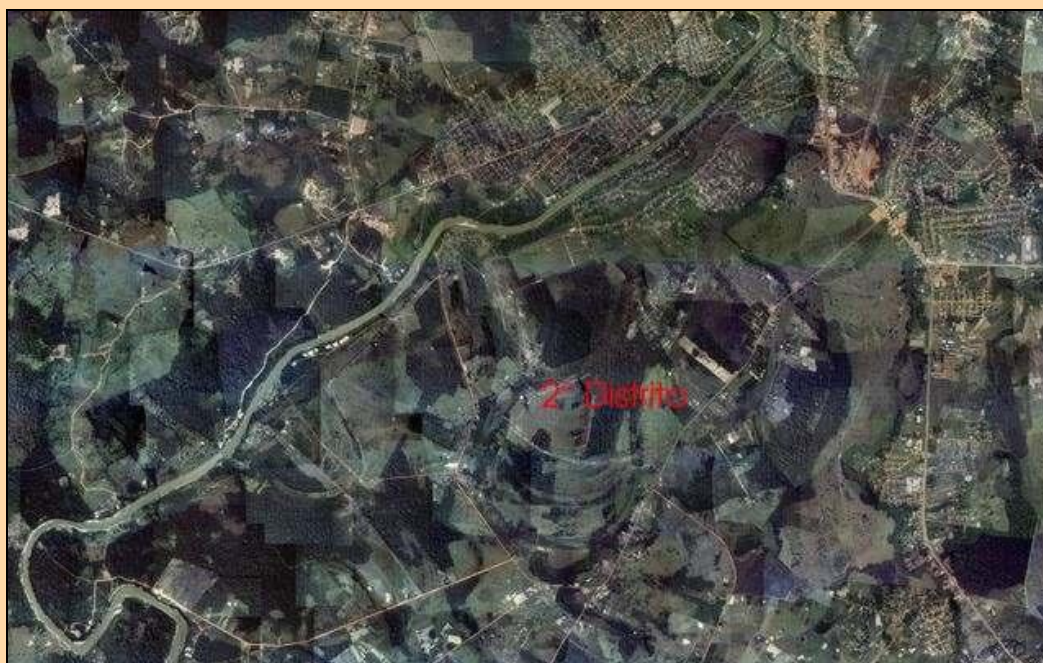


Figura 2: Fotografia aérea ilustrando o segundo distrito de Rio Branco na margem direita do rio Acre.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo foi avaliar o potencial hidrogeológico do II Distrito de Rio Branco, capital do Acre.

Objetivos Específicos:

- ✓ Mapear a área de ocorrência e de sub-superfície do aquífero Rio Branco, no II Distrito do município de Rio Branco-AC;

- ✓ Avaliar os principais parâmetros físicos do aquífero como transmissividade, coeficiente de armazenamento e condutividade hidráulica dos sedimentos da zona saturada, através de testes de bombeamento;
- ✓ Realizar um balanço hídrico regional para se caracterizar e quantificar a recarga do aquífero Rio Branco;
- ✓ Avaliar a vazão segura para exploração (*safety-yield*) do aquífero Rio Branco.
- ✓ Identificar os bairros dentro do II Distrito de Rio Branco com maior potencial hidrogeológico.
- ✓ Avaliar os parâmetros de qualidade da água em relação aos aspectos microbiológico e físico-químico.

3. METODOLOGIA

O mapeamento hidrogeológico constou de uma etapa inicial de interpretação da imagem de RADAR SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mapping*), onde foram geradas curvas de níveis com intervalos de cinco metros e se definiu a extensão superficial do aquífero até a cota topográfica de 145 metros. Posteriormente, foram feitas investigações *in situ*. O mapeamento de sub-superfície do aquífero foi realizado por meio de sondagens realizadas em pontos estrategicamente selecionados, utilizando-se ainda os dados dos poços que exploram a água subterrânea no local.

Para identificar os principais parâmetros hidráulicos do sistema aquífero Rio Branco foram realizados quatro testes de bombeamento, com observação do rebaixamento da água subterrânea *versus* tempo, para posterior interpretação dos dados no *software AquiferTest for Windows 2.5* da *Waterloo Hydrogeologic* pelo método de Theis.

Dentre os diversos métodos desenvolvidos para o estudo do balanço hídrico de aquíferos, foi utilizado neste estudo o modelo de Thornthwaite & Mather (*apud* Vasconcelos, 1994) que, apesar de todas suas limitações, apresentou-se como o mais preciso para a região.

A equação geral do balanço hídrico médio é:

$$P = S + E + I_T$$

sendo: (P) a lâmina d'água precipitada sobre o solo, (S) o escoamento superficial, (E) a evapotranspiração e (I_T) a infiltração total.

A infiltração total (I_T) inclui a água retida no solo (I_r) e a água que penetra no subsolo (I_w) conhecida por infiltração eficaz, correspondendo à parcela da precipitação que alimenta a reserva de águas subterrâneas, diretamente ligada às flutuações da

superfície potenciométrica que reflete a variação sazonal dessas reservas (Vasconcelos, 1994).

No caso de aquíferos livres, o volume de água armazenado não é constante, estando relacionado às variações observadas na superfície potenciométrica (dW), sendo que o principal aporte de um aquífero livre é a infiltração eficaz (I_w). Logo, a expressão utilizada no balanço hídrico de aquíferos livre é:

$$P = S + E + I_w \pm dW$$

Como no balanço hídrico de aquíferos, em geral, o escoamento superficial (S) é insignificante, devido a própria morfologia do solo, o que ocorre é que uma parte se infiltra, outra evapora, e o restante volta a ser capturado pelo fluxo subterrâneo (Vasconcelos 1994). Logo, a equação do balanço hídrico fica da seguinte forma:

$$P = E + I_w \pm dW$$

A evapotranspiração real é o termo mais importante de um balanço hídrico, embora seja o menos conhecido. No caso de aquíferos livres, esse parâmetro constitui o termo principal de perda de água. Geralmente, sua determinação se dá através de formas empíricas, baseadas em fatores climáticos como temperatura média, altura da precipitação, insolação, entre outros. No estudo de aquíferos livres, a variação dos fatores climáticos durante um ano hidrológico é de extrema importância para a avaliação da evapotranspiração real e para a altura média mensal da precipitação, sendo muito mais importante que dados anuais.

Segundo Thornthwaite & Mather (*apud* Vasconcelos 1994), a evapotranspiração potencial (ETP) é obtida através da fórmula:

$$ETP = 16(10T/I)^a K$$

onde:

T corresponde à temperatura;

I é o índice térmico;

K é um fator de correção relacionado à latitude.

O índice I é obtido através da equação $I = (T/5)^{1,5}$ e o termo “a” é obtido em função do índice térmico, sendo:

$$a = 0,49239 + 1792 \times 10^{-5} I - 771 \times 10^{-7} I^2 + 675 \times 10^{-9} I^3$$

Como ferramenta de auxílio no cálculo do balanço hídrico, foi utilizado o *software* Balasc, desenvolvido pelos pesquisadores Hilton Silveira Pinto e Zurandir Zullo Junior, ambos do Centro de Ensino e Pesquisa da Agricultura da UNICAMP.

No presente estudo foram ainda realizadas análises físico-químicas e microbacterológicas para caracterizar a qualidade das águas subterrâneas no II Distrito de Rio Branco e em alguns poços do I Distrito. Dentre os parâmetros físicos avaliados destacam-se pH, condutividade elétrica, DQO, turbidez e cor. Os parâmetros

químicos foram: alcalinidade, ferro total e ferro dissolvido, nitrato, amônia, cloreto, sílica, sulfato, sódio, potássio, cálcio e magnésio. Os parâmetros microbiológicos analisados foram os coliformes termotolerantes e coliformes totais.

As análises físico-químicas foram executadas no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, localizado em Manaus, enquanto que as análises microbiológicas foram realizadas na Unidade de Tecnologia de Alimentos (UTAL) da Universidade Federal do Acre, em Rio Branco. O padrão de qualidade da água adotado foi a da Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, a qual determina a potabilidade das águas para consumo humano de acordo com sua composição físico-química e microbiológica.

4. TESTES DE BOMBEAMENTO

Os testes de bombeamento foram realizados na vila da Amizade, na estrada do Amapá e no ramal da Judia. Nos locais onde havia poços de monitoramento como no ramal da Judia (Fotografia 1) e na estrada do Amapá (Fotografia 2) foram realizados testes de aquífero. Onde havia somente um poço, como nos testes realizados na Vila da Amizade (Fotografia 3), o rebaixamento foi observado no mesmo, caracterizando-se desta forma testes de poço. Os principais parâmetros obtidos em cada teste se encontram destacados na tabela 1. Em seguida, os dados de rebaixamento *versus* tempo foram tratados no *software AquiferTest for Windows 2.5*, por meio do qual se obteve os valores de transmissividade, condutividade hidráulica na zona saturada e coeficiente de armazenamento do aquífero Rio Branco.



Fotografia 1: Teste de bombeamento realizado no ramal da Judia.



Fotografia 2: Teste de bombeamento realizado na estrada do Amapá.



Fotografia 3: Teste de bombeamento realizado na vila da Amizade, condomínio Vilacre.

Tabela 1: Parâmetros físicos obtidos durante os testes de bombeamento realizados no segundo distrito de Rio Branco-AC.

Teste	Local	Coordenadas		Parâmetros Físicos					
		UTM N	UTM E	N.Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Rebaixamento (m)	Vazão (m ³ /h)	Cota (m)	Cap. Esp. (m ³ /h/m)
T1	Vila da Amizade Cond. Vilacre	8890948	631655	2,29	7,07	4,78	4,39	145	0,92
T2	Estrada do Amapá Captação M.G.M.	8889864	628489	4,07	5,255	1,185	4,864	140	4,1
T3	Vila da Amizade Captação Zé Airton	8891306	631330	3,88	6,51	2,63	10	145	3,8
T4	Ramal da Judia Captação J. Batista	8894662	631737	2,21	4,04	1,83	3,33	140	1,82

De acordo com os dados da tabela 1 o nível estático, que corresponde ao nível da água no lençol freático, se encontrava bastante próximo à superfície no mês de abril (compreendendo o período chuvoso), representando um problema em relação ao potencial de contaminação das águas subterrâneas. Este parâmetro variou entre 2,21 m no Ramal da Judia a 4,07 m na estrada do Amapá. A vazão obtida nos poços testados pode ser considerada baixa, principalmente nos testes T1, T2 e T4, que variaram entre 3,33 m³/h a 4,864 m³/h. No entanto, os baixos valores apresentados se devem, principalmente, em função da utilização de bombas hidráulicas de pequena potência, com apenas ¼ cv e ½ cv nos testes T2 e T4. No T3 com uma bomba de 5,0 cv de potência, a vazão obtida foi de 10 m³/h. No entanto, o que define a boa produtividade de um poço é sua capacidade específica, e não sua vazão, definida como a capacidade produtiva do poço para cada metro rebaixado, em seu nível dinâmico (vide glossário de termos técnicos). Assim, em poços com menor rebaixamento, maior será sua capacidade específica, e, por conseqüência, maior será sua produtividade.

A capacidade específica dos poços analisados variou entre 0,92 m³/h/m a 4,1 m³/h/m, sendo que valores superiores a 1 m³/h/m podem ser considerados bons de acordo com Tancredi (1996), que identificou para o aquífero Alter do Chão, na região de Santarém, Pará, valores entre 1,2 m³/h/m a 7,7 m³/h/m com valor médio da capacidade específica de 3,57 m³/h/m. Deve se levar em consideração que o rebaixamento dos poços durante o período de bombeamento, entre 6 horas a 8 horas, foi muito pequeno, variando entre 1,185 m a 4,78 m, o que confirma a informação verbal dos responsáveis pelas empresas de captação e comercialização de água em

carros-pipa, que o rebaixamento ao longo de 12 a 18 horas de bombeamento dos poços é insignificante em relação ao volume de água explotada.

Desta forma, por meio dos resultados observados ao longo dos testes de bombeamento, com auxílio do *software Aquifer Test for Windows*, foram obtidos os principais parâmetros hidráulicos do aquífero, pela metodologia de Theis para aquíferos confinados, conforme destacado na tabela 2.

Tabela 2: Principais parâmetros hidráulicos obtidos durante os testes de bombeamento realizados no II Distrito de Rio Branco-AC.

Teste	Parâmetros Hidráulicos		
	Transmissividade (m ² /dia)	Coefficiente de Armazenamento	Condutividade Hidráulica (m/dia)
T1	1,04 x 10 ²	2,89 x 10 ¹	
T2	9,28 x 10 ⁰ a 1,9 x 10 ¹	3,71 x 10 ⁰	2,38 x 10 ⁰
T3	1,32 x 10 ²		1,63 x 10 ¹
T4	2,64 x 10 ⁻¹	1,05 x 10 ⁻⁴	2,56 x 10 ⁻⁴

Os valores de transmissividade variaram entre 132 m²/dia a 0,264 m²/dia (Tabela 2). Essa diferença tão acentuada para este parâmetro decorre principalmente de dois fatores: o primeiro é a pequena capacidade das bombas utilizadas para a realização dos testes; o segundo é a má qualidade técnica construtiva dos poços já que os mesmos são construídos com tubos plásticos de PVC e o filtro é serrado manualmente com ranhura de tamanho inadequado. Além disso, o pré-filtro utilizado é composto de areia fina, também inadequada para este fim.

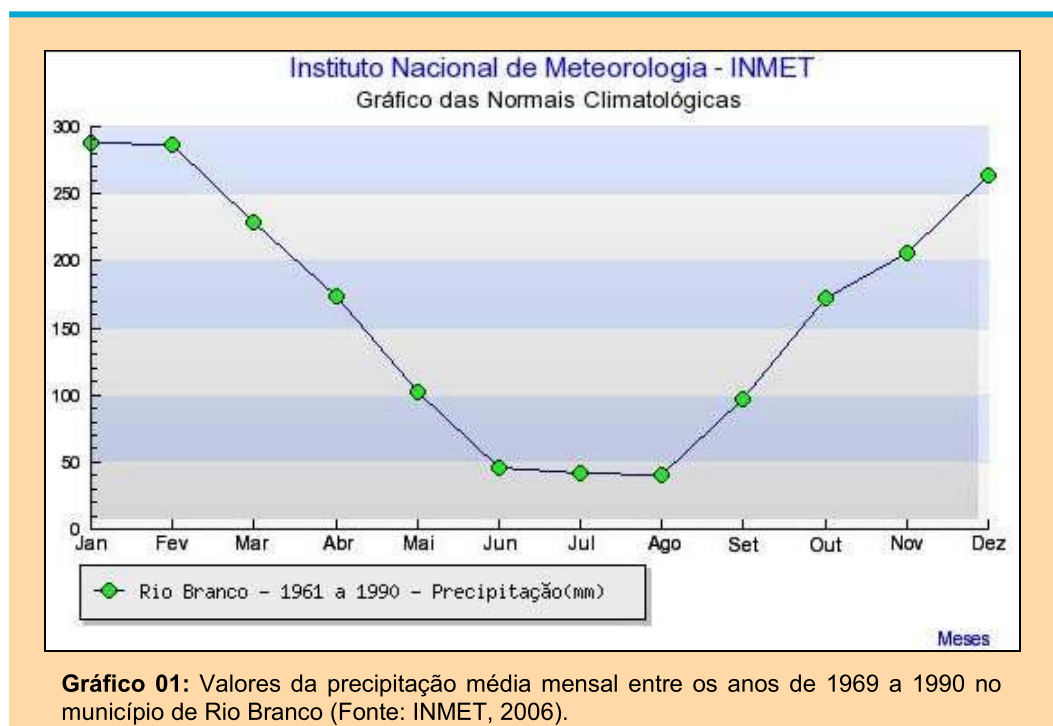
Conforme destacado por Tancredi (1996) e Souza (2000), valores de transmissividade superiores a 120 m²/dia são suficientes para utilização em abastecimento público, irrigação, dentre outras atividades que demandem grande quantidade de água. No II Distrito, somente o poço de teste T3 superou este valor. No entanto, o poço de teste T1, na vila Acre, atingiu 104 m²/dia, correspondendo a 86% do valor apontado por Tancredi (1996) e Souza (2000), podendo ser considerado satisfatório.

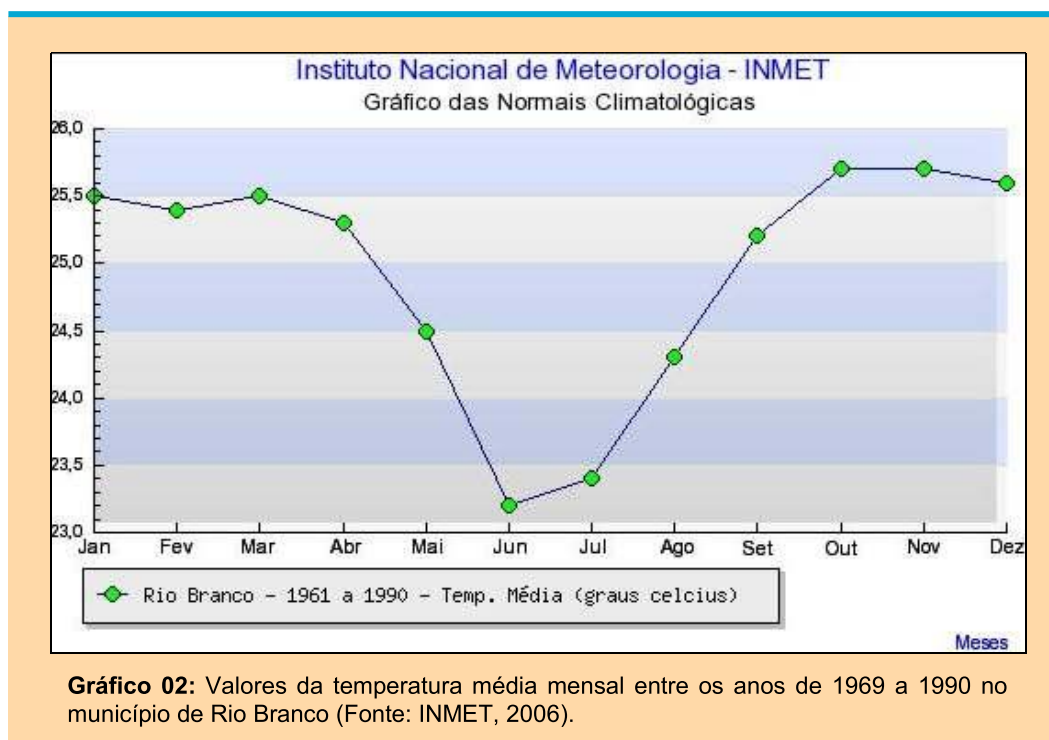
O coeficiente de armazenamento variou nos testes realizados entre 1,05 x 10⁻⁴ a 2,89 x 10⁰ (Tabela 2), correspondendo a valores bastante satisfatórios de armazenamento quando comparados ao aquífero Alter do Chão, onde Tancredi (1996) identificou valores de 3,3 x 10⁻⁴ a 4,1 x 10⁻⁴. A condutividade hidráulica da zona saturada, no entanto, apresentou valores baixos nos testes realizados, entre 2,39 a

0,025 m/dia (Tabela 2). No aquífero estudado por Tancredi (op cit.) este parâmetro variou entre 4,6 m/dia a 18,8 m/dia.

5. BALANÇO HÍDRICO

No *software* Balasc, utilizado para calcular o balanço hídrico local foram empregados os valores de precipitação mensal média (Gráfico 01) e temperaturas médias (Gráfico 02) no intervalo compreendido entre os anos de 1969 a 1990, disponíveis no endereço eletrônico do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2006). Os parâmetros obtidos foram: a evapotranspiração potencial mensal, as precipitações mensais, o saldo entre a precipitação e a evapotranspiração potencial, a soma dos valores negativos acumulados, a retenção da umidade, o armazenamento pluviométrico de cada mês, a evapotranspiração real e o excedente (Tabela 3).





MESES	TEMP °C	NOMO	COR.	EP mm	P mm	P-EP mm	NEG ACUM	ARM mm	ALT mm	ER mm	DEF mm	EXC mm
JAN	25,5	120	1,08	129	290	161	0	2000	0	129	0	161
FEV	25,4	118	0,97	114	285	171	0	2000	0	114	0	171
MAR	25,5	120	1,05	125	230	105	0	2000	0	125	0	105
ABR	25,3	117	0,99	115	170	64	0	2000	0	115	0	64
MAI	24,5	105	1,01	106	105	-1	-1	1999	-1	106	0	0
JUN	23,2	88	0,96	85	45	-40	-41	1960	-39	84	0	0
JUL	23,4	91	1,00	91	42	-49	-89	1913	-47	89	2	0
AGO	24,3	102	1,01	103	40	-63	-153	1853	-60	100	4	0
SET	25,2	115	1,00	115	100	-15	-168	1839	-14	114	1	0
OUT	25,7	123	1,06	130	170	40	-124	1879	40	130	0	0
NOV	25,7	123	1,05	129	210	81	-40	1961	81	129	0	0
DEZ	25,6	121	1,10	133	260	127	0	2000	39	133	0	88
ANO	24,9			1376	1956	580				1369	7	587
Índice Hídrico = 40.2						Clima: Úmido Megatermico						

Tabela 3: Parâmetros utilizados para a determinação da Evapotranspiração Real em Rio Branco através da metodologia desenvolvida por Thornthwaithe & Mather (apud Vasconcelos, 1994) com auxílio do software Balasc. (fonte: INMET, 2006)

LEGENDA:

EP: evapotranspiração potencial mensal;

P: precipitações mensais;

P-EP: saldo negativo entre a precipitação e a evapotranspiração potencial;

NEG ACUM: soma dos valores negativos acumulados de $P - EP$;

ARM: retenção da umidade (mm);

ALT: armazenamento do mês em questão menos o armazenamento do mês anterior;

ER: evapotranspiração real, que é igual ao potencial quando o armazenamento é total. Quando $P - EP$ for negativo, a ER é igual a soma das colunas P e ALT, sem considerar o sinal;

DEF: equivale a $EP - ER$;

EXC: é sempre zero quando não ocorre armazenamento máximo. Quando o armazenamento for máximo, o EXC corresponde à diferença entre $(P - EP) - ER$;

Por meio dos valores da precipitação e da evapotranspiração real foi obtido o índice de infiltração com os dados dos anos de 1969 a 1990. Os valores obtidos através do método de Thornthwaite & Mather (*apud* Vasconcelos 1994) foram :

Temperatura = 24.9°C

EP = 1376 mm

P = 1956 mm

$P - EP = 580$ mm

ER = 1369 mm

EXC = 587 mm

Para calcular a taxa de infiltração da água no solo (I), que representa a recarga do aquífero em estudo, foi subtraído do valor da precipitação anual o valor obtido para a evapotranspiração real;

Logo: $I = P - ER$

$I = 1956 - 1369$

$I = 587$ mm/ano com média de 48,92 mm/mês, que representa 30,49% do valor total da precipitação média.

Essa infiltração se apresenta compatível com os valores relatados para diversos outros aquíferos na região amazônica, conforme identificado por Tancredi (1996) na bacia hidrográfica do igarapé São Brás, na região de Santarém, onde foi utilizado o mesmo método para calcular o balanço hídrico local, obtendo-se um valor de cerca de 35,4% da precipitação para a taxa de recarga do aquífero livre. Em trabalho na bacia hidrográfica do igarapé Mata Fome, inserida na Região Metropolitana de Belém (PA), Gaspar (2001) avaliou o impacto urbano na área da bacia hidrográfica, obtendo taxas de recarga de cerca de 50% da precipitação para as áreas mais preservadas, enquanto que nas áreas mais atingidas pela urbanização a

percentagem de precipitação infiltrada se mostrou próxima a 32%. Na região nordeste do Pará, no município de Barcarena, Melo Junior (2002) obteve valores de 47,84% da precipitação para a taxa de recarga do aquífero livre local.

6. MAPEAMENTO HIDROGEOLÓGICO

O mapeamento do aquífero Rio Branco, realizado na sede do município teve como objetivo principal identificar suas zonas de ocorrência. O estudo dos recursos hídricos subterrâneos na cidade de Rio Branco se iniciou com o cadastramento de quarenta e oito poços situados principalmente no II Distrito pelo projeto SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, desenvolvido pela CPRM (Tabela 4 e Figura 3). Posteriormente, foram analisados alguns afloramentos do tipo corte de estrada, conforme ilustram as fotografias 4 e 5, localizados no anel viário, e interpretados produtos de sensores remotos. No entanto, o enfoque principal nesta etapa foi dado ao mapeamento de sub-superfície, buscando-se a identificação dos diversos tipos de sedimentos do sistema hidrogeológico.

Para essa investigação de sub-superfície do aquífero foram realizadas sete sondagens a trado, com o objetivo de identificar as litologias existentes no pacote sedimentar, a espessura do aquífero e das camadas aquífugas, assim como a profundidade do nível estático (Fotografia 6).

As sondagens foram feitas na estrada do Amapá, na vila Acre, na AC-40 km 12 sentido Senador Guimar, nos conjuntos Santo Afonso e Belo Jardim I, no ramal da Judia e na estrada da Sobral, conforme ilustra a figura 4.

Tabela 4: Poços cadastrados em Rio Branco durante campanha do projeto SIAGAS em setembro de 2005 e suas principais características.

Poço	UTM_N	UTM_E	Bairro	Profundidade (m)	Espessura (m)	Areia/filtro
1	8889720	632212	AC 40	9	5	4 a 9
2	8889721	632211	AC 40	9	5	4 a 9
3	8889720	632187	AC 40	9	5	4 a 9
4	8889690	632200	AC 40	9	5	4 a 9
5	8889747	631895	AC 40	11	2	7,5 a 9
6	8890281	631702	Vila Acre	12	5	7,4 a 12
7	8890819	631946	Vila Acre	7	5	2 a 7
8	8890817	631968	Vila Acre	7	5	3 a 7
9	8891058	631636	Vila da Amizade	30	9	7 a 13
9	8891058	631636	Vila da Amizade	30	9	13,4-17,4
10	8892099	632010	Loc. Santa Helena	13	2	11 a 13
11	8892204	632232	Loc. Santa Helena	9	5	4 a 9
12	8892199	631866	Loc. Santa Helena	11	7	4 a 11
13	8892714	633383	Loteam. Sto. Antonio	14	8	6 a 14
14	8892763	633689	Loteam. Sto. Antonio	14	8	7 a 14

Cont. Tabela 4: Poços cadastrados em Rio Branco durante campanha do projeto SIAGAS em setembro de 2005 e suas principais características.

Poço	UTM_N	UTM_E	Bairro	Profundidade (m)	Espessura (m)	Areia/filtro
15	8892874	633381	Loteam. Sto. Antonio	14	8	8 a 14
16	8892949	633141	Loteam. Sto. Antonio	13	3	10,5 a 13
17	8893325	633883	Belo Jardim II	12	6	6 a 12
18	8893496	633153	Belo Jardim II	14	4	10 a 14
19	8893488	633101	Belo Jardim II	14	4	11 a 14
20	8894254	632382	Maurí Sérgio	12	5	7,5 a 11
21	8894233	632337	Maurí Sérgio	12	5	7,5 a 12
22	8893683	632275	Santa Inês	8	5	3 a 8
23	8893554	632252	Santa Inês	14	0	0
24	8893535	632001	Santa Inês	11	4	7 a 11
25	8893387	631812	Santa Inês	12	8	4 a 12
26	8893437	631498	Rodovia AC 1	9	6	3 a 9
27	8893424	631513	Rodovia AC 1	9	6	4 a 9
28	8893414	631523	Rodovia AC 1	9	6	5 a 9
29	8893444	631513	Rodovia AC 1	9	6	6 a 9
30	8893435	631530	Rodovia AC 1	9	6	7 a 9
31	8893421	631543	Rodovia AC 1	9	6	8 a 9
32	8893455	631527	Rodovia AC 1	9	6	9 a 9
33	8893446	631548	Rodovia AC 1	9	6	10 a 9
34	8893443	631562	Rodovia AC 1	9	6	11 a 9
35	8893469	631550	Rodovia AC 1	9	6	12 a 9
36	8894119	631826	Maurí Sérgio	11	4	7 a 11
37	8894199	631928	Maurí Sérgio	11	4	8 a 11
38	8894833	630650	Maurí Sérgio	12	1	11 a 12
39	8894130	629633	Taquari	9	4	5 a 9
40	8893542	628898	Taquari	13	6	7 a 13
41	8894742	627815	Sobral	14	4	10 a 14
42	8894634	627605	Sobral	14	4	10 a 14
43	8894657	627641	Sobral	14	4	10 a 14
44	8894484	627639	Sobral	14	4	10 a 14
45	8892690	630043	Estrada do Amapá	8	3	5 a 8
46	8892613	630029	Estrada do Amapá	11	5	6 a 11
47	8892591	630140	Estrada do Amapá	11	5	6 a 11
48	8892694	630313	Estrada do Amapá	11	5	6 a 11

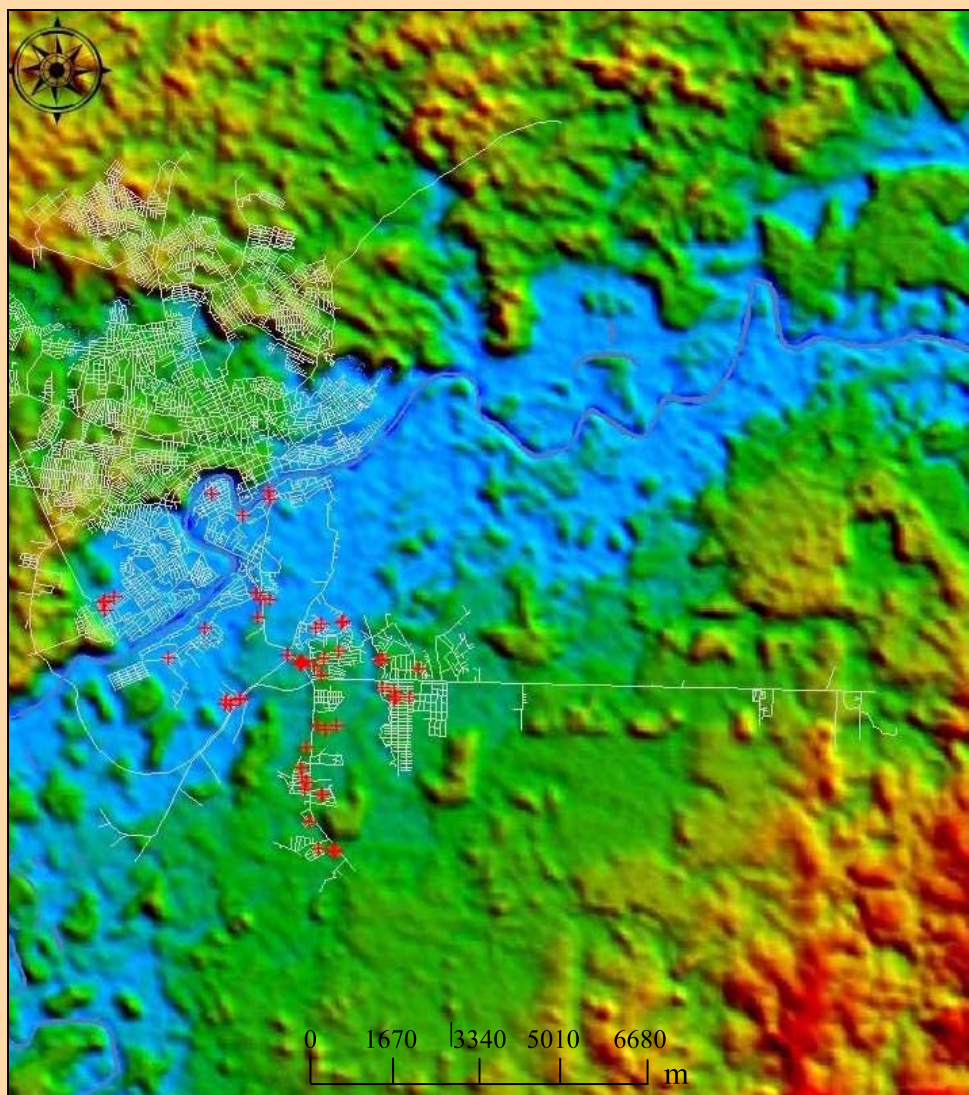
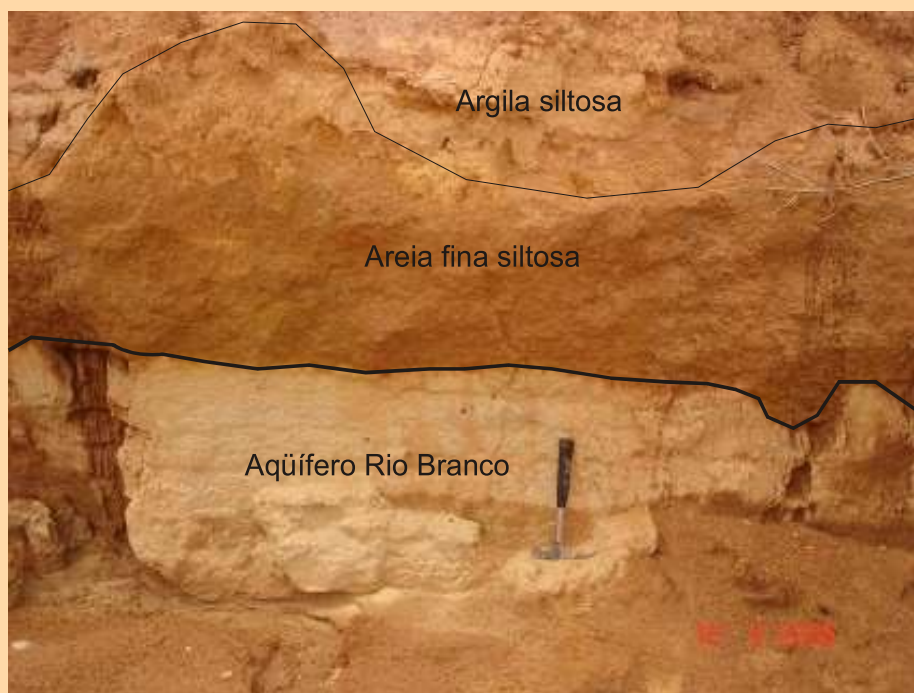


Figura 3: Localização dos poços (em vermelho) cadastrados no II distrito, durante campanha do Projeto Siagas em Rio Branco.



Fotografia 04: Identificação do aquífero Rio Branco no anel viário da capital acreana, onde estão ilustradas as camadas aquífera e aquífuga do sistema avaliado.



Fotografia 05: Detalhe das camadas aquífera e aquífuga.



Fotografia 06: Sondagem a trado realizada na Vila da Amizade, para o mapeamento de subsuperfície do aquífero Rio Branco.

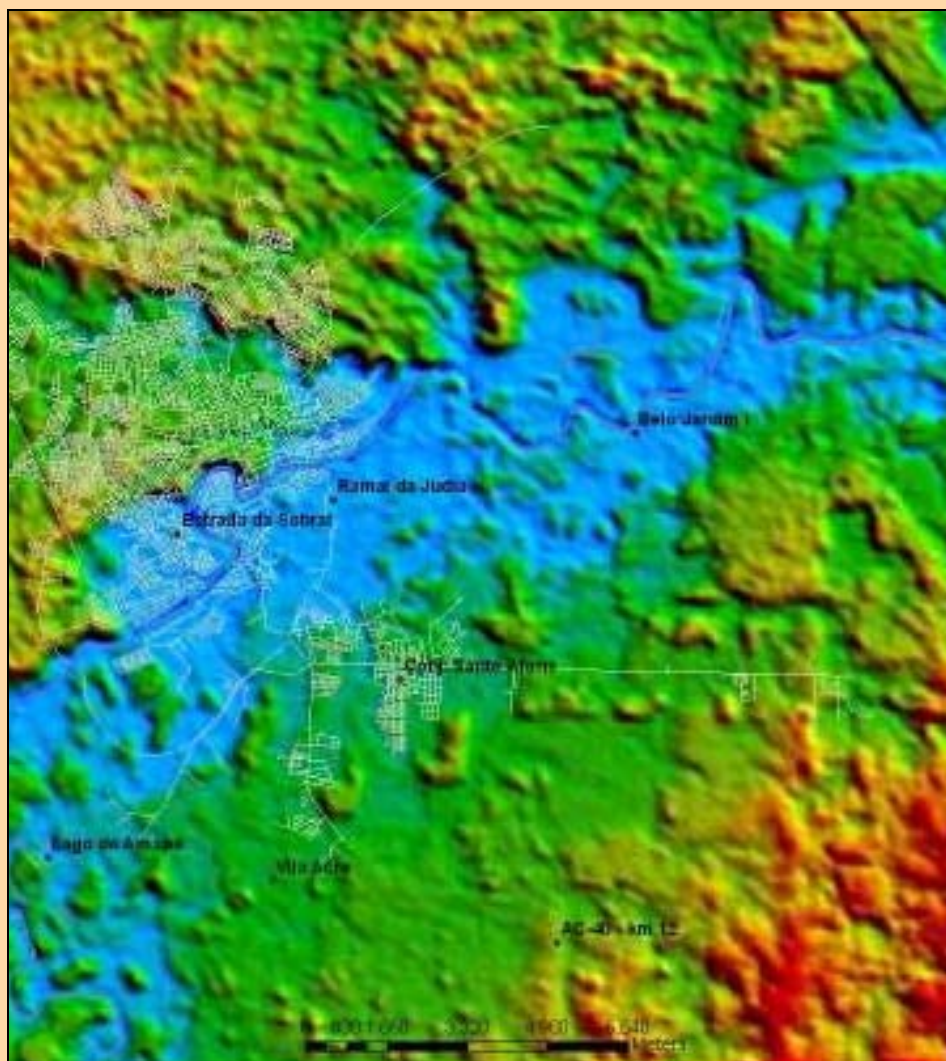


Figura 4: Localização das sondagens realizadas para mapeamento de sub-superfície do aquífero Rio Branco.

De acordo com os perfis construídos a partir dos dados dos poços cadastrados e de sua interpretação, a camada aquífera mais representativa apresentou espessura de 8 metros no poço 27, inserido no perfil 7 (Figura 5). A camada de menor expressão foi identificada no poço 52, com apenas 1 metro de areia e inserida no perfil 12, conforme ilustra a figura 6.

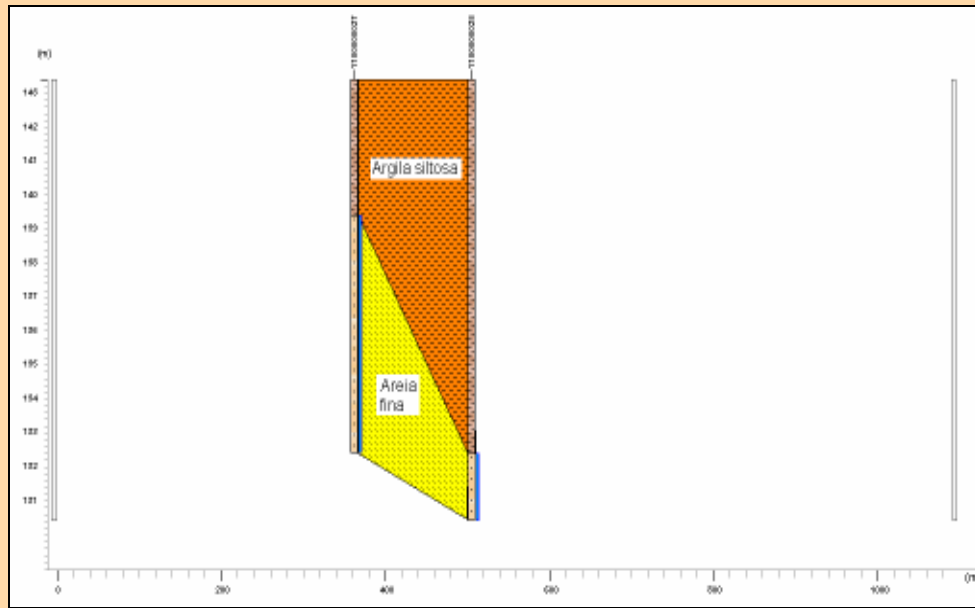


Figura 5: Perfil 7 onde foi identificada a camada aquífera mais representativa, com oito metros de espessura no poço 27.

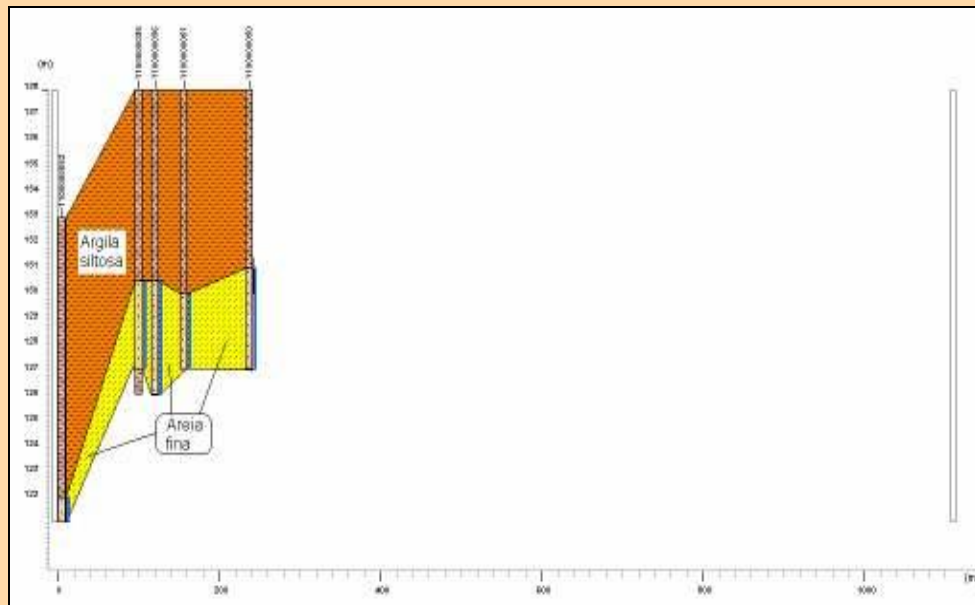


Figura 06: Perfil 12 onde foi identificada a camada aquífera menos representativa, com apenas um metro de espessura no poço 52.

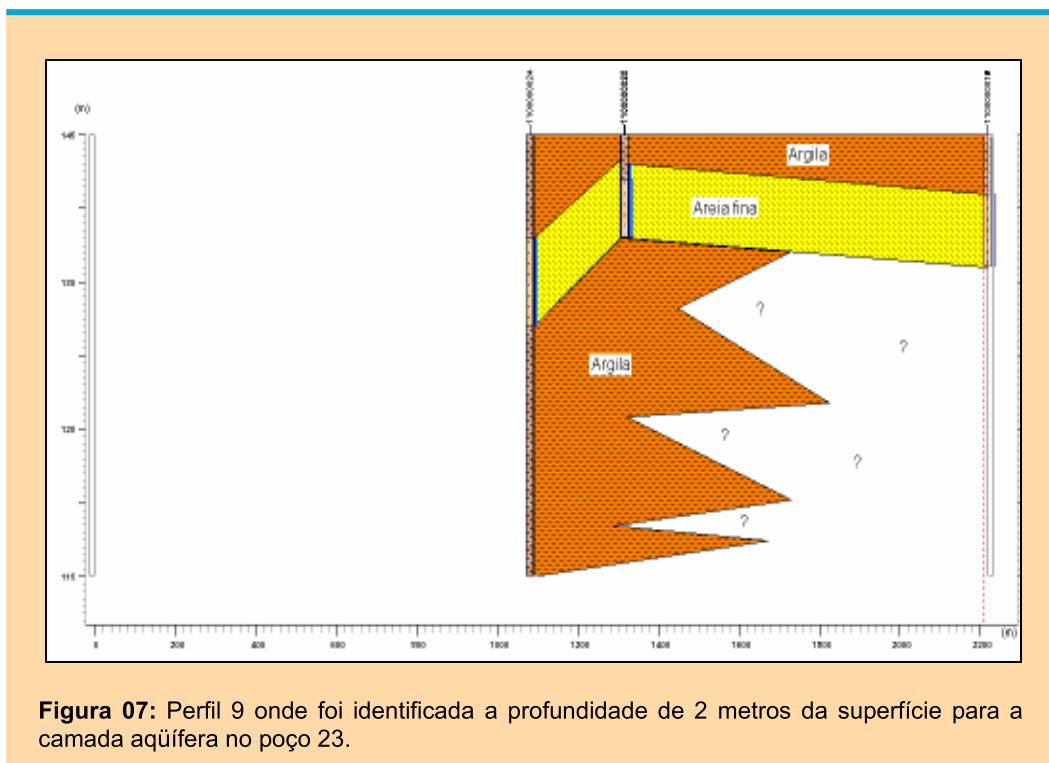


Figura 07: Perfil 9 onde foi identificada a profundidade de 2 metros da superfície para a camada aquífera no poço 23.

Nota-se nos perfis padrão descontínuo das camadas arenosas e argilosas, dispostas em um arranjo de camadas lenticulares que se intercalam e refletem o ambiente fluvial meandrante de sua formação.

Além da pouca espessura, o aquífero Rio Branco também apresenta profundidade pouco expressiva, como pode ser observado na figura 7, do perfil 9, onde a camada de areia se encontra a apenas dois metros de profundidade no poço 23. Sua ocorrência mais profunda foi identificada no poço 55 do perfil 2, a cerca de 10 metros de profundidade, como mostra a figura 8, o que pode ser ainda considerado próximo da superfície e vulnerável a contaminação das águas subterrâneas.

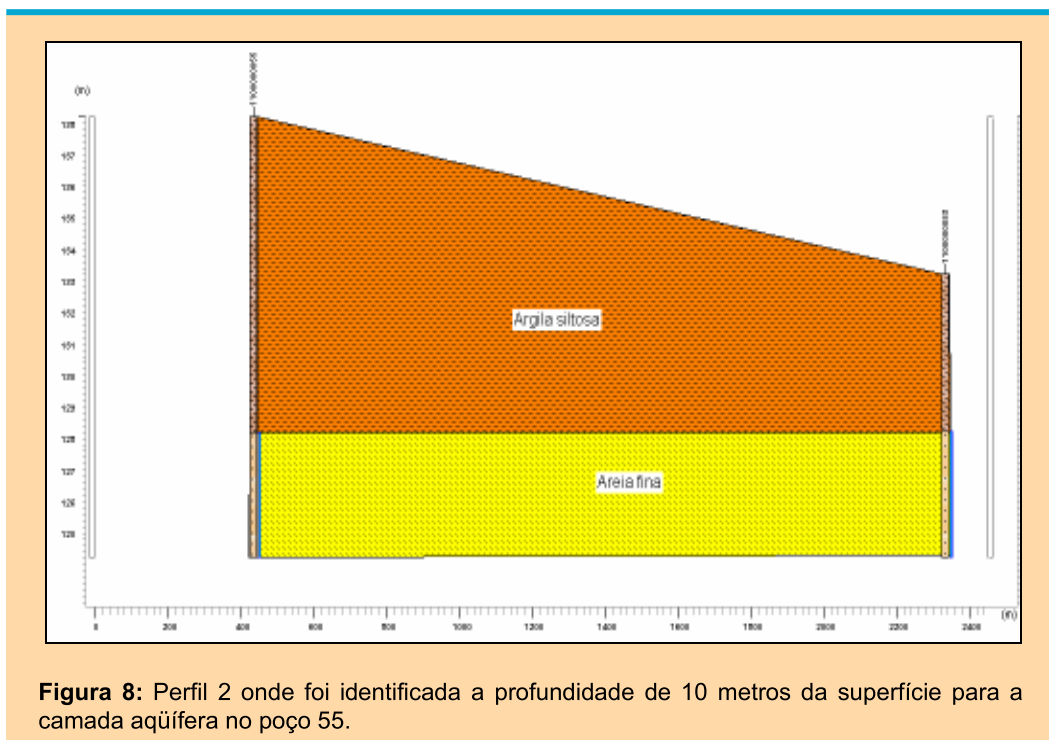


Figura 8: Perfil 2 onde foi identificada a profundidade de 10 metros da superfície para a camada aquífera no poço 55.

Os dados obtidos permitiram realizar uma análise bastante detalhada do aquífero Rio Branco. Por meio de análise táctil-visual dos sedimentos coletados durante as sondagens realizadas, e com auxílio de laudos técnicos da empresa OP Sondagens Geotécnicas, foi verificado que os dados dos poços cadastrados no II Distrito são bastante coerentes com os tipos de sedimentos coletados durante as sondagens.

Os sedimentos da primeira camada são compostos predominantemente por argila, argila siltosa e argila silto-arenosa. A segunda camada, armazenadora de água subterrânea é composta por areia fina a média, ocorrendo algumas vezes material siltooso, clastos milimétricos de laterita e grãos de argila rica em matéria orgânica. Abaixo da segunda camada ocorre um material extremamente impermeável, conhecido popularmente por “salão” e que corresponde aos argilitos da Formação Solimões.

Estas camadas se encontram ilustradas nas seções geológicas construídas por correlações estratigráficas dos poços cadastrados e das sondagens realizadas (figuras 9 a 14).

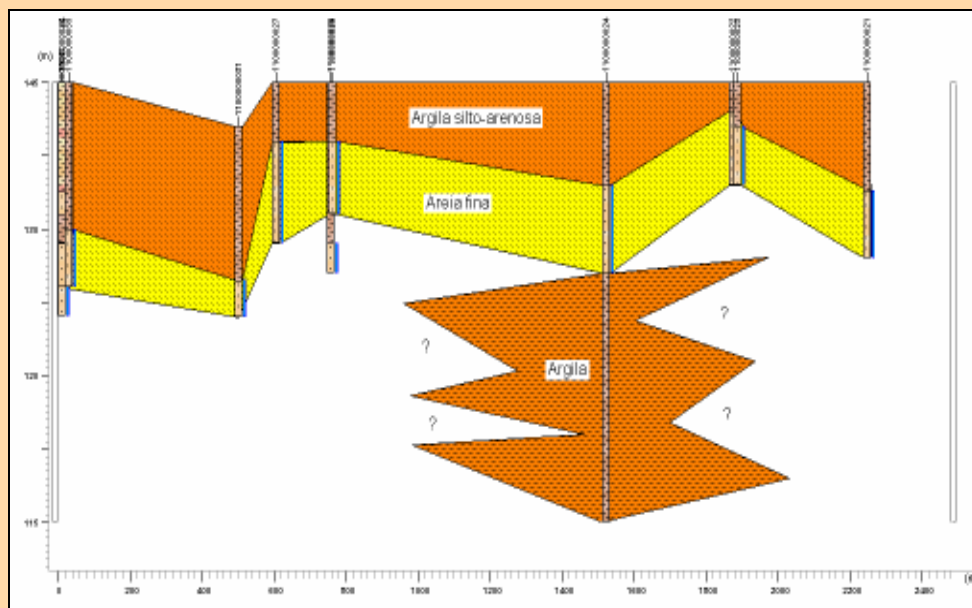


Figura 9: Seção geológica ilustrando as camadas aquífera e aquífugas identificadas nos poços 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 31 e 33 cadastrados no II Distrito.

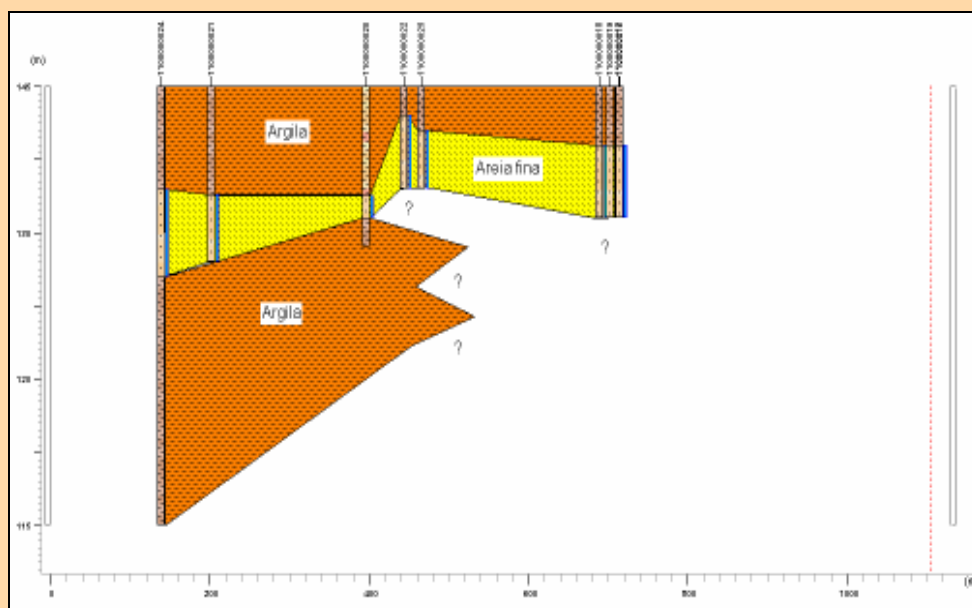


Figura 10: Seção geológica ilustrando as camadas aquífera e aquífugas identificadas nos poços 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24 cadastrados no 2º Distrito.

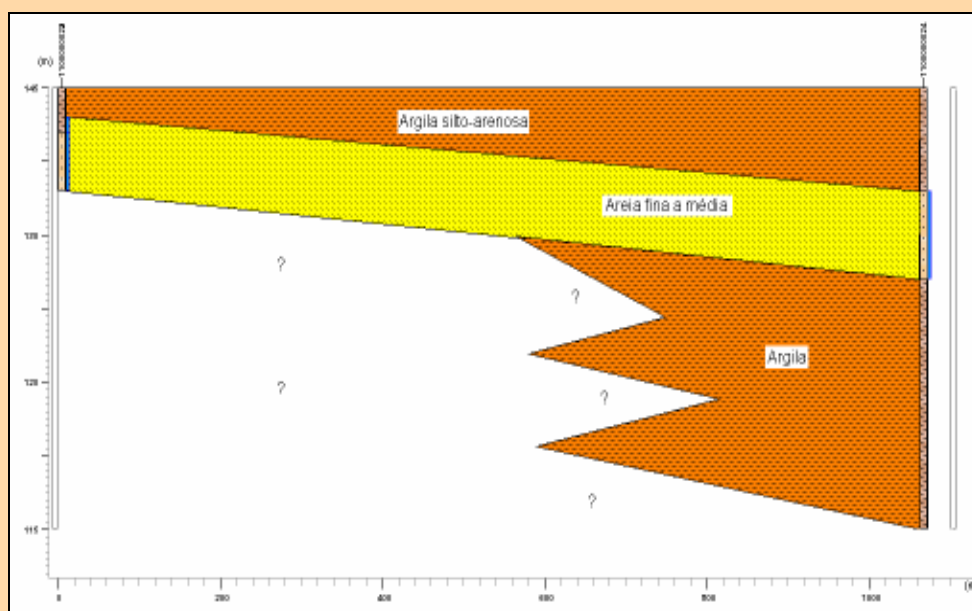


Figura 11: Seção geológica ilustrando as camadas aquífera e aquífugas identificadas nos poços 23 e 24 cadastrados no 2º Distrito.

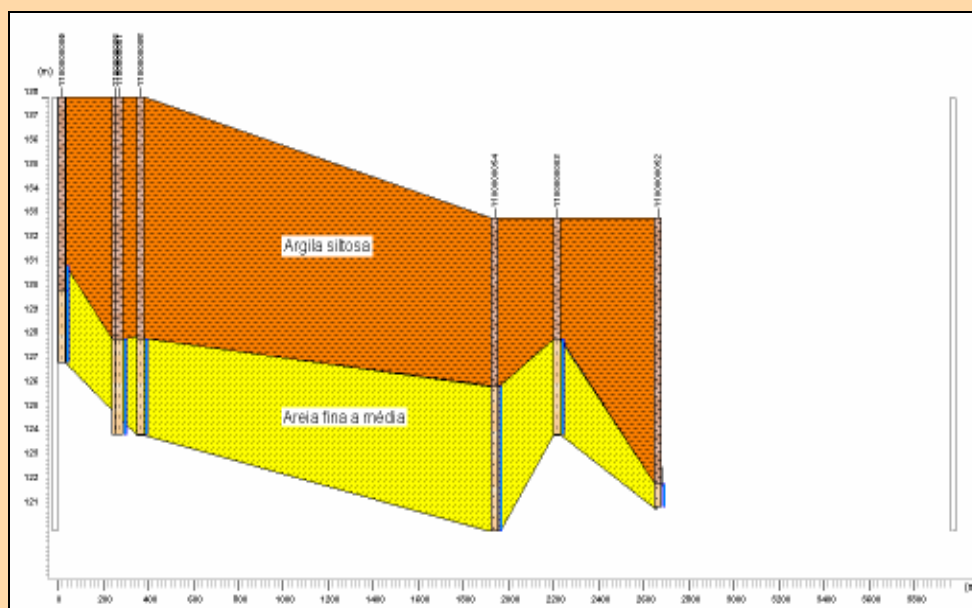


Figura 12: Seção geológica ilustrando as camadas aquífera e aquífugas identificadas nos poços 50, 52, 53, 54, 56, 57 e 58 cadastrados no 2º Distrito.

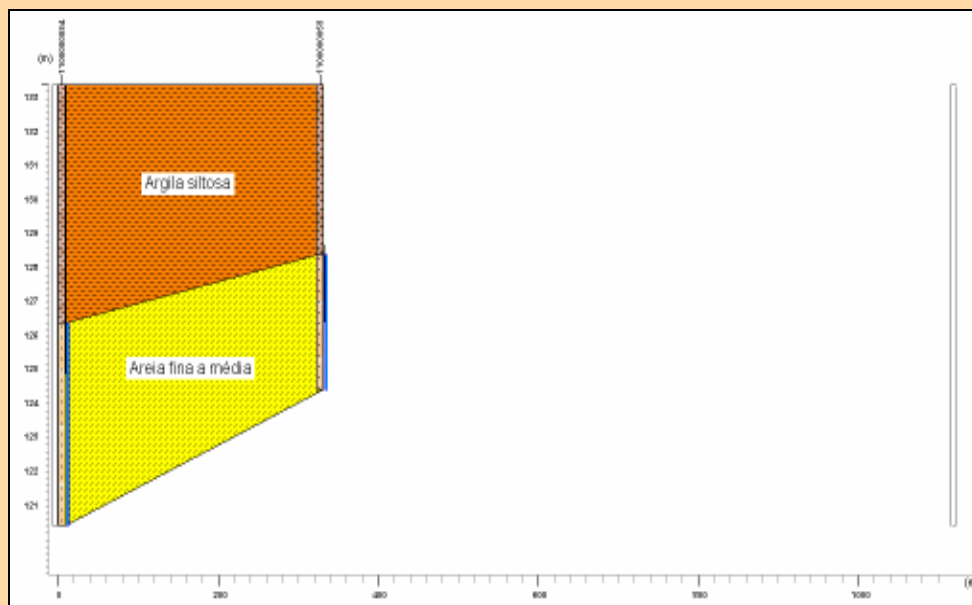


Figura 13: Perfil estratigráfico 20 ilustrando as camadas aquífera e aquífugas identificadas nos poços 53 e 54 cadastrados no 2º Distrito.

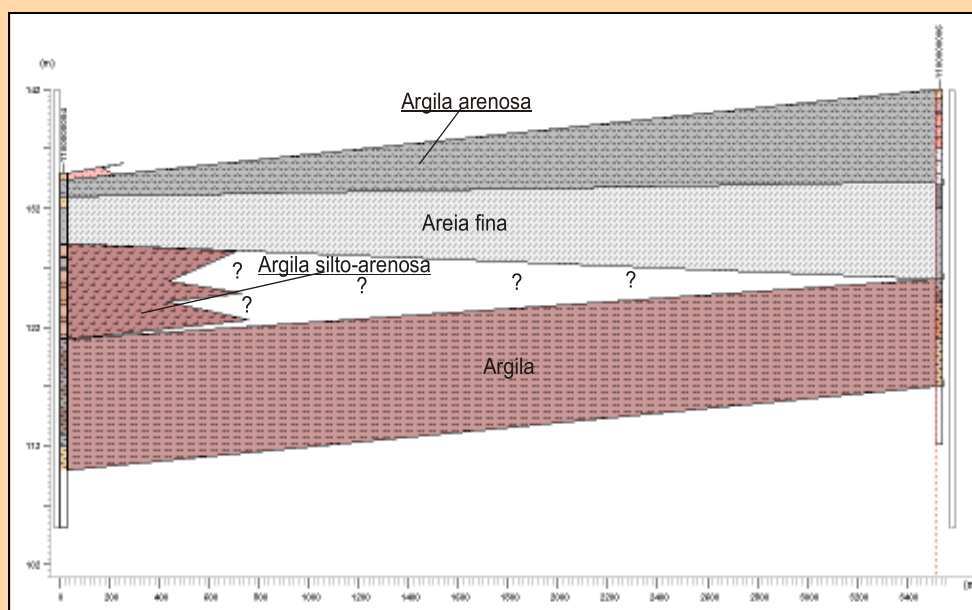


Figura 14: Seção geológica obtida a partir das sondagens 4 e 6 ilustrando as camadas aquífera e aquífugas no 2º Distrito.

Após analisar os dados das sondagens e dos poços cadastrados foi possível caracterizar o aquífero Rio Branco como sendo do tipo confinado drenante, ou seja, a camada que se encontra acima dos sedimentos arenosos é semi-permeável, constituída por argila, argila siltosa e argila silto-arenosa, conferindo um caráter de baixa capacidade de infiltração direta da água precipitada na superfície, mas que não é totalmente impermeável como a camada localizada abaixo do aquífero, constituída pelos sedimentos argilosos da Formação Solimões. Desta forma, a recarga se dá de

forma direta sobre a área de ocorrência do aquífero Rio Branco. Igualmente, verifica-se um predomínio dos sedimentos argilosos em relação aos arenosos (aquífero).

A área de ocorrência do aquífero foi calculada em 122,46 km², através do *software ArcGis 9.1*, estando localizado principalmente no II Distrito da capital (Figuras 15 e 16), e corresponde a unidade geológico-geotécnica Terraço Fluvial, antiga planície de inundação do rio Acre.

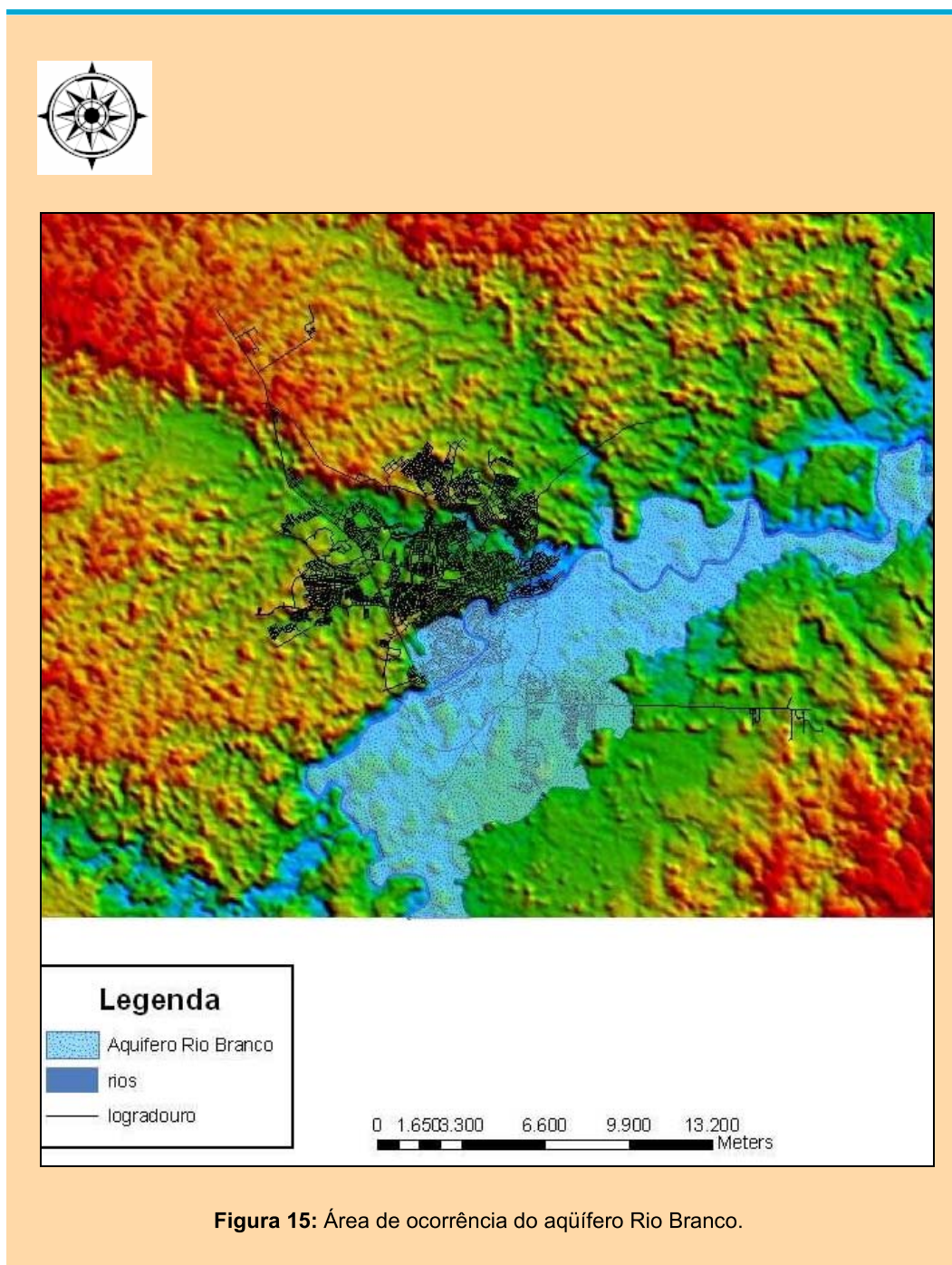
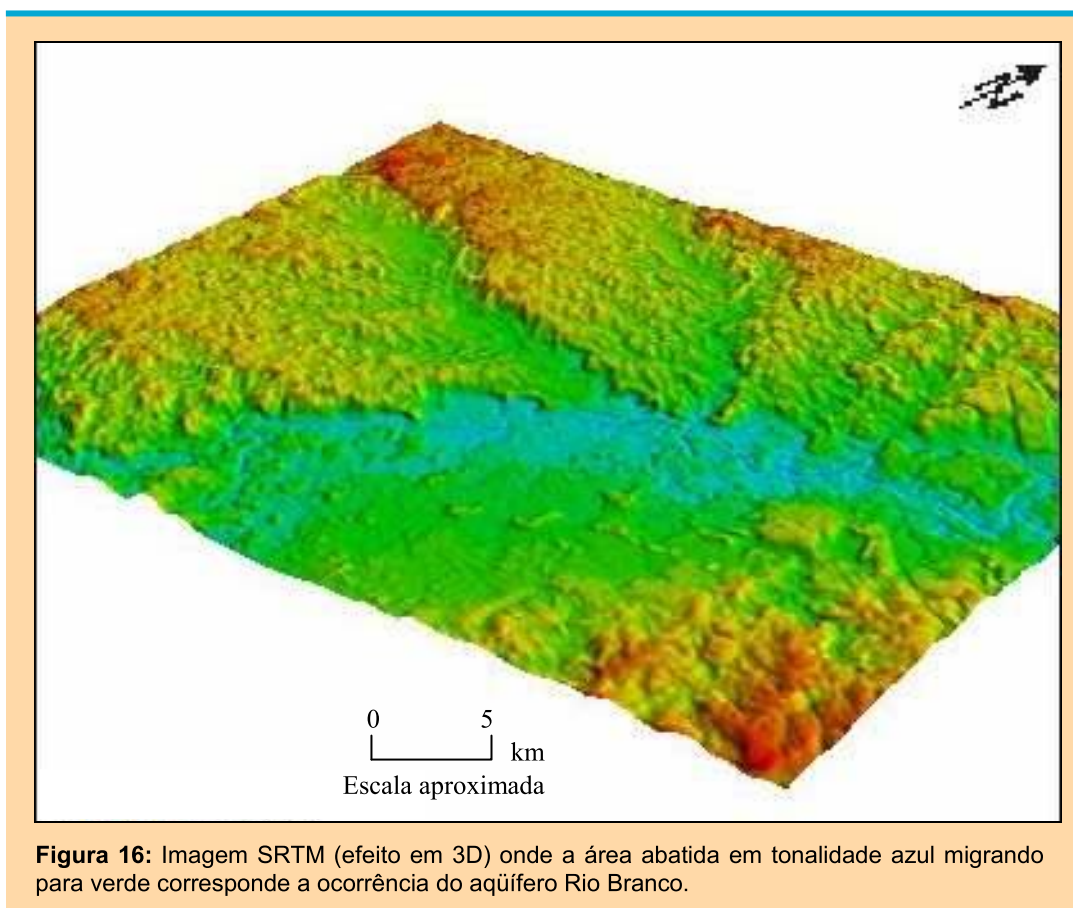


Figura 15: Área de ocorrência do aquífero Rio Branco.



O desenvolvimento do aquífero Rio Branco inicia-se com a deposição de areias e argilas, em um sistema fluvial meandrante, sobre os argilitos da Formação Solimões, com a migração do canal principal do rio Acre de SE para NW, marcada pela presença de meandros abandonados na antiga planície de inundação desse rio.

7. DISPONIBILIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Em muitos casos, como no município de Rio Branco, os recursos hídricos existentes podem se apresentar de maneira limitada, em função do volume da água a ser explorado ser maior que sua recarga, fato inibidor para a utilização em grande escala deste recurso. Desta forma, um dos primeiros objetivos na elaboração de um programa de gerenciamento sustentável de um sistema aquífero é a determinação da quantidade de água que pode ser extraída do manancial sem comprometer seu uso futuro, ou seja, a determinação da disponibilidade hídrica deste sistema (Vidal, 2003).

Neste contexto é primordial a determinação do volume de água subterrânea disponível para exploração na área de interesse, com o objetivo de resolver a principal questão levantada durante o desenvolvimento do presente estudo:

Pode o aquífero Rio Branco abastecer as populações atuais e futuras da sede do município de Rio Branco?

Sem entrar no mérito dos limites econômicos estabelecidos pela disponibilidade e sustentabilidade de um aquífero (Vidal, 2003) é pertinente discorrer brevemente a respeito dos princípios clássico e moderno, referentes ao limite físico de um sistema aquífero.

De acordo com o *princípio clássico* de determinação da disponibilidade de um sistema aquífero, fica estabelecido que o limite físico da descarga explotável do sistema é definido pelo balanço hídrico da área, elaborado para a fase anterior ao seu desenvolvimento. Por esse conceito, a utilização de um sistema aquífero só é sustentável em longo prazo, quando o volume de água que entra no sistema pela recarga natural (influxos) não é excedido pelo volume de água bombeado pelos poços e não ocorre extração da água anteriormente armazenada no sistema (Vidal op cit).

A equação que estabelece o volume a ser explorado de um aquífero, de acordo com este princípio, em um determinado período de tempo, se dá simplesmente por:

$$V \leq I \text{ (V= volume a ser explorado; I= Influxos no sistema).}$$

Conseqüentemente, por este conceito clássico, acredita-se que um aquífero esteja submetido a um regime de superexploração em situações onde o volume bombeado seja maior que a infiltração e ocorra qualquer alteração no volume armazenado anteriormente no sistema, ou seja, comece a ser explorada a reserva permanente do sistema aquífero.

A grande problemática estabelecida por esta visão decorre da metodologia para elaboração do balanço hídrico, que considera apenas as condições naturais do aquífero, isto é, aquelas verificadas antes de sua utilização pelo homem, quando o sistema ainda se encontrava em equilíbrio.

De acordo com Theis (1940 *apud* Custodio e Llamas, 1975) a descarga explotável de uma bacia de água subterrânea não é a sua recarga de longo prazo, estabelecida sob condições naturais. Nestas condições, um sistema aquífero está em estado de equilíbrio dinâmico, sendo a quantidade de água que entra no sistema (influxos ou recarga) aproximadamente igual a que sai (defluxo ou descarga), em um determinado período de tempo. Por conseqüência a este estado de equilíbrio, o volume armazenado é constante ou varia sobre certa condição média em resposta às variações sazonais, e a superfície potenciométrica é estável. Porém, a ocorrência de qualquer descarga artificial (via poços produtores) resulta no desequilíbrio do sistema.

O reconhecimento de que o limite da disponibilidade de um aquífero, determinado pelo balanço hídrico pré-desenvolvimento, era extremamente rígido e acarretava a imposição de um valor relativamente baixo para a quantidade de água a

ser explorada, possibilitou o surgimento de uma variante ao princípio clássico, na qual se considera somente o volume armazenado no sistema. Esta variante também utiliza as condições impostas pela recarga da área estudada no cálculo da disponibilidade hídrica, porém permite a utilização de uma parcela da água armazenada anteriormente no aquífero, em adição ao volume definido por aquele fator (Vidal, op cit).

A partir deste conceito, a disponibilidade de um sistema aquífero é definida como o volume máximo que pode ser extraído, incluindo eventualmente uma parcela do armazenamento, com descarga constante, durante um determinado período de tempo, sem que se produza um efeito indesejável de qualquer ordem (Costa *apud* Vidal, 2003).

Basicamente a aplicação desta variante consiste em determinar a recarga natural do aquífero e estabelecer a quantidade de água a ser retirada do sistema, a partir de um percentual considerado seguro do volume total armazenado, e, o período de tempo em que deve ocorrer a exploração. Com isso, a equação utilizada para calcular o volume a ser explorado de um aquífero (V) é representada por:

$V = I + \Delta S/t$ (I = influxos do sistema; ΔS = parcela do volume armazenado no sistema; T = período de utilização).

O problema da aplicação da variante do princípio clássico decorre das incertezas no cálculo do volume armazenado no sistema e das variáveis consideradas no estabelecimento do percentual dito seguro de utilização e também do uso do balanço hídrico elaborado para as condições de equilíbrio. Diante de tantas incertezas vale salientar que atualmente tanto o princípio clássico quanto sua variante não são mais utilizados na determinação do limite físico da disponibilidade dos sistemas aquíferos, pois simplificam os fenômenos de subsuperfície (Vidal, 2003).

Segundo Alley *et al.* (*apud* Vidal, 2003) existem fatores decorrentes do desenvolvimento do sistema a se considerar na determinação da disponibilidade de um aquífero. Sob estas novas condições, um volume maior de água subterrânea pode ser extraído, proporcionado pela entrada de mais água no sistema, saída de menos água do sistema e retirada de água armazenada no sistema ou pela combinação dos três fatores, conforme ilustra a figura 17 que representa as alterações provocadas pelo bombeamento nas condições do balanço hídrico de um sistema.

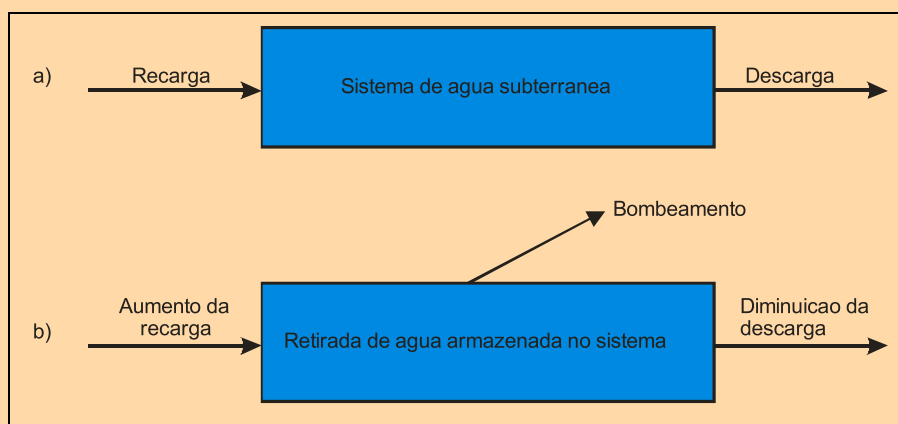


Figura 17: Sistema de recarga e descarga das águas subterrâneas em um aquífero intacto (a) e explorado (b) (Alley *apud* Vidal, 2003).

Ainda segundo os autores, a principal fonte de alimentação de um poço produtor muda em função do tempo de bombeamento, da água subterrânea armazenada no sistema para uma corrente de fluxo, figura 18, sendo que a escala de tempo em que isso ocorre depende das características hidráulicas do aquífero, e da distância entre o poço e a corrente de fluxo.

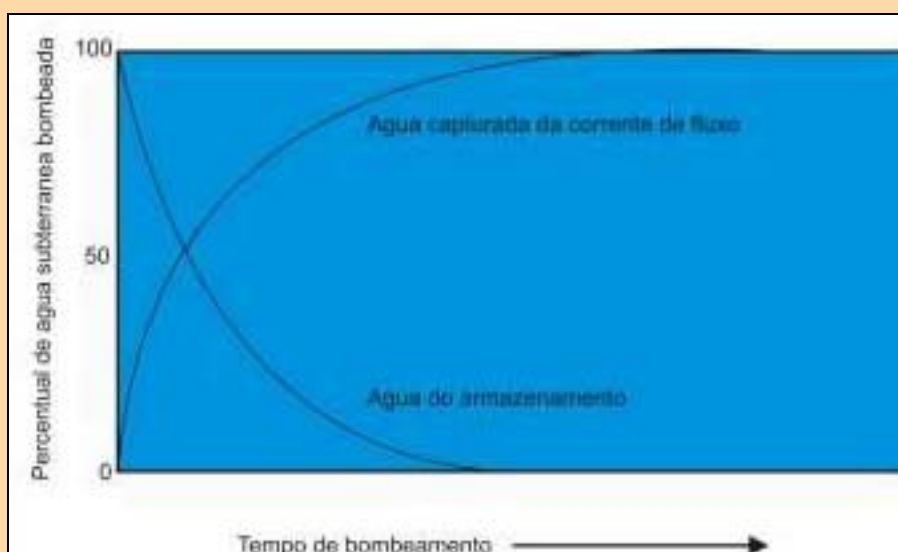


Figura 18: Relação entre a fonte de alimentação de um poço e o tempo de bombeamento (Alley *apud* Vidal, 2003).

Segundo Bredehoeft (*apud* Vidal, 2003), a disponibilidade de um aquífero não depende do balanço hídrico pré-desenvolvimento nem do volume de recursos armazenados, mas sim da sua capacidade dinâmica em capturar ou incorporar água ao seu próprio sistema. Para o autor o volume de água incorporado pelo sistema é que

determina sua disponibilidade, e a taxa na qual isso ocorre é denominada de taxa de captura, que indica a taxa de bombeamento sustentável do aquífero.

Com base nestes conceitos, o *princípio moderno de disponibilidade hídrica* estabelece que o limite da descarga explotável de um sistema aquífero é determinado pelos novos componentes de fluxo subterrâneo incorporados pelo seu desenvolvimento. Sendo assim, a disponibilidade é definida pela recarga natural do sistema (influxos) e pelo aumento da própria recarga (incremento dos influxos), diminuição da descarga natural (redução dos defluxos) e remoção de uma parcela da água armazenada, sendo a equação que rege o volume de água que pode ser bombeada do aquífero (V) é dada por:

$$V = I + \Delta I + \Delta D + \Delta S$$

onde:

I = influxos do sistema [L^3/T]

ΔI = volume adicionado aos influxos do sistema [L^3/T]

ΔD = volume abstraído dos defluxos do sistema [L^3/T]

ΔS = volume de água abstraído do armazenamento do sistema [L^3/T]

A aplicação deste conceito consiste, basicamente, em determinar e quantificar a existência de componentes significativos de fluxo de água subterrânea em termos das novas condições do balanço hídrico, em resposta ao desenvolvimento do sistema.

Em aquíferos submetidos à exploração as reservas se modificam. No caso de aquíferos conectados com rios, uma elevada exploração pode aumentar muito a reserva reguladora, devido à recarga induzida da água superficial (Tancredi, 1996).

Além da análise mais específica destes novos componentes de fluxo, envolvidos na equação do balanço hídrico da área, é fundamental também avaliar as respostas deste frente às mudanças no sistema de fluxo pela extração de água dos poços, as alterações no padrão de recarga pela irrigação e desenvolvimento urbano, a mudança na vegetação e a qualquer outra atividade relacionada com os recursos hídricos. A realimentação induzida pode ocorrer no próprio aquífero, com o aumento da taxa de infiltração da água pluvial, a exemplo do que ocorreu no aquífero aluvial do baixo rio Lobregat, cuja reserva reguladora natural era de $10 \times 10^6 \text{ m}^3$, foi modificada artificialmente para quase $200 \times 10^6 \text{ m}^3$ devido à intensa exploração (Custodio e Llamas *apud* Tancredi, 1996).

Apesar da acuidade desta metodologia na determinação da disponibilidade de um sistema, a sua aplicação apresenta dois problemas. O primeiro deles é que a

definição do limite físico de um aquífero é bastante complexa, envolvendo a relação de inúmeros parâmetros hidrológicos, hidrodinâmicos e sócio-econômicos, fato que demanda uma quantidade considerável de informações, de recursos financeiros elevados e um longo período de tempo.

O outro problema do uso deste princípio é que a sua aplicação exclusiva na determinação do volume a ser explorado pode acarretar prejuízos futuros consideráveis à região e/ou ao próprio sistema. Resumidamente, se o volume estabelecido for baixo, pode inibir o desenvolvimento econômico da região, e se for alto, pode permitir a exploração insustentável do manancial. Desta forma, se faz necessário uma análise bastante cuidadosa dos dados disponíveis a fim de se evitar que o aquífero seja explorado de forma inadequada, ou seja, subutilizado ou superexplorado.

Diante do exposto foi possível ponderar alguns valores sobre a disponibilidade hídrica do aquífero Rio Branco.

Se fosse utilizado no presente estudo o *modelo clássico* para cálculo das reservas do aquífero Rio Branco; considerando: o volume de água existente no balanço hídrico, a reserva reguladora correspondente à variação de nível do lençol freático de cerca de 5 metros, em média, e a porosidade efetiva para este tipo de aquífero aluvionar na razão de 15% (Feitosa, 1997), multiplicado pela área de 122.460.000 m² do aquífero rio Branco; obteríamos um valor de 91.845.000 m³ de água, capaz de abastecer 1.258.151 habitantes durante 1 ano com 200 litros de água por habitante/dia, de acordo com os valores estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde.

Considerando uma espessura média das camadas aquíferas de 8 metros, identificada nos perfis dos poços cadastrados e nas sondagens realizadas, com igual porosidade efetiva, obtém-se um valor de 146.952.000 m³ de água para a reserva permanente do aquífero Rio Branco. Este volume poderia abastecer uma população de 2.013.041 habitantes durante um ano, com 200 litros de água/habitante/dia.

Somados os valores de ambas as reservas têm-se como reserva total do Aquífero Rio Branco, através do modelo clássico, um volume de água suficiente para abastecer 3.271.192 habitantes com 200 litros de água todos os dias, durante o ano. Estes valores globais são superlativos para utilização no abastecimento público, principalmente se for considerada a população de Rio Branco, estimada em cerca de 305.731 habitantes para o ano de 2005, de acordo com o IBGE (2006). Deve-se levar em conta que a ocupação urbana no II Distrito, a heterogeneidade do aquífero e sua extensão longitudinal, abrangendo as áreas rurais, dificultam sua total exploração.

Conforme o *princípio moderno* de cálculo da disponibilidade hídrica de um sistema aquífero muitos outros parâmetros, além da recarga, devem ser considerados, como o volume adicionado aos influxos, o volume abstraído dos defluxos, ambos através do sistema de bombeamento, assim como o volume de água abstraído do armazenamento do sistema. Assim, por meio dos testes de bombeamento e da análise preliminar das informações dos proprietários de captação de água subterrânea, no II Distrito de Rio Branco, verificou-se que esta área já é responsável por considerável abastecimento do município pela captação por poços semi-artesianos rasos e distribuição da água feita por carros-pipa. Verificou-se ainda que a recuperação de alguns poços, após cerca de seis a oito horas de bombeamento com vazão de cerca de 10 m³/h, a exemplo do teste 3 realizado na Vila Amizade, apresentaram rebaixamento do nível dinâmico de apenas 2.43 m, e recuperação do nível estático em menos de trinta minutos. Caracteriza um rápido e expressivo volume de água adicionado aos influxos do sistema, além da transmissividade, superior a 120 m²/dia, o que segundo Tancredi (1996) é suficiente para abastecimento público.

8. QUALIDADE DA ÁGUA

Sob o ponto de vista hidrogeológico a qualidade da água subterrânea é tão importante quanto o aspecto quantitativo. A disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para determinados tipos de uso depende fundamentalmente da qualidade físico-química, biológica e radiológica (Feitosa & Filho, 1997). O estudo hidrogeoquímico tem por finalidade identificar e quantificar as principais propriedades e constituintes químicos das águas subterrâneas, procurando estabelecer uma relação com o meio físico e com os processos e fatores que influem na evolução da sua qualidade, que podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero. A princípio, a água subterrânea tende a aumentar as concentrações de substâncias dissolvidas à medida que percola os diferentes aquíferos. No entanto, muitos outros fatores interferem, tais como: clima, composição da água de recarga, tempo de contato água/meio físico, além da contaminação causada pelo homem (Feitosa & Filho op cit.).

Para caracterizar a qualidade das águas do aquífero Rio Branco foi elaborada e desenvolvida uma campanha de amostragem em poços tubulares previamente selecionados, com ênfase nas chamadas fontes de captação do II Distrito (comércio de água subterrânea em caminhões-pipa). Foram coletadas e analisadas águas de 27 poços perfurados no aquífero Rio Branco; além disso, para efeitos de comparação, também foram feitas análises de três poços situados em terrenos da Formação Solimões, no I Distrito (Figura 19).

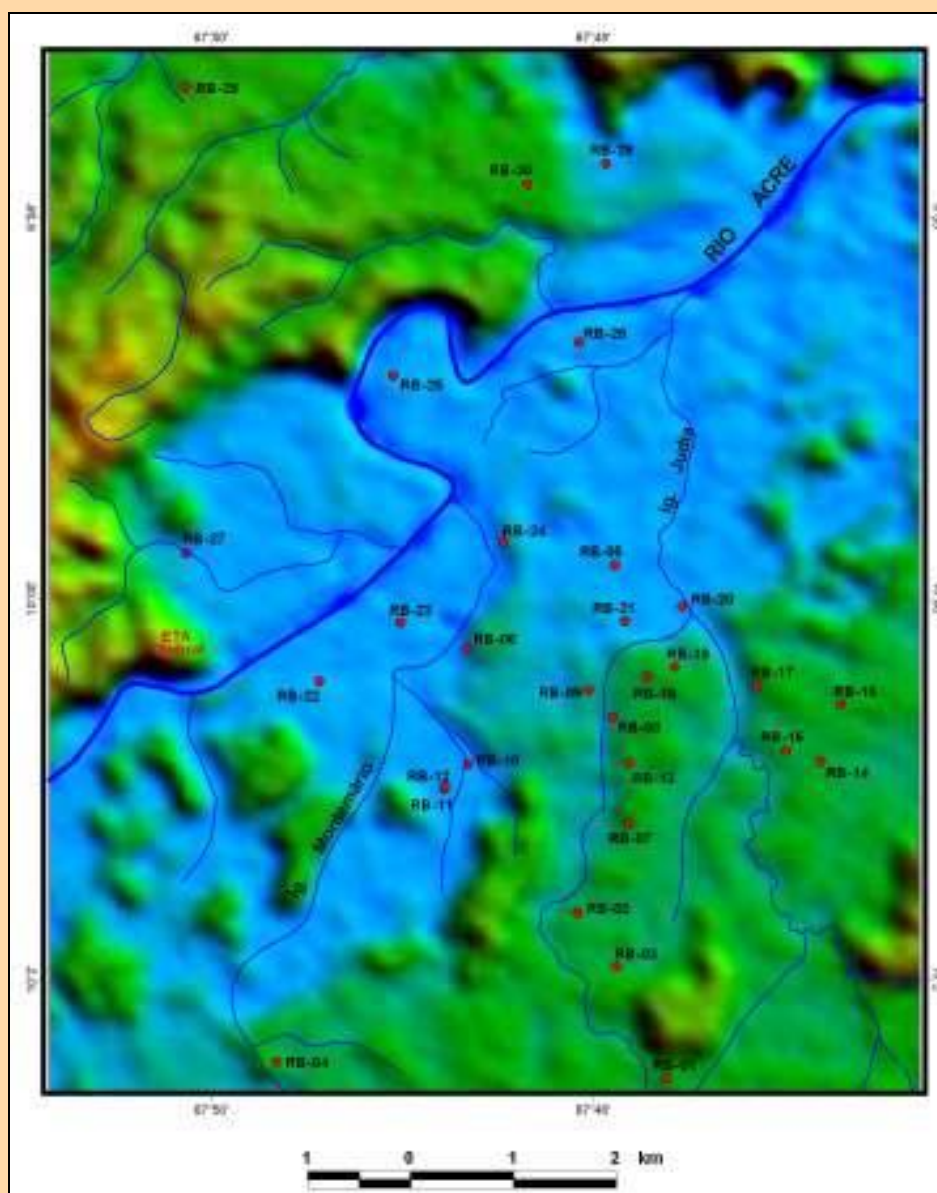


Figura 19: mapa de localização dos pontos de coleta das amostras de água subterrânea.

Os resultados das análises dos parâmetros físico, químicos e bacteriológicos são apresentados nas tabelas 4, 5 e 6. Para caracterizar os diversos tipos de águas subterrâneas os dados analisados foram plotados no diagrama de Piper, com auxílio do *software* Qualigraf, classificando-as em grupos distintos, de acordo com os íons predominantes.

Amostra	Poço Amostrado	Endereço	Bairro	Prof. Poço (m)	Aquífero	pH	CE (µS/cm)
RB-01	Fonte do Deda	Rodovia AC-40, km 08	Vila Acre	9,0	Rio Branco	5,1	42
RB-02	Fonte do Zé Airton	Rua Jonas Maranguape, 298	Vila da Amizade	10,0	Rio Branco	4,6	27
RB-03	Fonte de Isaías de Souza (Stia Luzia)	Rodovia AC-40, km 06	Vila Acre	10,0	Rio Branco	4,7	41
RB-04	Fonte MGM	Ramal do Rodó s/n	Estrada do Amapá	10,0	Rio Branco	4,8	35
RB-05	Fonte de Julio Batista	Ramal da Judia, 228	Areial	12,0	Rio Branco	5,7	41
RB-06	Água Mineral Monte Mario	Via Chico Mendes, km 03	Taquari	18,0	Rio Branco	5,0	34
RB-07	Ministério da Agricultura	Rodovia AC-40, 793	Loteamento Santa Helena	10,0	Rio Branco	4,6	23
RB-08	Fonte Transguga	Via Chico Mendes s/h	Santa Inês (Corrente)	10,0	Rio Branco	4,7	61
RB-09	Fonte Canaã	Via Chico Mendes, 3839	Areial (Corrente)	7,0	Rio Branco	4,5	30
RB-10	Residência de Raimundo Frota	Estrada do Amapá, km 01	Estrada do Amapá	10,0	Rio Branco	5,7	246
RB-11	Residência de Audicelio Santos	Rua das Flores, 39 – Lot. Girassol	Estrada do Amapá	8,5	Rio Branco	4,9	87
RB-12	Residência de Maria G. R. Ferreira	Rua das Flores, 56 – Lot. Girassol	Estrada do Amapá	8,5	Rio Branco	5,2	107
RB-13	Mercearia de Vagner F. Silva	Rua Principal, casa 88 – Lot. Farhat	Loteamento Santa Helena	11,5	Rio Branco	4,6	16
RB-14	Residência de Nilsolino de Souza	Rua Ciro Almeida, Qd 19, lote 7	Loteamento Santo Afonso	11,0	Rio Branco	4,3	24
RB-15	Residência de Francisco A. Araujo	Rua Roque Garcia, 350	Loteamento Santo Afonso	?	Rio Branco	4,4	35
RB-16	Residência de Darci N. Souza	Rua 12 de outubro, 118	Belo Jardim II	12,0	Rio Branco	4,5	79
RB-17	Residência de Cleonice Almeida	Ramal da Judia, 1612	Belo Jardim I	13,0	Rio Branco	4,0	167
RB-18	Residência de Juventino Pego	Rua Edmundo Pinto, 608	Santa Inês	11,0	Rio Branco	4,1	148
RB-19	Residência de Rodomilson Araujo	Rua da Sanacre, 442	Santa Inês	11,0	Rio Branco	4,3	113
RB-20	Residência de Cleilson Gama	Rua da Judia, 536	Mauri Sérgio	?	Rio Branco	5,7	61
RB-21	Residência de Marinete Teles	Travessa Coelho, 687	Santa Inês	12,0	Rio Branco	5,8	241
RB-22	Residência de Francisca de Souza	Rua Baguari, 2255	Taquari	12,0	Rio Branco	5,1	170
RB-23	Residência de Maria L. C. Silva	Rua Baguari, s/n	Taquari	7,0	Rio Branco	5,0	180
RB-24	Residência de Joaquim M S Silva	Rua Padre José, 675	Triângulo Novo	12,0	Rio Branco	5,9	256
RB-25	Hotel Palmeiral	Rua Palmeiral, 482	Cidade Nova	15,0	Rio Branco	5,4	239
RB-26	Restaurante do Mineiro	Rua 6 de Agosto, 753	06 de Agosto	13,0	Rio Branco	5,3	248
RB-27	Residência de Marcelo S Moura	Rua Adalberto Sena, 623	Sobral	9,0	Rio Branco	4,8	78
RB-28	Condomínio Manoel Julião Bloco J	Av. Veterano Raimundo Pinto s/n	Geraldo Fleming	8,0	Solimões	4,6	50
RB-29	Residência de Glauco Feitosa	Rua 10 de Junho, 663	Casa Nova	9,0	Solimões	4,4	179
RB-30	Residência de Maria S. N. Souza	Travessa Mirim, 200	Aviário	6,0	Solimões	4,3	241
não	Fonte Santa Clara	Rua Seringueira, 254	Vila da Amizade	14,0	Rio Branco	4,0	57
não	Fonte de Eliseu Mesquita Silva	Rodovia AC-40, km 05	Vila da Amizade	11,0	Rio Branco	3,8	29
não	Fonte de Antonio Lopes	Rua Jonas Maranguape, 38	Vila da Amizade	9,0	Rio Branco	3,7	161
não	Fonte Engenhacere	Rua Mariana, 667	Vila da Amizade	9,5	Rio Branco	4,1	43
não	Fonte Caramuru	Rodovia AC-40, km 07	Vila Acre	12,0	Rio Branco	4,5	37

Tabela 4 - Relação dos poços amostrados na cidade de Rio Branco, com suas profundidades e valores medidos de pH e condutividade elétrica (CE).

Amostra	DQO (mg/L)	Turbidez (FTU)	Cor (mgPt/L)	Alcalinidade (mgHCO ₃ /L)	Fe (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)
RB-01	10,76	0,8	2,8	17,08	<0,1	0,15	<0,10	1,06
RB-02	9,93	0,3	1,5	2,44	<0,1	0,54	0,10	0,84
RB-03	8,28	0,4	5,2	6,10	<0,1	0,43	0,10	2,30
RB-04	7,45	0,4	1,5	7,32	<0,1	0,38	0,10	3,40
RB-05	6,62	0,2	4,5	8,54	<0,1	0,53	0,10	5,69
RB-06	2,48	0,2	0,8	9,76	<0,1	0,33	<0,10	1,27
RB-07	7,45	0,3	4,5	4,88	<0,1	0,46	0,10	1,16
RB-08	7,45	0,3	3,7	8,54	<0,1	1,54	0,10	3,35
RB-09	2,48	0,3	1,5	4,88	<0,1	0,61	0,10	1,35
RB-10	9,11	25,0	7,5	61,00	0,43	0,01	0,18	2,05
RB-11	2,48	0,5	6,0	23,18	<0,1	<0,01	0,10	9,00
RB-12	2,48	1,6	5,2	32,94	<0,1	<0,01	0,10	1,62
RB-13	3,31	0,7	11,2	6,10	<0,1	0,10	0,10	0,19
RB-14	2,48	0,6	11,2	9,76	<0,1	0,09	0,10	1,41
RB-15	4,97	0,3	6,0	2,44	<0,1	1,10	0,10	1,06
RB-16	1,65	0,2	3,0	4,88	<0,1	1,54	0,10	7,52
RB-17	12,42	0,3	46,4	-	<0,1	4,95	0,10	89,70
RB-18	2,48	0,3	3,0	-	<0,1	4,73	0,10	42,45
RB-19	3,31	1,2	3,7	3,66	<0,1	3,08	0,10	25,50
RB-20	4,97	13,0	4,5	29,28	<0,1	0,08	0,10	3,16
RB-21	3,31	14,0	16,5	50,02	0,97	<0,01	0,34	34,00
RB-22	3,31	12,0	6,7	18,30	<0,1	1,32	0,11	31,40
RB-23	8,28	53,0	16,5	8,54	<0,1	2,86	<0,1	26,60
RB-24	4,14	2,6	9,7	54,90	<0,1	0,15	2,75	88,00
RB-25	4,14	1,1	1,5	34,16	<0,1	3,52	<0,1	35,60
RB-26	3,31	2,1	13,5	29,28	0,17	1,10	0,21	65,20
RB-27	5,79	8,4	8,2	17,08	<0,1	0,02	<0,1	11,40
RB-28	4,97	0,4	6,7	7,32	<0,1	0,32	<0,1	7,03
RB-29	13,25	0,3	11,2	4,88	<0,1	1,10	0,11	28,60
RB-30	30,63	0,5	1,5	1,22	<0,1	5,94	<0,1	44,80
Portaria 518/2004	-	5	15	-	0,3	10,0	1,5	250,0

Tabela 5 – Resultados das análises químicas e microbiológicas realizadas nas amostras de água coletadas em poços de Rio Branco (Parte 1).

Amostra	SO ₄ ⁻² (mg/L)	Si(OH) ₄ (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Coliformes Fecais	Coliformes Totais
RB-01	1,76	24,9	1,5	0,9	3,08	1,16	Ausência	≥16
RB-02	<1,00	10,0	1,0	1,0	6,42	<0,02	Ausência	Ausência
RB-03	<1,00	11,3	1,4	1,1	0,76	0,76	≥16	≥16
RB-04	<1,00	10,8	2,0	0,9	<0,02	33,04	Ausência	≥16
RB-05	<1,00	19,6	1,9	0,8	1,03	0,84	Ausência	Ausência
RB-06	<1,00	19,0	1,6	1,3	6,42	<0,02	≥16	≥16
RB-07	<1,00	13,5	1,0	1,4	6,42	3,88	Ausência	≥16
RB-08	<1,00	12,4	5,6	1,6	3,20	1,94	Ausência	≥16
RB-09	<1,00	11,4	0,9	0,9	6,42	<0,02	Ausência	Ausência
RB-10	17,02	30,1	12,3	1,0	16,16	4,32	Ausência	Ausência
RB-11	<1,00	27,8	8,4	0,6	3,21	3,89	Não analisado	Não analisado
RB-12	5,65	8,5	11,6	0,7	2,89	3,89	Não analisado	Não analisado
RB-13	<1,00	6,1	0,3	1,0	1,60	1,04	Não analisado	Não analisado
RB-14	<1,00	12,7	1,1	0,8	6,42	2,92	Não analisado	Não analisado
RB-15	<1,00	5,3	1,7	0,7	1,60	4,86	Não analisado	Não analisado
RB-16	<1,00	12,0	4,5	2,7	3,21	2,92	Não analisado	Não analisado
RB-17	21,67	10,5	50,4	6,9	3,21	2,92	Não analisado	Não analisado
RB-18	<1,00	7,4	15,6	3,2	3,21	2,92	Não analisado	Não analisado
RB-19	<1,00	11,2	9,5	3,7	8,02	4,86	Não analisado	Não analisado
RB-20	1,35	6,6	6,7	0,6	4,81	3,89	Não analisado	Não analisado
RB-21	15,84	42,8	22,8	0,9	16,48	3,36	Não analisado	Não analisado
RB-22	4,47	31,4	16,1	1,0	9,36	1,08	Ausência	≥16
RB-23	6,20	9,2	21,6	2,4	1,48	2,03	Ausência	≥16
RB-24	2,40	23,0	24,0	2,2	14,56	4,00	Ausência	≥16
RB-25	2,87	32,1	25,2	1,8	7,19	3,84	≥16	≥16
RB-26	12,17	24,7	27,6	1,2	5,55	3,31	Ausência	≥16
RB-27	1,42	7,2	10,4	0,5	1,35	0,89	≥16	≥16
RB-28	<1,00	16,8	3,2	0,8	1,60	1,47	Ausência	Ausência
RB-29	5,44	11,8	19,6	2,9	2,58	1,51	≥16	≥16
RB-30	<1,00	10,7	36,0	1,1	3,13	5,96	≥16	≥16
Portaria 518/2004	250	-	200	-	-	-	Ausência	Ausência

Tabela 6 – Resultados das análises químicas e microbiológicas realizadas nas amostras de água coletadas em poços de Rio Branco (Parte 2).

A composição química das águas se relaciona aos tipos de rochas e sedimentos predominantes em cada área, refletindo-se nos diversos tipos de águas identificados. Igualmente, a condutividade elétrica é uma propriedade iônica muito simples e útil para avaliar se a qualidade da água subterrânea está dentro dos padrões naturais ou se alguma atividade antrópica foi responsável pela alteração de sua qualidade. Na região amazônica, os padrões de condutividade elétrica apresentam valores entre 10 a 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de acordo com Maia (*apud Campos et al.*,2004). Desta forma valores acima deste intervalo representam alguma alteração na qualidade das águas subterrâneas, provavelmente devido a fatores antrópicos.

Conforme a tabela 4, 80% das amostras analisadas apresentaram valores acima do *background* regional e 66,6% das amostras apresentaram valores da condutividade elétrica acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ o que indica claramente esta alteração na qualidade das águas subterrâneas, figura 20 . Esta situação é corroborada pela presença de coliformes termotolerantes e coliformes totais identificados em 73,7% das amostras analisadas de acordo (tabela 6).

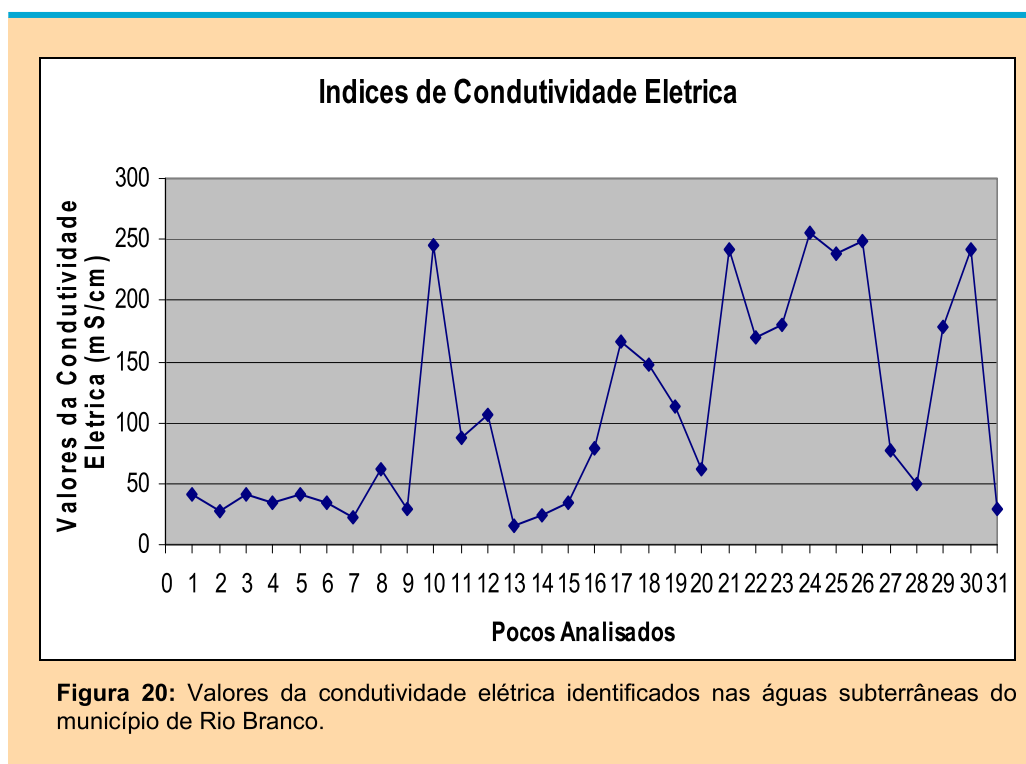


Figura 20: Valores da condutividade elétrica identificados nas águas subterrâneas do município de Rio Branco.

O mapa da figura 21 ilustra as regiões de Rio Branco onde a qualidade das águas subterrâneas encontra-se alterada. Estas regiões são justamente aquelas com maior adensamento populacional, como o I Distrito onde foram coletadas as amostras RB-27, RB-28, RB-29 e RB-30, e no II Distrito, nos bairros Taquari, Amapá, AC-01,

Sanacre, Belo Jardim I, Belo Jardim II e Mauri Sérgio. Nestas áreas os valores anômalos de condutividade elétrica, indicativos de contaminação, estão representados pela coloração avermelhada, enquanto que áreas onde a condutividade elétrica apresentou valores baixos estão caracterizadas pela coloração azulada.

Há de considerar a pequena profundidade dos poços amostrados, em torno de 10 a um máximo de 18m, e o seu processo construtivo, provavelmente com os filtros posicionados por quase toda a área de captação, o que leva a uma maior vulnerabilidade à contaminação da superfície do terreno.

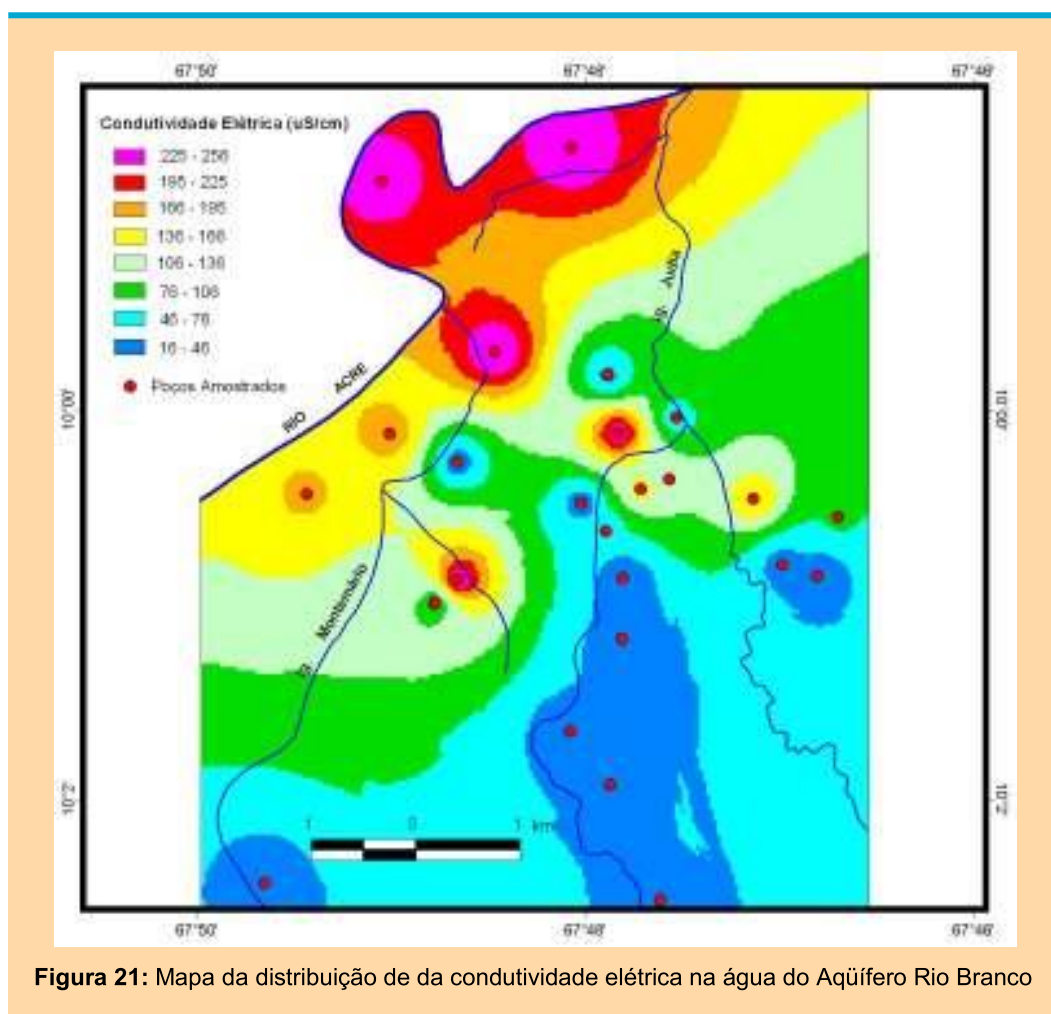


Figura 21: Mapa da distribuição de da condutividade elétrica na água do Aqüífero Rio Branco

Os resultados das análises físico-químicas permitem separar as amostras coletadas nos poços perfurados no aqüífero Rio Branco em dois grandes grupos:

- O primeiro (amostras RB-01 a RB-09, RB-13, RB14, RB-15 e RB-20) representa poços sem indícios de contaminação química. A condutividade elétrica é sempre abaixo de $70 \mu\text{S/cm}$; os valores máximos de ferro dissolvido, nitrato, cloreto, sulfato, sódio e cálcio são, respectivamente, $<0,1$, $1,54$, $5,69$, $1,76$, $6,7$ e $6,4 \text{ mg/L}$. Com auxílio do diagrama de Piper verifica-se que tais amostras situam-se principalmente

no campo das águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas (Figura 22). Deve-se ressaltar, contudo, que seis desses poços revelaram contaminação microbiológica, por coliformes fecais e/ou totais (tabela 6), o que indica a necessidade de uma cloração efetiva dessas águas antes de seu consumo final.

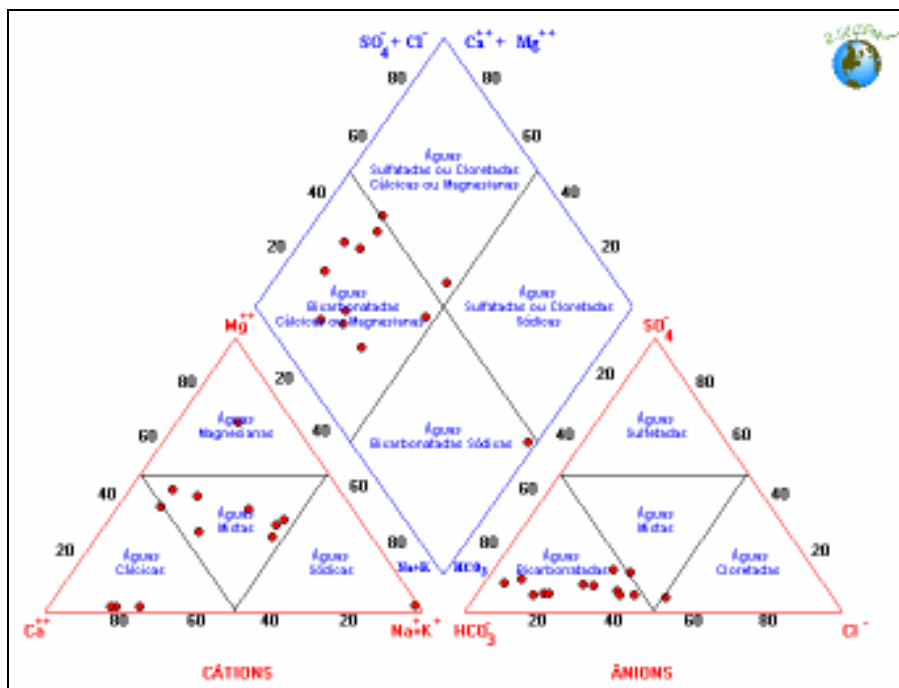


Figura 22: Diagrama que mostra a característica química das águas dos poços não contaminados no aquífero Rio Branco (diagrama de Piper)

- O segundo grupo (amostras RB-10, RB-11, RB-12, RB-16 a RB-19, e RB-21 a RB-27) abrange poços efetivamente contaminados ou com parâmetros indicativos (principalmente sódio, cloreto e sulfato) de início de processo de contaminação química. A condutividade está sempre acima de 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$; os valores de ferro, nitrato, cloreto, sulfato, sódio e cálcio vão, respectivamente, até 0,97; 4,95; 89,7; 21,67; 50,4 e 16,48 mg/L. No diagrama de Piper tais amostras localizam-se principalmente no campo das águas sulfatadas ou cloretadas sódicas (Figura 23). Seis poços deste grupo também mostram contaminação microbiológica.

O segundo grupo representa poços situados em locais com adensamento populacional e contaminação relacionada à deficiência de saneamento básico (ex. bairros Triângulo Novo, Belo Jardim, Santa Inês, 06 de Agosto), enquanto no primeiro os poços situam-se via-de-regra em locais mais isolados, sem contaminantes próximos, e incluem todas as fontes de captação amostradas.

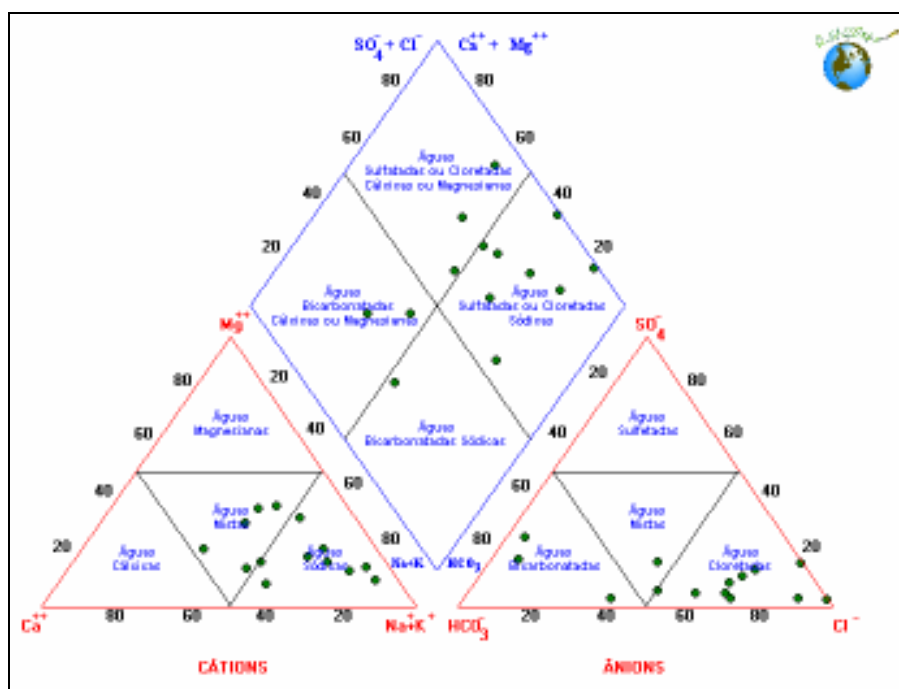


Figura 23: Diagrama que revela a característica química das águas dos poços com indícios de contaminação no aquífero Rio Branco (diagrama de Piper)

Os mapas de distribuição do cloro e do sódio, dois elementos que são bons indicativos de poluição de origem orgânica, ilustram bem as áreas afetadas e as áreas isentas desse tipo de contaminação (Figuras 24 e 25).

Das treze fontes visitadas, apenas a do Sr. Antonio Lopes revelou um poço com valores de pH (3,7) e condutividade (161 $\mu\text{S}/\text{cm}$) fortemente indicativos de contaminação por compostos nitrogenados, ainda mais quando se verifica que a fossa da propriedade está situada a cerca de 10 metros de tal poço. Recomenda-se uma análise físico-química e microbiológica completa dos três poços existentes nessa fonte.

Confrontando-se os resultados das análises físico-químicas com os valores máximos permitidos pela Portaria MS 518/2004, verifica-se que os poços que produzem águas em desacordo com a legislação são:

- RB-10 e RB-21, com excesso de Fe dissolvido e valores elevados de cor e turbidez.
- RB-24, com excesso de amônio. Este poço está situado a 2m de um chiqueiro e foi o que apresentou o maior valor de condutividade elétrica. O proprietário utiliza suas águas para consumo *in natura*, o que é preocupante em termos de saúde pública.
- RB-17, com valor elevado de cor. Foi o que apresentou o maior teor de cloreto, de sulfato, de sódio e de potássio. A proprietária do poço, situado próximo à fossa, utiliza suas águas para a confecção de refrescos vendidos em sua mercearia.
- RB-20 e RB-22, com turbidez elevada.
- RB-23, com valores elevados de cor e turbidez.

Catorze poços revelaram em suas águas contaminação por coliformes fecais e/ou totais. Desse modo, recomenda-se fortemente a cloração prévia de toda água proveniente de poços e destinada ao consumo humano em Rio Branco, principalmente quando se leva em conta que tratam-se de poços rasos, mais suscetíveis a tal tipo de contaminação.

Uma comparação entre a química das águas dos poços perfurados no aquífero Rio Branco com aqueles perfurados na Formação Solimões mostra-se prejudicada, pois das três amostras coletadas nesta última, apenas uma não revela indícios de contaminação (RB-28). De qualquer modo, numa tentativa preliminar, verifica-se que os teores médios de Na, Ca e Cl nos poços isentos de contaminação no aquífero Rio Branco são respectivamente de 2,0; 3,7 e 2,0 mg/L; esses mesmos elementos no poço RB-28 mostram teores de 3,2; 1,6 e 7,0 mg/L, sugerindo que as águas da Formação Solimões sejam mais enriquecidas em Na e Cl e mais empobrecidas em Ca do que no aquífero Rio Branco, representado pelos terraços e aluviões do rio Acre. De fato, nos sedimentos da Formação Solimões são relatadas ocorrências de alguns níveis salinos, sugestivos de ambientes de deposição com circulação restrita (lagunas).

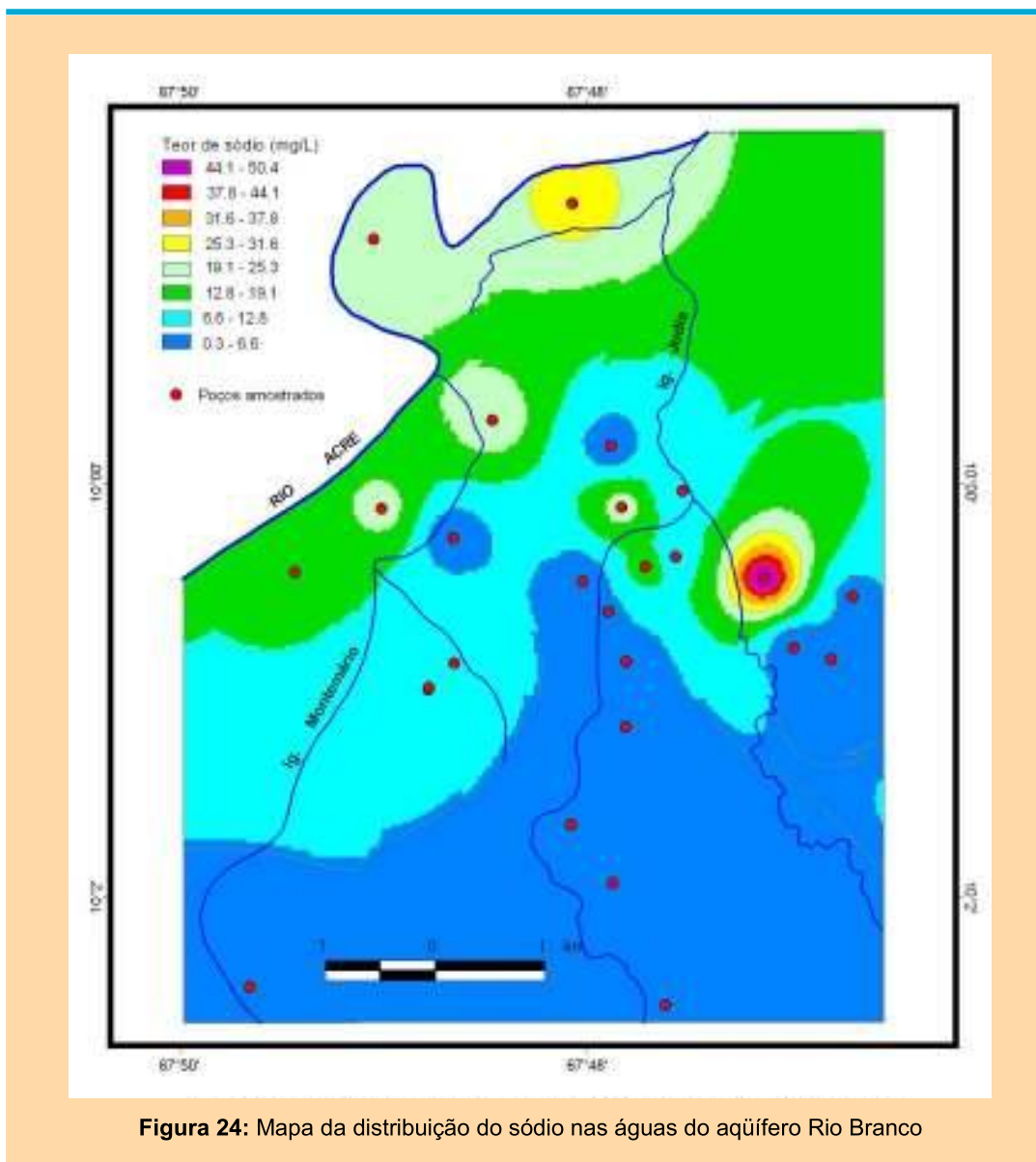


Figura 24: Mapa da distribuição do sódio nas águas do aquífero Rio Branco

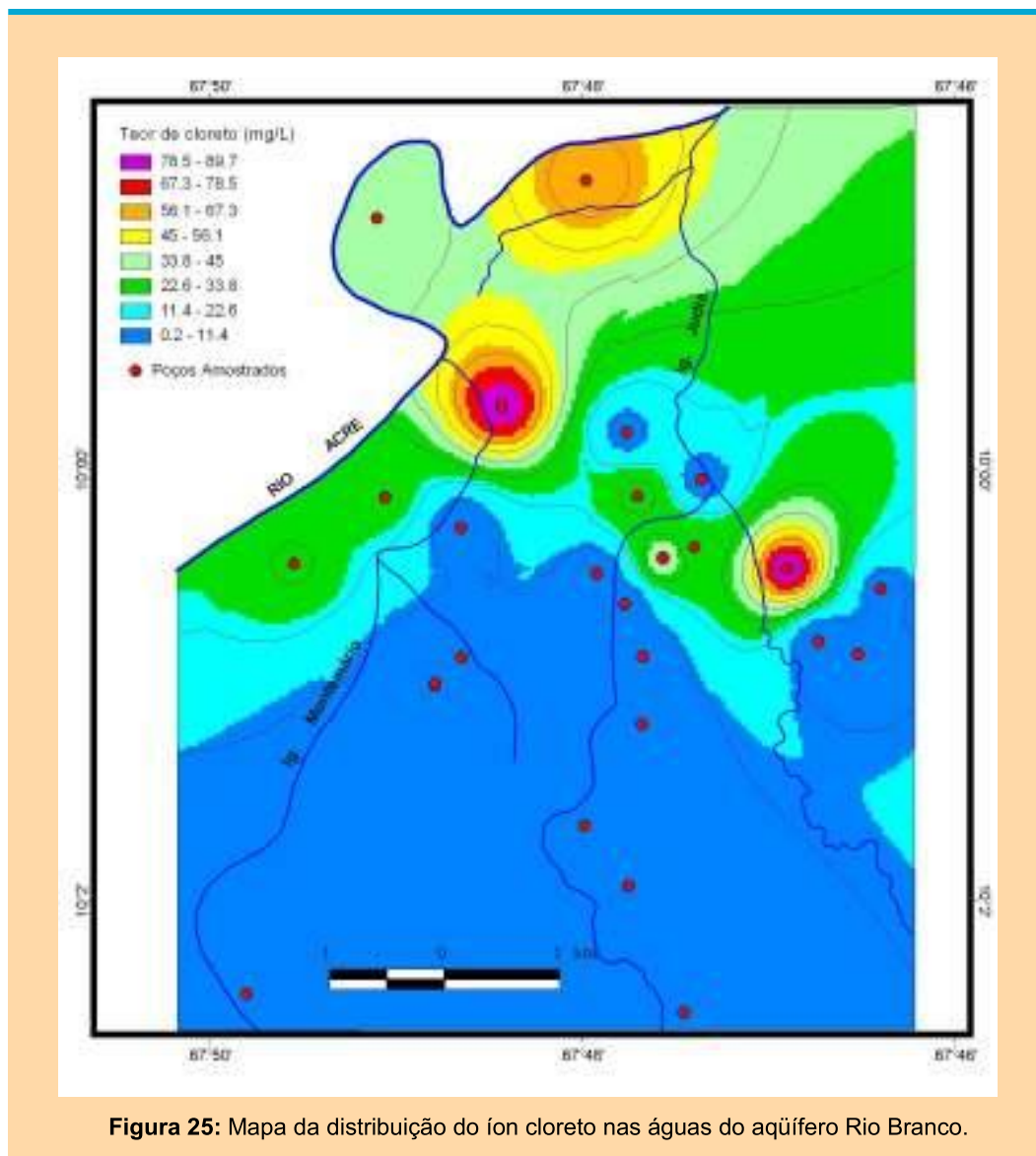


Figura 25: Mapa da distribuição do íon cloreto nas águas do aquífero Rio Branco.

9. Conclusões e Recomendações

A partir da caracterização física e de qualidade da água para o aquífero Rio Branco, onde foram levantados dados de sua área de ocorrência, espessura, volume de água armazenado, tipos de sedimentos constituintes, propriedades hidráulicas e físico-químicas, foi possível tecer as seguintes conclusões:

- O aquífero Rio Branco é do tipo confinado drenante, abrangendo na região estudada uma área de cerca de 122.460.000 m², ocorrendo entre 2 a 10 metros de profundidade com espessura variando entre 1 a 8 metros. Estas dimensões permitiram ponderar os volumes de armazenamento máximo e mínimo em 146.952.000 m³ e 18.369.000 m³, respectivamente, com média de 82.660.500 m³, considerando uma porosidade efetiva de 15%;

- b) Em relação à disponibilidade hídrica do aquífero investigado a principal questão é a capacidade desta reserva de água subterrânea abastecer a capital do Acre. Observou-se, pelo modelo clássico de cálculo das reservas, que o volume de 91.845.000 m³, obtido para a reserva reguladora, seria capaz de abastecer 1.258.151 habitantes durante um ano com cerca de 200 litros de água por habitante/dia, ao passo que, para a reserva permanente do aquífero Rio Branco foi obtido um valor de 146.952.000 m³ de água. Este valor poderia abastecer uma população de 2.013.041 habitantes durante um ano com 200 litros de água por /habitante/dia. Somados os valores de ambas as reservas, o valor obtido para a reserva total do Aquífero Rio Branco, através do *modelo clássico* foi de 232.797.000 m³, o que poderia abastecer uma população de 3.271.192 habitantes;
- c) Os valores dos principais parâmetros físicos dos sedimentos arenosos que constituem o aquífero Rio Branco foram de 2,21 a 4,07 m para o nível estático; enquanto que, o nível dinâmico dos poços testados variou entre 4,04 m a 7,07 m de profundidade com valores médios de 3,14 m e 6,05 m, respectivamente. Os valores de vazão e da capacidade específica obtidos nos testes podem ser considerados baixos, 3,33 m³/h a 10 m³/h e 0,92 m³/h/m a 4,1 m³/h/m, respectivamente. Isso se deve, principalmente, à baixa capacidade das bombas utilizadas e das condições de construção dos poços.
- d) Em relação aos parâmetros hidráulicos do aquífero Rio Branco, os valores de Transmissividade (T), Coeficiente de Armazenamento (S) e Condutividade Hidráulica (k) também foram influenciados pela má construção dos poços, assim como pelos equipamentos de bombeamento utilizados. Desta forma, os valores obtidos para estes índices variaram entre 132 m²/dia a 0,264 m²/dia; 2.89 x 10¹ a 1.05 x 10⁻⁴ e 2,38 m/dia a 2,56 x 10⁻⁴ m/dia, respectivamente. Valores de transmissividade acima de 120 m²/dia, podem ser utilizados para abastecimento público;
- e) Os sedimentos que compõem o aquífero Rio Branco possuem predominância de areia fina a média, ocorrendo algumas vezes materiais siltosos, clastos milimétricos de laterita e grãos de argila rica em matéria orgânica. A camada subjacente ao aquífero é composta por um material

semi-permeável, constituída por argila, argila siltosa e argila silto-arenosa, conferindo um caráter de baixa capacidade de infiltração direta da água precipitada na superfície, mas que não é totalmente impermeável. A camada identificada abaixo do aquífero Rio Branco corresponde aos argilitos da Formação Solimões;

- f) A recarga do aquífero Rio Branco se dá de forma direta sobre este, considerando-se que ele é do tipo confinado drenante, sendo identificado um valor de Infiltração igual a 587 mm/ano, com média de 48,92 mm/mês, o que representa 30,49% do valor total da precipitação média anual na cidade de Rio Branco;
- g) De acordo com o *principio moderno*, verificou-se que a recuperação dos poços foi muito boa e cerca de trinta minutos a uma hora após o término do bombeamento o nível estático foi restabelecido. Isto implica em um rápido e expressivo volume de água adicionado aos influxos do sistema;
- h) Os bairros investigados com maior potencial para exploração da água subterrânea no II Distrito são, de acordo com a espessura das camadas aquíferas e os resultados obtidos nos testes de bombeamento, o bairro do Amapá, o trecho da AC-040 após a ponte para o II Distrito até a corrente, a Vila Acre, a Vila da Amizade e o trecho da BR-364 nas proximidades do conjunto Santo Afonso;

Para que, os sistemas de captação e abastecimento não superexplorem ou comprometam a qualidade das águas subterrâneas no aquífero Rio Branco, deve-se considerar as seguintes recomendações:

- a) Realizar um levantamento do volume de água explorado diariamente do aquífero Rio Branco, principalmente nas fontes de captação, para que seja dimensionado o volume máximo a ser explorado por cada sistema de abastecimento, assim como a taxa de recuperação dos poços no II Distrito;
- b) Cadastrar poços para realização de análises físico-químicas e bacteriológicas periódicas da água subterrânea no II Distrito com o objetivo de se identificar, previamente, as regiões com a qualidade da água já comprometida pela atividade antrópica. A ausência de saneamento básico

pode ampliar a contaminação para áreas ainda preservadas, o que justifica a necessidade do monitoramento da qualidade das águas subterrâneas;

Glossário de Termos Técnicos

Aqüífero ⇒ As formações ou camadas da zona saturada nas quais se pode obter água para uso proveitoso são chamadas formações aquíferas, lençóis aquíferos, reservatórios de água subterrânea ou, simplesmente aquíferos. Um aquífero é uma unidade geológica saturada que fornece água a poços e nascentes em proporção suficiente, de modo que possam servir como proveitosas fontes de abastecimento. Para ser classificada como aquífero, uma formação geológica deve conter poros ou espaços abertos repletos de água e permitir que a água mova-se entre eles.

Aqüífero Livre ou não Confinado ⇒ A forma da superfície superior da zona de saturação, ou do aquífero, é denominada de superfície do lençol. Depende da topografia do terreno, em parte, tendendo, em geral, a acompanhar a conformação da superfície do solo. A ocorrência da água subterrânea em alguns aquíferos está subordinada à superfície do lençol. Significa dizer que o limite superior do aquífero é definido pela própria superfície do lençol.

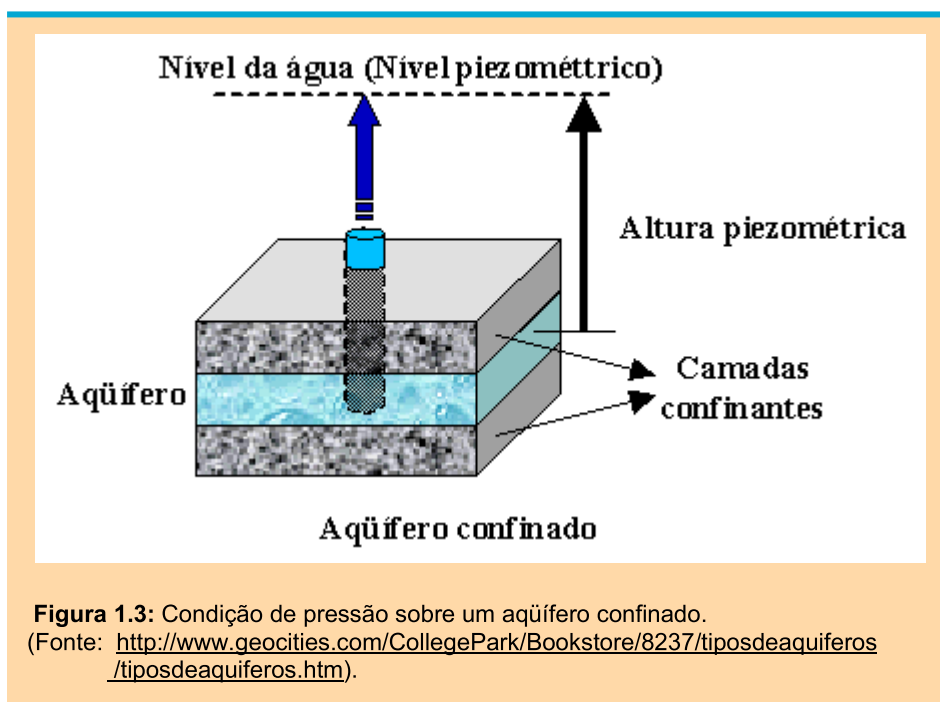
Na superfície do lençol a água nos poros do aquífero encontra-se sob pressão atmosférica como se estivesse em um reservatório ao ar livre, e nessas condições o aquífero é denominado de lençol de superfície livre, lençol freático ou aquífero livre. A pressão hidráulica em determinado ponto do lençol freático é igual a sua profundidade, medida da superfície livre até o ponto em questão, podendo ser expressa pela coluna de água ou pressão hidrostática, em metros.

No aquífero livre não existe, portanto, camada limitante impermeável na face superior. Para simplificação do cálculo, admite-se que existe uma interface de separação entre a zona saturada e uma região acima, considerada completamente seca.

Aqüífero Confinado ⇒ Quando um aqüífero se encontra entre duas camadas impermeáveis ele se encontra confinado. Pelo fato da camada confinante superior ser impermeável, a água se encontra sob uma pressão maior que a pressão atmosférica, sendo o aqüífero denominado de aqüífero confinado ou água subterrânea confinada.

Quando um poço é perfurado através da camada superior confinante atingindo o aqüífero, a altura da água no poço representa a pressão a que se encontra submetida a água no aqüífero. A pressão hidrostática em determinado ponto do aqüífero, expressa em metros de água, é igual à distância vertical desse ponto àquele nível.

A elevação alcançada pela água em um poço que atinge um aqüífero confinado é definida como o nível piezométrico. Uma superfície imaginária representando a pressão em todos os pontos ou parte de um lençol confinado é a superfície piezométrica. Esta é análoga à superfície efetiva do lençol dos aqüíferos freáticos.



Aqüífero Confinado Drenante ⇒ Em um aqüífero confinado drenante, uma ou ambas as camadas limitantes são semipermeáveis. Para efeito de simplificação, é feita a consideração de que a camada inferior é impermeável e que a camada superior possui permeabilidade pequena, mas diferente de zero.

Aqüífuga ⇒ As formações ou camadas cujos poros não têm conexão e, por isso, são incapaz de absorver e transmitir água.

Capacidade Específica ⇒ É a vazão do poço por unidade de rebaixamento, usualmente expressa em metros cúbicos ou litros por hora por metro de rebaixamento.

Dividindo-se a vazão pelo rebaixamento, ambos verificados em um mesmo instante, têm-se o valor da capacidade específica.

Condutividade Hidráulica (K) ⇒ a condutividade hidráulica de um meio poroso e/ou fraturado mede a facilidade com que um fluido o atravessa. Representa a descarga através de uma área de seção unitária, para uma variação unitária de gradiente hidráulico (Tabela 1). A condutividade hidráulica (K) depende do tamanho e arranjo dos grãos e/ou fraturas do meio, assim como das características dinâmicas do fluido (viscosidade, densidade e força do campo gravitacional). Os valores da condutividade hidráulica para alguns materiais geológicos em m/s estão descritos na tabela 1.

Tabela 1: Valores de condutividade hidráulica para diversos materiais geológicos (Fetter, 1988).

Material	K (m/s)
Cascalho bem selecionado	$1 - 10^{-2}$
Areia bem selecionada	$10^{-1} - 10^{-3}$
Silte arenoso, areia fina	$10^{-3} - 10^{-5}$
Silte, areia siltosa, argila arenosa	$10^{-4} - 10^{-6}$
Argila	$10^{-6} - 10^{-9}$

Coefficiente de armazenamento (S) ⇒ o coeficiente de armazenamento é uma das propriedades hidráulicas mais importantes do aquífero, sendo definido como o volume de água que um aquífero libera ou acumula por unidade de área, para uma variação unitária de potencial hidráulico. É um parâmetro adimensional conforme mostra a expressão: $S = \text{volume de água} / (\text{Área} \times \text{Potencial hidráulico})$.

Nível Estático ⇒ É o nível no qual a água permanece no poço quando não está sendo extraída do aquífero, quer por bombeamento ou por fluxo livre. É geralmente expresso pela distância do nível do solo ou de um ponto de referência próximo ao nível do solo até o nível da água no interior do poço.

Nível Dinâmico ⇒ É o nível em que a água permanece no interior do poço, quando bombeado. No caso de poços jorrantes, é o nível em que a água pode estar ao fluir do poço, ou atingido pelo jorro. O nível dinâmico é também chamado *nível de bombeamento* (CETESB, 1978).

Rebaixamento ⇒ Significa a descida do nível da água, a partir do nível estático, em consequência do bombeamento ou do fluxo livre, nos poços jorrantes.

Rebaixamento é a diferença, expressa em metros, entre o nível estático e o nível dinâmico.

Rebaixamento residual ⇒ Após parar o bombeamento, o nível sobe e aproxima-se do nível estático observado antes do bombeamento. Durante este período de recuperação, a distância que a água permanece abaixo do nível estático inicial é o *rebaixamento residual* (CETESB, 1978).

Reserva Reguladora ⇒ a reserva reguladora representa a quantidade de água armazenada no aquífero pela recarga sazonal. Consiste no volume de água compreendido entre os níveis máximo e mínimo do aquífero livre, ou seja, o volume de água compreendido entre os níveis de flutuação sazonal do aquífero livre. Essa reserva pode variar de um ano para outro em função dos parâmetros hidroclimáticos. Assim sendo, a mesma é referida para um determinado período, em geral, um ano hidrológico.

Reserva Permanente ⇒ nos aquíferos confinados ou semi-confinados, a exemplo do aquífero Rio Branco, nos quais o nível piezométrico não reflete as variações sazonais (ou refletem de forma retardada), as reservas permanentes são aquelas que permanecem armazenadas, independentemente da vazão de escoamento natural.

Reserva Total ⇒ reserva total representa o conjunto das reservas reguladoras e permanentes, constituindo, portanto, a totalidade da água possível de ser extraída em um aquífero ou em um sistema hidrogeológico.

Recurso Explotável ⇒ os recursos explotáveis ou reservas de exploração constituem a quantidade máxima de água que pode ser explotada de um aquífero, sem risco de prejuízos ao manancial. Representa a fração do volume total da água subterrânea que pode ser utilizada sob condições de viabilidade técnica, econômica e ambiental. É constituído pela reserva reguladora mais uma parcela da reserva permanente. Assim como a reserva reguladora, o recurso explotável também é referido para um determinado período de tempo, em geral, um ano hidrológico. Portanto, esse recurso tem a dimensão de vazão. Por este motivo, o recurso explotável também é expresso por *safety yield* ou vazão de segurança (Souza, op cit.).

Transmissividade (T) ⇒ a transmissividade é definida como a descarga através de uma faixa vertical de largura unitária e espessura igual à da camada saturada, sob um gradiente hidráulico unitário. Expressa o produto da condutividade hidráulica (k) pela espessura saturada do aquífero livre ou espessura total do aquífero confinado (b) (Figura 2.4). O coeficiente de transmissividade varia de $< 0,5 \text{ m}^2/\text{h}$ a mais de $500 \text{ m}^2/\text{h}$. Um aquífero no qual $T < 0,5 \text{ m}^2/\text{h}$ tem capacidade para abastecer,

via de regra, apenas as necessidades de residências isoladas; quando este valor for superior a 5 m³/h ou 120 m³/dia, o aquífero poderá servir para abastecimento público, industrial e para projetos de irrigação de grande porte (Tancredi, 1996; Souza, 2000).

Vazão ⇒ É o volume de água extraído do poço na unidade de tempo, por bombeamento ou por fluxo livre. É expressa geralmente em metros cúbicos por hora, litros por minutos, litros por segundo, metros cúbicos por minuto, etc., conforme a menor ou maior vazão (CETESB, 1978).

Referências Bibliográficas

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518, de 25/03/04**. Brasília: Secretaria de Saúde. 2004.

CAMPOS, J.V.C. A problemática dos recursos hídricos subterrâneos na Amazônia na visão do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE, 1, 2003, Rio de Janeiro: **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2003. p. 133-141.

CETESB. **Águas Subterrâneas e poços tubulares**. São Paulo: Johnson Screens, 1978. 482p.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona: Omega, 1975, 2v.

<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php?lnk=http://www.inmet.gov.br/html/clima/graficos/index4.html> acessado em 09 de agosto de 2006.

<http://www.geocities.com/CollegePark/Bookstore/8237/tiposdeaquiferos/tiposdeaquiferos.htm> acessado em 12 de setembro de 2006.

<http://www.sondamar.com.br> acessado em 13 de setembro de 2006

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, João. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID-UFPE, 1997, 412p.

FETTER, C.W. **Applied Hydrogeology**. 2. ed. New York, Macmillam Publishing, 1988, 592p.

IBGE. Cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidades>> Acesso em: 30 setembro 2006.

GASPAR, M.T.P. **Avaliação dos impactos da ocupação urbana sobre águas da bacia hidrográfica do Igarapé Mata Fome, Belém do Pará**. 2001.116p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Geociências, Belém, Universidade Federal do Pará, 2001.

<http://www.guianet.com.br/ac/mapaac.htm> acessado em 02 de junho de 2006.

- MELO JUNIOR, H.R. **Mapeamento da vulnerabilidade e análise de risco de contaminação como instrumentos de produção das águas subterrâneas em áreas industriais: Caso da ALBRAS, Barcarena-PA.** 2002. 138p. Dissertação (Mestrado em Geologia) Centro de Geociências, Belém, Universidade Federal do Pará, 2002.
- SOUZA, E.L. **Hidrogeologia Básica.** Belém: UFPA, 2000. 47p. Apostila do curso de pós-graduação lato-sensu em hidrogeologia.
- TANCREDI, A. C. F. N. **Recursos Hídricos Subterrâneos de Santarém.** 1996. 153p. Tese (Doutorado em Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.
- TEIXEIRA, Wilson et al. **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2000. 568p.
- VASCONCELOS, S.M.S. Estimativa de recarga subterrânea a partir do balanço hídrico Exemplo de Fortaleza (CE) **Revista de Geologia**, v. 7, p. 27-34, 1994.
- VIDAL, C.L.R. **Disponibilidade de Gerenciamento Sustentável do Aquífero Serra Grande no município de Picos – Piauí.** 2003. 208p. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.